



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

Х.И. Аглюков
М.М. Суровцов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

*Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2015

Рецензенты:

Кандидат технических наук,
главный строитель ОАО «Проектный институт Магнитогорскгражданпроект»,
А.А. Варламов

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой проектирования зданий и строительных конструкций
ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
А.Л. Кришан

Аглюков Х.И., Суровцов М.М.

Использование городского подземного пространства [Электронный ресурс] : учебное пособие / Харис Исхакович Аглюков, Максим Михайлович Суровцов ; ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,59 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВПО «МГТУ», 2015. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

Изложены методические и практические аспекты использования подземного пространства города. Освещены перспективы освоения подземного пространства в условиях рыночной экономики, экономической эффективности строительства подземных сооружений. Представлены практические примеры расчета и строительства подземных сооружений по технологии «стена в грунте».

Учебное пособие предназначено для изучения дисциплины «Использование подземного пространства зданий и сооружений» для студентов направления 270800 «Строительство».

УДК 622.035.4

© Аглюков Х.И., Суровцов М.М., 2015
© ФГБОУ ВПО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова», 2015

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ.....	6
1.1 Основные предпосылки и ограничения комплексного освоения подземного пространства городов.....	8
1.2 Классификация подземных сооружений.....	12
1.3 Экономическая эффективность строительства подземных сооружений.....	13
1.4 Примеры использования подземного пространства городов.....	17
1.4.1 Автомобильные стоянки и гаражи	19
1.4.2 Инженерные системы подземного гаража	24
1.4.3 Комплексное освоение подземного пространства.....	26
1.4.4 Метрополитен	29
1.5 Взаимодействие подземного объекта с окружающей природной средой	33
2. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «СТЕНА В ГРУНТЕ»	37
2.1 Область применения, и способы производства сооружений методом «стена в грунте»	37
2.2 Современные методы ограждения глубоких котлованов.....	40
2.2.1 Ограждение по способу «стена в грунте»	40
2.2.2 Ограждение из бурозавинчивающихся и вдавливаемых свай.....	45
2.2.3 Ограждение из буронагнеточных свай.....	47
2.2.4 Шпунтовые и балочные ограждения	47
2.2.5 Методы строительства способами «сверху-вниз» и «вверх-вниз»	49
2.2.6 Применение струйной цементации (технологии «jet-grouting») в подземном строительстве.	51
2.3 Эффективность метода «стена в грунте»	52
2.4 Эксплуатационные и прочностные требования	54
3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ МЕТОДА «СТЕНА В ГРУНТЕ»	56
3.1 Определение действующих нагрузок	56
3.2 Расчетные схемы сооружений.....	57
3.2.1 Расчет круглых в плане сооружений без опор	58
3.2.2 Расчет круглых и прямоугольных сооружений в плане с опорами.....	58
3.2.3 Расчет поясов и колец жесткости.	60
3.2.4 Расчет днища сооружения.....	61
3.2.5 Расчет сооружения на всплытие	61
3.3 Методы проектирования монолитных и сборных подземных сооружений.....	61

3.3.1 Общие положения.....	61
3.3.2 Сооружения со стенами из сборного железобетона.....	62
3.3.3 Сооружения со стенами из монолитного железобетона	62
3.3.4 Днища, перекрытия и внутренние стены	62
3.3.5 Гидроизоляция	63
3.3.6 Воротник траншеи	63
3.4 Конструктивные решения подземных сооружений	63
3.5 Защита подземных сооружений от грунтовых вод	64
3.5.1 Краткая характеристика противofiltrационных диафрагм	64
3.5.2 Классификация противofiltrационных диафрагм	64
3.5.3 Конструктивные особенности противofiltrационных диафрагм	65
3.6 Технология и механизация разработки грунта на больших глубинах	65
3.7 Принципиальные схемы работ траншеепроходческих машин российского производства	69
3.7.1 Буровые установки	69
3.7.2 Буровые агрегаты фрезерного типа	70
3.7.3 Агрегаты с ковшовыми рабочими органами	71
3.8 Средства механизации зарубежного производства для разработки грунта в глубоких траншеях.....	72
3.8.1 Основные сведения.....	72
3.8.2 Технические характеристики экскаваторов с гидравлическими грейферами на напорной телескопической штанге	73
3.8.3 Принципиальные схемы траншеепроходческих агрегатов зарубежного производства.....	76
ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»	82
ЛИТЕРАТУРА.....	83

ВВЕДЕНИЕ

Комплексное использование подземного пространства крупнейших городов способствует решению задач, связанных с нехваткой земель для расширения городов, с быстрым ростом транспортных средств, переуплотнённостью центральных районов, недостаточной обеспеченностью зелеными насаждениями, растянутостью инженерных и транспортных коммуникаций. Уменьшение жизненного пространства людей приводит к увеличению их заболеваемости, снижению продолжительности жизни и рождаемости. Перенаселение территорий является причиной эпидемий, войн, массовых бедствий и катастроф.

Возрастающая перенаселенность вызывает необходимость активного поиска путей увеличения жизненного пространства, один из которых – освоение подземного пространства, обладающего по сравнению с поверхностным рядом дополнительных полезных свойств. Подземные сооружения более изолированы от поверхностных факторов, нередко более долговечны и требуют меньших эксплуатационных затрат чем поверхностные. В ряде случаев, таких как необходимость безопасного (скрытого) расположения объектов, добыча полезных ископаемых, сооружение тоннелей и подземных коммуникаций, использование подземного пространства является неизбежным и жизненно необходимым. Все эти факторы обусловили значительное развитие подземного строительства в последние годы, удваиваемого в объемах каждые 10 лет.

Значимость освоения подземного пространства возрастает особенно в крупных городах. Характер, размеры и размещение объектов подземного строительства, сочетание наземных и подземных сооружений, этапы освоения подземного пространства устанавливаются в тесной увязке с решениями генерального города разработке которого, в свою очередь, учитывается гипотеза организации подземного пространства. Это позволяет повысить общую эффективность градостроительных решений.

Экономический эффект при этом проявляется в различных формах. С одной стороны, подземное решение ведет к увеличению сметной стоимости строительства соответствующих объектов; с другой стороны, достигается эффект, который выражается в следующем:

- предотвращается «расползание» городских территорий;
- сокращается размер изъятий сельскохозяйственных земель для нужд строительства и тем самым размер компенсационных выплат по возмещению потерь землепользователям и потерь сельскохозяйственного производства;
- сокращаются протяженность дорог, улиц, инженерных коммуникаций, объемы работ по инженерной подготовке и благоустройству за счет уменьшения отводов городских территорий;
- снижаются эксплуатационные расходы на содержание подземных объектов, особенно там, где технологический процесс позволяет использовать такие преимущества подземного исполнения, как постоянство температуры, виброустойчивость, шумоизоляцию и т.п.;
- обеспечивается рациональная организация всей системы городского транспорта, при которой возможно увеличение скорости передвижения, сокращается время доставки пассажиров и грузов;
- обеспечивается эффективная организация системы инженерных коммуникация, включая средства доставки почты, снего- и мусороудаления;
- экономится свободное время населения в сфере транспортного, торгового и бытового обслуживания.

В данном пособии изложены основные аспекты использования подземного пространства с целью строительства объектов в городских условиях.

1. ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

Освоение подземного пространства в условиях рыночной экономики – достаточно новое направление инженерной деятельности. В данных условиях необходимость его реализации зависит от наличия специфических условий, определяющих спрос и предложения. Применительно к освоению подземного пространства это означает, что реальная возможность сооружать подземные объекты возникает в том случае, если в существующем правовом поле совпадают интересы строителей и заказчиков [1].

Подземные сооружения необходимо проектировать на основе применения достижений подземной архитектуры с использованием многообразных объемно-планировочных и конструктивных решений, современных строительных технологий и материалов [10, 27]. При размещении подземных сооружений, обосновании и выборе технических решений и технологии производства работ должен применяться комплексный подход, состоящий в совместном рассмотрении трех составляющих: первая - наземная часть города со зданиями, дорогами, инженерной инфраструктурой, водной средой; вторая - подземная часть города, включающая тоннели и станции метрополитена, автотранспортные тоннели, подземные объекты любого назначения, подземные коммуникации и др.; третья - инженерно-геологическая среда. Эти три составляющие должны учитываться в процессах планирования, инвестирования, проектирования, строительства и эксплуатации объектов, размещаемых в подземном пространстве.

Для исключения инженерно-строительного риска необходимо планировать подземное строительство в зависимости от инженерно-геологических условий территории города. В соответствии с этим должны предъявляться строгие требования к площади, глубине и объему вторжения в подземное пространство на различных участках, конструктивным решениям и технологиям производства работ. Инженерно-геологические изыскания для проектирования и строительства подземных сооружений должны выполняться в соответствии с действующими нормативными документами по инженерным изысканиям.

Особое внимание должно быть уделено прогнозу изменения начального геомеханического состояния грунтового массива и гидрогеологических условий под влиянием строительных работ по возведению подземного сооружения, а также прогнозу возможной активизации опасных геологических и инженерно-геологических процессов (карстовых, суффозионных, оползневых и др.). Для сложных и ответственных подземных сооружений или возводимых в сложных инженерно-геологических условиях необходимо предусматривать мониторинг отдельных компонентов геологической среды.

Технические решения подземных сооружений должны обосновываться расчетами напряженно-деформированного состояния их конструкций и вмещающего массива грунта с примыкающими зданиями и сооружениями. Конструктивные и технологические решения подземных сооружений, возводимых в условиях тесной городской застройки, должны обеспечивать сохранность близрасположенных существующих сооружений, для чего необходимо предусматривать:

- исследование влияния нового строительства на изменение напряженно-деформированного состояния грунтового массива и режима подземных вод;
- обследование оснований, фундаментов и конструкций окружающих сооружений;
- расчетный прогноз деформаций сооружений, попадающих в зону влияния подземного строительства;
- разработку, при необходимости, защитных мероприятий;
- организацию геотехнического мониторинга.

Для выполнения работ по обследованию оснований и конструкций существующих сооружений, попадающих в зону влияния строительства подземного сооружения,

составления расчетных прогнозов дополнительных деформаций этих сооружений и для организации геотехнического мониторинга следует привлекать специализированные организации. При проектировании подземных сооружений следует учитывать уровень их ответственности и ответственности сооружений, на которые может оказывать влияние подземное строительство. Если влияние проектируемого подземного сооружения распространяется на объекты более высокого уровня ответственности, то уровень ответственности проектируемого сооружения должен быть повышен до уровня ответственности этих объектов.

Основные технические решения, принимаемые при проектировании подземных сооружений (расположение в плане и по глубине, тип и форма сечения, конструктивные решения несущих конструкций и фундаментов, способ защиты от подземных вод и др.), должны обосновываться путем сравнения технико-экономических показателей различных вариантов проектных решений с учетом затрат на строительство и эксплуатацию сооружения. При возведении подземных сооружений необходимо применять передовые технологии и методы работ, обеспечивающие широкое использование современных машин и механизмов, рост производительности труда и благоприятные условия работы. При проектировании и возведении подземных сооружений следует соблюдать требования нормативных документов по организации строительного производства, обеспечивать соблюдение правил техники безопасности, выполнение требований пожарной безопасности, охраны окружающей среды и санитарных норм.

В процессе строительства следует выполнять производственный контроль, предусмотренный действующими нормативными документами, соблюдать основные требования операционного контроля качества строительно-монтажных работ и проводить мониторинг существующей застройки и окружающей среды.

Показателен опыт строительства коммерческими структурами подземных переходов нового типа, приспособленных для размещения в них объектов торговли, сервиса и т.д. Этот опыт может служить первым этапом на пути создания «нулевых» этажей крупных городов. В условиях дефицита торговых площадей в центре города это может оказаться прибыльным мероприятием. Экономическая оценка показывает, что таким же перспективным и прибыльным оказывается и сооружение подземных автостоянок или гаражей в центральных районах под площадями и бульварами, организованных по типу акционерных обществ. Необходимость сооружения подземных автостоянок подтверждается тем, что за последние 10-15 лет количество автомобилей в городах сильно увеличилось [11].

Развитие инфраструктуры повышает прибыльность торговых объектов бытового обслуживания центральных частей городов, увеличивает стоимость единицы строительного объема зданий и единицы площади земельного участка, престиж объектов, располагаемых в центральной части городов. Стоимость земельных участков в центральных частях крупных городов России приближается к стоимости земельных участков городов развитых стран мира. В 2002 году плата за право заключения договора аренды земли на окраине Москвы составляла 300-800 тыс. долларов за гектар, а в центре ставка достигала 5-10 млн. долларов. В настоящее время подземное строительство характеризуется повышенными капитальными затратами. Зарубежный опыт уже подтвердил как перспективность освоения подземного пространства крупных городов, так и перспективность повторного использования выработанного пространства месторождений полезных ископаемых.

Зарубежная практика свидетельствует, что число автомобилей возрастает в 3 – 3,5 раза быстрее роста протяженности автодорог, что приводит к «параличам» движения. Например, в Париже проезжая часть улиц занимает площадь 11,5 млн кв., а движущиеся и стоящие экипажи – 11,2 млн кв.м; в Нью-Йорке на 1 км дорог приходится 120 автомобилей, в Лондоне – 63 и т.д.

1.1 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 и 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.

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 транспорта - 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.).

Комплексное использование подземного строительства необходимо осуществлять во всех функциональных зонах городов [14]. 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.

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. Основным принцип использования подземного пространства в зонах массовой жилой застройки - это устройство подвальных (подземных) и цокольных (полуподземных) помещений под жилыми и общественными зданиями, а в необходимых случаях - и под незастроенными участками. При этом для предварительных расчетов площади подземных помещений можно принимать по 0,2 м²/чел. на цели торговли и бытового обслуживания и по 0,1 м²/чел. на цели культурно-просветительных, зрелищных, спортивных и других организаций.

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 подходов 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. 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.

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 [25, 29,].

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 объектов, 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 традиционно 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 работы «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.

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.

1.2 Классификация подземных сооружений

Подземными обычно называют такие сооружения, главные части которых, по эксплуатационным соображениям, расположены под землей. Классификаций их существует довольно много, приведем лишь наиболее интересные с архитектурной точки зрения.

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.

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).

По своему назначению подземные сооружения делятся на [11]:

- транспортные (пешеходные, автотранспортные и железнодорожные тоннели, метрополитены, автостоянки и т.д.);
- промышленные;
- энергетические (подземные комплексы ГЭС, ГАЭС, АЭС, шинные и кабельные тоннели и шахты, энергетические водоводы и проч.);
- хранилища (нефти, газа, вредных и радиоактивных отходов, холодильники);
- общественные (предприятия коммунально-бытового обслуживания, торговли и общественного питания, складские, спортивные и зрелищные сооружения и т.д.);
- инженерные (тоннели, коллекторы, бензопроводы, очистные, перекачные, водозаборные сооружения и т.д.);

- специального и научного назначения (ускорители заряженных частиц, подземные заводы, сооружения гражданской обороны и проч.).

По расположению подземные сооружения могут быть:

- изолированные от зданий и сооружений;
- встроенные (совмещенные с подвальными этажами здания);
- пристроенные (расположены рядом со зданием и присоединенные к ним подземными проездами и переходами);
- встроено-пристроенные.

По взаимодействию подземного объекта с внешней средой подземные сооружения классифицируют:

- сооружения, необходимость возведения которых определяется без учета их возможного взаимодействия с внешней средой (объекты специального назначения, гражданской обороны, первые линии метрополитенов);
- сооружения, при проектировании и строительстве которых экологические факторы учитываются в неявном виде (большинство транспортных тоннелей и метрополитенов, различные хранилища и т.д.);
- сооружения, при проектировании и строительстве которых максимально учитывается взаимодействие объекта и природной среды (Манежная площадь, современные линии метрополитенов);
- объекты, возведенные с целью минимизации влияния вредного фактора (подземные АЭС, хранилища вредных веществ);
- сооружения экологического назначения (альтернативные системы тепло- и энергоснабжения).

Также различают подземные сооружения в соответствии с планировочной схемой (тоннели, камеры, шахты); с формой поперечного сечения, в зависимости от глубины заложения и др [11].

1.3 Экономическая эффективность строительства подземных сооружений

В последние десятилетия наблюдается значительный рост подземного строительства различного назначения и его многофункционального использования. Этому способствовало снижение стоимости подземного строительства. Если раньше стоимость подземных работ была в несколько раз выше чем наземных, то сегодня, в силу совершенствования техники и технологии подземных работ, стоимость их во многих случаях незначительно дороже наземных, особенно в зонах застройки.

Эффективность комплексного подземного строительства складывается из социально-экономических, инженерно-экономических и градостроительных компонентов. При выявлении эффективности объекты, размещаемые в подземном пространстве, можно подразделить на три группы.

1. Эффективность размещения под землей транспортных коммуникаций и сооружений определяется на основе: экономии городских территорий за счет площадей для сооружения как самих объектов, так и защитных зон при них; увеличения оборачиваемости транспортных средств; сокращения длительности поездок; доставки грузов; сокращения количества остановок, экономии энергетических ресурсов; максимальной сохранности существующей наземной застройки; улучшения санитарно-гигиенического состояния на земной среде.

2. Эффективность размещения под землей зрелищных сооружений, предприятий торговли и общественного питания, а также ряда объектов коммунально-бытового обслуживания определяется на основе: экономии территории, а также сохранения наземной

застройки при размещении в сложившихся частях города; экономии времени населения за счет приближения объектов обслуживания к потребителю, по пути его передвижения (попутное обслуживание); повышения размеров товарооборота и прибыли предприятий торговли, общественного питания и культурно-зрелищных предприятий за счет удобного расположения их в зонах интенсивного скопления пешеходов и пассажиров — потенциальных посетителей перечисленных объектов обслуживания.

3. Эффективность размещения под землей объектов складского хозяйства, промышленных зданий и сооружений, коммунальных объектов, отдельных транспортных сооружений, объектов инженерного оборудования определяется на основе: экономии городских территорий; сокращения протяженности инженерных коммуникаций за счет размещения сооружений и объектов в центре нагрузок; улучшения санитарно-гигиенического состояния городской среды, экономических преимуществ, обусловленных компактным планировочным решением.

Таким образом, на основе комплексного использования подземного пространства города эффективность рассматривается в различных сферах:

- социально-экономической — экономия времени населением, снижение транспортной усталости, улучшение санитарно-гигиенических условий проживания населения, безопасность пешеходов;
- градостроительной — правильный выбор функционального и строительного зонирования территорий, решение транспортных проблем, увеличение площади озелененных и водных пространств;
- инженерно-экономической — ускорение оборачиваемости транспортных средств, повышение скорости движения всех видов транспорта, экономия горючего, снижение затрат на развитие инженерного оборудования, повышение рентабельности предприятий обслуживания, концентрация строительства, сокращение его сроков и обеспечение комплексности застройки, экономия эксплуатационных расходов, сокращение размеров отчуждения сельскохозяйственных земель.

Помимо названных результатов, целесообразность подземного исполнения ряда сооружений обуславливается специфическими требованиями эксплуатации самих объектов. При проектировании объектов в подземном пространстве учитываются следующие факторы: надежная защита от воздействия климатических условий, относительная стабильность температуры и влажность воздуха, начиная с глубины 5—8 м. Это благоприятствует размещению под землей складов продовольствия, винохранилищ, кладовых кино- и фотодокументов, ломбардов, а также производств, требующих термостатных условий внутренней среды (радиоэлектроника, точное машиностроение и др.).

Используются и такие положительные характеристики подземных сооружений, как повышенная виброустойчивость и акустическая изоляция по сравнению с наземными сооружениями. Преимуществом подземного решения ряда производств и цехов является способность полов нести повышенные нагрузки от тяжелого технологического оборудования. Суммарный экономический эффект подсчитывается по каждому виду объектов с учетом экономии территории, сохранения сложившейся застройки, а также с учетом условий эксплуатации подземных сооружений: экономии транспортных расходов, транспортного времени, роста торговой прибыли и др [1].

К факторам, приводящим к удорожанию использования подземного пространства, относятся: геологические и инженерно-геологические условия, усложнение инженерно-конструктивных решений подземных сооружений, стесненность при производстве работ в сложившихся массивах застройки. Подземное строительство вызывает дополнительные объемы земляных работ, усиление несущих и ограждающих конструкций, усложнение работ по гидроизоляции объектов, усложнение устройств санитарно-технического оборудования. В то же время подземное строительство позволяет сократить затраты на фундаменты, кровлю,

отказаться от ряда конструктивных элементов наземных зданий, таких, как наружные оконные блоки, внутренние водостоки, отделка фасадов и др. С учетом этих факторов можно считать, что в обычных геологических и гидрогеологических условиях удорожание сметной стоимости объектов в подземном исполнении в 1,5—1,6 раза по сравнению с наземным. Экономическую эффективность подземного строительства характеризует срок окупаемости дополнительных капитальных вложений по сравнению с наземным строительством.

В мировой практике подземного строительства последних лет завоевывает все новые рубежи нетрадиционный подход в организации строительства крупномасштабных проектов средствами частного финансирования на коммерческой основе. Примером успешного строительства и эксплуатации крупного подземного сооружения, финансируемого по данной схеме, является 50-ти километровый железнодорожный тоннель под проливом Ла-Манш, соединяющий Англию с континентальной Европой и ежегодно приносящий компании «Евротоннель» прибыль около 500 млн. дол. США. Для строительства данного тоннеля были привлечены капиталы 220 частных банков из 26 стран мира и 550-ти тысяч акционеров (физических и юридически лиц), что позволило сконцентрировать к началу строительства в банке компании средства (12 млрд. дол. США) для полного обеспечения строительства тоннеля.

В перспективе строительство 100-километрового тоннеля под Беринговым проливом, соединяющим Россию с Аляской (США), 54-километрового тоннеля под Гибралтарским проливом, соединяющим Европу с Африкой, сооружение тоннеля под Татарским проливом (10 км) для соединения материковой России с о.Сахалин, который должен быть соединен 43-х километровым тоннелем с Японией, т.е. создание в ближайшие 30 лет единой системы железных дорог. В последние годы на новых объектах подземного строительства активно проводилось опробование новых более прогрессивных организационных схем, включающих передачу функций надзора за производством комплексных контрактов на весь объем изыскательных работ [13].

Использование подземного пространства для размещения различных объектов народного хозяйства должно базироваться на тщательно обоснованной экономической оценке. Наиболее объективным критерием такой оценки является сравнительная экономическая эффективность подземного предприятия и его наземного аналога. Наблюдаемая за последнее время тенденция к росту числа подземных предприятий (складов, хранилищ), объясняется наряду с другими причинами и их высокой экономической эффективностью. Это подтверждается тем, что значительное число объектов за рубежом строится и эксплуатируется частными фирмами [13]. Подземное строительство получило широкое развитие при сооружении различных объектов специального назначения: емкостей для хранения жидких углеводородных газов и продуктов переработки нефти, подземных складов, гаражей, холодильников, убежищ, промышленных предприятий. Это объясняется рядом преимуществ подземных сооружений перед наземными.

Одним из наиболее экономичных решений является подземное размещение складов и холодильников. Так, при подземном расположении стоимость строительства складских зданий в 4 раза ниже, затраты при эксплуатации — в 10,6 раза меньше, чем при наземном размещении. Стоимость строительства холодильников при подземном размещении в 3,3, а эксплуатационные расходы — в 11,6 раза ниже, чем при наземном расположении. Эти данные получены при сопоставлении подобных крупных холодильников, построенных в Канзас-Сити и Сан-Паулу (США). При оценке затрат энергии оба холодильника были отключены, что вызвало повышение температуры в наземном холодильнике на 0,6 °С в час, а в подземном — на 0,6 °С в день. Гораздо лучшая теплоизоляция и теплоемкость среды позволяют не только экономить электроэнергию, но и подключать подземные холодильники к электросети, минуя пик потребления электроэнергии, и снижать мощность подземных холодильных установок.

Строительство подземных емкостей для хранения жидких газов и продуктов переработки нефти оправданно значительным повышением технико-экономических

показателей этого вида сооружений в сравнении с наземными стальными резервуарами: резкое снижение стоимости и расхода стали, благоприятные условия хранения (нет испарения), постоянное давление, отсутствие коррозии, опасности пожаров и др. При создании подземных складов достигается весь компактное их расположение (многоэтажное расположение помещений), при этом снижается стоимость сооружения, упрощается технический надзор, охрана и уменьшаются текущие расходы по эксплуатации.

В последние годы зарубежными специалистами предпринимаются попытки дать приближенную оценку эффективности приспособления отработанных горных выработок под производственные и складские объекты. По данным американских специалистов, стоимость выемки камеры высотой 6,1 м составляет 27 долл./м², а дополнительные затраты на ее переоборудование (кондиционирование воздуха, дополнительное крепление, освещение, водоснабжение и пр.) 96 долл./м². Таким образом суммарные затраты достигают 123 долл./м². Стоимость же аналогичного наземного помещения по имеющимся данным составляет 322 долл./м².

Таким образом, использование подземного пространства составляет примерно треть, а точнее 38,4 % расходов на строительство наземных объектов [13]. За рубежом (Швеция) высказываются соображения, что строительство подземных заводов более целесообразно и экономично, в сравнении с заводами на поверхности, ввиду сокращения эксплуатационных расходов по ремонту крыш, окраске, остеклению и затрат на охрану и обеспечение пожарной безопасности. При этом создается лучшая маскировка предприятия и защита от заражения отравляющими веществами и радиации, что можно легко достигнуть созданием повышенного давления воздуха в подземных цехах и предотвращением проникновения неочищенного воздуха извне.

Капитальные затраты по сооружению подземных камер для размещения в них промышленных предприятий все же выше на 15-30%, чем аналогичные затраты на строительство подобных предприятий на земной поверхности. Но если принять в расчет текущие затраты, то разница в стоимости между строительством подземных и наземных сооружений становится незначительной [2]. Стоимость в целом подземных предприятий выше в сравнении с наземными примерно на 30%. Подземные склады дороже наземных на 70%. При использовании ранее сооруженных горных выработок стоимость строительства подземных предприятий, размещаемых в них, примерно такая же, как и наземных (исключение – предприятия химической промышленности). На стоимость подземных предприятий также оказывает влияние величина площади предприятия – с увеличением площади стоимость 1м² снижается.

Технико-экономические расчеты, выполненные в последние годы, показали, что при размещении в отработанных горных выработках предприятий точного приборостроения капитальные затраты и эксплуатационные расходы находятся на уровне аналогичных наземных предприятий. При этом стоимость общестроительных работ снижается в 1,5-2 раза. Особенно высокая эффективность отмечается на подземном заводе в г. Канзас-Сити, производящем точные приборы и инструменты. Это объясняется резким снижением брака и повышением качества продукции вследствие отсутствия вибрации в подземных цехах. Высокая экономическая эффективность отмечается и на подземных гидроэлектростанциях. Их капитальные затраты равны (Швеция) или ниже, чем при строительстве наземных открытых ГЭС, а эксплуатационные расходы ниже [12]. К достоинствам подземных сооружений можно отнести и значительное сокращение потребности в дефицитных строительных материалах (конструктивный и ячеистый бетон, цемент, железобетон, металл и др.)

Отдельные примеры строительства производственных зданий показывают, что подземное пространство выгодно для размещения технологий, чувствительных к вибрациям, шуму. Так, в США под землей были размещены основные производственные мощности прецизионного приборостроительного завода (Канзас-Сити). При этом исчезла необходимость изоляции чувствительных машин от вибрации и устройства тяжелых

фундаментов для ряда машин (так как вокруг здания бесконечно большая масса грунта, обеспечивающая состояние инерции покоя); возросла долговечность машин; снизились затраты на поддержание постоянных температуры и влажности; отпала необходимость в уходе за фасадными поверхностями; сократились вероятность пожаров и затраты на пожарную охрану; исчезли отрицательные влияния погодных явлений; до 63 % снизились расходы на отопление и до 90 % — на охлаждение, причем кондиционеры стало возможным включать не в часы пик расходования электроэнергии. В итоге эксплуатационные расходы снизились с 50÷70 тыс. долларов в год (при наземном размещении завода) до 3,2 тыс. в год (под землей), страхование на 1000 долларов основных средств снизилось почти в 30 раз.

Опыт строительства производственных зданий в Швеции, Норвегии, Франции подтверждает возможность экономичного размещения под землей в суровых климатических условиях (при повышенном энергопотреблении на отопление) или при необходимости кондиционирования воздуха. Так, в Норвегии при строительстве крупного телефонного узла сравнивали варианты его подземного и наземного расположения. Так как стоимость 1 м² подземного здания — 3100 крон, а наземного — 2400 крон, определяющими оказались экономия 55 % электроэнергии и отсутствие свободной площади для наземного здания в центре. Объект был построен под землей, причем к нему пристроены подземный плавательный бассейн и сооружение гражданской обороны общей площадью 40 тыс. м². Во Франции под землей размещено несколько районных электростанций, узлов связи. Так, под парком Тюильри находится крупнейший узел дальней связи, для сооружения которого было разработано 150 тыс. м³ грунта и уложено 45 тыс. м³ железобетона. При этом, благодаря оригинальному методу подкрепления поверхностного слоя грунта были сохранены все зеленые насаждения парка.

Термическая стабильность грунта — определяющая характеристика при технико-экономической оценке заглубленных и наземных жилых зданий. Возведение таких зданий под землей сопряжено с дополнительными работами: разработка большего объема грунта; усиление элементов в связи с давлением грунта, создание изоляции и дренажа, озеленение поверхности с обратной засыпкой и планировкой. Поэтому очень важно снизить затраты на эксплуатацию, в основном — на отопление. Общие затраты на строительство заглубленных жилых зданий выше, чем при их наземном размещении. Возможно, что совершенствование конструктивных решений и способов производства работ позволят в дальнейшем несколько снизить стоимость гидроизоляции, дренажа, конструкций стен и перекрытий подземных зданий.

Пока, если не учитывать стоимости земли, потенциальная экономия энергии в течение срока эксплуатации здания является определяющим фактором при выборе варианта его размещения. При сопоставлении стоимости строительства и эксплуатации жилого дома в течение 12 лет службы при заглубленном и наземном размещении выявлено, что начиная с седьмого года эксплуатации, вследствие экономии около 60 % энергии окупаются первоначальные повышенные расходы. Вместе с тем при строительстве зданий в районах с высокой стоимостью земли (курортные регионы, города и другие) выбор варианта расположения может в первую очередь зависеть от стоимости земли и ряда работ при наземном размещении (снос существующих зданий и др.).

1.4 Примеры использования подземного пространства городов

Одной из проблем больших городов является нерациональное использование имеющихся земельных ресурсов. По оценкам специалистов площади городских территорий превышают требуемые в 2-2,5 раза, что влечет за собой ряд негативных последствий: дефицит земельных участков под жилое строительство; увеличение протяженности инженерных и транспортных сетей; отвлечение средств городского бюджета на инженерное оборудование и благоустройство территорий [7].

Другой проблемой интенсивно растущего и развивающегося мегаполиса является рост автомобилизации. Например, в Санкт-Петербурге в период с 1985 по 1996 гг. парк индивидуальных автомобилей увеличился с 200 тыс. до 600 тыс. единиц, при том, что количество парковочных мест увеличилось со 160 тыс. до 370 тыс. машино-мест, в основном за счет открытых автостоянок. Отсутствие достаточного количества парковочных мест приводит к тому, что автовладельцы располагают свой транспорт на проезжей части, на тротуарах, во внутриворотовом пространстве, зачастую прямо на газонах. Часть гаражных боксов размещается в санитарных зонах вблизи железнодорожных магистралей, что не украшает городской ландшафт. Открытые автостоянки все больше и больше занимают и без того дефицитное пространство.

Подземное строительство сооружений улично-дорожной и транспортной сети позволяет организовать скоростное движение автотранспорта и одновременно повысить безопасность движения пешеходов. Отсутствие задержек автомобильного транспорта перед светофорами и в «пробках» снижает затраты времени на передвижение по городу, способствует снижению уровней транспортных шумов, а также уровней загрязненности воздушного бассейна выхлопными газами автомобилей. Основным средством организации скоростного движения наземного транспорта является устройство транспортных и пешеходных тоннелей мелкого заложения, а также автотранспортных тоннелей глубокого заложения (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схематический план трасс скоростных подземных автомагистралей. Москва

Общие принципы проектирования автотранспортных тоннелей в городах сводятся к следующему:

- выбору автомобильных трасс, на которых целесообразно устройство тоннелей;
- обеспечению полного разделения в тоннелях встречного движения;
- исключению слияния в тоннелях второстепенных потоков с главными потоками транспорта.

Строительство автотранспортных тоннелей целесообразно на отдельных участках наиболее загруженных магистральных улиц и дорог, как средство повышения их пропускной способности. Для обеспечения сохранности исторической застройки города строительство автотранспортного тоннеля часто оказывается единственным возможным решением. В городских условиях могут быть использованы автотранспортные тоннели для двухстороннего и одностороннего движения. Тоннели второго типа позволяют «развести» встречные потоки транспорта, а также целесообразны при необходимости обхода

фундаментов капитальных сооружений и монументов или при необходимости устройства съездов между тоннелями. Различные типы транспортных тоннелей могут быть составными элементами развитых в плане многоярусных транспортных пересечений и узлов. При этом использование двухъярусных и многоярусных транспортных тоннелей, на каждом уровне которых движение является односторонним, повышает безопасность движения. Городские тоннели специальных типов могут быть использованы для преодоления водных преград.

1.4.1 Автомобильные стоянки и гаражи

За последние годы резко выросло количество автомобилей и улицы, парковки и гаражи просто не справляются с таким количеством транспорта. Не хватает мест для постоянной и временной стоянки автомобилей, а рост количества парковок и гаражей гораздо ниже темпов роста количества автомобилей. Изначально не рассчитанные на такое интенсивное дорожное движение и количество автомашин места для парковок и гаражей, испытывают большую нагрузку и владельцы автомобилей вынуждены искать самые разные способы для того, чтобы найти место для своего железного коня днем или ночью [5].

Заветной мечтой многих автовладельцев является гараж или, еще лучше, подземный гараж, расположенный под жилым домом. Наземные, отдельно стоящие гаражи, имеющие бетонный фундамент и даже погреб, являются традиционным местом для постоянной стоянки автомобиля. Постройка таких капитальных гаражей на отдельных участках, создание ГСК (гаражно-строительных кооперативов) были обычной практикой в СССР. Дефицит парковочных мест наиболее остро ощущается в центре города, исторически имеющем ограниченность свободных территорий, а также в т.н. «спальных» районах – районах массовой жилищной застройки 60-70-х годов. Данные районы за последние 10-15 лет получили в рамках «уплотнительного» строительства резкий рост численности населения, увеличение нагрузки на городскую инфраструктуру, уменьшение площадей свободных земельных участков. Именно здесь располагается большинство плоскостных объектов хранения автомобилей, активно закрывающихся в последнее время. Несмотря на прочность и надежность таких гаражей, у них имеются и недостатки. Самый важный из них – неудобное расположение. Гаражи обычно располагаются внутри жилых кварталов и дорога от дома до гаража может оказаться довольно длинной. Это неудобно, а позднее возвращение еще и опасно, в связи с ухудшением криминогенной обстановки. Территория ГСК зачастую неблагоустроена – мусор, пролитые бензин, масло и т.д., неопрятный внешний вид самих гаражей. ГСК сегодня признаны неэффективным способом размещения автомобилей, современные конструкции способны разместить на такой же площади большее количество машин.

Важную роль играют и факторы, определяющие саму возможность создания парковки того или иного вида. С одной стороны, «уход под землю» является порой единственно возможным вариантом строительства в окружении исторической застройки. С другой – различного рода подземные коммуникации, сложная гидрогеологическая обстановка в городской застройке, необходимость укрепления фундаментов стоящих рядом домов лишь увеличивают и без того немалую стоимость подземных паркингов.

Оптимальным размещением автомобилей в городе и в спальных районах сегодня являются подземные гаражи и паркинги. Устройство машиномест под зданиями позволяет не занимать землю в городе, которая имеет высокую цену. Расположенные под жилыми домами и сооруженные из железобетонных конструкций подземные гаражи и боксы гарантируют полную сохранность автомобилей. Подземные автостоянки, предназначенные для постоянного хранения автотранспорта, допускается располагать под жилыми и общественными зданиями, участками зелёных насаждений, спортивными сооружениями, под проездами, наземными автостоянками, а также в виде отдельно расположенных сооружений. Наряду с подземными возможно строительство полуподземных автостоянок, верх которых располагается на 0,5-0,6 м выше поверхности земли. В некоторых случаях проектируются

подземные автостоянки тоннельного типа, представляющие собой отрезки тоннелей длиной 150-200 м, сооруженные закрытым способом. Такие автостоянки устраиваются с использованием естественного рельефа местности, что упрощает устройство подъездных путей, сокращает объёмы земляных работ. Схемы удобных въезда и выезда из подземных парковок давно отработаны и с успехом применяются во всем мире.

Стоимость подземных гаражей, так же как и их качество и надежность, высоки, но нельзя не признать, что такие затраты полностью себя оправдывают. Успешные, состоявшиеся люди знают цену своему времени и комфорту и предпочитают решать все проблемы самым эффективным и надежным способом. В настоящий момент можно выделить два варианта замены гаражных комплексов многоярусными гаражами:

При первом варианте участники гаражных объединений самостоятельно занимаются строительством гаражей. В этом случае они получают участок под застройку целевым назначением на льготных условиях (с них не требуют отчисления на развитие городской инфраструктуры); второй вариант заключается в продаже коммерчески привлекательных участков через торги.

В качестве сопутствующей проблемы необходимо отметить также недостаточное количество современных стационарных объектов обслуживания автомобилей для автомобилей среднего ценового сегмента. Значительная часть таких объектов базировалась на территории ликвидируемых ГСК и КАС, или на земельных участках, оформленных во временную (до 3-х лет) аренду. Анализ показывает, что до 90% владельцев отечественных автомобилей и не менее 50% владельцев автомобилей иностранного производства, после окончания гарантийных сроков перестают обслуживаться на дилерских СТО (отличающихся высокими ценами) и переходят на более дешевое обслуживание. Существующий спрос на стационарные помещения с долговременной (более 10-ти лет) арендой земельных участков для обеспечения услуг экспресс - ремонта, диагностики, мойки, шиномонтажа, замены масла и тормозных колодок, других услуг автосервиса, превышает существующее на рынке предложение.

Осуществляемый проект реконструкции и строительства многоэтажных многофункциональных паркингов полностью укладывается в стратегию решения проблемы парковочных мест в Санкт-Петербурге. С учетом местоположения объекта и предусмотренных в нем встроенных коммерческих площадей можно утверждать, что проект в настоящий момент является актуальным и имеет все шансы быть экономически обоснованным для реализации.

При определении цен в многоэтажных гаражных комплексах застройщик учитывает этажность строения, то есть цена 1 кв. м бок зависит от этажа. Первый этаж самый удобный, следовательно, самый дорогой. 1 кв. м в первом этаже 5-этажного кирпичного гараж-паркинга стоит 23 тыс. 500 руб., на четвертом-пятом - 16 тыс. 900 руб. Стоимость кв. м ближе к центральным районам города, конечно, выше, но в последнее время наметилась тенденция к выравниванию цен. Стоимость приобретения 1 кв м подземного гаража приравнивается или очень близка к стоимости приобретения квартиры. В связи с этим люди не готовы отдавать свои деньги на покупку "золотого" гаража, поэтому застройщики искусственно снижают цены, чтобы вернуть часть капиталовложений.

При проектировании подземных гаражей необходимо обеспечить выполнение ряда общих требований. Это безопасность, технологичность, удобство въезда и выезда (они располагаются отдельно), хорошая гидроизоляция, наличие ряда инженерных систем, обеспечивающих микроклимат (вентиляции и контроля загазованности, отопления), а также пожаротушения и дымоудаления, связи, освещения, и наконец – достаточная для всех типов автомобилей высота потолков и ширина въездов-выездов и парковочных мест. В реальных условиях городской застройки обеспечить многие из этих требований – задача нетривиальная.

Гидрогеологические условия – одна из важнейших характеристик площадки, выбранной для строительства подземного гаража. Подземные воды и состав грунтов могут

ограничить глубину заложения и усложнить процесс строительства. К тому же любое крупное сооружение само влияет на поземный водоток, и приходится учитывать влияние создаваемого гаража на фундаменты окружающих зданий. Именно неучёт этого обстоятельства иногда приводит к конфликтам с собственниками окружающих строений.

При проектировании учитывают и градостроительные ограничения, в частности – охранные зоны памятников архитектуры, различных коммуникаций и т.п. Вместе с тем необходимо выполнение требования по обеспечению 10-минутной пешеходной доступности для владельцев автомашин.

Наиболее сложной задачей является устройство подземных стоянок в жилой зоне и под дорогами. Создание подземных гаражей на придомовой территории допускается под проездами, открытыми автостоянками, спортивными площадками. В этом случае на первый план выходит обеспечение санитарных норм.

Расстояния от подземных гаражей до жилых домов, общественных и административных зданий не нормируются. Однако необходимо выдерживать санитарные разрывы от мест выбросов загрязняющих веществ и источников шума. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, расстояние от въезда-выезда и от вентиляционных шахт до этих зданий должно составлять не менее 15 метров. Подземный гараж, организованная непосредственно под проезжей частью, – весьма удобна, однако требует больших затрат на усиление несущих конструкций и покрытия. Эти затраты будут оправданы при наличии нескольких подземных ярусов. С другой стороны, при увеличении числа подземных ярусов резко увеличиваются затраты, связанные с условиями производства работ.

В условиях плотной городской застройки под улицами и проездами устанавливают автостоянки линейного типа. И, по возможности, придают им квадратное, полигональное или круговое в плане очертания (рис 1.2).

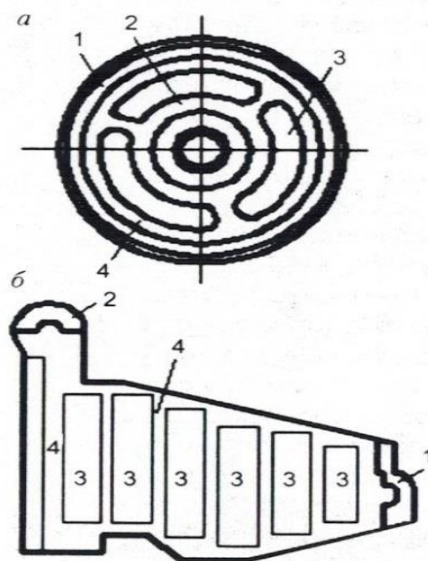


Рис. 1.2. Подземные автостоянки круговой (а) и сложной конфигурации (б) в плане:
1 - въездная рампа; 2 - выездная рампа; 3 - стоянка автомобилей; 4 - проезды.

Размещение мест хранения личных легковых автомобилей необходимо обеспечивать в зоне их пешеходной доступности (по существующим нормативам, в пределах до 500 м). В зонах высотной застройки должны строиться подземные гаражи, непосредственно связанные подземными переходами и лифтами с жилыми зданиями и общественными центрами. При этом организация хранения автомобилей должна быть тесно связана с характером и этажностью застройки. Для районов новой комплексной жилой застройки перспективны

встроенные гаражи, размещаемые в цокольных и подземных этажах многоэтажных домов (особенно в зданиях, поднятых на колоннах), а также полуподземные и подземные гаражи под дворовыми участками, площадями, скверами и бульварами. Этажность таких сооружений может колебаться в широких пределах, а вместимость - от нескольких сотен до нескольких тысяч автомобилей.

В условиях новой малоэтажной жилой застройки гаражи, в том числе подземные, должны быть предусмотрены только в общественных центрах. Постоянное же хранение основной массы автомобилей в этих условиях должно быть обеспечено системой открытых автостоянок, максимально приближенных к домам владельцев автомобилей. Подземные многоуровневые гаражи и стоянки, несмотря на более высокую стоимость их строительства, по сравнению с наземными многоэтажными гаражами, имеют ряд преимуществ, главным из которых является возможность их устройства в тех местах, где вообще недопустимо какое-либо наземное строительство (например, в районах площадей, бульваров, улиц, скверов и др.). Многоярусные подземные гаражи-стоянки, сооружаемые под улицами и имеющие по торцам две шахты со спиральными рампами для въезда и выезда автомобилей, могут иметь малую ширину, ограниченную шириной проезжей части улицы, под которой они сооружены.

При анализе различных вариантов организации постоянного и временного подземного хранения легковых автомобилей в переуплотненных городских и районных центрах должны выполняться:

- определение (на основе расчетного уровня автомобилизации) необходимых размеров соответствующих участков;
- выбор способа организации хранения автомобилей: в одном или нескольких уровнях, в виде отдельно расположенных или встроенных (пристроенных) сооружений;
- контроль удаленности мест хранения с использованием критериев «не ближе», чем это допустимо по санитарным нормам, и «не дальше» от гаража до обслуживаемого им здания или дома владельца автомобиля, чем это также определено нормами (для гаражей второй показатель не должен превышать 500 м, а для автостоянок временного хранения 150 - 200 м).

По-настоящему массовым строительство подземных гаражей стало с появлением на рынке новых строительных технологий и материалов, которые значительно снизили стоимость работ и уменьшили трудозатраты.

Создание высококачественной щитовой и тоннельной опалубки сделало применение монолитного железобетона при строительстве стен подземных парковок одним из наиболее часто используемых решений [15, 16]. Монолитные железобетонные конструкции достаточно дешёвы. Их преимуществом также является возможность строительства в стеснённых условиях. Использование таких конструкций позволяет строить парковки с параметрами (сетка колонн, высота этажа), точно соответствующими габаритам мест хранения и проездов. Применяются и готовые железобетонные конструкции, однако их использование затрудняется малым выбором вариантов плит, подходящих по модулю и техническим параметрам для строительства подземных стоянок. Полы подземных гаражей сегодня чаще всего устраивают бетонные с упрочнённым верхним слоем или с мастичным наливным покрытием. Преимущества таких полов: простая технология, низкие трудозатраты, высокая ударо-, водо- и маслостойкость, отсутствие пыли – сделали их исключительно популярным решением.

Перекрытия подземных гаражей могут быть балочными или монолитными. В перекрытиях балочного типа используют стальные или железобетонные балки (ригели). Железобетонные ригели рационально применять в каркасных стоянках с железобетонными колоннами и небольшими пролётами. Металлические балки позволяют перекрывать гораздо больший пролёт и применяются в каркасных зданиях – как с железобетонными, так и с металлическими колоннами. Перекрытия по стальным балкам осуществляются

большеразмерными и мелкогазмерными железобетонными плитами. Использование последних позволяет снизить толщину перекрытия, а также уменьшить стоимость строительно-монтажных работ. Монолитные перекрытия имеют меньшую толщину по сравнению со сборными и дают возможность перекрывать здания сложной конфигурации в плане.

Рампы гаражей могут быть обособленными для пропуска только въезжающих или только выезжающих автомобилей и совмещёнными для пропуска встречных потоков. Иногда устраивают полурампы, смещая перекрытия соседних помещений стоянки на половину высоты яруса. Возможно устраивать наклонные междуярусные перекрытия, на которых устанавливают автомобили. Такой вариант исключает необходимость создания рамп, экономя площадь, однако при этом значительно усложняются строительные работы. Несущие стены и перекрытия рамп выполняют железобетонными.

По способу установки авто различают автостоянки:

- манежного типа;
- боксовые с изолированными местами стоянок;
- комбинированные – часть стоянок в таких гаражах открытая, часть – изолированная.

По территориальному расположению подразделяют на три группы:

1. Стоянки, обслуживающие центральные районы. Для них характерна частая смена автомобилей, непродолжительная стоянка, поэтому въезды и выезды имеют большую пропускную способность. Технология их работы базируется на поточном (круговом) движении.
2. Гараж-стоянка, обслуживающая главным образом работников городских организаций, живущих за городом. Располагаются, как правило, вблизи станций метро вне центра города. Рассчитаны на хранение авто на полдня или весь день.
3. Гаражи в жилых кварталах. Обычно 1-2—ярусные в подвальных этажах домов или под дворами. Тарифы таких стоянок самые низкие.

В подземных гаражах могут применяться одно- или двухсторонние схемы расстановки авто. При постоянном хранении предпочтение отдают двухсторонней однорядной схеме установки транспортных средств перпендикулярно к оси проезда. Ширина стояночного места для одного авто составляет 2,2-2,5 м, длина – 4,6-5,3м. Общая площадь одного стояночного места, с учётом проезда, составляет 20-28,5 м² для легковых авто и до 60 м² для грузовых. Ширина проезда, при однорядной расстановке должна быть не менее 3м, при двухрядной – 5-7м. Проезды располагают таким образом, чтобы обеспечить в гараже правостороннее движение. Подземные гаражи могут быть как одно-, так и многоярусными.

По способу въезда авто и перемещения с яруса на ярус различают стоянки нескольких видов:

- *рамповые* - въезд и выезд авто и их перемещение с яруса на ярус производится по прямым или спиральным рампам. Прямые наружные рампы (рис. 1.3) могут иметь уклон до 100 ‰, внутренние до 180‰ и ширину до 3м для одностороннего, 5,5-6м – для двухрядного движения. В некоторых случаях для переезда авто с яруса на ярус устанавливают полурампы, смещая перекрытие соседних помещений гаража на половину высоты яруса или путём устройства наклонных междуярусных перекрытий.
- *механизированные* – рампы отсутствуют. Авто подают на нужный ярус в лифтовых подъёмниках и устанавливают на стояночную площадку.
- *полумеханизированные* – авто опускаются на подземный ярус лифтовым подъёмником и устанавливаются водителем на стояночную площадку.
- *автоматизированные* – все операции по перемещению на подземный ярус выполняются средствами дистанционного управления без доступа

обслуживающего персонала, высота яруса уменьшается до минимума, отпадает необходимость в создании систем искусственной вентиляции, освещения, отопления.

Механизированные, полумеханизированные и автоматизированные автостоянки, в соответствии со строительными нормами, действующими на территории Москвы, допускается проектировать при размещении на этаже не более 30 машиномест. Во все остальных случаях, в соответствии с правилами противопожарной безопасности, необходимо предусмотреть не менее одной ramпы для выезда авто наружу. Высота помещений в местах проезда и хранения автомобилей, а также на пешеходных путях, должна быть не менее 2,0 м от пола до низа выступающих конструкций и подвесного оборудования. Толщина слоя грунта над верхним перекрытием составляет 1,5—2 м. Параметры одного машиноместа, ramп и проездов определяются в зависимости от габаритов автомашин (или специальной техники), для которых проектируется автостоянка, их маневренности и планировочного решения, с учётом технического оснащения. Состав и площадь помещений и параметры автостоянок с механизированными устройствами для перемещения автомобилей проектируются в соответствии с техническими особенностями используемой системы парковки и перемещения автомобилей. Посты технического осмотра, мелкого технического ремонта, помещения дежурного персонала, насосные пожаротушения и водоснабжения, трансформаторные размещаются не ниже первого этажа подземного сооружения. Не допускается предусматривать посты технического осмотра и мелкого технического ремонта в автостоянках, размещаемых под жилыми домами, и разделять места стоянки автомобилей на боксы.

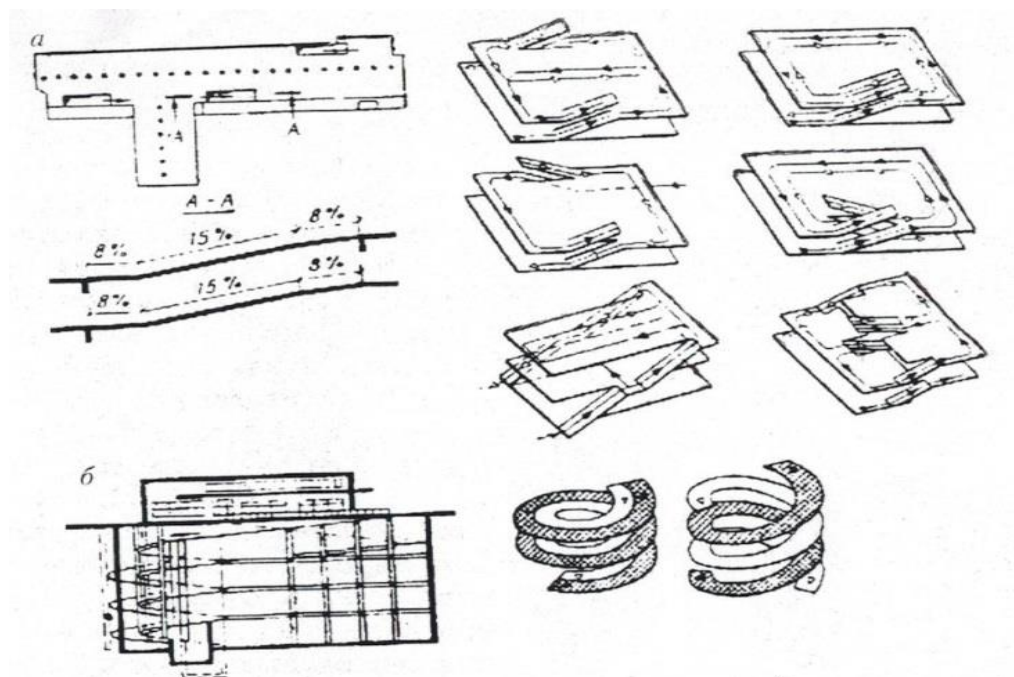


Рис. 1.3 Виды прямых(а) и спиральных (б) ramп

1.4.2 Инженерные системы подземного гаража

При строительстве подземных гаражей особое внимание уделяется пожарной безопасности, что в свою очередь отражается в более высоких требованиях к пределам огнестойкости железобетонных плит перекрытий, ригелей, колонн и систем вентиляции и дымоудаления. Основной причиной потери несущей способности железобетонных конструкций при пожаре является быстрый прогрев бетона и армирующих элементов. Особенно это актуально для подземных гаражей, где железобетонные плиты перекрытия

эксплуатируются в режиме повышенной влажности. При объёмной влажности бетона более 5% потеря целостности конструкций может наступить после 5-20 минут воздействия пламени. Образование сквозных трещин во влажном бетоне – одна из самых важных проблем огнезащиты железобетонных конструкций. Если предотвратить потерю несущей и теплоизолирующей способности можно увеличением толщины плиты, то защита бетона от образования таких трещин возможна только с помощью дополнительной теплоизоляции. Кроме того, помимо создания необходимого предела огнестойкости, следует увеличить коэффициент сопротивления теплопередаче.

Сегодня при строительстве гаражей чаще всего применяется система огнезащиты железобетона на основе плит из каменной ваты, которая служит одновременно и теплоизоляцией. Плиты из каменной ваты (например, мирового лидера в области ее производства ROCKWOOL) – материал, способный выдерживать температуру около 1000 градусов, при этом не выделяющий в случае пожара токсичных веществ. Специализированные плиты из минеральной каменной ваты ROCKWOOL ФТ Барьер обеспечивают огнестойкость перекрытия до 4 часов. Кроме того, плиты из каменной ваты обеспечивают и необходимую теплоизоляцию. При этом они устойчивы к воздействию влаги, углеводородов и удобны в монтаже: крепятся к перекрытию механическим способом с помощью металлических анкеров IDMS, что позволяет проводить монтажные работы круглый год.

Электрические сети подземных гаражей обычно прокладывают скрыто в пустотах плит перекрытия или в кабельных лотках. При маневрном хранении, как правило, проектируют общее освещение зоны хранения, а при боксовом – раздельное освещение боксов и проездов. На парковках предусматривают три вида освещения: рабочее, аварийное и эвакуационное, ремонтное. Приточно-вытяжную вентиляцию предусматривают для обеспечения требуемых условий воздушной среды. В многоэтажных гаражах с изолированными рампами для каждого этажа проектируют отдельные приточные и вытяжные системы. При проектировании систем вентиляции необходимо предусматривать мероприятия, обеспечивающие снижение уровня шума до нормированного уровня (65 Дб). Для стоянок, встроенных в жилые дома, предполагается шумопоглощение с учётом работы вентиляции в ночное время. Эти решения могут быть совмещены с теплоизоляцией и противопожарной защитой систем вентиляции. Хорошо зарекомендовал себя для этих целей, например, такой материал, как Wired Mat на основе каменной ваты, который, помимо обеспечения звукоизоляции, способен выступать и в роли огнезащитного материала, гарантируя предел огнестойкости до 4 часов.

Для подземных гаражей обязательна система мероприятий по дымоудалению. Автоматическая вентиляция включается в случае появления дыма и даёт дополнительную тягу. Если венткамеры расположены на каждом этаже, забор продуктов горения осуществляется из верхней части горящего помещения, выброс – посредством вытяжного вентилятора через вертикальную шахту. При этом каждая дымовая зона на этаже должна быть присоединена к отдельной дымовой шахте.

Для эффективной работы систем дымоудаления их необходимо покрывать огнезащитным материалом с пределом огнестойкости 2,5-3 часа. Самовспучивающиеся огнезащитные покрытия не могут выполнить этих задач, так как высокая температура дыма внутри вентиляционного короба заставляет составы вспучиваться, разрушая его. Наиболее эффективными средствами огнезащиты для систем дымоудаления являются рулонные материалы на основе минеральной каменной ваты. Самыми надёжными из них остаются прошивные маты на металлической сетке Wired Mat 80.

В гаражах предусматривают водопровод, причём системы хозяйственно-бытового водоснабжения, внутреннего пожарного водопровода и автоматизированного спринклерного пожаротушения делают раздельными. Для поддержания постоянного давления в трубопроводах предусматривается насосно-пневматическая станция.

Чаще всего применяют спринклерные установки пожаротушения, предназначенные для обнаружения и ликвидации пожара и выдачи сигнала на щиты пожарной сигнализации. Под потолком устанавливаются оросители, через которые в случае пожара распыляется вода. В противопожарных стенах над проёмами устанавливаются дренчерные завесы. При включении пожарных насосов подаются сигналы на станцию пожарной сигнализации и для отключения электропитания общеобменных вентсистем, и для включения противодымной вентиляции.

Важность гидроизоляции объясняется разрушением арматуры при недостаточной гидроизоляции бетона. Поэтому качественная гидроизоляция подземного гаража – это вопрос безопасности и долговечности сооружения. Как правило, в подземных парковках применяется литая и пропиточная гидроизоляция стен.

В последние годы появляются новые эффективные добавки, значительно повышающие плотность бетона, новые гидроизоляционные материалы и технологии, что приводит к улучшению качества и снижению стоимости гидроизоляционных работ. Среди таких технологий можно назвать инъекционную гидроизоляцию нагнетанием вяжущего материала в примыкающий грунт. Для её устройства всё шире применяются новые полимеры. Большое значение имеет гидроизоляция деформационных швов. Помимо водонепроницаемости, уплотнения швов должны обладать высокой гибкостью, чтобы они могли свободно следовать за деформациями сооружения.

Помещения постов мойки, ТО и ТР, контрольно-пропускных пунктов, диспетчерских, а также электрощитовую, насосную, узел ввода водопровода в парковках всегда проектируют отапливаемыми. Во многих парковках учитывают отопление зоны хранения и рамп. Температура в зоне хранения гаражей предусматривается +5°C, в постах мойки ТО и ТР +18°C. Отопление, как правило, проектируют воздушное, совмещённое с приточной вентиляцией.

1.4.3 Комплексное освоение подземного пространства

Автотранспортные подземные гаражные комплексы тоннели могут входить в состав более сложных комплексов (рис. 1.4), включающих станции метро мелкого заложения, железнодорожные пути и другие транспортные сооружения. Во многих случаях рациональными оказываются решения, в которых автотранспортные тоннели и эстакады, связанные между собой системами съездов, являются элементами единого дорожно-транспортного комплекса. Для повышения скорости движения по городу автотранспортные тоннели и другие дорожно-транспортные сооружения должны представлять собой единую целостную систему. При этом автотранспортные тоннели глубокого заложения при высокой, по сравнению с метро, стоимости их строительства и относительно небольшой, по сравнению с ним, пропускной способности в массовом порядке строиться не могут. Для организации непрерывного транспортного движения и повышения безопасности движения пешеходов необходимо создание систем подземных переходов. Общая протяженность отдельных подземных переходов определяется шириной проезжих частей улиц и дорог, а также условиями размещения лестниц, пандусов и других элементов этих сооружений. Для сокращения строительной длины переходов их обычно трассируют перпендикулярно продольной оси пересекаемой улицы или проезда. В отдельных случаях может возникать необходимость трассирования подземных переходов под острым углом к оси улицы или в устройстве переходов сложных конфигураций [17].

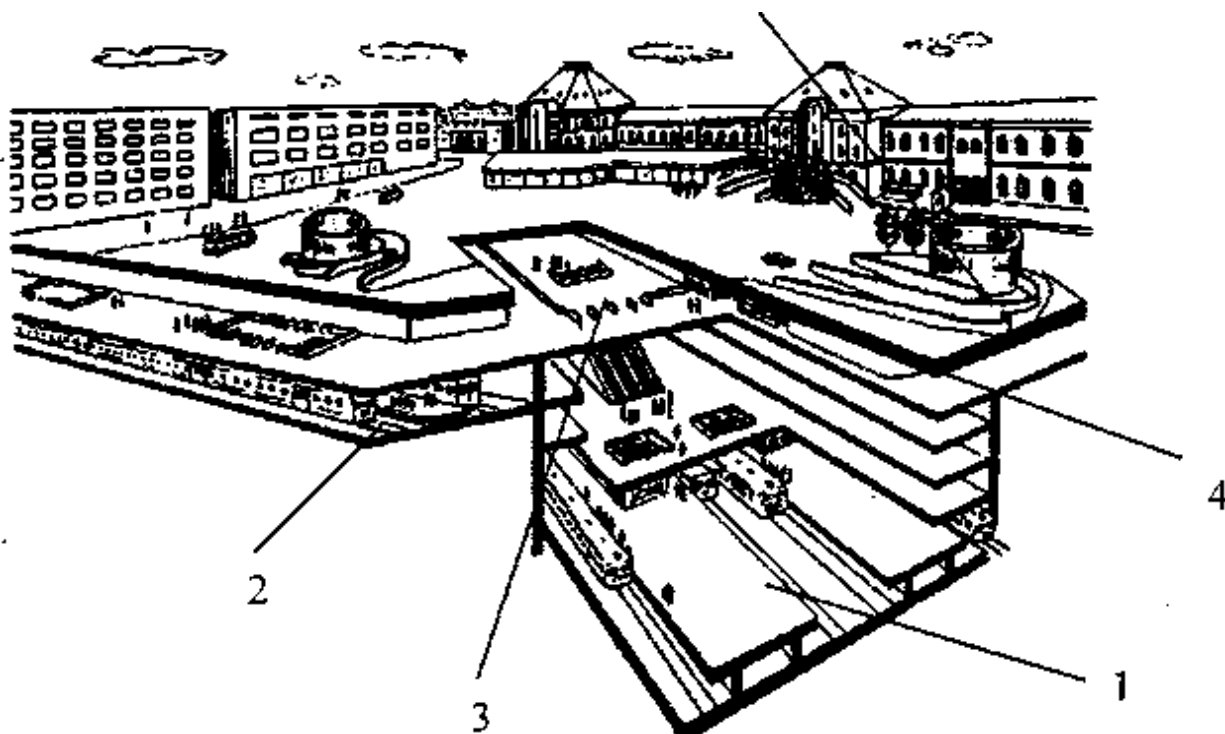


Рис. 1.4. Комплексное использование подземного пространства
(на примере ж/д станции в Токио):

1 — железнодорожная станция, 2 — линия метрополитена, 3 — пересадочный узел, 4 — предприятия торговли, 5 — въезд на автостоянку

В зависимости от пространственно-планировочной организации подземные пешеходные переходы могут быть решены с использованием следующих схем:

- линейные («коридорные»), однопролетные и многопролетные;
- развитые в плане Т-, У-, Н-, Х- и О-образные;
- «зальные», в том числе многопролетные;
- комбинированных типов.

Тоннельные пешеходные переходы (рис. 1.5), как правило, должны совмещаться с остановочными пунктами общественного уличного транспорта, среднее расстояние между остановками которого в городских условиях не должно превышать 300 - 400 м (в отдельных случаях - 500 м). Подземные переходы рекомендуется также совмещать с системой автостоянок и гаражей большой вместимости, а также с другими объектами массового тяготения. В зонах железнодорожных вокзалов рационально совмещение пешеходных тоннелей с подземными подходными коридорами железнодорожных вокзалов и подземными вестибюлями станций метро, которые часто располагаются примерно в одних и тех же узловых пунктах города и приблизительно на одних и тех же отметках. Развитые в плане подземные переходы могут включать в себя различные объекты сферы обслуживания (киоски и магазины штучных товаров, театральные кассы, справочные бюро, блоки телефонов-автоматов и др.). Для городских железнодорожных станций часто вместо надземных пешеходных мостов целесообразны подземные переходы, обеспечивающие меньшую высоту вынужденных подъемов и спусков. По мере роста и развития городов, может оказаться целесообразным переход от строительства систем отдельных пешеходных тоннелей к созданию взаимосвязанных пешеходных улиц и зон, т.е. целых подземных пешеходных пространств [21].



Рис. 1.5. Совмещённый вход в подземный пешеходный переход и на станцию метрополитена, г. Париж, Франция

Формирование концепции подземной урбанистики осуществляется на основе моделирования вариантов развития генерального плана города, в котором решение подземного пространства рассматривается как составная часть градостроительного решения. Органическая взаимосвязь с «поверхностной» планировкой и застройкой, а также между различными типами подземных сооружений и сетей, является основным условием оптимального решения задачи.

В СССР основным направлением в практике освоения подземного пространства являлось строительство объектов стратегического и военного назначения: бункеров, командных пунктов, складов и т. д. Ярким примером может служить подземный город-спутник под Севастополем, который практически полностью дублирует всю инфраструктуру наземного города и даже имеет свою железную дорогу и порт для подводных лодок. Отечественная практика гражданского использования подземного пространства в большинстве случаев связана с устройством инженерных коммуникаций и транспортных сооружений - туннелей, линий метрополитена, станции и пересадочных узлов, строительством убежищ, реже - подземных гаражей и автостоянок, пешеходных переходов различной сложности. Наиболее активно идет строительство в крупных городах, чаще в общегородских центрах и исторически сложившихся районах.

Научно-практический интерес к освоению подземного пространства в городской черте появился в послевоенный период. Над отдельными аспектами использования подземного пространства работали ряд отечественных научно-исследовательских и проектных институтов и отдельные специалисты. В некоторых городах возможность освоения подземного пространства невелика из-за неблагоприятных гидрогеологических условий. Однако острая необходимость в увеличении количества парковочных мест и большой интерес к данному виду недвижимости стимулируют освоение этой области строительства.

Однако проблемы экономики подземного градостроительства далеки от решения. В новых социально-экономических условиях выросло значение и изменились методы оценки земельных ресурсов, появилась необходимость определять коммерческую эффективность и инвестиционную привлекательность проектов. В каждой стране проблема подземного строительства решается по-разному в зависимости от экономического и социального ее развития. Однако некоторые тенденции захватывают практически все страны. В основном роль крупных «подземных» строителей выполняет государство. Строительство подземных культурно-зрелищных объектов сопряжено с серьезными инвестициями, значительно превышающими капитальные вложения в наземные объекты. Однако завышение стоимости

подземного строительства может быть экономически оправданно, и прежде всего, на плотно застроенных территориях центра города, где земля очень дорога. Кроме того, в земле требуется меньше энергии для обогрева помещений в холодный период года, что может привести к сокращению эксплуатационных затрат [4]. Развитие торговых галерей-пассажей взаимосвязано с традиционными городскими торговыми улицами способствует высокой рентабельности существующих объектов. Они нередко поддерживают экономическую эффективность работы относительно мелких специализированных магазинов.

Особенно ярко выражена эффективность освоения подземного пространства в масштабах решения государственных задач, например, организации пассажиропотоков, городских, междугородних и др. и главным образом их узловых точек – вокзалов. В современной зарубежной практике значительное внимание уделяется главным городским площадям, часто являющимися особенно сложными и многофункциональными транспортно-пересадочными узлами. Так, в Берне (Швейцария) комплекс нового железнодорожного вокзала включает в себя ряд объектов: автобусный вокзал, станцию скоростного трамвая, небольшой торговый центр, почтамт, административный корпус. Активно используется принцип их взаимосвязанного и многоярусного размещения на очень стесненном участке. Трехэтажные подземные автостоянки как бы врезаны в примыкающий к станции холм. плоская кровля автостоянок озеленена и является продолжением расположенного в этом же уровне парка. Еще более значительными являются объемы подземных сооружений в Токийском вокзале Синдзюку. В этом комплексе просторная подземная пешеходная зона связывает перроны вокзала со станциями метрополитена, большими универсальными магазинами, остановочными пунктами наземного общественного транспорта и подземной автостоянкой.

1.4.4 Метрополитен

Среди подземных систем специализированного пассажирского транспорта в городах нашей страны преобладают метрополитены. В настоящее время метрополитены эксплуатируются и строятся в десяти городах России: Екатеринбурге, Казани, Красноярске, Москве, Нижнем Новгороде, Новосибирске, Омске, Санкт-Петербурге, Самаре, Челябинске, а проектируется — в Уфе.

Метрополитеном называется городской внеуличный электрифицированный рельсовый транспорт, предназначенный для скоростных массовых перевозок пассажиров. К метрополитенам относят различные виды скоростного внеуличного транспорта, в том числе:

- метро;
- мини-метро;
- «метро центра»;
- экспресс-метрополитен;
- наземный лёгкий метрополитен.

Кроме того, в настоящее время проектируются новые виды скоростного внеуличного транспорта, имеющие различные технические отличия от существующего метро и призванные улучшить качество работы системы скоростного транспорта.

Метрополитен — сложнейшее инженерное сооружение, включающее станционные, перегонные и эскалаторные тоннели, шахтные стволы, камеры различного назначения (для размещения систем водоотлива и вентиляции, санузлов, медпунктов, камер съездов,- службы пути, тягово-понижительных подстанций), кабельные ходки, наземные вестибюли станций. Многие станции имеют высокую архитектурно-художественную ценность, а нередко становятся уникальными произведениями архитектуры (рис. 1.4). В их оформлении используют различные виды мрамора, гранита, декоративной керамики, художественную лепку, римскую и флорентийскую мозаики, скульптуру, фрески, уникальную осветительную арматуру и системы освещения [8].



Рис. 1.4. Вид станции «Измайловская» в 1953 году. Круглый светильник с ободком до настоящего времени не сохранился

Проектирование линий метрополитена базируется на следующих основных принципах создания эффективных транспортных коммуникаций [19]:

1. комфортабельности — наиболее полное удовлетворение потребностей пассажиров путём создания удобной системы массовых скоростных регулярных и безопасных перевозок при соблюдении требований санитарно-гигиенических норм;
2. эксплуатационном — обеспечение гибкой, удобной и безопасной эксплуатации с наименьшими трудозатратами путём создания долговечных и надёжных сооружений, автоматизированных технологических устройств, подвижного состава, современной ремонтной базы;
3. строительном — обеспечение высокого качества при минимальной стоимости и трудоёмкости строительства, путём комплексной механизации работ, ее чёткой специализации, создания индустрии тоннельных конструкций и монтажных узлов;
4. экологическом — обеспечение нормальных условий жизнедеятельности города в период строительства и эксплуатации метрополитена путём выбора рациональной схемы прокладки линий и способов производства работ с учётом требований охраны окружающей среды;
5. технико-экономическом — обеспечение высокого технического уровня строительства и эксплуатации при минимальных трудовых, материальных и финансовых затратах, путём использования современных конструктивных и технологических решений.

Проектирование трассы линий метрополитена определяется городской застройкой и ведётся в соответствии с генеральным планом развития города.

Обычно для городов с численностью населения порядка 1 млн чел. разрабатывают генеральную схему линий метрополитена, представляющую собой долгосрочный стратегический план развития его сети. Схема предусматривает направления, протяжённость и очерёдность строительства линий, места расположения станций, депо, пересадочных узлов между станциями метро и остановочными пунктами железных дорог. В частности, «Генеральным планом развития города Москвы до 2005 года» предусматривается увеличение протяженности линий действующей сети метрополитена и линий скоростного трамвая до 420

км, создание нового пересадочного контура станций на периферии Центрального Административного округа, строительство дополнительных входов и новых станций на действующих линиях.

В большинстве случаев линии метро мелкого заложения прокладывают вдоль основных городских магистралей, резервируя для них техническую зону шириной не менее 40 м для упорядочения строительства наземных и подземных городских сооружений и прокладки инженерных коммуникаций [26].

Для линий глубокого заложения размещение в плане, в первую очередь, определяется расположением станций, между которыми по кратчайшему направлению прокладываются тоннели, вне зависимости от расположения существующей застройки (за исключением особо ценных монументальных сооружений и глубоких размывов коренных пород, которые необходимо обходить). Радиусы кривых принимают наибольшими.

Глубину заложения тоннелей метрополитена назначают [31], исходя из:

- существующей застройки и планировки города;
- ширины городских проездов;
- расположения подземных коммуникаций;
- топографии местности;
- инженерно-геологических и гидрогеологических условий по трассе.

Лучшие эксплуатационные и экономические показатели имеют тоннели мелкого заложения, характеризующиеся тем, что тоннели и станции сооружаются на минимально возможной глубине, от дневной поверхности. Им отдаётся предпочтение при строительстве линий метрополитена во вновь застраиваемых районах, когда не нарушаются и не переносятся крупные городские коммуникации и не возникает необходимости в проведении значительных объёмов работ по укреплению зданий. При мелком заложении линий метрополитена значительно снижается стоимость станционных входов и появляется возможность увеличения их количества. Линии, преимущественно, трассируются под крупными улицами и магистралями и слабо застроенными кварталами.

В центральных районах города предпочтение отдаётся тоннелям глубокого заложения. В этом случае перегонные тоннели и станции возводят в коренных породах. К основным недостаткам таких линий можно отнести более высокую стоимость их строительства, увеличение сроков возведения и затраты времени на вход и выход пассажиров на станции, а также значительные эксплуатационные расходы. Например, стоимость наклонного эскалаторного тоннеля на линиях глубокого заложения составляет до 35% от всей стоимости станционного комплекса.

В районах новой застройки города, если это допускается существующими градостроительными условиями, в целях удешевления строительства проектируют наземные линии метрополитена. Их трасса увязывается с существующей планировкой городской застройки. На пересечении линий метрополитена с улицами и магистралями проектируются автодорожные тоннели, путепроводы и пешеходные переходы. Эти линии имеют самую низкую стоимость строительства и эксплуатации, но из-за повышенного уровня шума и нарушения нормальных условий жизнедеятельности города в местах прокладки они не находят широкого распространения.

В России и большинстве стран мира сеть линий метрополитена построена по принципу независимого движения поездов по каждой линии, с возможностью перехода с одной линии на другую на пересадочных узлах.

Эти узлы представляют собой системы станций, расположенных в разных уровнях на разных линиях и имеющих устройства, обеспечивающие пересадку пассажиров с одной линии на другую.

Габариты тоннелей метрополитенов устанавливаются исходя из условий пропуска состава, применения устройств пути и контактного рельса с нижним токоёмом, размещения оборудования и обеспечения возможности прохода обслуживающего персонала [20].

Габарит приближения оборудования включает в себя габарит подвижного состава с учётом всех отклонений вагона в движении при поломке одного комплекта рессор и возможных смещений верхнего строения пути, причём размещённое за пределами габарита оборудование не должно приходить в соприкосновение с подвижным составом. В нижней части габарита приближения оборудования предусматривают два очертания: для размещения кронштейна с контактным рельсом и для токоприёмника вагона, при отсутствии кронштейна и контактного рельса. *Габарит приближения строений* для перегонных тоннелей кругового очертания включает размещение оборудования и дорожки для прохода служебного персонала, располагаемые с левой стороны по ходу движения состава. Он обеспечивает эксплуатацию вагонов шириной 2,7 м, высотой 3,7 м, применение верхнего строения пути и контактного рельса с нижним токосъёмом. Габарит приближения строений определяет расстояние от оси пути и уровня головки рельсов до обделки тоннеля.

При закрытом способе ведения работ линии метрополитена проектируются в виде двух однопутных тоннелей, расстояние между осями которых обычно принимается равным междупутью на станциях. Ширина целика между тоннелями должна быть не менее наружного диаметра обделки тоннеля (5,5 - 6м).

Станции метрополитена предназначены для обслуживания пассажиров (входа и выхода на станцию, посадки и высадки в поезда, пересадки на другие линии) и осуществления технических функций, связанных с движением поездов.

Станции метрополитенов располагают в местах образования крупных пассажиропотоков: на центральных площадях, пересечениях линий метрополитена с пригородными линиями железных дорог, у железнодорожных, авто- и аэровокзалов, аэропортов, речных и морских пассажирских портов, крупных стадионов и мест отдыха горожан, в районах массовой жилой застройки. Пешеходная доступность станций в периферийных районах принимается не более 700 м, транспортная — 2,2 км; в центральных районах города пешеходная доступность не должна превышать 500 м. Для обеспечения возможности устройства удобных пересадочных узлов станции метрополитена размещают в максимальной близости к существующим и проектируемым станциям других видов транспорта. Расстояние между станциями метрополитена, как правило, составляет 1,2—2 км, но не менее 800 м. В центральной части города оно определяется конкретными градостроительными условиями.

В транспортно-пересадочных узлах протяжённость пешеходных путей от остановочных пунктов наземного транспорта до станций скоростного внеуличного пассажирского транспорта не должна превышать 100 м. В пересадочных узлах типа «метрополитен — пригородно-городская и городская железная дорога» протяжённость пешеходных путей может быть увеличена до 150 м.

Станции в плане стараются располагать на прямой. В исключительных случаях допускается размещать станции на кривых радиусом не менее 800 м. По эксплуатационным условиям станции стараются располагать в профиле «на горбе», что позволяет легче снижать скорость поезда при подходе к станции и увеличивать — при отходе поезда со станции. Длину элемента профиля для станций, расположенных «на горбе», принимают не менее длины посадочной платформы, а для станций, расположенных «в яме», — не менее длины платформы плюс 20 м.

В последние годы всё более широкое распространение завоёвывает тенденция создания новых транспортных линий, призванных обеспечить связь деловых, культурно-исторических и торговых центров между собой и с районами массовой жилой застройки, расположенными на окраинах крупных городов. Это позволит увеличить скорость сообщения и улучшить качество обслуживания пассажиров. К таким линиям, в первую очередь, относятся «мини-метро», имеющие меньшие размеры туннелей и станций «в свету», более короткие расстояния между станциями, более низкие скорости движения подвижного состава. Дополняя уже существующие сети метрополитена проектируются системы «метро центра», которые позволяют создавать более удобные связи для внутрицентровых перевозок. Также в

Москве планируется создание сети экспрессных линий метрополитена. Такие системы существуют во многих крупных городах мира: Париже, Лондоне, Нью-Йорке и многих других. Интеграция различных внеуличных систем рельсового транспорта позволяет приблизить пассажиров к наиболее посещаемым местам города.

Устройство значительных по площади, в том числе и глубоко расположенных многоуровневых подземных пространств не всегда признается необходимым. Примером компактного и логичного решения пересадочного узла может служить Лондонский вокзал «Виктория Стейшен», обслуживающий поезда, идущие к Парижу под проливом ЛаМанш. В принятом решении обеспечены наиболее короткие пути движения пассажиров прибытия и отправления. В соответствии с этим основной пешеходный уровень расположен между уровнем перрона и уровнем проведения билетных, багажных и других операций. [6].

Проблема создания и использования подземного пространства возникает во всех функциональных зонах современных городов, но наиболее актуальной она является в центральных, наиболее плотно застроенных и часто посещаемых районах. Цена 1 кв.м земли в таких центрах значительно высока в сравнении с другими участками города, что влияет на желание заказчика объекта строительства построить на купленной земле здание максимальной этажности. Но часто деловой центр города совпадает с историческим, на который распространяются ограничения этажности застройки. Из-за этого приходится переносить некоторые помещения, эксплуатация которых не связана с длительным пребыванием людей, под землю. И это является единственным возможным вариантом эффективного освоения городской территории.

1.5 Взаимодействие подземного объекта с окружающей природной средой

При строительстве подземных сооружений необходимо проводить всесторонний учёт возможных последствий влияния возводимого сооружения на окружающую среду [18].

В целом, проблемы экологии подземного строительства характеризуются:

- разработкой мероприятий по предотвращению возможных негативных последствий строительства подземных сооружений, включая предотвращение просадок зданий и сооружений на дневной поверхности, нарушение гидрогеологического режима подземных вод, предотвращение проникновения воды из напорных тоннелей в массив, приводящего к образованию размылов и карстов и т.п.;
- выявлением в массиве горных пород зон разуплотнения, опасных для строительства подземных сооружений;
- применением экологически эффективных технологий освоения подземного пространства;
- необходимостью строительства подземных сооружений нового поколения, предусматривающих максимальный комфорт и безопасность пребывания в них людей.

За рубежом с середины 70-х годов прошлого века нашло широкое применение экологическое аудирование промышленных предприятий, смысл которого заключается в стимулировании деятельности производителя по предотвращению или снижению загрязнения окружающей среды.

В РФ экологическое аудирование промышленных предприятий стало проводиться лишь с середины 1990-х годов, и было связано с необходимостью соответствия производственной практики промышленных предприятий международным требованиям и стандартам для получения иностранных инвестиций и участия в международных проектах. Правовой основой этого процесса стали: Постановление правительства РФ № 1229 «О создании Единой государственной системы экологического мониторинга России» от 24.11.93 г. и Приказы Минприроды России: № 412 «Об экологическом аудировании» от 11.10.95 г. и № 540 «Об организации экологического аудита» от 29.12.95 г. С 1 апреля 1999 года были

приняты государственные стандарты: ГОСТ Р ИСО 14001- 98, ГОСТ Р ИСО 14004-98, ГОСТ Р ИСО 14010-98, ГОСТ Р ИСО 14011-98 и ГОСТ Р ИСО 14012-98, базирующиеся на международных экологических стандартах качества ISO 14000.

К настоящему времени назрела необходимость разработки систем экологического аудирования для проектирования, строительства и эксплуатации подземных сооружений, возводимых в крупных городах и городах-мегаполисах. В этом случае основная задача экологического аудирования — это не только независимое исследование всех аспектов хозяйственной деятельности промышленного предприятия для установления размера прямого или косвенного воздействия на состояние окружающей среды, подразумевающее статистическую констатацию существующего положения вещей, но и разработка мероприятий и рекомендаций по наиболее безболезненной интеграции подземного объекта в геоэкологическую среду. Таким образом, *основная задача экологического аудирования подземного строительства — соблюдение баланса между условиями сохранения или минимального нарушения природной среды и полного, качественного и экономически выгодного производственного процесса.*

Экологическое аудирование должно проводиться уже на предпроектной стадии и включать в себя различные виды работ для разных стадий «жизни» сооружения до начала строительства — комплексный геоэкологический анализ территории, включая геомеханическое обеспечение подземного строительства и прогнозирование гидрогеологических условий осваиваемой территории.

Геомеханическое обеспечение подземного строительства включает:

- решение задачи длительной устойчивости сооружения и контроля за напряженно-деформированным состоянием вмещающего массива;
- определение влияния подземного объекта на окружающую его природную среду и инженерные сооружения, на весь период «жизни» объекта (строительство, эксплуатация, реконструкция, ликвидация).

Основной целью геомеханического обеспечения является:

- предотвращение аварийных ситуаций;
- повышение безопасности и эффективности строительных работ;
- обеспечение сохранности и нормальных эксплуатационных качеств зданий, сооружений и инженерных сетей, находящихся в зоне влияния подземного объекта.

Работы по геомеханическому обеспечению выполняются в следующей последовательности:

- оценка естественного напряжённо-деформированного состояния (НДС) вмещающего массива;
- прогнозирование изменений НДС в результате строительных работ;
- контроль за процессами, происходящими в массиве и на поверхности.

Недостаточно полное изучение и учёт инженерно-геологических и гидрогеологических условий района строительства может привести к катастрофическим последствиям, как, например, это произошло в 1998 году при строительстве тоннеля диаметром 4 м, идущего под улицей Большая Дмитровка от Охотного ряда до Страстного бульвара в Москве. Тоннель длиной 740 м сооружался щитовым способом в условиях плотной городской исторической застройки на глубине 20—30 м. При внезапной встрече с водоносными песками, проникшими в тоннель, на поверхности произошло образование воронки диаметром около 30 м и объёмом около 500 м³.

В 1995 году произошло разрушение и затопление центральной части перегонного тоннеля метрополитена в Санкт-Петербурге, пересекающего палеодолину в районе станции «Площадь Мужества». В качестве причин специалисты рассматривают совместное действие несовершенства конструкции тоннеля, построенного в 1971—1975 годах, и проявления ряда

инженерно-геологических и гидрогеологических факторов, проигнорированных при проектировании.

Во время строительства так же производится экологическая оценка: технологии производства работ, ликвидации строительной площадки, общего благоустройства территории. Например, при возведении горного тоннеля Адлер в Швейцарии вынутую породу использовали для засыпки отработанного гравийного карьера в зоне северного портала тоннеля. Гумусовые почвы, разработанные на участке открытых работ, использовали для рекультивации территории, нарушенной при строительстве, что позволило восстановить первоначальный ландшафт и провести на отдельных участках дополнительные лесопосадки.

Наиболее существенное вмешательство в экологию подземного пространства происходит на этапе строительства подземного сооружения, т.к. последствия техногенного вмешательства в существующую экосистему носят необратимый характер. При ведении подземных работ в городских условиях, кроме этого, необходимо обращать внимание на сохранность зданий и сооружений и на изменение гидрогеологического режима подземных вод.

С точки зрения экологичности все технологии производства подземных работ можно подразделить на:

- технологии, неучитывающие экологические требования; технологии, учитывающие экологические требования в неявном виде;
- технологии, в которых экологичность вторична по отношению к экономичности;
- технологии, направленные на минимизацию негативного влияния на природную среду.

Многие годы при строительстве подземных сооружений использовались технологии 1-го и, частично, 2-го типов. Никак не учитывалось изменение сплошности скального массива при проведении буровзрывных работ, влияние цементационных завес и дренажей на гидравлический режим подземных вод, возможность полного осушения водоносных горизонтов и многое другое. Влияние возводимого подземного сооружения на экологию подземного пространства учитывалось лишь в том случае, если изменение инженерно-геологических и гидрогеологических условий вмещающего массива могло сказаться на надёжности и безопасности самого сооружения.

В последние годы, как за рубежом, так и в нашей стране, приоритет отдаётся технологиям 3-го и 4-го типов. Согласно МГСН 1.01-98 «...при разработке проектной документации должна обеспечиваться приоритетность вопросов охраны окружающей среды, рационального природопользования, защиты здоровья и формирования экологически безопасной среды обитания». При выборе способа производства работ всё чаще предпочтение отдаётся наиболее экологичным способам строительства. К ним можно отнести:

1. строительство стволов бурением;
2. способы бестраншейной прокладки инженерных коммуникаций;
3. способ «стена в грунте»;
4. новоавстрийский тоннельный метод (НАТМ);
5. опережающий экран;
6. щитовой и механизированный способы проходки, в том числе с пригрузом забоя.

Применение специальных методов строительства в сложных инженерно-геологических условиях, в частности, пеногрунтового пригруза забоя при щитовой проходке перегонного тоннеля метрополитена, расположенного в аллювиальных породах в г. Валенсия (Испания), позволило выдержать средние значения допустимых просадок земной поверхности в пределах 3 мм. Использование мылообразной пены, помимо снижения проницаемости и повышения устойчивости грунтового массива, повышает вязкость вынимаемой породы. При

этом улучшаются её технологические свойства, снижается абразивность песчаных и гравийных фракций, повышаются эксплуатационные характеристики проходческого комплекса в целом.

Экологически безопасные технологии строительства и эксплуатации подземных объектов позволяют достичь нового уровня освоения подземного пространства за счёт:

- более широкого использования подземного пространства, как среды обитания человека;
- расширения областей применения щитовой и механизированной проходки и НАТМ;
- творческого использования подземного пространства, строительства подземных сооружений нового поколения и развития подземных инфраструктур с учётом требований экологии;
- применения современных подходов к проектированию подземных сооружений, базирующихся на таких дисциплинах, как подземная архитектура, строительная геотехнология, геоника и пр.

Ещё одним важным аспектом подземной экологии является защита подземных выработок и помещений от повышенных концентраций радона. Радон повсеместно поступает в атмосферу из толщи земли, однако его концентрации в атмосферном воздухе весьма незначительны. В закрытых подземных помещениях эти концентрации, достигнув определённых величин, могут нанести ущерб здоровью людей.

Наиболее эффективным способом снижения концентрации радона является правильно подобранная и направленная вентиляция. При этом не рекомендуется организовывать циркуляцию по помещению одного и того же воздуха. Количество радона, поступающего из подземных вод, снижают путем тщательно организованной и выполненной гидроизоляции и дренажа.

2. ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА «СТЕНА В ГРУНТЕ»

2.1 Область применения, и способы производства сооружений методом «стена в грунте»

Метод "стена в грунте" предназначен для возведения заглубленных в грунт сооружений различного назначения [9]. В условиях плотной городской застройки, как правило, зачастую отсутствует возможность строительства подземных сооружений открытым способом с рытьём котлована. Особенно в случаях значительного заглубления объекта площадь котлована на поверхности будет значительно превышать полезную. А если рядом к тому еще и расположены объекты, попадающие в зону влияния земляных работ, то единственным решением становится метод "стена в грунте". Сущность его заключается в том, что стены заглубленного сооружения возводят в узких и глубоких траншеях, вертикальные борта которых удерживаются от обрушения при помощи глинистой суспензии, создающей избыточное гидростатическое давление на грунт и выполняющей роль крепления траншеи. После устройства в грунте траншей необходимых размеров их заполняют (в зависимости от конструкции и назначения сооружения) монолитным железобетоном, сборными железобетонными элементами или глиногрунтовыми материалами. В результате этого в грунте формируют несущие стены сооружений или противофильтрационные диафрагмы.

Метод "стена в грунте" используется при возведении подземных частей и конструкций промышленных, энергетических и гражданских зданий, гидротехнических, транспортных, водопроводно-канализационных инженерных сооружений. В промышленном строительстве методом "стена в грунте" возводятся:

- для комплексов черной металлургии - туннели окалины, скиповые ямы доменных печей, подземные части бункерных эстакад и установок грануляции шлаков, подземные части установок непрерывной разливки стали, корпуса приема и первичного дробления руды, склады для хранения сыпучих материалов;
- для энергетики - вагоноопрокидыватели, транспортерные галереи, атомные реакторы, емкости для хранения отходов;
- для легкой и машиностроительной промышленности рециркуляционные каналы прядильных фабрик, технологические подвальные помещения, коммуникационные туннели.

Широкое применение метод "стена в грунте" находит при возведении гидротехнических и водопроводно- канализационных сооружений, таких как водозаборы, водопроводные и канализационные насосные станции, емкостные сооружения и сооружения для очистки воды и стоков, противофильтрационные диафрагмы для защиты от утечки воды и стоков в окружающий грунт, а также противофильтрационные диафрагмы для защиты карьеров и котлованов от притока грунтовых вод.

Метод "стена в грунте" характеризуется как различными способами выполнения отдельных технологических процессов, так и общей последовательностью их осуществления.

При строительстве стен в грунте в разных условиях выполняются следующие основные технологические процессы:

- бурение одиночных скважин насухо в устойчивых грунтах, а неустойчивых - под глинистой суспензией или с применением обсадных труб с использованием соответственно шнековых, ударных или вращательных (лопастных и шарошечных долот) буровых станков;
- разработка коротких траншей под глинистой суспензией способом секущихся скважин;
- разработка горизонтальными слоями сверху вниз под глинистой суспензией коротких траншей отдельными захватками через одну грейферами или длинных

траншей пионерным способом, то есть сразу на всю глубину с непрерывным наращиванием длины траншеи (обратной лопатой, драглайном, многоковшовым или штанговым экскаватором, а также бурофрезерными машинами);

- устройство монолитных стен в грунте отдельными секциями из твердеющих материалов (бетон, железобетон) или пионерной отсыпкой нетвердеющих материалов (глиногрунтовых, при необходимости в сочетании с пленками);
- устройство сборных железобетонных стен из плоских, ребристых, коробчатых панелей, иногда в сочетании с направляющими колоннами.

На основе этих процессов созданы следующие основные способы строительства стен в грунте:

- «метод секущихся свай», при котором буронабивная стена составляется из вертикальных свай, расположенных в одном створе при частичной врезке свай второй очереди в сваи первой очереди;
- монолитных стен в грунте путем строительства их отдельными секциями в траншеях из "секущихся скважин".

Основными признаками для классификации заглубленных сооружений и их конструкций являются назначение сооружения, объемно-планировочное и конструктивное решение, примененные материалы.

По назначению заглубленные сооружения, возводимые методом "стена в грунте", можно классифицировать следующим образом:

- промышленные - подземные этажи и фундаменты промышленных зданий, скиповые ямы, установки непрерывной разливки стали, колодцы для дробильных цехов горнообогатительных комбинатов, бункерные ямы под вагоноопрокидывателями; технологические галереи, туннели и др.;
- жилищно-гражданские - подземные этажи и фундаменты жилых и общественных зданий, закладываемых на глубину до 30 м;
- транспортные - подземные проезды и переходы под улицами с интенсивным движением, станции и туннели метрополитенов мелкого заложения; подземные автомагистрали; подземные автогаражи и автостоянки и другие подсобные сооружения, закладываемые на глубине до 25-30 м;
- гидротехнические - водозаборы и насосные станции, располагаемые в берегах рек, водохранилищ и озер; противофильтрационные диафрагмы, устраиваемые как в теле, так и в основании гидротехнических подпорных сооружений на реках, в прудах-накопителях для промышленных сточных вод, не поддающихся очистке и загрязняющих поверхностные и подземные воды; каналы и дренажные коллекторы; противооползневые и многие другие подобные инженерные сооружения.

По конфигурации эти сооружения и конструкции разделяют на:

- линейные, состоящие только из одной протяженной стены (противофильтрационные диафрагмы, подпорные стены, ленточные фундаменты глубокого заложения и другие подобные сооружения);
- линейно-протяженные, имеющие две протяженные ограждающие стены, обычно параллельные друг другу (галереи, коллекторы для совмещенной прокладки инженерных сетей, туннели с вертикальными стенами и др.);
- сооружения колодезного типа с вертикальными стенами
- круглые, прямоугольные и многоугольные в плане (подземные этажи зданий, подвалы, колодцы дробильных цехов горнообогатительных комбинатов, бункерные ямы, насосные станции и станции метро, колодезные опоры глубокого заложения и другие сооружения).

По отношению к водоупору стены в грунте подразделяются на совершенные, доведенные до водоупорного пласта (естественного или искусственного) и плотно врезанные

в него, несовершенные (висячие), не доведенные до водоупорного пласта.

По материалу наиболее распространены:

- железобетонные несущие ограждающие стены сооружений, воспринимающие вертикальные и горизонтальные нагрузки;
- бетонные, воспринимающие вертикальные нагрузки, а также служащие одновременно противофильтрационными диафрагмами;
- глиногрунтовые, являющиеся противофильтрационными, которые выполняются из естественных или искусственных водоупорных глиногрунтовых материалов, а при их отсутствии - из суглинков в сочетании с синтетическими пленками.

По конструкции (рис 2.1) "стены в грунте" могут быть:

- буронабивные;
- монолитные бетонные, состоящие из отдельных плотно сопряженных между собой секций;
- монолитные железобетонные, состоящие из отдельных плотно сопряженных между собой секций с непрерывной горизонтальной арматурой, проходящей через стыки секций, или с горизонтальной арматурой, прерывающейся в стыках секций;
- сборные одноярусные - из панелей плоских, ребристых и коробчатых с вертикальными стыками между ними;
- сборные многоярусные - из панелей плоских, ребристых и коробчатых с вертикальными и горизонтальными стыками;
- сборные, состоящие из колонн с боковыми пазами;
- сборные из блоков с вертикальными пустотами-ячейками, омоноличенные армированным бетоном в вертикальных колодцах - пустотах;
- комбинированные многоярусные с ярусами из разных материалов: обычно нижний ярус из глиногрунтовых материалов или бетона (только противофильтрационный), а верхние ярусы, одновременно несущие и противофильтрационные, из сборного или монолитного железобетона.

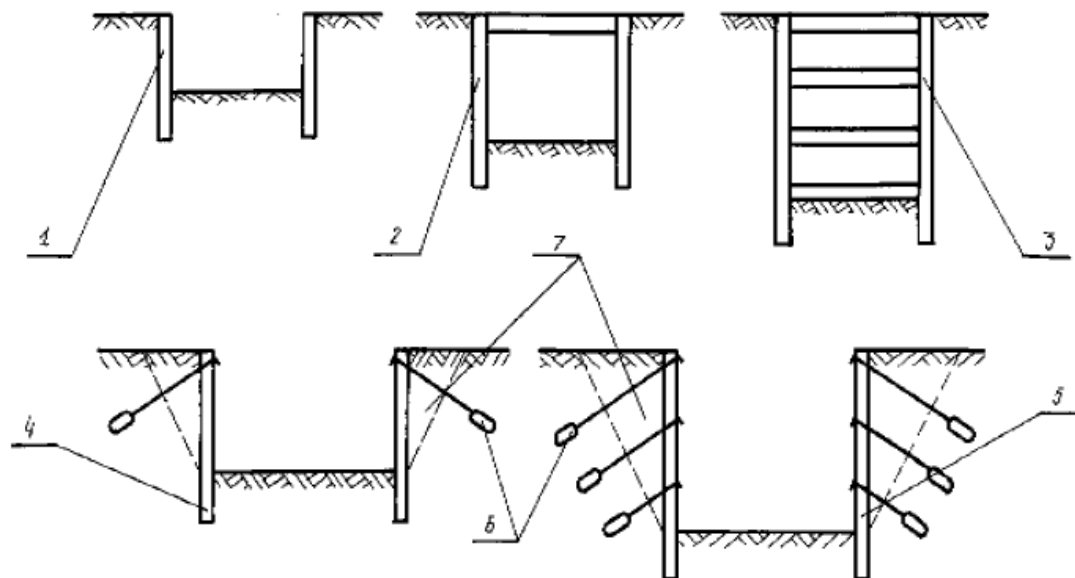


Рис. 2.1. Конструктивные схемы подземных сооружений: 1 – консольная стена; 2-3 – стены с одно- и многоярусным креплением распорками; 4-5 – стены с одно- и многоярусным креплением анкерами; 6 – грунтовые анкеры; 7 – призма обрушения.

2.2 Современные методы ограждения глубоких котлованов

Конструкция и технология устройства ограждения при строительстве подземного сооружения открытым способом должны удовлетворять следующим основным требованиям:

- обеспечивать устойчивость стен котлована в процессе и после полной разработки грунта;
- воспринимать нагрузку от сооружения, если ограждение входит в состав конструкции подземного сооружения;
- обеспечивать водонепроницаемость, если невозможно или экономически нецелесообразно водопонижение;
- должна быть предусмотрена многократная оборачиваемость элементов крепи, если ограждение является временным;
- крепление не должно загромождать котлован, мешать выемке и обратной засыпке грунта и монтажу основных конструкций;
- обеспечивать сокращение материалоемкости, трудоемкости и сроков строительства;
- обеспечивать сохранность эксплуатируемых наземных и подземных объектов, попадающих в зону влияния строящегося подземного сооружения;
- обеспечивать соблюдение экологических требований (соблюдение допустимых норм по шуму, вибрации, защите окружающей среды).

Современные методы крепления котлована при строительстве подземного сооружения открытым способом осуществляются по технологиям:

- стена в грунте;
- ограждение из свай;
- шпунтовое ограждение;
- балочное ограждение;
- буронабивные (буросекущиеся) сваи;
- бурозавинчивающиеся сваи;
- вдавливаемые сваи;
- буроинъекционные сваи.

Наибольшее распространение на практике получил способ «стена в грунте».

2.2.1 Ограждение по способу «стена в грунте»

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 пывунов, а также при наличии подземных вод с большими скоростями фильтрации.

При наличии грунтов, содержащих твердые включения природного или техногенного происхождения (крупные валуны, обломки бетонных конструкций, каменной кладки и др.) при проходке траншеи необходимо использовать технику, оснащенную фрезерным оборудованием, например, фирм «Касагранде», «Бауэр», TONE Boring.

Использование грейферного оборудования, которым крупные включения извлекаются, может привести к деформированию стенки траншеи, падению уровня тиксотропного раствора и деформациям окружающего массива и близрасположенных зданий.

При наличии трещиноватых скальных грунтов или прослоев из них и закарстованных пород, когда тиксотропный раствор может вытекать в грунт, необходимо применять опережающий тампонаж этих прослоев цементно-глинистыми растворами.

При устройстве «стены в грунте» жесткие требования должны предъявляться к глинистому раствору, приготовление которого, как правило, должно осуществляться с использованием бентонитового глинопорошка. Плотность раствора должна составлять при приготовлении его с использованием бентонитового глинопорошка $1,03 - 1,10 \text{ г/см}^3$, а из глин других видов - $1,10 - 1,25 \text{ г/см}^3$. При разработке траншей в неустойчивых грунтах (водонасыщенные пески, глинистые грунты текучей консистенции) с напорными водами необходимо использовать глинистые растворы повышенной плотности, для чего допускается применять барит, магнетит и другие утяжелители раствора, но не более 7 % массы глины. Для снижения водоотдачи и потерь глинистого раствора в него можно добавлять жидкое стекло (силикат натрия) в пределах 2 - 6 % массы глины.

При устройстве монолитных стен в грунте методом вертикально перемещающейся трубы (ВПТ) необходимо применять более совершенную технологию бетонирования с использованием вибрирования. Если бетон литых смесей, укладываемый без вибрирования, должен иметь осадку конуса 18 - 20 см, то при бетонировании полужесткими смесями с применением вибраторов осадка конуса должна быть не более 8 см, а подвижность бетонной смеси сохраняться на период транспортировки и укладки - не менее 40 мин.

При закреплении глубинных вибраторов на нижней части бетонолитной трубы при применении жестких смесей с осадкой конуса 3 - 6 см значительно повышается однородность бетона, а его средняя прочность на 35 - 40 % выше, чем при укладке литых смесей [22]. При регулировании процесса подачи бетона путем включения и выключения вибратора достигается повышенная плотность, прочность и водонепроницаемость стены. Вместо литых бетонов с высоким содержанием цемента (до 500 - 600 кг/м³) можно использовать малоподвижные смеси с осадкой конуса 3 - 4 см. Экономия цемента по сравнению с литыми смесями составляет 150 - 200 кг/м³. Метод применим и при температуре до -30° С.

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;
- снижение расхода бетона на 15 - 20 %;
- возможность установки в заводских условиях закладных деталей и сальников для подводки коммуникаций;
- исключение необходимости регулярной поставки расчетного количества товарного бетона в нормативные сроки;

- увеличение скорости возведения конструкции на 15 - 20 %;
- снижение трудоемкости работ;
- возможность передачи нагрузки на стену сразу после ее возведения.

В качестве конструкций сборной «стены в грунте» хорошо зарекомендовали себя шпунтовые панели ПШС-50, разработанные ОАО «ЦНИИС» (Москва) [3]. 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 (рис. 2.2).

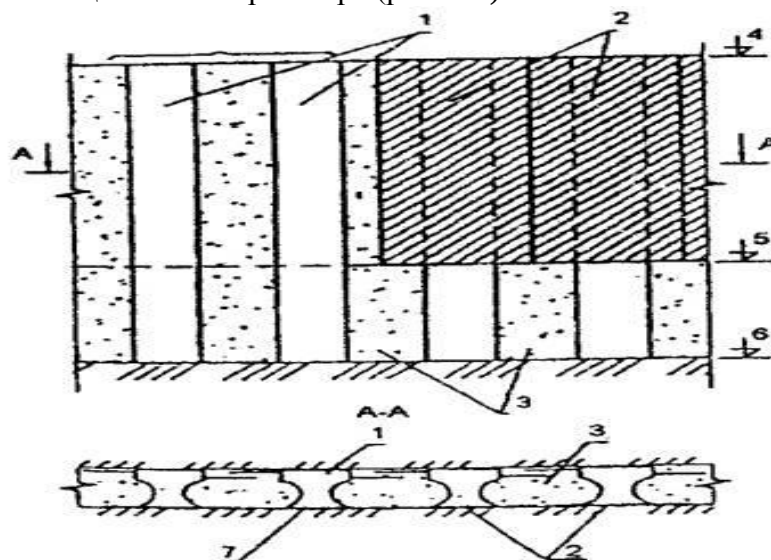


Рис. 2.2. Принципиальная схема сборно-монолитной «стены в грунте»:

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

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. При этом на нее могут быть переданы вертикальные нагрузки до 1500 кН/м и изгибающие моменты до 1000 кНм/м. Технологические приемы, применяемые для омоноличивания (тампонажа) стыков при устройстве «стен в грунте», должны обеспечивать достаточную прочность и водонепроницаемость стыков. Опыт строительства показывает, что более рационально увеличить ширину стыка (и расстояние между панелями) с обычных 20 мм до 200 - 300 мм и перейти на тампонаж его бетонным раствором с классом не ниже В25. Применение этой рекомендации полностью исключает фильтрацию подземных вод и позволяет отказаться от заварки стыков металлическими накладками.

Эффективно технологическое решение стыков из монолитного и сборного железобетона вибронабивным способом. Оборудование для омоноличивания бетонной смесью стыков ограждающих конструкций под глинистым раствором включает: инвентарную трубу, вибратор (например, В-401), приемный бункер с площадкой для обслуживания вибратора и заполнения бункера бетонной смесью. Применение этой технологии обеспечивает высокое качество работ по прочности стыка (40 - 50 МПа) и водонепроницаемости (на контакте с бетоном испытаны на 2 атм.).

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 «стен в грунте» и отсутствие холодных и грязевых швов в стыках.

Для надежного уплотнения проблемных стыков между панелями траншейных стен, как показал опыт строительства, успешно может быть применена технология струйной цементации «jet-grouting». При этом цементационные работы могут выполняться как снаружи ограждающих котлован стен, так и изнутри котлована до его разработки. С этой целью в зависимости от прогнозируемой величины раскрытия стыков с глубиной могут быть применены неармируемые или армируемые металлическими трубами грунтоцементные колонны диаметром 60 или 80 см.

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 [22]. 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.

Ограждение из буронабивных свай относится к малодеформирующимся видам крепления и его целесообразно применять в случае больших нагрузок на бровку 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 и секущиеся сваи (рис. 2.3).

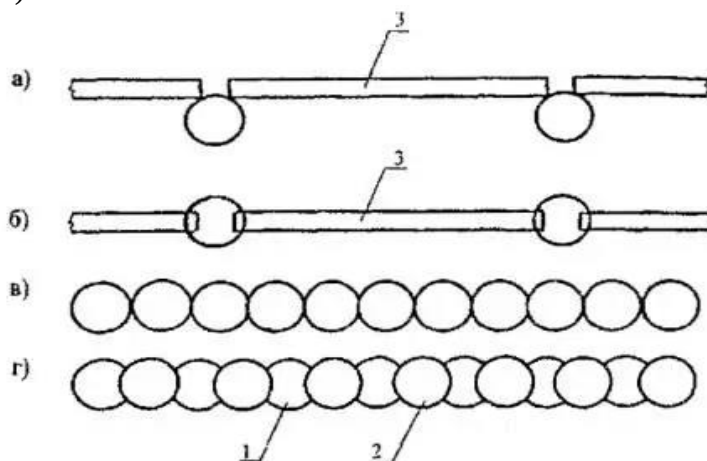


Рис. 2.3. Типы ограждений котлована из буронабивных свай:

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. Расстояние между осями а свай должно находиться в пределах $D + 50 \text{ мм} < a \leq 3D$, где D - диаметр скважины. 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.

В зависимости от грунтовых условий применяют следующие способы бурения скважин для устройства буронабивных свай:

- грейферный способ - в песчаных, крупнообломочных, скальных и глинистых грунтах;
- способ бурения желонкой - в водонасыщенных пылеватых песках, текучих супесях и илах;
- вращательный (ротаторный) способ - в глинистых грунтах от мягкопластичной до твердой консистенции, песках средней крупности и крупных.

Для предотвращения обрушения стенок скважин при бурении применяют инвентарные обсадные трубы или избыточное давление воды или глинистого раствора. Применение обсадных труб является наиболее эффективной мерой обеспечения качества изготовления свай в неустойчивых обводненных грунтах.

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. Во избежание возможного излишнего отбора и разуплотнения грунта за счет его текучего состояния и выдавливания внутрь обсадных труб при проходке скважин, что может вызвать деформации оснований близко расположенных эксплуатируемых зданий, следует обеспечивать опережающую обсадку трубами забоя скважины (сохранение пробок), а при необходимости дополнительно осуществлять пригрузку забоя глинистым раствором

или водой.

Буронабивные сваи изготавливаются по одной технологической схеме: вначале бурят скважину, устанавливают арматуру, 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. При бурении скважин для устройства буронабивных свай под защитой глинистого раствора требуется бентонитовая глина. Бентонитовый раствор может быть заменен специальным полимерным раствором, изготовленным с использованием сертифицированных загустителей на основе полиакриламида с обязательным соблюдением условия обеспечения вязкости раствора в пределах 35 - 80 сек/литр по вискозиметру Марша (меньшее значение для глинистых грунтов, большее для песков).

Сравнение экономических показателей методов ограждения котлованов показывает, что производительность работ по устройству стен из бурсекущихся 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, прежде всего из-за опасности упуска глинистого раствора, стена из бурсекущихся свай остается надежным видом ограждения котлованов.

2.2.2 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.

Бурозавинчивающаяся труба может быть использована и для устройства буронабивных свай, в том числе в неустойчивых обводненных грунтах. В этом случае в завинченную трубу с теряемым наконечником вставляется металлический каркас и подается литой бетон. Затем, пока бетон не схватился, труба выкручивается. Работы по завинчиванию труб выполняются буровой установкой СО-2, навешиваемой на копер на базе кранов и экскаваторов типа «Драглайн». Сменная производительность одной установки в зависимости от грунтовых условий, длины и диаметра труб составляет 8 - 12 труб в смену. При завинчивании труб отсутствуют удары и вибрация, а также нарушение 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 (рис. 2.4 и 2.5).

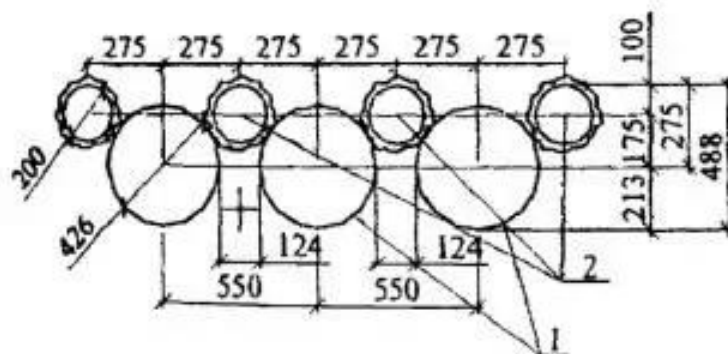


Рис. 2.4. План ограждения котлована конструкций из 2-х рядов свай. 1 - несущие металлические сваи; 2 - тампонирующие буротрамбованные сваи.

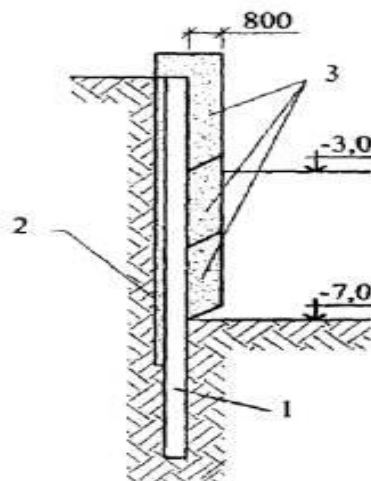


Рис. 2.5. Конструкция стены подземного сооружения из 2-х рядов свай

1 - несущие металлические сваи; 2 - тампонирующие буротрамбованные; 3 - облицовочная ж/б рубашка

Стоимость 1 м² ограждающей стенки из бурозавинчивающихся свай на 20 - 30 % ниже стоимости устройства стенки, выполненной способом «стена в грунте» при примерно одинаковых параметрах конструкции. Стоимость 1 м² 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.

Область применения **метода вдавливания свай** - песчаные и глинистые грунты. При этом в плотных и прочных грунтах вдавливание может быть облегчено устройством лидерных скважин. Грунт в процессе погружения сваи уплотняется, а его строительные свойства улучшаются. 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, исключая 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.

2.2.3 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. Устройство буроинъекционных свай РИТ по разрядно-импульсной технологии производится не менее чем 5 - 7 электрическими разрядами с шагом соответственно 200 - 300 мм по ее длине и не менее чем 15 разрядами в забое скважины при энергии каждого разряда 30 - 40 кДж. Для этого в скважину после заполнения ее мелкозернистой бетонной смесью опускается специальный разрядник. В процессе погружения разрядника на его электроды периодически подается высокое напряжение, обеспечивающее возникновение электрического разряда требуемой мощности, что вызывает уплотнение грунта в стенках скважины и в ее забое.

Расход инъекционного раствора при устройстве свай РИТ должен соответствовать установленному в проекте.

2.2.4 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, а также 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 Гц). Погружение шпунтовых элементов пакетами на полную глубину увеличивает производительность работ и повышает качество ограждения. К таким конструкциям относятся сварные шпунтовые элементы - панели (ПШС), разработанные ОАО «ЦНИИС» (г. Москва). Применяются панели расчетной шириной 100 и 150 см и длиной до 36 м. Сортамент панелей ПШС, содержащий 57 типоразмеров, позволяет

конструировать стены с моментом сопротивления от 1800 до 11100 см³/м.

Замок для соединения панелей решен в сварном варианте, не требующем прокатки специального фасонного элемента. Тип замка - «одинарная» или «двойная» обойма.

Для панелей ПШС характерна малая удельная металлоемкость. Она на 20 % меньше, чем у равнонесущей стены из шпунта Ларсен-5 из стали того же класса.

Количество замков на единицу длины стены из панелей ПШС в 2 - 3 раза меньше, чем у обычных шпунтин шириной 400 - 600 мм, что обеспечивает их меньшую водопроницаемость. 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 и не требует специальной технологии и специального оборудования, они могут многократно использоваться. Поэтому там, где это возможно, предпочтение следует отдавать распорным системам.

Хорошо зарекомендовали себя наклонные распорки с упором на фрагмент днища котлована или на специально выполненную свайную опору. 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 конструкций), что обеспечивает существенное сокращение сроков строительства.

Анкеры могут устанавливаться во всех грунтах за исключением слабых (глины текучей консистенции, илы, заторфованные грунты и торфы, просадочные грунты). Скважины для установки анкера образуют путем бурения (с обсадными трубами, под глинистым раствором, шнеком) или забивкой или вдавливанием обсадной трубы. 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.

В зависимости от грунтовых условий следует применять однократную, двукратную или многократную (в глинистых грунтах) инъекцию раствора давлением 2 - 3 МПа. С целью повышения темпов работ и качества заделки в цемент рекомендуется вводить добавки для ускорения сроков твердения, снижения усадки, использовать расширяющийся цементный состав. Применяемая фирмой «Рита» (г. Москва) технология устройства анкеров предусматривает заполнение скважины твердеющим раствором в зоне заделки с обработкой ее импульсными разрядами с энергией 40 кДж и одновременным доливом цементного раствора. В результате происходит расширение скважины, увеличение поглощения и плотности раствора, а соответственно и несущей способности анкера.

При использовании для крепления ограждающих конструкций прядевых анкеров их расчетная нагрузка составляет при числе канатов 3 - 5 до 800 кН, при числе канатов 5 - 7 до 1000 - 1200 кН. В стержневых анкерах расчетная нагрузка составляет до 350 кН при одностержневом варианте и до 600 кН при 2-х стержневой конструкции. Несущая способность анкеров может быть повышена при применении специального насосного

оборудования, способного создавать высокое давление (до 10 МПа) для нагнетания твердеющего раствора, и путем введения в раствор различных добавок.

Прогрессивным методом крепления вертикальных и крутопадающих грунтовых стен котлованов глубиной до 12 - 15 м является использование в качестве подпорной конструкции самого грунта, укрепленного системой арматурных стержней - нагелей. Область применения метода по грунтовым условиям - связные глинистые грунты от твердой до пластичной консистенции при отсутствии водоносных и трудно осушаемых песчаных прослоев.

Армирование грунта стальными стержнями осуществляется постепенно по мере разработки котлована. Для защиты грунтовой стены от местных вывалов между нагелями в период экскавации ее поверхность покрывается набрызг-бетонной облицовкой или устраивается сборный экран из плит, а также могут использоваться полимерные рулонные материалы. Достоинством метода является его простота и экономичность, т.к. нет необходимости в специально возводимой ограждающей стенке и ее дополнительном креплении. С применением этого вида крепи сооружен ряд объектов метрополитена, возводимых котлованным способом, в гг. Москве, С.-Петербурге и других крупных городах.

В ОАО «ЦНИИС» (г. Москва) разработана методика и расчетная программа по проектированию нагельного крепления, а также Руководство по технологии его возведения.

2.2.5 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 (рис. 2.6).

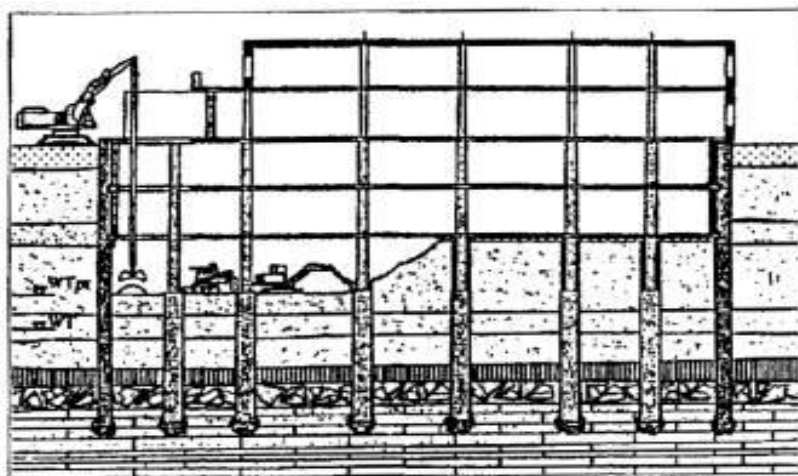


Рис. 2.6. Строительство подземного сооружения «сверху-вниз»

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 (рис. 2.7). Из трех приемов наиболее эффективен второй, позволяющий существенно снизить трудоемкость, продолжительность процесса и стоимость экскавации котлована. Разработка грунта в котловане под защитой перекрытий производится малогабаритными экскаваторами и обычными бульдозерами, а выдача грунта - с помощью грейферного экскаватора через монтажные отверстия в перекрытиях. Разработка грунта на третьем ярусе котлована под защитой перекрытий над 1 - 3 подземными этажами, возведенными безопалубочным методом.

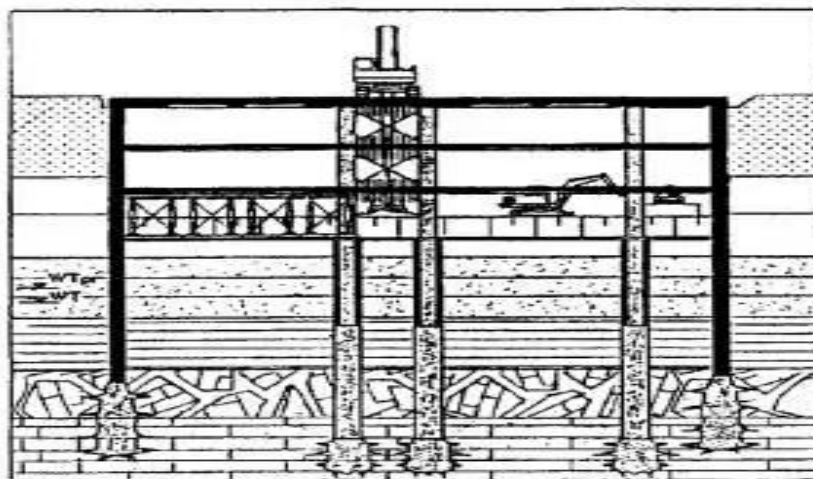


Рис. 2.7. Строительство подземного сооружения «сверху-вниз» по комбинированной технологии

Особое внимание должно уделяться предварительной подготовке грунтового основания перед бетонированием перекрытия или установкой опалубки, которая может осуществляться песчаной подсыпкой, втрамбовыванием щебня, укладкой слоя низкомарочной бетонной смеси или цементно-песчаного раствора. 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 [24, 28, 30].

Методы строительства способами «сверху-вниз» и «вверх-вниз» успешно применены на целом ряде объектов строительства в г. Москве.

2.2.6 Применение струйной цементации (технологии «jet-grouting») в подземном строительстве

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 - 1,0 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, трехлопастные, четырехлопастные, винтообразные, а также секущиеся. Комбинирование трех- и четырехлопастных свай создает ячеистые структуры, которые могут быть использованы в качестве несущих конструкций благодаря вовлечению в работу грунта, находящегося в ячейках. Технология струйной цементации может быть эффективно применена при решении следующих задач подземного строительства:

- сооружение одиночных свайных фундаментов;
- сооружение ленточных в плане конструкций типа «стена в грунте»;
- устройство анкерных креплений;
- укрепление грунта вокруг строящихся подземных сооружений;
- усиление оснований и фундаментов существующих зданий;
- проведение противооползневых мероприятий;
- создание противофильтрационных завес.
- цементационное упрочнение разрушенных скальных грунтов;
- 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 800 мм с шагом 650 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 диаметром 500 - 600 мм или прокатными балками ($h = 50 - 60$ мм), располагаемыми с шагом 1,5 - 2 м вдоль стены.

Оборудование для реализации струйной цементации включает: буровую установку, растворонасос с давлением нагнетания цементного раствора 400 - 700 атм, шланги высокого давления, монитор и керамические сопла.

Основные параметры струйной технологии с применением импортного оборудования:

- водоцементное отношение раствора - $V/C = 1:1$;
- плотность портландцемента М500 - 3 т/м³;
- диаметр сопел - 3,2 - 4,0 мм (количество сопел - 1 - 2 шт.);
- диаметр подающего шланга - 25,4 мм;
- рабочее давление подачи раствора - 410 - 440 бар.

Применение технологии «jet-grouting» на ряде объектов Москвы 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.

2.3 Эффективность метода «стена в грунте»

Метод «стена в грунте» обладает рядом преимуществ по сравнению с другими методами строительства:

- появляется возможность устройства глубоких котлованов в непосредственной близости от существующих зданий и сооружений, что особенно важно при строительстве в стесненных условиях, а также при реконструкции сооружений;
- резко уменьшается, а в некоторых случаях отпадает необходимость в устройстве водопонижения или водоотлива; уменьшаются объемы земляных работ;
- отпадает необходимость в устройстве обратных засыпок и, следовательно, исключаются неравномерные осадки и просадки полов и отмосток в процессе их эксплуатации;
- появляется возможность одновременно производить работы по устройству надземных и подземных частей зданий, что резко сокращает сроки их строительства.

Эффективность метода "стена в грунте" может проявляться двояко: когда метод "стена в грунте" является единственным технически возможным методом строительства и его нельзя заменить никаким другим методом, а также когда из нескольких технически возможных методов строительства заглубленного сооружения метод "стена в грунте" является наиболее эффективным по выбранному критерию сравнения. В первом случае область эффективности называют областью незаменимости метода "стена в грунте". Во втором - областью сравнительной экономической эффективности.

К области незаменимости метода "стена в грунте" относятся, в частности, следующие случаи:

- сооружение имеет в плане большие размеры и очень сложную конфигурацию, что исключает возможность успешного применения метода опускного колодца из-за большой вероятности его частых перекосов при опускании, а большая глубина заложения сооружения в водонасыщенных неустойчивых грунтах и сжатые сроки исключают возможность строительства его в открытом котловане;
- сооружение имеет разную ступенчато- или плавно меняющуюся глубину заложения стен по его периметру, что также исключает возможность его возведения методами опускного колодца и в открытом котловане;
- сооружение закладывается на значительную глубину в сильно проницаемых суффозионных и подверженных выпору грунтах в условиях отсутствия в его основании водоупорных пластов для сопряжения с ними противофильтрационных шпунтовых или ледопородных диафрагм;
- сооружение большого размера в плане и большой глубины строится в суровых климатических условиях при длительном периоде морозов, что практически исключает его возведение опускным методом из-за опасности примерзания конструкций к окружающему грунту, а возведение его в открытом котловане невозможно в требуемые сроки из-за сильных морозов;
- строительство сооружения производится вне посредственной близости от существующих зданий и сооружений на стесненной площадке, когда опускной метод и строительство в открытом котловане исключаются из-за возникновения опасности нарушить устойчивость смежных сооружений (эти случаи наиболее часты в связи с реконструкцией и расширением промышленных предприятий и подземных объектов в городах);
- сооружение является незамкнутым, то есть линейным или линейно-

протяженным (противофильтрационная диафрагма, подпорная стенка или галерея), осуществление которого методом опускного колодца вообще невозможно, а сооружение в открытом котловане также заведомо исключается из-за явной технической нецелесообразности (большие глубины заложения);

- сооружение представляет собой канализационный коллектор, который необходимо уложить в короткие сроки в неустойчивых водонасыщенных грунтах в глубокой траншее при отсутствии металлического шпунта.

Из приведенных примеров незаменимости метода "стена в грунте" видна особо важная роль, которую играет этот метод в техническом прогрессе строительства заглубленных сооружений. Исследования показали, что метод "стена в грунте" при разных грунтовых условиях, разных размерах сооружений в плане и по глубине заложения имеет область применения более широкую, чем методы строительства в открытом котловане и опускного колодца (таблица 3.1).

Таблица 2.1

Области эффективного применения методов строительства заглубленных сооружений

Грунт	Площадь сооружения, м ²	Глубина, м, при которой рекомендуется метод строительства		
		В открытом котловане, до	Опускной более	«стена в грунте», более
Пески естественной влажности	75	5	5,5	5
	450	6,5	8,5	6,5
	1250	11,5	16	11,5
Суглинки естественной влажности	75	5	6	5
	450	6	10	6
	1250	13	18,5	13
Пески водонасыщенные	75	5	5	5
	450	5	5	5
	1250	7	10	7
Суглинки водонасыщенные	75	5,5	6	5,5
	450	9	11,5	9
	1250	17	20	17

Наряду с выяснением области незаменимости или сравнительной эффективности метода "стена в грунте" следует установить также и *область неприменимости* этого метода:

- крупнообломочные грунты с пустотами между отдельными камнями, не заполненными мелкозернистыми грунтами, в результате чего глинистая суспензия с большими скоростями проваливается в грунт и траншеей создать не удается;
- карстовые грунты с пустотами, которые также могут служить путями для утечки глинистой суспензии, в результате чего ее горизонты в траншее не удастся поддержать на нужном уровне, что приводит к быстрому обрушению стенок траншеи;
- текучие илы, особенно когда они залегают у поверхности земли;
- насыпные грунты на территории современных и древних свалок, имеющие включения твердых, в частности металлических предметов, таких как рельсы и балки, а также пересекающие трассу траншеи, подземные сооружения и

- инженерные сети, перенос которых невозможен;
- твердые включения, в частности валуны, если их размеры превышают 150-200 мм.

Преимущества метода "стена в грунте" настолько велики, что поиски путей преодоления приведенных выше ограничительных факторов ведутся очень интенсивно. Применение метода "стена в грунте" обеспечивает снижение сметной стоимости строительства заглубленных сооружений до 25 %, подпорных стен и ограждений до 50 %, противофильтрационных диафрагм до 65 % по сравнению с обычными проектными решениями.

Основными факторами, определяющими эффективность применения нового метода строительства, являются: уменьшение объемов земляных работ вследствие уменьшения размеров котлованов; сокращение объемов железобетонных работ в связи с соответствующим характером воздействия внешних сил на стены подземного сооружения; уменьшение объемов или полное исключение работ по водопонижению; полное исключение шпунтовых ограждений; сокращение сроков строительства.

В результате сокращения объемов и трудоемкости работ достигается значительный экономический эффект.

2.4 Эксплуатационные и прочностные требования

При выборе марки бетона обычно учитываются следующие факторы: особенности конструкций и характер возникающих в них усилий, сборность или монолитность их, бетонирование в обычных условиях или под слоем глинистой суспензии, расположение конструкций по отношению к уровню грунта, грунтовых вод, глубине промерзания и т.д., температура наиболее холодного месяца для данного района строительства, число циклов замораживания и оттаивания в течение года, показатели (степень) агрессивности грунтовых вод.

Для сооружений, возводимых методом "стена в грунте" из монолитного железобетона, используется бетон марок по прочности на сжатие 250-300, а для сооружений из сборного железобетона - только 300. Железобетонные днища преимущественно выполняются из бетона марок 200, 250.

По водонепроницаемости бетона стен и днища заглубленных сооружений принимаются его марки в зависимости от градиента напора, определяемого как отношение максимального напора к толщине ограждающих конструкций. При этом в зависимости от градиента (5-10, 10-12, более 12) принимается бетон марки БГТ по водонепроницаемости соответственно В6, В8 и В12.

Марку бетона БГТ по морозостойкости принимают в зависимости от зонального расположения расчетного уровня грунтовых вод, среднемесячной температуры наиболее холодного месяца, числа циклов попеременного замораживания и оттаивания в течение года, а также глубины промерзания грунта. Для тех конструктивных элементов, например, стеновых панелей, которые нельзя расчленить по зонам, марку по морозостойкости устанавливают по наиболее опасной зоне. Как правило, проектную марку бетона по морозостойкости принимают в пределах Мрз 150- Мрз 300. После принятия марки бетона по морозостойкости устанавливают возможность ее получения намеченной марке по прочности на сжатие, а при необходимости ее увеличивают.

Таблица 2.2

Марки бетона, применяемые для строительства заглубленных сооружений методом "стена в грунте"

Проектная марка бетона		
по прочности на сжатие	по водонепроницаемости	по морозостойкости
M200	B6	MP3 150
M350	B8	MP3 200
M300	B12	MP3 300

Предварительный выбор проектных марок бетона при проектировании сооружений и отсутствии данных по испытаниям бетона осуществлялся по характеристикам бетона на портландцементе, приведенным в таблице 2.2.

Особыми свойствами должен обладать бетон, укладываемый методом подводного бетонирования (метод вертикально перемещающейся трубы - ВПТ) под слоем глинистой суспензии.

Прочность бетона для бетонирования под слоем глинистой суспензии на практике применяют на 10% выше требуемой по расчету. Размеры фракций крупного заполнителя при бетонировании железобетонных стен с учетом прохождения через бетонолитную трубу и через арматурный каркас принимают не более 30 мм, а прочность гравия и щебня - не менее 80 МПа, В качестве заполнителя используют промытый песок, который содержит до 20% мелких частиц крупностью менее 0,3 мм. Время схватывания цемента должно быть не менее 2 час. Расход его на 1 м³ бетонной смеси - не менее 380-400 кг.

В обычных, не предварительно напряженных конструкциях применяют преимущественно стержневую горячекатаную арматурную сталь класса А - III и арматурную проволоку периодического профиля класса Вр- 1 и гладкую класса В- 1. Для монолитных конструкций, бетонируемых методом ВПТ, для лучшего сцепления арматуры с бетоном применяют только сталь периодического профиля. Горячекатаную сталь периодического профиля класса А - II применяют только тогда, когда сталь класса А- III эффективно использовать нельзя. Горячекатаная гладкая арматурная сталь класса А-I применяется для арматурных выпусков, отгибаемых в процессе производства работ и предназначенных для связи с внутренними стенами и днищем, а также для конструктивной и монтажной арматуры. Для закладных деталей и соединительных накладок применяется горячекатаная сталь марки Ст-3.

3. ПОРЯДОК РАСЧЕТА СООРУЖЕНИЙ МЕТОДА «СТЕНА В ГРУНТЕ»

3.1 Определение действующих нагрузок

Нагрузки, действующие на сооружения, подразделяются на постоянные и временные. Последние, в свою очередь, подразделяются на длительно действующие, кратковременные и особые. При расчете заглубленных сооружений по предельным состояниям возможные отклонения нагрузок от нормативных значений учитываются соответствующими нормативными коэффициентами перегрузок [9].

Расчеты выполняются на наиболее невыгодные сочетания нагрузок и воздействий для отдельных элементов, сечений или всей конструкции в целом, которые могут возникать при эксплуатации сооружений и в процессе строительства. При расчете конструкций на основные сочетания нагрузок, включающие одну кратковременную нагрузку, значение последней учитывалось без снижения, а при расчете на основные сочетания нагрузок, включающие две или более кратковременные нагрузки, расчетные значения этих нагрузок или соответствующих им усилий умножались на коэффициент сочетаний $\eta_c=0,9$. При расчете конструкций и оснований на особые сочетания нагрузок расчетные значения кратковременных нагрузок или соответствующих им усилий умножались на коэффициент сочетаний $\eta_s=0,8$, если в нормах проектирования конструкций и оснований не приводились иные значения.

Из общего числа возведенных заглубленных сооружений примерно 70% относятся к водопроводно-канализационным заглубленным сооружениям: насосным станциям, водозаборами, емкостным сооружениям. При расчете водопроводно-канализационных сооружений рассматривают следующие случаи:

- строительный (один или несколько) - возведены стены, грунт извлечен полностью или частично;
- эксплуатационный (один или несколько) - сооружение не заполнено водой или сооружение заполнено водой полностью или частично, а его конструктивные элементы подвержены неравномерному нагреву.

Нагрузки и воздействия, возникающие в условиях эксплуатации сооружения, рассчитываются так же, как и нагрузки для условий строительного периода. При этом нормативное значение массы строительных конструкций сооружения определяют исходя из нормативной массы всех конструкций надземной части сооружения, опирающихся на подземную часть. При расчете подземной части на сочетание нагрузок от дополнительного давления грунта, возникающих в условиях эксплуатации (рис. 3.1), соблюдается условие:

$$P_{r1}^H + p_{r,2\delta}^H + p_{r,2s}^H > 0,1 \cdot p_r^H \quad (3.1)$$

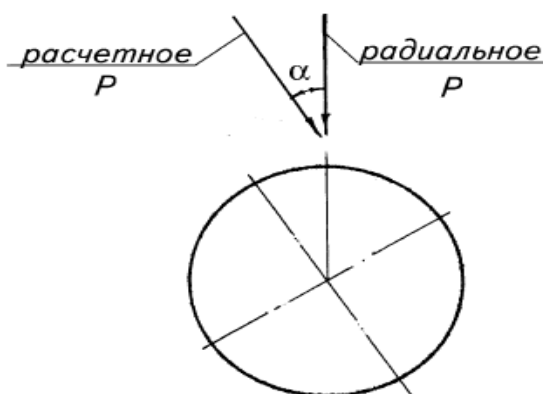


Рис. 3.1. Схема воздействия горизонтальных давлений на круглый колодец

При расчете нормативного значения гидростатического давления грунтовых вод принимается прогнозируемый повышенный средний уровень грунтовых вод соответствующей обеспеченности в зависимости от класса сооружения. При определении нормативного значения дополнительного давления грунта на сооружение, вызываемого нагрузками от массы вблизи расположенных зданий и сооружений, а также стационарного оборудования, вертикальная нагрузка прикладывается по подошве их фундаментов.

Расчет несущих конструкций заглубленных сооружений производится по первой и второй группам предельных состояний. При этом стены рассчитываются по прочности, устойчивости, деформациям и раскрытию трещин, а основания - по устойчивости и деформациям.

Помимо этого, учитывая, что сооружения, возводимые методом "стена в грунте", строятся преимущественно в водонасыщенных грунтах, производится проверка устойчивости их на всплытие и на общую устойчивость при сдвиге по основанию.

Расчет железобетонных конструкций, выполняемых методом "стена в грунте", по несущей способности производится на воздействие расчетных нагрузок (с учетом коэффициентов перегрузки), а по деформациям и по раскрытию трещин на воздействие нормативных нагрузок. Расчеты сооружений производятся на наиболее невыгодные сочетания нагрузок:

- в строительный период - по расчетным схемам, учитывающим условия производства работ;
- в условиях эксплуатации - по расчетным схемам, учитывающим наличие днища, внутренних конструкций стен, перекрытий, колонн и т.д., включая нагрузки от всего расположенного внутри сооружения оборудования, технологических жидкостей, от опирающегося на подземную часть надземного здания, а также с учетом рядом расположенных сооружений.

В сборных железобетонных сооружениях проверяют также прочность железобетонных стеновых панелей в условиях изготовления, транспортирования и монтажа. При этом в качестве нагрузки принимают собственную массу панели (с учетом коэффициентов перегрузки), а размещение опор в зависимости от принятой схемы строповки и опирания панелей на подкладки.

3.2 Расчетные схемы сооружений

Расчетная схема сооружения определяется его конструкцией, технологией производства, а также технологией возведения подземной части здания и сооружения. В настоящее время разработано и применяется в проектной практике значительное количество расчетных схем заглубленных сооружений. Анализ их показывает, что все они могут быть сведены к трем схемам (рис. 3.2):

- 1 круглое в плане сооружение без опорных поясов, рам и распорок, устойчивость которого обеспечивается за счет работы оболочки;
- 2 круглое, прямоугольное, многоугольное в плане сооружение, устойчивость которого обеспечивается при помощи опорных рам, поясов, распорок, анкеров;
- 3 сооружение типа подпорной стены, устойчивость которой обеспечивается за счет защемления в грунт нижней части стены.

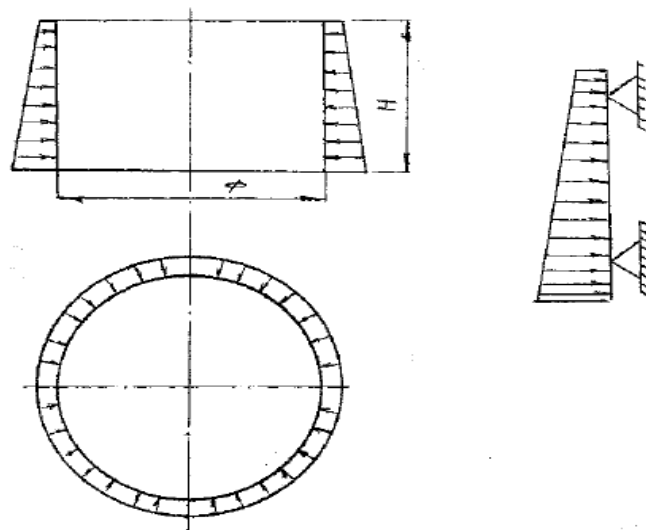


Рис. 3.2. Расчетные схемы заглубленных сооружений

3.2.1 Расчет круглых в плане сооружений без опор

В настоящее время круглые в плане сооружения без промежуточных опор выполняют как из сборного, так и монолитного железобетона, причем при устройстве сооружений из сборного железобетона стены выполняют как с жесткими, так и с шарнирными стыками между сборными стеновыми панелями, а в монолитных сооружениях стыки между отдельными блоками шарнирные. Сооружения из сборного железобетона в плане представляют собой многоугольник, приближающийся к форме круга. Однако применение плоских панелей значительно упрощает их изготовление.

3.2.2 Расчет круглых и прямоугольных сооружений в плане с опорами

Круглые и прямоугольные сооружения в плане с опорами в виде колец, рам, распорок и анкеров получили наибольшее распространение в практике проектирования и строительства Украины. В частности, по такой схеме рассчитаны насосные станции Южного и Северного горнообогатительных комбинатов, Ново-Днепровского водопровода, Черкасского ПО "Азот" и другие сооружения. Они рассчитывались в условиях плоской задачи.

На рис. 3.3 показана расчетная схема сооружений с двумя рядами опор по высоте на строительный период. Как видно из приведенного рисунка, стены сооружения рассчитываются поэтапно.

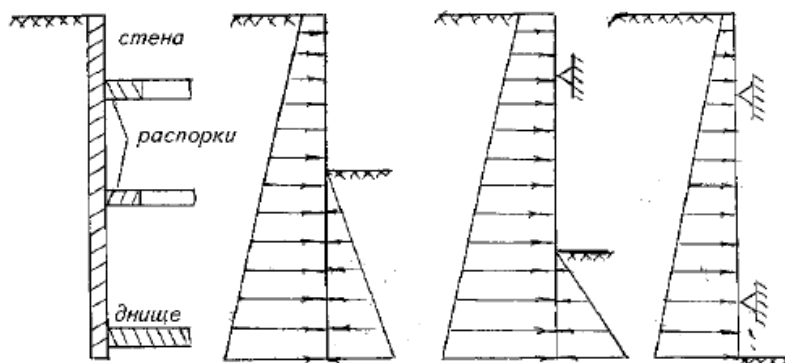


Рис. 3.3. Расчетная схема сооружения со стенами с промежуточными опорами.

Первый этап - грунт отрыт до отметки, позволяющей установить опору верхнего яруса. Стены сооружения в этом случае рассчитываются как тонкая подпорная безанкерная (консольная) стена.

Второй этап - грунт отрыт до отметки, позволяющей установить опору второго (нижнего) яруса. Опора верхнего яруса воспринимает полную нагрузку. Стены сооружения в этом случае представляют собой одно анкерную тонкую подпорную стену и рассчитываются любым из известных точным или приближенным методами.

Третий этап - грунт отрыт до отметки основания днища.

Опоры верхнего и нижнего ярусов воспринимают полную нагрузку. Стены сооружения в этом случае рассчитываются как неразрезные балки на двух или более опорах, загруженные трапециевидальной нагрузкой.

Расчет консольных стен (первый этап).

Устойчивость незаанкеренных тонких стен обеспечивается только сопротивлением грунта, в котором они заземлены. Один из самых простых методов расчета свободно стоящей тонкой стенки основан на допущении, что она, не деформируясь, поворачивается в грунте вокруг некоторой точки C . Эта точка находится на глубине $z_c = 0,8h^2$ от поверхности грунта (рис. 3.4). Глубина заделки стены в грунт определяется из условий равновесия активного и пассивного давления грунта.

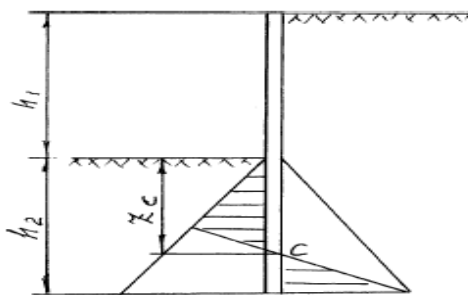


Рис. 3.4. Расчетная схема тонкой незаанкеренной подпорной стены

Расчет стены с одной опорой (второй этап).

Стена с опорой рассчитана как шарнирно опертая в точке опоры. При этом с наружной стороны сооружения учитывается активное действие, а с внутренней - пассивное сопротивление. Схема действия сил показана на рис. 3.5.

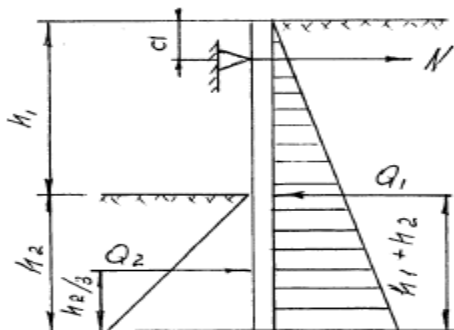


Рис. 3.5. Расчетная схема тонкой заанкеренной подпорной стены

В зависимости от глубины заделки стены в грунт возможны две основные расчетные схемы, когда глубина заделки определяется только условием статистического равновесия против выпора (схема Э. Якоби) и когда она принимается по критерию получения

минимальных величин изгибающих моментов (схема Блюма-Ломейера). Как правило, в практических расчетах проверка устойчивости стены выполняется по первой схеме. В этом случае для определения необходимой глубины заземления сила активного давления Q_1 должна уравниваться силой пассивного сопротивления Q_2 с учетом коэффициента условий работы m .

Расчет стены с двумя или несколькими опорами (третий этап)

При устройстве стен с двумя или несколькими опорами возможны две принципиально различные схемы - с заземлением нижней части стены в грунте и без устройства заземления. Опыт проектирования и строительства показывает, что преимущественно распространена вторая схема, то есть устройство стены без заземления ее нижней части в грунт. Поэтому стены заглубляют ниже основания дна обычно на 0,5-1,2 м. В этом случае нижняя часть стены (до устройства дна) работает как консоль неразрезной балки, опорами которой являются пояса или анкеры, а сама стеновая панель рассчитывается как неразрезная балка на жестких опорах, нагруженная давлением грунта и грунтовых вод.

На рис. 3.6 показана однопролетная стена с консолями, нагруженная трапециевидальной нагрузкой.

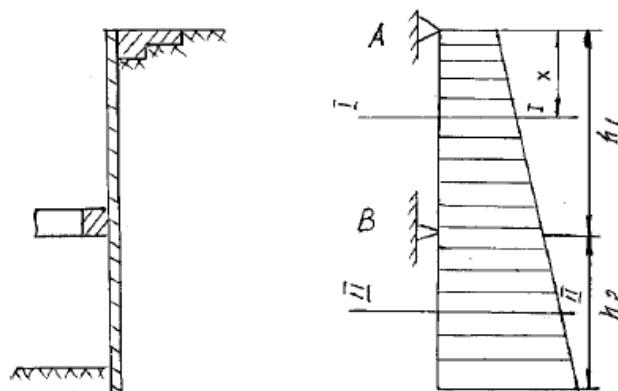


Рис. 3.6. Расчетная схема тонкой заанкеренной неразрезной стены с двумя опорами

3.2.3 Расчет поясов и колец жесткости

Пояса и кольца жесткости представляют собой горизонтальные рамы прямоугольной или круглой формы в плане. Эти конструкции воспринимают опорные реакции стен. Пояс жесткости проверяется также на устойчивость в горизонтальной плоскости. В прямоугольных сооружениях пояса жесткости рассчитываются как прямоугольные рамы.

Так, в прямоугольном колодце размером в плане $A \times B$ м без распорок изгибающие моменты и перерезывающие силы определяются по формулам:

$$M_{оп} = -\frac{R}{12} \cdot \frac{(A^2 + B^2)X}{1 + X} \quad (3.2)$$

$$M_{прA} = 0,125 \cdot R \cdot A^2 - M_{оп} \quad (3.3)$$

$$M_{прB} = 0,125 \cdot R \cdot B^2 - M_{оп} \quad (3.4)$$

$$N_A = 0,5 \cdot R \cdot B \quad (3.5)$$

$$N_B = 0,5 \cdot R \cdot A \quad (3.6)$$

$$X = \frac{\delta_2^3}{\delta_1^3} \cdot \frac{B}{A}, \quad (3.7)$$

где δ_1, δ_2 — толщина сторон пояса, R — нагрузка на пояс.

3.2.4 Расчет днища сооружения

Днища сооружений рассчитываются на прочность как пластинка, загруженная равномерно распределенной нагрузкой, с краями, шарнирно опертыми на стены. В качестве нагрузки принимают сумму сопротивления грунта и гидростатического давления грунтовых вод, если величина постоянных вертикальных нагрузок больше сил всплытия; гидростатическое давление грунтовых вод, если величина всех постоянных вертикальных нагрузок сооружения меньше силы всплытия (когда сооружение заанкерено в прилегающем грунтовом массиве). Расчет прочности днища на отпор грунта производят как расчет пластины, лежащей на упругом основании, а расчет днища сооружения на гидростатическую нагрузку как расчет пластины с шарнирными опорами, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. В том случае, если в сооружении устраивают внутренние стены и перегородки, днище проверяют как многопролетную пластину.

3.2.5 Расчет сооружения на всплытие

Сооружения, погруженные ниже уровня грунтовых вод, рассчитываются на всплытие, за исключением случая, когда днище сооружения находится ниже поверхности водоупора и под ним устроен постоянно действующий дренаж. Расчет сооружения на всплытие выполняется, как правило, в условиях строительства по формуле:

$$\frac{G_o + G_D + T + Q_{пр}}{F_o H_o \gamma_w} \geq K, \quad (3.8)$$

где G_o , G_D — масса строительных конструкций стен и днища; T — усилие трения материала заполнения тампонажной щели по грунту при всплытии сооружения; $Q_{пр}$ — пригрузка колодца в прилегающем грунте; F_o — площадь основания днища; H_o — расстояние от низа днища сооружения до уровня грунтовых вод; γ_w — плотность воды; K — коэффициент надежности, равный 1,2.

В том случае, если пригрузка сооружения не предусматривается, то $Q_{пр} = 0$. Если условие (3.8) не выполняется, сооружение может быть затоплено водой, временно понижен уровень грунтовых вод и выполнены другие мероприятия, обеспечивающие устойчивость его на всплытие, до устройства надземной части сооружения.

3.3 Методы проектирования монолитных и сборных подземных сооружений

3.3.1 Общие положения

Объемно-планировочные и компоновочные решения заглубленных сооружений, строящихся методом "стена в грунте", принимаются в соответствии с назначением сооружения и технологией строительного производства. Применяемые решения должны обеспечить уменьшение расхода материалов, индустриальность конструкций, снижение стоимости строительства. Форма и размеры подземной части заглубленных сооружений, возводимых методом "стена в грунте", определяются заданием на проектирование строительной части объекта, условиями производства работ, инженерно-геологическими условиями, применяемым оборудованием для производства работ и предварительными расчетами.

В целях унификации сооружения выполняются круглыми или прямоугольными в плане с внутренними размерами 7, 8, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60 м. Глубина их принимается с шагом 0,6 м. Толщина ограждающих стен из монолитного железобетона 500, 600, 800, 1000 и 1200 мм. Толщина плоских стеновых панелей из сборного железобетона 300, 400, 500, 600, 700, 800 мм, ребристых - 120, 150, 180, 200 мм; минимальная толщина днища

300 мм; толщина защитного слоя бетона для рабочей арматуры в наружных стенах 30 мм, в основании днища - 35 мм.

Сооружения выполняются также в виде подпорной стенки - прямой или изломанного очертания.

При строительстве сооружений в водонасыщенных грунтах, помимо ограничений по статике, решают технико-экономическую задачу по выбору конструктивного решения, обеспечивающего минимальный приток грунтовых вод в котлован сооружения. В результате проведенных в НИИСП Госстроя Украины исследований установлено, что в тех случаях, когда водоупор находится на глубине 2-3 м ниже основания днища, стены сооружения доводят до водоупора и врезают в него на глубину 0,5-1,0 м.

При глубинах залегания водоупора ниже основания днища на 5-7 м нижняя часть стены (ниже днища) выполняется в виде противофильтрационной диафрагмы из твердеющего или нетвердеющего материала. В том случае, когда водоупор расположен на больших глубинах или практически отсутствует, нижняя часть стены может выполняться в виде несовершенной, то есть не доведенной до водоупора диафрагмы. В этом случае, глубинное водопонижение может быть заменено поверхностным водоотливом, что обеспечивает значительный экономический эффект.

3.3.2 Сооружения со стенами из сборного железобетона

Сооружения со стенами из сборного железобетона выполняют из плоских и ребристых стеновых панелей, а также объемных пустотных блоков. Как показали проведенные в НИИ СП исследования, плоские стеновые панели целесообразно применять в прямоугольных и круглых в плане сооружениях глубиной до 10-12 м, ребристые стеновые панели эффективны для прямоугольных сооружений в плане глубиной до 14-15 м, а пустотные объемные блоки эффективны для устройства подпорных стен глубиной до 15-18 м. Членение стены на сборные элементы выполняется в зависимости от расчетной схемы сооружения. В настоящее время членение ограждающих стен на сборные элементы выполняется вертикальными швами. При устройстве стен глубиной свыше 12-15 м (кроме стен из коробчатых блоков, длина которых достигает 24 м) между стеновыми панелями предусматривается устройство горизонтальных швов.

3.3.3 Сооружения со стенами из монолитного железобетона

Стены из монолитного железобетона можно возводить практически любой требуемой глубины. В настоящее время освоена технология устройства стен глубиной до 36 м (подземный автогараж в Москве на проспекте Мира). Толщина монолитных стен в грунте определяется шириной рабочего органа разрабатывающего механизма и составляет 600-1200 мм. Монолитные стены возводятся отдельными захватками, длина которых 3,06,0 м. Длина захваток назначается в зависимости от типа грунта, характеристики условий строительства, разрабатывающего механизма, нагрузки на борт траншеи и других факторов. Между захватками устанавливаются ограничители - торцевая опалубка, с помощью которых формируются вертикальные стыки между блоками бетонирования. В зависимости от конструкции ограничителей стыки между блоками выполняются рабочими или нерабочими. При устройстве нерабочих стыков применяются извлекаемые или неизвлекаемые ограничители в виде металлических труб или свай.

3.3.4 Днища, перекрытия и внутренние стены

Конструкцию основания под днищем выбирают в зависимости от принятого способа разработки грунта изнутри сооружения (рис. 3.7) При разработке грунта насухо с водопонижением или водоотливом под днище укладывают слой дренирующего материала, после чего устраивают подготовку из тощего бетона. При разработке грунта из-под воды в основании устраивают бетонную подушку или водопроницаемый пригруз из камня.

Бетонные подушки выполняют при строительстве сооружений малого размера в плане с расстоянием между стенами до 10 м. При устройстве днищ в сооружениях большего пролета предусматривают устройство проникаемого пригруза. Днище всегда выполняют из монолитного железобетона.

Армируют его двумя рядами арматурных сеток - верхним и нижним. Сетки укладывают взаимно перпендикулярно. При шарнирном соединении стены с днищем по контуру последнего укладывают гнутые сетки. Верхние сетки укладывают по поддерживающим каркасам. При больших размерах днища предусматривают разрез днища на блоки бетонирования.

Перекрытия в заглубленных сооружениях проектируют в сборном железобетоне по типу междуэтажных перекрытий промышленных зданий. В круглых в плане сооружениях участки, примыкающие к стенам, выполняют монолитными. При проектировании перекрытий учитывают их работу в плоскости на сжатие, вызываемое давлением грунта на стены. Внутренние стены выполняют из тех же панелей, что и наружные. Опираемые на стены - шарнирные.

3.3.5 Гидроизоляция

Тип и конструкцию гидроизоляции назначают в зависимости от типа сооружения, гидростатического уровня грунтовых вод, трещиностойкости конструкций. В монолитных сооружениях гидроизоляция стен не выполняется. В сборных сооружениях для стеновых панелей изоляцию устраивают из торкретштукатурки или окрасочной битумно-полимерной, а также дегтеполимерной композиции.

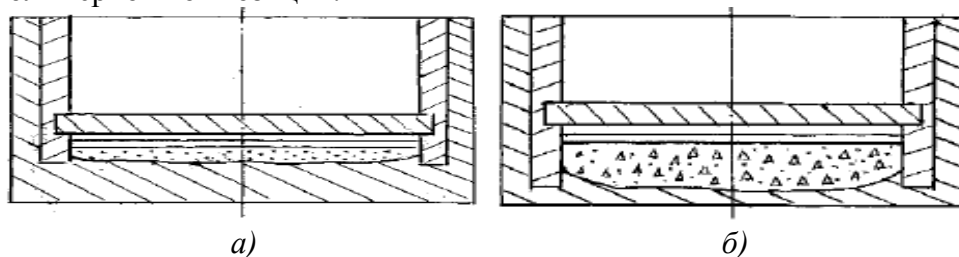


Рис. 3.7. Конструкция оснований днища:
а) для сухих грунтов; б) для водонасыщенных грунтов.

3.3.6 Воротник траншеи

Воротник устраивают только при строительстве несущих стен в траншеях под глинистым раствором. Он может быть постоянным и входить в состав возводимого сооружения как самостоятельный конструктивный элемент или же временным и устраиваться только на период отрывки траншеи. На период ее разработки и монтажа в ней стеновых конструкций воротник используют для закрепления ее верхней части и перераспределения нагрузок от монтажных кранов и разрабатывающего механизма и временного закрепления стеновой панели в монтажном положении.

В период эксплуатации сооружения воротник траншеи может использоваться как верхнее опорное кольцо, кольцевой эксплуатационный балкон, анкер - площадка против всплытия.

3.4 Конструктивные решения подземных сооружений

Создание новой индустриальной технологии строительства методом "стена в грунте" потребовало разработки новых конструктивных и объемно-планировочных решений заглубленных зданий и сооружений, учитывающих особенности этой прогрессивной технологии производства работ.

Насосные станции первого подъема, совмещенные с водозабором. Учитывая, что насосные станции, совмещенные с водозабором, строят на берегу водоема и, следовательно,

в сложных инженерно-геологических условиях, метод "стена в грунте" нашел широкое применение при строительстве таких сооружений. Эти сооружения выполняются круглой или прямоугольной формы в плане. Максимальный диаметр сооружения 48 м, минимальный 12 м. Глубина заложения сооружения 6-12 м.

Горизонтальные отстойники. Отстойники выполняют в виде емкости с проницаемым дном с размерами в плане 48×66 м и глубиной 11 м. Циркуляционными перегородками отстойник разделен на 6 коридоров. Перекрытие смонтировано по сетке колонн 6×6 м. Ограждающие стены выполнены способом "сборная стена в грунте" из плоских панелей толщиной 300 мм. Устойчивость панели на период производства работ обеспечивается путем заземления ее в грунт на глубину 6,5 м. При эксплуатации сооружения устойчивость панелей обеспечивается также наличием перекрытия.

Использование тонких стеновых панелей взамен гравитационных стен позволило уменьшить объем железобетона на 1012 м (то есть на 39,8%), массу арматуры и проката - на 72 т (16,8%).

Подпорные стены. Разработаны и осуществлены конструкции подпорных стен ячеистого типа, а также конструкции тонкостенных подпорных стен, являющихся ограждениями. Конструкция ячеистых подпорных стен позволяет уменьшить объемы земляных работ на 80%, сократить расход железобетона на 12%.

3.5 Защита подземных сооружений от грунтовых вод

3.5.1 Краткая характеристика противofiltrационных диафрагм

Противofiltrационные диафрагмы (ПФД) представляют собою стенки в грунте и земляных сооружениях. Предназначены такие стенки для преграждения фfiltrационных потоков в водопорных сооружениях и их основаниях. Эти потоки направлены из верхнего бьефа в нижний в различных хранилищах чистых или загрязненных вод, вытекающих из окружающего грунта в выемки, котлованы и карьеры. ПФД обеспечивают надежную устойчивость гидротехнических сооружений, а также защищают водные ресурсы от загрязнения и истощения, а земельные территории от подтопления и заболачивания.

3.5.2 Классификация противofiltrационных диафрагм

ПФД подразделяются:

- по длительности службы на постоянные и временные, то есть используемые для временных котлованов;
- по расположению относительно водопора на совершенные и несовершенные. Совершенные диафрагмы полностью пересекают (перекрывают) фfiltrующие пласты и плотно сопрягаются с водопором, подстилающим водопроницаемые грунты, путем врезки в него. Несовершенные или висячие ПФД не полностью перекрывают область фfiltrации, то есть не доходят до водопора, вследствие этого обтекаются фfiltrационным потоком снизу;
- по расположению относительно защищаемого от фfiltrации объекта - на замкнутые и незамкнутые;
- по характеру статической работы и материалу - пластичные, жесткие и эластичные.

Пластичные диафрагмы выполняют из нетвердеющих маловодопроницаемых грунтовых материалов, например, глины, тяжелого суглинка, специальных глиногрунтовых, в частности, солеустойчивых паст и других подобных естественных или искусственно составленных материалов. Жесткие ПФД выполняют из монолитного бетона, железобетона. В особых случаях ПФД временного назначения могут выполняться из дерева и металла. Эластичные ПФД выполняют из синтетических пленок, защищенных от механических

повреждений слоем пластичного строительного материала.

Выработки, в которых осуществляется строительство ПФД, делятся на следующие типы: траншеи переменного сечения, образующиеся секущимися буровыми скважинами; траншеи постоянной ширины, создаваемые буро фрезерными или ковшовыми машинами; щели, создаваемые путем бокового уплотнения грунта в результате вибропогружения и извлечения из него щелеобразователей типа шпунтины или создания щели баровыми машинами.

Способы возведения жестких диафрагм полностью совпадают с технологией строительства монолитных несущих и сборных стенок. Их возводят блок-секциями.

Различают следующие способы образования пластичного типа диафрагм: обратную засыпку в траншею вынутого из нее грунта, обогащенного глинистыми фракциями; отсыпку комовой жирной глины, нагнетание насосами глинистой пасты; обратный замыв - то есть пере укладка в траншею разрабатываемого под глинистой суспензией грунта без выдачи его на поверхность; перемешивание грунта на месте его залегания с глинистой суспензией.

3.5.3 Конструктивные особенности противофильтрационных диафрагм

Конструктивные решения ПФД во многом определяют технологию и механизацию из строительства. Эти решения при возведении водоподпорных сооружений гидроузлов, хранилищ и их оснований обычно имеют вид, представленный на р.

ПФД могут выполняться из бетона и железобетона, технология и механизация их возведения ничем не отличается от строительства заглубленных монолитных несущих стен в грунте. Что касается сооружения ПФД из нетвердеющих материалов, нередко применяемых в сочетании с другими материалами, то их конструкция и технология возведения имеет ряд существенных особенностей.

Эти ПФД обычно бывают трех видов: однородные стены в грунте, полностью состоящие из глиногрунтового материала; комбинированные стены в грунте, верхняя несущая часть которых выполнена из бетона или железобетона, а нижняя противофильтрационная из глиногрунтового маловодопроницаемого материала; ПФД, состоящие из синтетической пленки, уложенной в один или несколько слоев обычно у одной или обеих стен траншеи на всю высоту и заполняющей траншею щель глиногрунтового материала.

3.6 Технология и механизация разработки грунта на больших глубинах

Оборудование, применяемое для разработки траншей под глинистым раствором, по назначению разделяют на две группы: специализированное, т.е. предназначенное только для разработки узких глубоких траншей по методу "стена в грунте", и не специализированное, т.е. предназначенное для других работ, но с небольшими изменениями его можно использовать для разработки траншей под глинистым раствором. По способу извлечения разработанного грунта из траншеи все виды землеройного оборудования разделяют на две группы: оборудование, разрабатывающее грунт с переводом его в рабочий глинистый раствор с выносом на поверхность эрлифтной установкой, и оборудование, землеройным снарядом которого является грейфер, осуществляющий подъем на поверхность отработанного грунта с выгрузкой в транспортное средство. В первом случае необходима обратная циркуляция раствора с очисткой его от шлама, а во втором случае разработанный грунт не засоряет глинистый раствор, но увеличивается число операций, связанных с подъемом и опусканием рабочего органа.

Станки и механизмы, применяемые для разработки траншей по методу "стена в грунте", разделяют на пять видов:

1. Буровые установки вращательного действия с погружным приводом породоразрушающего инструмента - советские установки СВД-500, СВД-500Р, станки японской фирмы "Боринг".

2. Буровые установки вращательного действия с расположенным на поверхности приводом породоразрушающего инструмента - советские станки УРБ-ЗАМ и машины ВНИИГС; итальянские станки "Титания", станки SF-20, S-300, PS-150 западногерманской фирмы "Зальцгиттер" и др.
3. Буровые установки ударного и ударно-вращательного действия советские станки УКС-22, УКС-30М, и БС-1М, станки канадской фирмы "Иканда", французских фирм "Солетанш", "Беното" и др.
4. Установка с породоразрушающим инструментом скребкового типа - экскаваторы-драглайны, скребковые траншеекопатели, экскаваторы с обратной лопатой, грейферные установки, гидравлический траншеекопатель ЭПТ -1 т др.
5. Установки для забивки или вибропогружения шпунта и последующего его извлечения - станки французской фирмы "ЕТФ", установка для вибропогружения шпунта конструкции треста "Гидроспецстрой".

Разрушение грунта в полости траншеи производят тремя методами: разрушение грунта последовательными слоями по вертикали; разрушение грунта последовательными слоями по горизонтали; разрушение грунта по вертикали сплошным забоем.

Траншею при горизонтальном забое составляют из захваток, длина которых меньше их глубин. Разработку ведут на всю длину захватки горизонтальными слоями сверху вниз. При вертикальном забое траншею разрабатывают сразу на всю глубину с одного или обоих ее концов.

Разработку траншей короткими захватками длиной 3,65,0 м в грунтах I-IV групп производят траншейными грейферами при глубинах до 30м и штанговым экскаватором при длине захватки 2,2 м и глубине до 15 м, а траншеи, близкие по форме к кольцевым, разрабатывают штанговыми экскаваторами или грейферами с захватом небольшой длины.

Показатели применяемых машин и агрегатов приведены в табл. 3.1 ÷ 3.4.

Таблица 3.1

Технические характеристики гидравлических экскаваторов

Показатель	ЭО-2621А	Э-5015А	ЭО-3322Б	ЭО-4321	ЭО-4121А	ЭО-5123	ЭО-6122
Размерная группа	2	3	3	4	4	5	6
Вместимость основного ковша, м ³	0,25	0,5	0,5	0,65	1,0	1,6	2,5
Вместимость сменных ковшей, м ³	0,25-0,5	0,5	0,4-1,0	0,4-1,0	0,65-2,0	1,25-2,8	1,6-4,0
Мощность двигателя, кВт	44	55	55	59	95,6	125	150
Тип ходового устройства	на базе трактора	гусеничный	пневмо-колёсный	пневмо-колёсный	гусеничный «тракторного» типа	гусеничный «тракторного» типа	гусеничный
Продолжительность цикла «обратной» (прямой) лопаты, с	15 (15)	16	15,5	16 (15)	17 (14;15)	24 (20)	29 (23)
Наибольшая глубина «высота» копания, м	3,0	4,5	5,0	6,7	7,1 (7,2)	7,3	10,7
Наибольший радиус копания, м	5,0	7,0	8,2	10,16	10,2 (10,6)	10,6	11,23
Наибольшая высота выгрузки, м	2,6	5,5	5,2	6,18	5,2	5,5	5,37

Таблица 3.2

Основные производственные показатели проходческих агрегатов, применяемых для сооружения траншейных стенок

Показатели		Агрегат СВД-500Р	Установка ВНИИГС	Экскаватор-драглайн Э-2503	Станок УКС-30М	Станок SF-20 (ФРГ)	Станок CYS-58 (Франция)	Установка ELSE (Италия)	Станок LW Boring (Япония)
Ширина траншеи, м		0,5-0,7	0,5	2,5-4,5	0,5-0,9	0,4-0,8	0,5-0,8	0,4-0,8	0,4-1,2
Глубина траншеи, м		50	20	20	100	20	30	25	50
Вес рабочего органа, тс		3,5-7,0	-	2,5	1,5-2,5	-	-	-	7,5-13,0
Производительность в смену, м ²	в мягких грунтах	240	40	60	8	150	20	30	25
	в грунтах с твердой прослойкой	160	-	-	4	-	10	-	-
	в крепких грунтах	18	-	-	1	-	1,5	-	-
Метод разработки полости траншеи и способ транспортировки породы на поверхность		Вращат. бурение погруженным буром	Роторное вращательное бурение	Разработка забоя ковшом	Ударное бурение	Роторное вращательное бурение	Ударное бурение	Разработка забоя ковшом	Вращат. бурение погруж-ым буром

Таблица 3.3

Технические характеристики грейферов и навесного оборудования, применяемого при разработке траншей

№	Наименование параметров		ГПИ Фундамент. Проект	ШГ-500 НИИСП	Грейдер электро- гидравлический	Экскаватор ЭК-800	Драглайн ТД-600 (ТД-1000)	СТФ-600
1	Ёмкость ковша, м ³		0,6	0,6	1,0-1,35	0,6	0,6-1,2	0,8
2	Длина захвата раскрытых челюстей, м		3,2	5,0	2,25	-	-	-
3	Натяжение каната полиспаста, кН		28,8	87,5	-	-	-	-
4	Базовая машина		Э-10011	Э-10011	-	Э-1254	Э-652, Э-1254	-
5	Траншея	ширина, м	0,6	0,6	0,6-0,8	0,5-1,0	0,6-1,1	0,6
		глубина, м	20	30	30	12	12-18	20
6	Производительность стенки в смену, м ²		-	100-110	25	100	50-80	-
7	Масса навесного оборудования, т		5,1	3,5	5,0	2,0-2,5	1,0-1,7	1,0
8	Крутизна забоя под глинистым раствором, град.		60-70	60-70	60-70	60-70	60-70	60-70

Таблица 3.4

Характеристики буровых установок ударного, колонкового и шнекового бурения

Наименование параметров	БС-1М	УКС-22М	УКС-3М	ЗИФ-300М	ЗИФ-650А	СБА-800	УКБ-200	БСК-2М	СВБ-2 шнек	УАБ-130 шнек	МГБ-2	СБА-500
Глубина бурения, м	100	100	100	300	650	800	300	100	25	130	100	500
Ширина траншеи, м	0,4-0,5	0,5-0,6	0,4-0,9	0,13	0,2	0,15	0,13	0,13	0,15	0,2	0,18	0,14
Вес бурового инструмента, тс	2-3	1,3	2,5	1,38	2,43	1,97	1,12	0,48	1,00	1,4	1,5	1,11
Мощность электродвигателя, кВт	75	20	40	35,5	40	58,5	29,5	-	-	-	-	31
Диаметр каната бурового инструмента, мм	30	22	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Диаметр бурильных труб, мм	-	-	-	50	63	60	50	42	-	-	-	50
Габарит станка, длина	8,8	8,6	10,0	2,3	2,7	2,1	2,29	1,7	-	2,5	7,2	1,6
ширина	3,4	2,3	2,6	1,1	1,2	1,1	0,89	0,71	-	1,0	3,5	1,1
высота	15,0	12,7	16,3	1,9	2,3	1,9	0,48	1,4	-	1,4	3,3	1,6
Вес станка, тс	24,0	7,6	12,7	1,4	2,4	1,97	1,12	0,48	1,0	4,0	14,8	1,1

3.7 Принципиальные схемы работ траншеепроходческих машин российского производства

В настоящее время как за рубежом, так и в нашей стране для производства работ способом "стена в грунте" применяют различные машины и оборудование, выбор которых зависит от геологических условий и объема намечаемых работ. При этом все виды землеройного оборудования условно разделяют на две основные группы: оборудование, разрабатывающее грунт с переводом его в рабочий глинистый раствор, и оборудование с ковшовым рабочим органом.

В первом случае необходима обратная циркуляция раствора с очисткой его от шлака. Во втором случае разработанный грунт, почти не засоряя глинистый раствор, извлекается из траншеи, но число операций возрастает (подъем и опускание ковшового рабочего органа).

В нашей стране область эффективного применения машин приблизительно определяется так: в нескальных грунтах при глубине до 7 м применяют общестроительные экскаваторы с обратной лопатой, при глубинах до 16 м, в основном при строительстве противофильтрационных диафрагм, - общестроительные и специальные экскаваторы-драглайны, штанговые экскаваторы, при глубинах до 25-30 м - грейферы конструкции НИИСП Украины, фундамент-проекта Минмонтажспецстроя России, НИИОСП России, Ниистройдормаша и др., при глубинах от 25 до 40 м в нескальных и скальных грунтах - бурофрезерные машины типа СВД-500Р Киевского ПКО института Гидропроект им. С.Я.Жука, при глубинах от 25 до 50 м в нескальных грунтах - барражные машины института ВИОГЕМ России, а при больших глубинах в нескальных грунтах и при любых глубинах в скальных грунтах, а также в условиях проходки скважин в обсадных трубах применяют буровые станки.

3.7.1 Буровые установки

Буровые установки вращательного действия нашли широкое применение при образовании узких траншей по методу "стена в грунте". Установки этого типа разделяют на две группы: установки с долотом, расположенным в конце буровой штанги, и установки шнековым породоразрушающим рабочим органом. К первой группе относят станки с рабочими органами в виде долот - роторные станки УРБ-ЗАМ, КАМ-500, 1БА-15, а также УГБХ-150. Ко второй группе - шнековые установки СО-2. Технические характеристики буровых установок представлены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Буровые установки

Техническая характеристика	Единица измерения	Буровая установка		
		УРБ-ЗАМ	УГБХ-150	СО-2 и УГСФ
Тип установки		роторный		шнековый
Диаметр бурения	мм	до 600	до 800	до 800
Глубина бурения при диаметре до 600 мм	м	300	16	до 30
Мощность двигателя	кВт	40	50	40-55
Частота вращения рабочего органа	с	0,75	1; 1,3; 1,7; 2,9	0,75

Буровую установку УРБ-ЗАМ используют для разработки траншей при строительстве заглубленных сооружений по методу "стена в грунте".

Грязевый насос этой установки используют для прямой промывки забоя с подачей чистой глинистой суспензии через буровую колонну труб. При этом через буровую колонну

труб диаметром 168 мм пропускают воздуховодную трубу диаметром 50 мм, с расходом воздуха 5 м³/мин для получения эффекта эрлифта. Производительность станков: 15 м в смену - КАМ500, 18 м в смену - УРБ-ЗАМ.

К числу известных зарубежных роторных буровых станков, которые применяются при строительстве методом "стена в грунте", относятся станки фирмы Зальцгиттер (ФРГ) типов PS-150, SW-200 и S-300. Пользуются известностью также многшпиндальные буровые установки Японской фирмы Toung Boring.

3.7.2 Буровые агрегаты фрезерного типа

Агрегаты СВД-500 и СВД-500Р (рис. 3.8) предназначены для образования траншей в несвязных, полускальных и скальных грунтах. Агрегат СВД-500Р снабжен специальной тележкой из двух платформ на рельсовом ходу, каждая из которых оснащена электролебедкой грузоподъемностью 8 тс. На первой платформе размещено оборудование для привода бурового снаряда, а на второй - для очистки глинистого раствора.

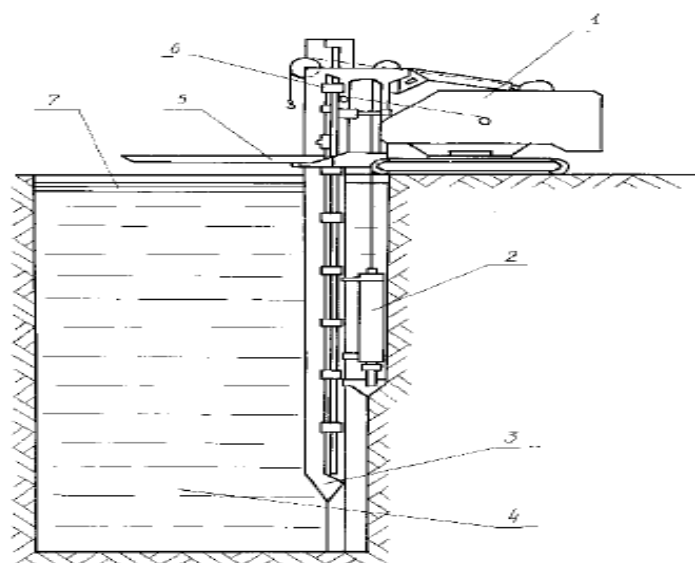


Рис. 3.8. Агрегат СВД-500: 1 - базовая машина; 2 - буровой снаряд; 3 - эрлифт; 4 - образованная траншея; 5 - пульпавод; 6 - навесное оборудование; 7 - уровень грунтовых вод

Буровой снаряд выполнен в виде электробура с встроенным герметизированным электроприводом. На хвостовике планетарного редуктора закреплено шарошечное или трехперое долото. Буровой снаряд, подвешенный к базовой машине, скользит по полозьям направляющего шаблона, фиксирующего его положение.

В комплект агрегата СВД-500 входит: компрессор ДК-9, ситогидроциклонная установка 4СГУ-2, две глиномешалки МГ2-4, агрегат для приготовления и укладки глиногрунтовой пасты ГЗ-1, смеситель глинистых растворов БС-2, эрлифт.

СВД-500Р представляет собой модификацию агрегата СВД500, выполненную на рельсовом ходу с целью обеспечения строгой вертикальности и прямолинейности траншеи при работе на глубинах до 25 м. Компоновка агрегата на рельсовом ходу позволяет создать промышленную поточную линию по образованию и заполнению траншеи в последовательности технологического цикла.

Работой агрегата управляет машинист-оператор из машины, в которой установлен пульт управления. Агрегат при проходке перемещается на заданный интервал автоматически, при этом величина перемещения задается исходя из конкретных геологических условий грунта.

3.7.3 Агрегаты с ковшовыми рабочими органами

К ковшовым машинам, используемым для разработки траншей, относятся экскаваторы, оборудованные обратными лопатами, траншейными драглайнами, специализированными траншейными грейферами и штангами.

Экскаватор с грейферным оборудованием на телескопической напорной штанге ЭО-5122 (рис. 3.9). Грейферное оборудование предназначено для разработки в грунтах 1- IV группы траншей различной конфигурации в плане шириной 0,6-0,8 м и глубиной до 25 м под глинистым раствором при устройстве сооружений способом "стена в грунте".

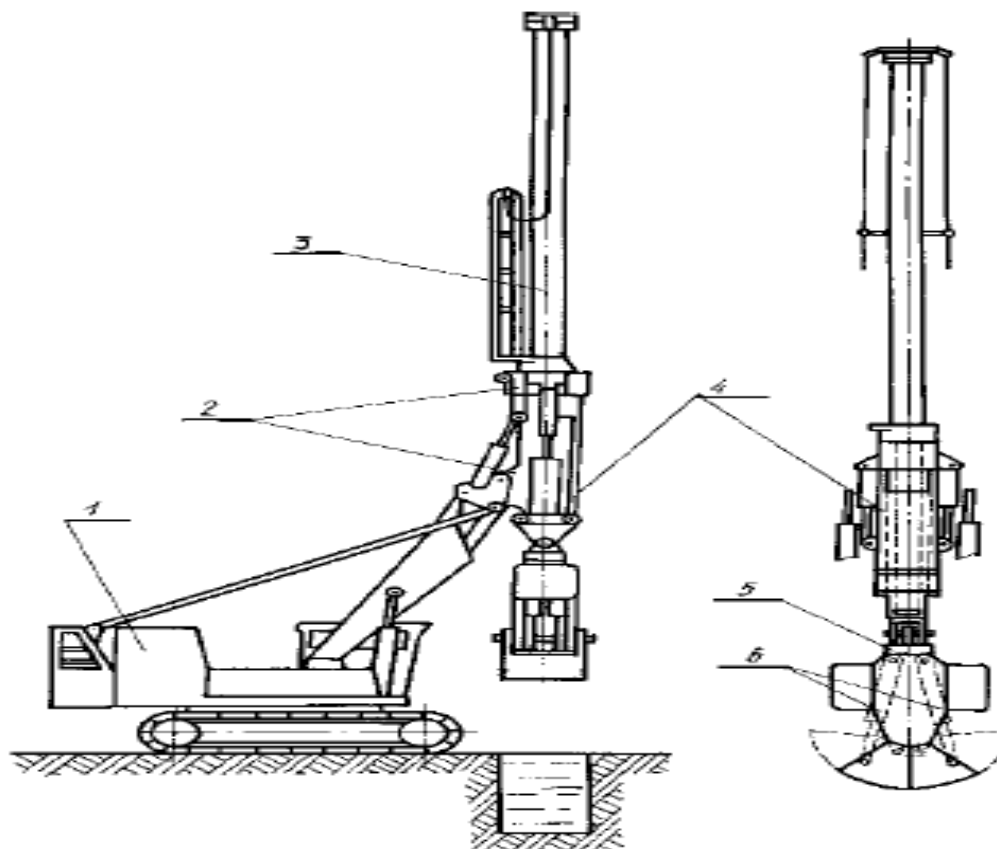


Рис. 3.9. Экскаватор ЭО-5122 с грейферным оборудованием на телескопической напорной штанге: 1 - базовая машина; 2 - блок крепления штанги; 3 - штанга телескопическая; 4 - механизм перемещения штанги; 5 - грейфер; 6 - гидроцилиндры челюстей грейфера

Грейфер состоит из корпуса с ковшом и двумя гидроцилиндрами. Положение грейфера в траншее фиксируют двумя стабилизаторами, которые закреплены к корпусу при помощи пальцев.

Ковш грейфера имеет две челюсти, режущие кромки которых имеют полукруглую форму и снабжены зубьями. Очистку челюстей грейфера от налипшего грунта производят специальными выталкивателями.

Для привода грейфера и штанги используют гидросистему базовой машины. Необходимые гидроагрегаты устанавливают на стреле и поворотной платформе, а управление рабочими движениями грейфера размещают в кабине базовой машины.

Штанговый экскаватор ЭК-600 на базе экскаваторов Э1252; Э-1254 предназначен для разработки грунта I-IV группы (рис. 3.10).

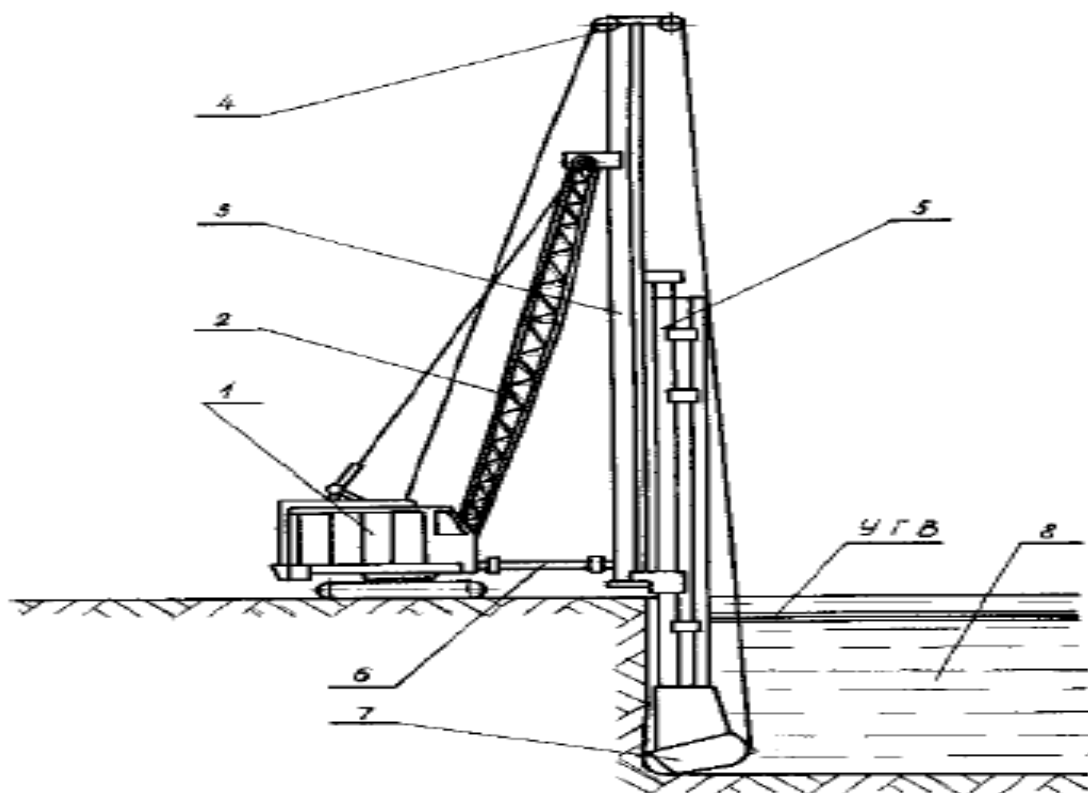


Рис. 3.10. Штанговый экскаватор ЭК-600: 1 - базовая машина; 2 - стрела; 3 - копровая стойка; 4 - оголовок; 5 - рукоять; 6 - падающее устройство; 7 - ковш; 8 - разрабатываемая траншея

Штанговое оборудование представляет собой сварную металлоконструкцию и состоит из копровой стойки с направляющей, выполненной в виде тавра из полосы толщиной 20 мм и рукояти с ковшом, работающим в грейферном режиме.

По направляющей копровой стойки рукоять с ковшом движется сверху вниз и наоборот. Резание грунта ковшом производят при помощи тяг и лебедки базовой машины. Заполненный ковш закрывают и поднимают вместе с рукоятью для выгрузки. После выгрузки ковш в раскрытом состоянии опускают в траншею для следующего набора грунта.

Штанговый экскаватор ЭК-600 рекомендуется применять как для разработки траншей при строительстве заглубленных частей зданий и сооружений из бетона, железобетона, так и для устройства противофильтрационных диафрагм.

3.8 Средства механизации зарубежного производства для разработки грунта в глубоких траншеях

3.8.1 Основные сведения

Применение нового способа устройства противофильтрационных и подпорных стенок в гидротехническом, гражданском, промышленном и транспортном строительстве оказалось настолько перспективным, что многие зарубежные фирмы сочли экономически выгодным наладить выпуск специальных установок для этих работ. Первые патенты на установки для проходки траншей под глинистым раствором получили итальянская фирма “Родино-Маркони” и американская фирма “Крониз”. В период с 1955 по 1960 гг. появились: западногерманская установка “Зальцгиттер”, английская “Эльзе”, итальянские “ИКОС” и “Титания”, канадская “Иканда”, японские “Тон-Боринг” и “Като”, французские “Поклен”, “Беното”, “Солетанш” и др.

Оборудование зарубежного производства, используемое для разработки грунта по методу “стена в грунте”, представляет собой специальные грейферные (редкофрезерные) установки. Наибольшее распространение они получили во Франции, Италии, США, Японии, Англии и некоторых других странах. Грейферы делят на механические (тросовые) с гидро- и электроприводом по принципу закрытия челюстей и по принципу подвески грейфера к стреле крана на гибкую (тросовую) и жесткую подвеску. В двухканатных грейферах один канат используют для его подвески, а другой (ходовой) — для управления челюстями.

На плотных грунтах (III—IV) наиболее эффективно работают грейферные установки с жесткой подвеской к стреле крана, а с гибкой подвеской и массой грейфера 17 т применяют на полускальных грунтах.

Основные показатели некоторых грейферных установок зарубежных фирм приведены в таблице 3.6.

Таблица 3.6

Основные показатели некоторых грейферных установок зарубежных фирм

Фирма	Подвеска	Параметры грейфера			Группа грунта
		ширина, см	масса, т	размах челюстей, м	
«Ришье»	штанговая	60	3-5	-	I-II
			6-7		II-III
			8-12		III-IV
«Бати»	тросовая	50	6	1,8	I-III
		100	8	2,7	
			17	3,6	IV-V
«Поклен»	штанговая	40	-	-	I-IV
		60		1,94	
		80		-	
«Като»	штанговая	60	-	-	I-IV
		80			
		120			
«Солетанш»	штанговая	40	3	1,8	I-III
		60	-	-	

За рубежом для разработки траншей глубиной до 28 м широко применяют краны фирмы “Поклен” с шарнирно-сочлененной стрелой и грейфером на жесткой штанге. Подобные грейферные установки имеют небольшие размеры, весьма мобильны, технологичны. Поэтому их широко применяют в стесненных условиях плотной городской застройки.

3.8.2 Технические характеристики экскаваторов с гидравлическими грейферами на напорной телескопической штанге

Экскаваторы с навесным грейферным оборудованием нашли наибольшее распространение в зарубежной практике при устройстве траншей по методу “стена в грунте”. При этом навесное грейферное оборудование подразделяется на три группы:

1. Грейферы, оборудованные жесткими штангами.

К этой группе грейферов относят гидравлический грейфер французской фирмы Posclain емкостью 0,7 м³, захватом 3,4 м, глубиной разработки 10,6 м. Грейфер фирмы “Солетанш” с телескопической штангой, сопряженной с копровой стойкой. Захват этого грейфера 1,8 м, ширина траншеи 0,4—0,8 м, емкость 0,24 м³, вес 1,6—3,0 тс. Грейфер фирмы “Пауэр”

“Плутон” емкостью 0,5 м³ оборудован штангой с давлением на забой 20 тс при силе замыкающей его челюсти 30 тс предназначен для разработки твердых грунтов.

2. Грейферы одно- и двухканатные с гибкой подвеской на стреле крана.

Это грейферы фирм “Икос-Федер”, “Като”, “Крам-шел”, “Титания” и др.

Разработку грунта такими грейферами производят между лидерными скважинами, стоящими рядом. При этом закрытие челюстей грейферов осуществляют механическим или гидравлическим приводом.

3. Грейферы со свободной гибкой подвеской на стреле крана, оборудованные распорными устройствами.

Распорное устройство в момент врезки грейфера в забой, упирается в стенки разрабатываемой траншеи и уравнивает силу реакции забоя, в результате чего достигается хорошая врезка и наполнение грейфера. Такие грейферы выпускает фирма “Фельман” в Швейцарии.

За рубежом широко распространен метод разработки грунта, который предложила английская фирма “Эльзе”. Рабочий орган устройства, осуществляющего этот метод, выполнен в виде ковша, который перемещает по направляющей. При достижении дна траншеи ковш врезается в грунт и поворачивается на 90°, заполненный грунтом. Рабочий орган извлекают на поверхность и разгружают в бункер транспортера или ковш скипового подъемника.

После разработки очередной захватки до дна траншеи установку передвигают так, чтобы направляющая рама вплотную подошла к переднему торцу разрабатываемой траншеи. Ширина разрабатываемых траншей 0,4, 0,5, 0,7, 0,8 м, а глубина до 25 м. Этим способом разрабатывают и короткие траншеи длиной до 6 м.

В США для рытья траншей под противодиффузионные диафрагмы применен специализированный многоковшовый экскаватор, который образовывал траншею шириной 0,8 м, глубиной 5,5—13,6 м под защитой глинистой суспензии.

Технические характеристики основных траншеепроходческих агрегатов, применяемых за рубежом при разработке грунта по методу “стена в грунте”, приведены в таблицы 3.7, 3.9.

Таблица 3.7

Основные показатели некоторых грейферных установок французского производства

Показатель	SCK - 150 «Поклен»	TR - 18 «Галинет»
Ширина ковша, м	0,5 - 0,9	0,5 - 1,2
Длина захвата, м	2,2	2,4
Глубина траншеи, м	30	22
Радиус копания, м	3,12	-
Высота выгрузки, м	2,25	1,8
Усилие напора, кН	100	150

Таблица 3.8

Технические характеристики основных траншеепроходческих агрегатов зарубежного производства

Наименование параметров	«Зальцгиттер-20» ФРГ	«Солетанш» Франция	«Поклен» Франция	«Баши» Франция	«Ришье» Франция	LW-4055 Япония	LW-5580 Япония	LW-8012 Япония
1. Ширина траншеи, м	0,3-0,8	0,5-1,2	0,4-0,8	0,5-1,0	0,6	0,5	0,5	0,5
2. Глубина траншеи, м	20	50	25	25	25	400-500	580-800	800 1200
3. Диаметр труб буровой штанги, м	150-400	-	-	-	-	400-600	400-600	400-600
4. Количество долот		-	-	-	-	7	5	5
5. Вес рабочего органа, тс	9,5	-	-	8-12	6-7	7,5	10,0	13,0
6. Размах челюстей, м	-	-	1,94	1,8-3,6	1,0-2,5	-	-	-
7. Группы грунтов	-	-	1-1У	1-1У	1-1У	-	-	-
8. Мощность электро-двигателей, кВт	-	-	-	-	-	11,0	15,0	18,5
9. Число оборотов бура, об/мин.	-	-	-	-	-	50	35	35

3.8.3 Принципиальные схемы траншеепроходческих агрегатов зарубежного производства

За рубежом метод «стена в грунте» эффективно применяют при возведении подземных сооружений различного назначения. При этом используют проходческие агрегаты с рабочими органами: колонкового, скребкового, бурового, роторного типов, а также в виде цепи или каната оснащенных резцами.

Установка итальянской фирмы «Родио-Маркони» (рис. 3.11). Основным рабочим органом для разработки грунта под глинистым раствором в этом способе является колоколообразное долото буровой установки. Буровая вышка установлена на передвижной тележке, на которой смонтированы лебедка, всасывающий насос и сепараторы очистки глинистого раствора. Долото с лезвием подвешено к трубам. Диаметр колоколообразного долота может быть от 0,4 м до 1,5 м. Колонна труб, которая заканчивается долотом, подвешивается на тросе тяговой лебедки.

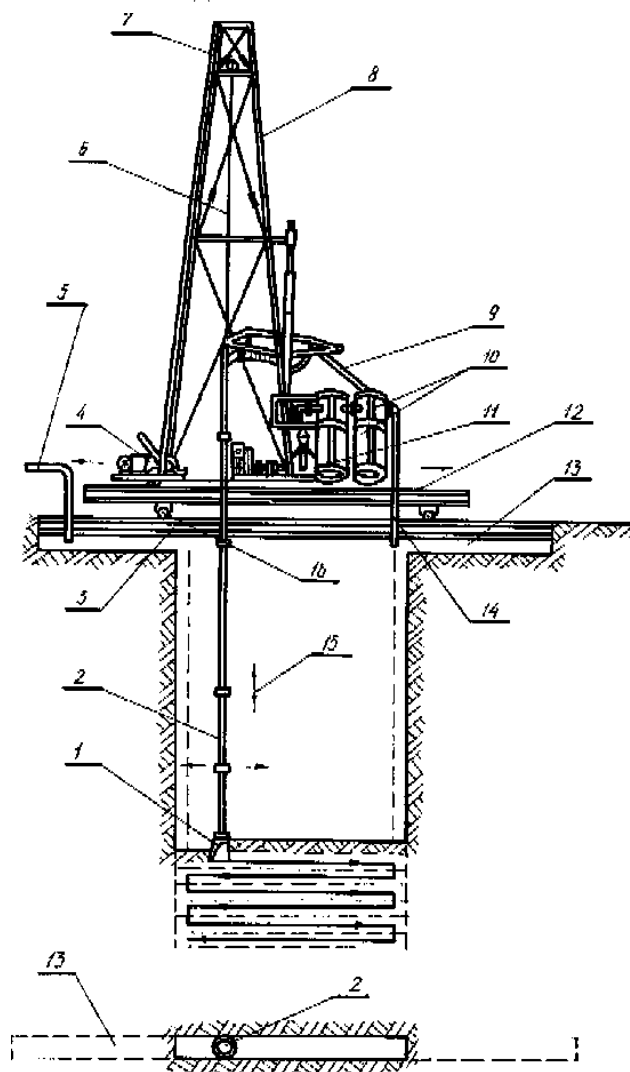


Рис. 3.11. Установка итальянской фирмы «Родио-Маркони»

Установка состоит из следующих основных элементов: 1 — сменное долото; 2 — колонна труб; 3 — рельсовый путь; 4 — силовая лебедка; 5 — труба отсоса раствора; 6 — тяговый трос; 7 — отклоняющий ролик; 8 — буровая вышка; 9 — труба отсоса грунта из зоны разработки грунта в емкость; 10, 11 — отстойники отделения грунта от раствора; 12 — передвижная тележка; 13 — пионерная траншея; 14 — рукав подачи раствора в разрабатываемую щель; 15 — щель заполнения раствором; 16 — колесный ход передвижной тележки.

Фирма, выпускающая установку, определяет ее производительность 150 м² в смену, при максимальной глубине проходки до 100 м.

Разработка траншеи под глинистым раствором с применением оборудования установки «Родио-Маркони» производится захватками длиной 4—9 м на всю глубину траншеи слоями толщиной 15—50 см в зависимости от прочности породы. Для послойной разработки траншеи буровая установка совершает челночные движения путем перемещения тележки, на которой она смонтирована.

Порядок разработки траншеи следующий. Сначала отрывается мелкая траншея шириной, соответствующей диаметру лезвия долота, и глубиной 40—80 см, затем она заполняется глинистым раствором. Глубина траншеи должна быть достаточной для того, чтобы всасывание грунта через долото могло начаться без срыва вакуума. Затем долото становится на забой и начинается разработка траншеи под глинистым раствором. Горизонт глинистого раствора в траншее поддерживается на уровне земли. По мере углубления траншеи производится наращивание колонны труб. В последних моделях установки инвентарные трубы не сочленяются с долотом и остаются при бурении неподвижными. Ударные движения при этом сообщаются непосредственно долоту при помощи троса, пропущенного внутри труб. В процессе проходки высота падения долота может регулироваться в зависимости от крепости породы.

Немецкие фирмы выпускают траншеепроходческий агрегат с ковшовыми рабочими органами, которые крепят к замкнутой цепи. Такой агрегат разрабатывает траншею в слабых грунтах на глубине до 5 м сплошным забоем и выносит его на поверхность. Агрегат (рис. 3.12) имеет платформу с вышкой 1, на которой крепят механизмы подвеса рамы режущей части 2 и привод замкнутой цепи. Рама 2 содержит натяжной и приводной ролики с двумя рядами замкнутых цепей 4 с режущими элементами 3, выполненными в виде ковшей.

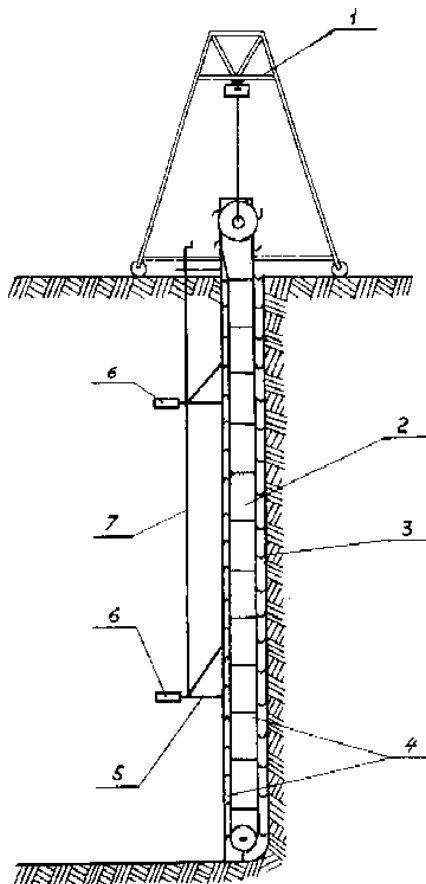


Рис. 3.12. Траншеепроходческий агрегат с ковшовым рабочим органом

Подачу на забой осуществляют распорным механизмом 6, рычагом 7, который имеет винтовые пары, закрепленные в ребрах жесткости 5, последние связаны с кожухом рамы 2.

Разработку грунта начинают с бурения лидерной скважины до проектной отметки. Подводят тележку с вышкой 1 на ось скважины и опускают агрегат с рамой 2. Рычагом 7 через винтовые пары разворачивают распорные лапы 6, создавая упор от реактивной силы, возникающей от сопротивления грунта резанию, и включают привод цепной нити 4 с режущими элементами 3, производят резание грунта и вынос его на поверхность.

Японские фирмы для устройства тонких противοfiltrационных завес используют следующие устройства. На рис. 3.13 представлено устройство для разработки грунта струями раствора под давлением, которое включает стойки 1 с отклоняющими роликами 2, через которые проходят тяговые канаты 11 и подвижные консоли 3 с шарнирами 12, к которым закреплены тяги 5. Тяги 5 через нижние шарниры крепят к пустотелой трубе 10 с отверстиями для сопел 4. К пустотелой трубе подводят жидкость или растворы под высоким давлением шлангом 6.

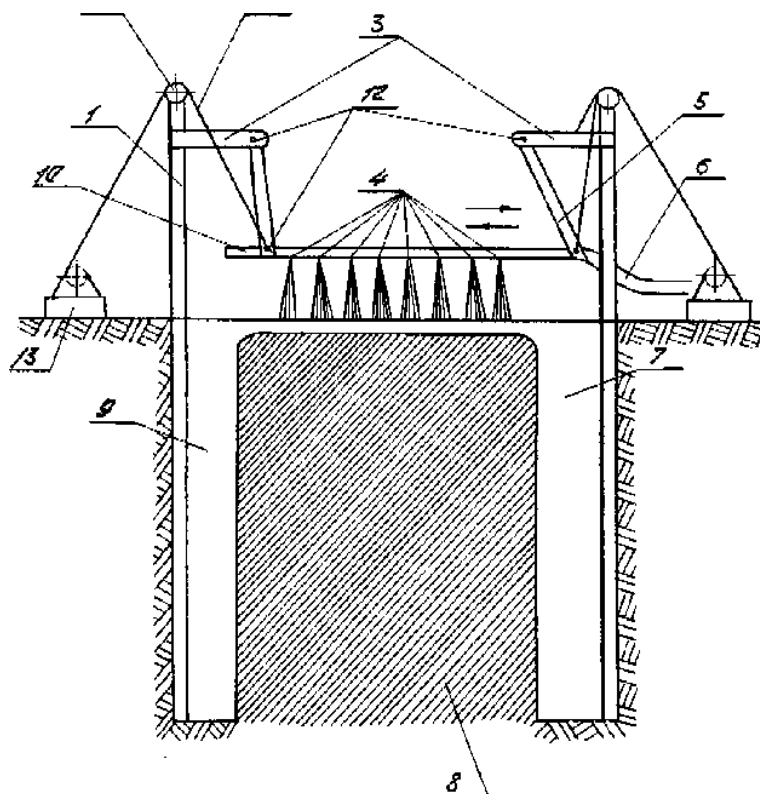


Рис. 3.13. Устройство для образования узкой щели

Устройство тонкой противοfiltrационной завесы начинается с подготовки скважин 7 и 9, затем на ось захватки устанавливают устройство с длинной трубой 10, равной длине захватки 8. Включают тяговые лебедки 13 поочередно, тяговые канаты оттягивают трубу 10 через тяги 5 и создают ей качающие движения в горизонтальной плоскости, при этом подвижные консоли 3 опускают на величину подачи. Через шланг 6 подают жидкость под давлением. Струя жидкости под давлением размывает грунт и перемещает его с раствором, образуя тело глиногрунтовой завесы. Глубина разработки зависит от длины стойки, по которой опускают лебедками 13 подвижные консоли 3. Внедрение рабочего органа в виде полой трубы 10 с соплами 4 в размывтый грунт происходит под действием собственного веса и покачивающих движений. Разработанный струей жидкости грунт перемешивается с жидкостью (раствором) и после извлечения рабочего органа 10 раствор твердеет, образуя тело завесы.

Для устройства тонких глиногрунтовых противофильтрационных завес в Японии применяют способ разработки грунта канатной и цепной нитью, оснащенной резцами, снизу вверх. Устройство, осуществляющее это способ, представлено на рис. 3.14.

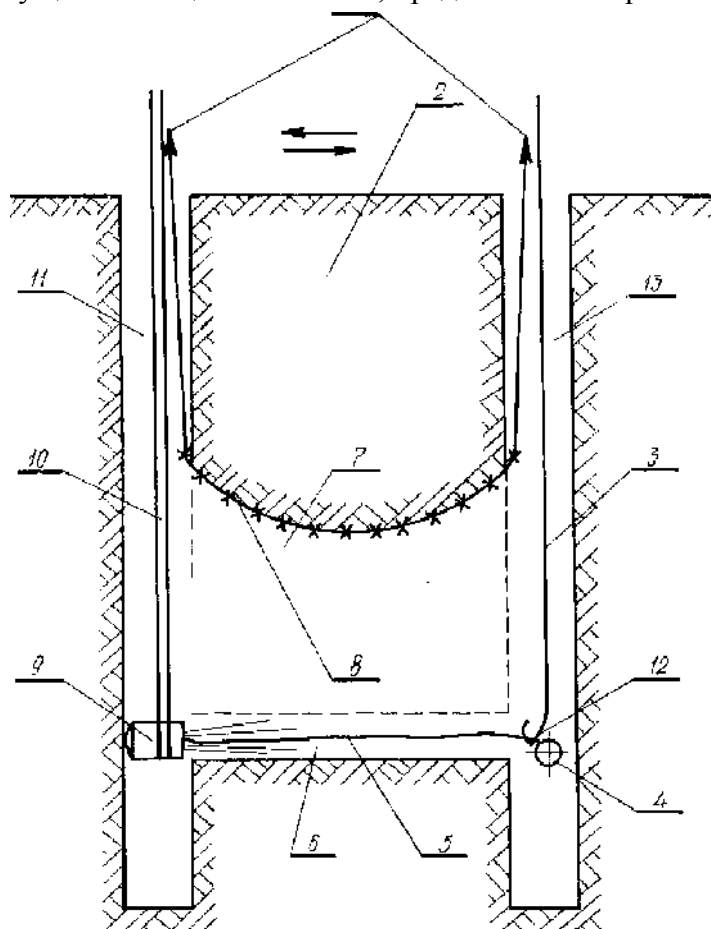


Рис. 3.14. Устройство для образования узкой щели способом «снизу вверх»

Оно включает: взрывное устройство 9, закрепленное на штанге 10 с ядром 4, к которому присоединен трос 5; штангу подъема ядра 3 с крюком 12; рабочий орган 8, выполненный в виде канатной или цепной нити с резцами для разработки грунта; концы рабочего органа 8 соединяют с тяговыми канатами 1 и далее к лебедкам. Возведение завесы начинают с устройства пионерных скважин и заполнения их раствором, затем в скважину 11 на штанге 10 опускают взрывное устройство 9 с ядром 4, ориентируют его на ось противоположной скважины и производят выстрел. Ядро 4 пробивает захватку 2 и оставляет после себя канал 6. Затем опускают штангу 3 с крюком 12 в скважину 13 и извлекают ядро 4 с тросом 5, к которому закреплен конец рабочего органа 8, и присоединяют его к тяговому канату 1. Включают тяговые лебедки поочередно и создают возвратно-поступательные перемещения рабочему органу. Рабочий орган резцами разрабатывает грунт и перемешивает его с глинистым раствором, образуя глиногрунтовую смесь 7, которая при затвердении превращается в тонкую глиногрунтовую завесу.

Для разработки грунта в узкой траншее под защитой глинистого раствора в Японии применяют устройство (рис.3.15), которое состоит из передвижной платформы 1 с лебедкой опускания и подъема рабочего органа 5, копровой стойки 2 с насосом 9, тягового каната 3, рабочего органа 5 с приводом 4. Рабочий орган выполнен в виде несущего каркаса, на котором закреплены звездочки привода замкнутой цепи с резцами 6.

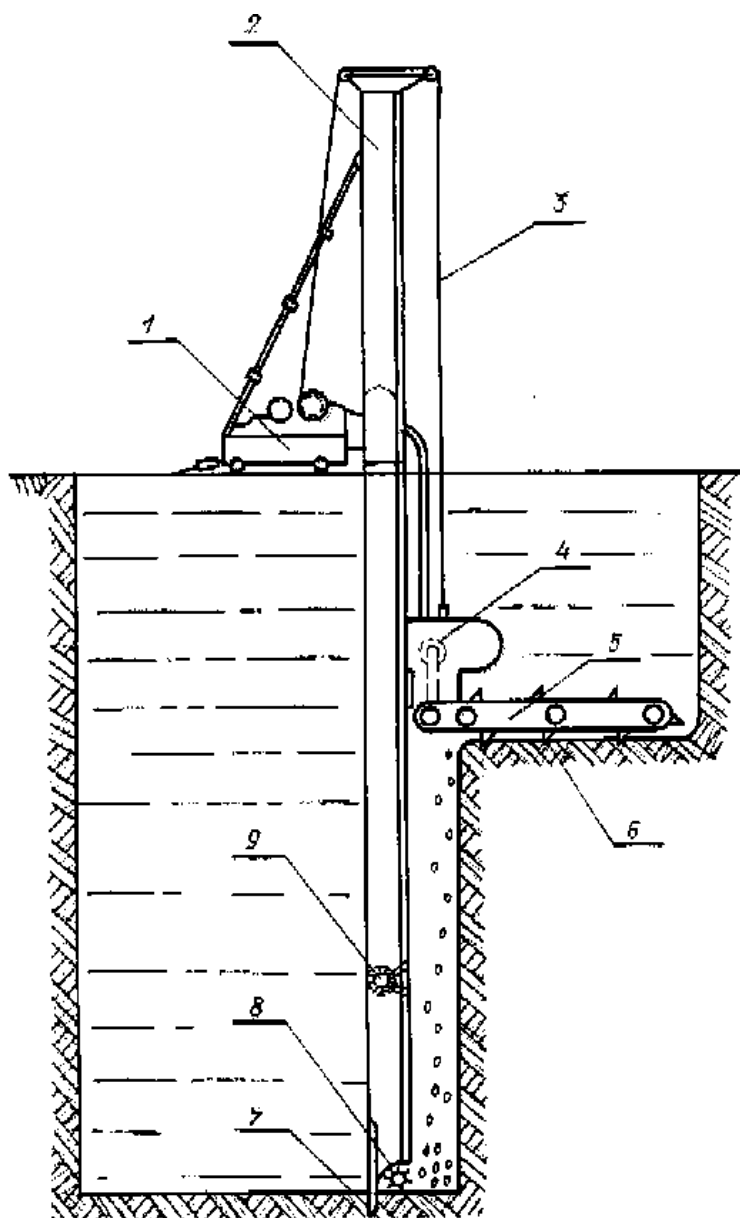


Рис. 3.15. Устройство для разработки траншей

Разработку грунта начинают с устройства пионерной скважины, затем в нее опускают копровую стойку с упорным клином 7 и внедряют клин в грунт. Ориентируют рабочий орган 5 на ось захватки и включают привод 4. Замкнутую цепную нить, оснащенную резцами 6, приводят в движение, а срезанная грунтовая стружка падает вниз и побудителем 8 подводится к всасывающей трубе центробежного грязевого насоса 9 для вывода ее на поверхность. Когда рабочий орган 5 пройдет захватку до проектной отметки, его извлекают при помощи каната 3, а тележку 1 с копровой стойкой 2 перемещают к следующей захватке и процесс повторяют.

В США для устройства траншей под защитой глинистых растворов используют машинный комплекс (рис.3.16), который включает: рабочий орган 1, выполненный в виде двух мотор — колес с резцами, эрлифтную установку 2 или грязевые насосы, систему вертикальной подачи 3 и извлечения рабочей части при переходе на новую захватку, узел приготовления глинистого раствора 4 и установку регенерации раствора 5.

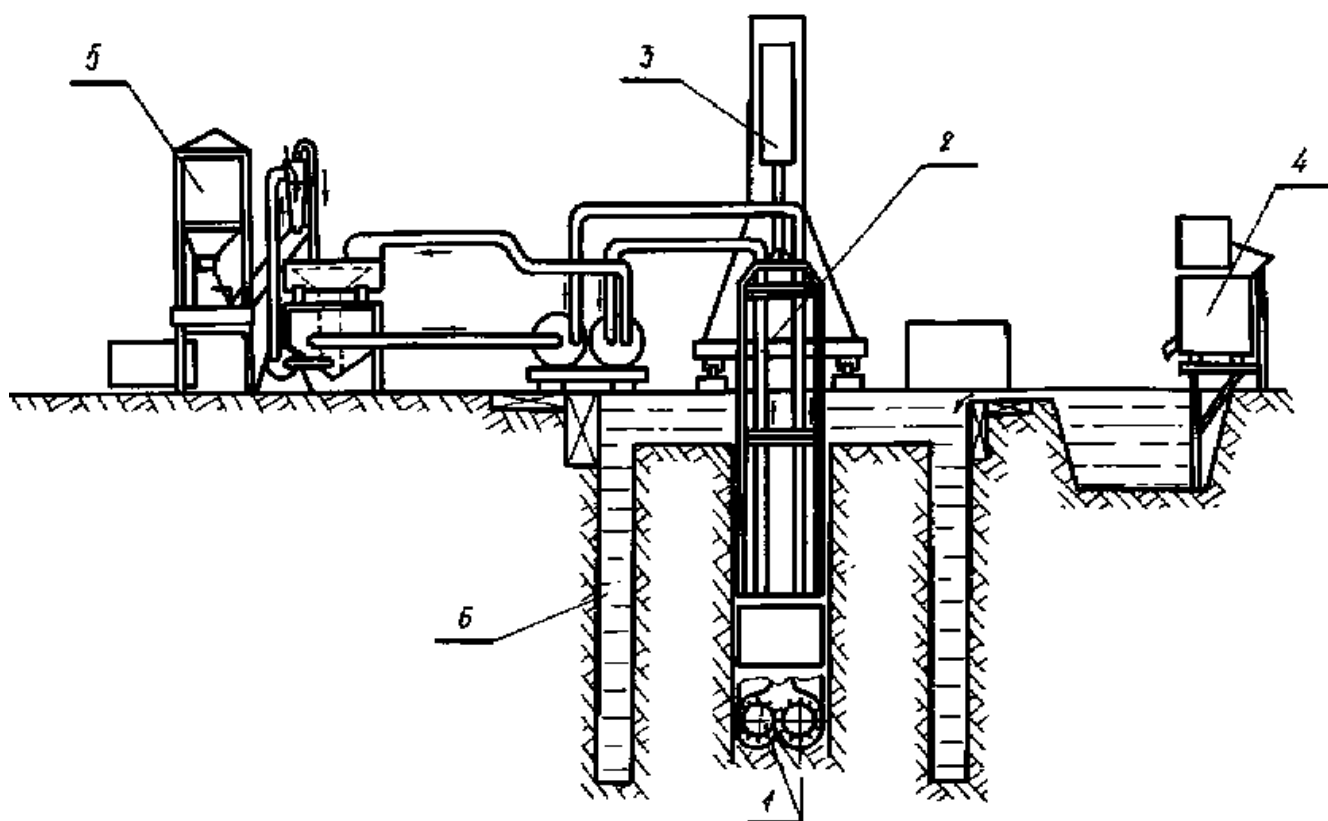


Рис. 3.16. Машинный комплекс для образования траншей

Машинный комплекс используют при устройстве несущих, ограждающих стенок и противофильтрационных диафрагм, возводимых по методу “стена в грунте” в слабых и галечных грунтах на глубины до 20 м. Для этих целей устраивают пионерные скважины 6 или скважины по центру захватки ориентируют рабочую часть на ось траншеи и начинают разработку грунта по контуру сооружения.

Грунт разрабатывают резцами мотор-колесо 1, которые вращаются на встречу друг другу и подводят грунтовую стружку к приемной камере эрлифта 2. Эрлифт выносит пульпу на поверхность и направляет ее в установку регенерации раствора 5, где происходит отделение грунта от раствора. Очищенный от грунта раствор поступает в резервуар и далее в траншею.

ПЕРЕЧЕНЬ КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ЗАЧЕТУ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ»

1. Основные направления использования подземного пространства.
2. Классификация подземных сооружений.
3. Мировой опыт использования подземного пространства.
4. Опыт СССР и Российской Федерации в использовании подземного пространства.
5. Градостроительные основы подземного строительства в крупных городах.
6. Подземные сооружения транспортного назначения.
7. Нормативная база по проектированию объектов подземного пространства.
8. Подземные сооружения в промышленности.
9. Подземные инженерные сооружения.
10. Сооружения социального назначения.
11. Комплексное использование подземного пространства.
12. Взаимодействие подземного объекта с окружающей средой.
13. Современные архитектурные и конструктивные решения подземных сооружений.
14. Основные направления повторного использования подземных сооружений и отработанных горных выработок.
15. Надёжность и долговечность подземных сооружений. Технология опережающей бетонной крепи (ОБК).
16. Технология «стена в грунте» - открытый способ строительства.
17. Технология «стена в грунте» - строительство сверху-вниз.
18. Подземные пешеходные тоннели и переходы.
19. Технология строительства тоннелепроходческими машинами.
20. Метрополитены. Технологии строительства буровзрывным способом. Крепление.
21. Подводные тоннели. Технологии строительства в сложных горно-геологических условиях. Технология «защитный экран из труб».
22. Подземные гаражи и автостоянки. Строительство подземных сооружений открытым способом.
23. Основные варианты проектирования подземных гаражей.
24. Подземные автостоянки механизированные, полумеханизированные и автоматизированные.
25. Подземные автостоянки круговой и сложной конфигурации.
26. Технология крепления «набрызг-бетоном».
27. Технология крепления анкерами.
28. Многоярусные многофункциональные подземные комплексы.
29. Технологии строительства подземных гаражей по технологии «стена в грунте».
30. Гидроэлектростанции, АЭС, гидроаккумулирующие электростанции.
31. Подземные хранилища.
32. Хранилища нефти, газа и нефтепродуктов.
33. Хранилища вредных и радиоактивных отходов.
34. Холодильники, архивы, другие виды подземных хранилищ.
35. Системы теплоснабжения и теплоаккумулирующие ёмкости.
36. Системы водоснабжения и водоотведения.
37. Основные схемы строительства дренажных тоннелей.
38. Особенности взаимодействия подземного объекта с окружающей природной средой.
39. Безвзрывная технология проходки тоннелей гидромолотами.
40. Микротоннельная технология.
41. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации подземных сооружений.
42. Предотвращение развития аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

Основная:

1. Конюхов Д.С. Строительство городских подземных сооружений мелкого заложения. Специальные работы: учебное пособие / М.: Архитектура-С, 2005. – 304 с.
2. Лысиков Б.А. Использование подземного пространства: монография / А.Б. Лысиков, А.А. Каплюхин. – Донецк: «Норд-Компьютер», 2005 – 390 с.

Дополнительная:

3. Абызов, А.Г. Возведение сооружений методом «стена в грунте»: учебное пособие / Абызов А.Г., Зазулинский А.А., Писанко Н.В. и др.; под ред. А.Л. Филахтова. Киев: Будивельник, 1976.
4. Бородин В.И. Индустриализация подземного пространства — глобальная перспектива XXI века //Альманах научно-технической информации // Прил. к журн. Подземное пространство мира. — 1995. - №5-6.
5. Голубев Г.Е. Автомобильные стоянки и гаражи в застройке городов: учебное пособие / М.: Стройиздат, 1988. – 252 с.
6. Голубев Г.Е. Подземная урбанистика и город: учебное пособие / М.: ИПЦ МИКХиС, 2005. – 124 с.
7. Ивахнюк В.А. Строительство и проектирование подземных и заглубленных сооружений: монография /М.: АСВ, 1999. – 298 с.
8. Калинин В.П. Метрополитены: монография / М.:Транспорт, 1988. – 280 с.
9. Колесников В.С. Возведение подземных сооружений методом «стена в грунте». Технология и средства механизации: учебное пособие / В.С. Колесников, В.В. Стрельникова – Волгоград: Изд-во ВолГАСУ, 1999. – 144 с.
10. Конюхов Д.С., Говорова Т.Б. Городские подземные сооружения. - М.: ИМПЭ, 2000.
11. Конюхов Д.С. Использование подземного пространства: учебное пособие / М.: Архитектура-С, 2004. – 296 с.
12. Кочерженко В.В. Технология возведения подземных сооружений. — М.: АСВ, 2000.
13. Лысиков Б.А. Подземные структуры (обзор зарубежного опыта) (в 2-х частях): монография / Б.А. Лысиков, Л.Л. Кауфман – Донецк: «Норд-Пресс», 2005. – 280 с.
14. МГСН 1.01-99. Нормы и правила проектирования планировки и застройки г. Москвы.
15. Мостков И.М., Проектирование и строительство подземных сооружений большого сечения: справочник / И.М. Мостков, Н.В. Дмитриев, Ю.П. Рахманинов – М., Недра, 1993 – 318 с.
16. Мостков В.М., Орлов В.А., Степанов П.Д. и др. Подземные гидротехнические сооружения: учебник / Под ред. В.М. Мосткова. — М.: Высшая школа, 1986.
17. Тетиор А.Н. Проектирование и строительство подземных зданий и сооружений: монография / А.Н. Тетиор, В.Ф. Логинов. – К.: Будивельник, 1990. – 168 с.
18. Петренко И.Е. Экологические аспекты строительства подземных сооружений // Горный вестник. — 1998. — № 1.
19. Пособие по проектированию метрополитенов. — М.: Метрогипротранс, 1992.
20. Правила безопасности при строительстве метрополитенов и подземных сооружений, 1992
21. Руководство по комплексному освоению подземного пространства крупных городов. М.: ГУП «НИАЦ» Москомархитектуры, 2004.

22. Смородинов М.И., Федоров Б.С. Устройство фундаментов и конструкций способом "стена в грунте". М.: Стройиздат, 1976.
23. СНиП 2.01.55-85 Объекты народного хозяйства в подземных горных выработках.
24. СНиП 2.06.09-84 Туннели гидротехнические
25. СНиП II-94-80 Подземные горные выработки
26. СНиП II-40-80 Метрополитены
27. СНиП 2.07.01-89*. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.
28. СНиП 32-04-97. Тоннели железнодорожные и автодорожные.
29. СП 91.13330.2012 Подземные горные выработки. Актуализированная редакция СНиП II-94-80
30. СП 102.13330.2012 Туннели гидротехнические. Актуализированная редакция СНиП 2.06.09-84
31. СП 120.13330.2012 Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003

Учебное текстовое электронное издание

Аглюков Харис Исакович
Суровцов Максим Михайлович

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГОРОДСКОГО ПОДЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА

Учебное пособие

1,59 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2015 год

ФГБОУ ВПО «МГТУ»

Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»

Кафедра управления недвижимостью и инженерных систем

Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий

e-mail: ceor_dot@mail.ru