

**Менейлюк А.И.**  
**Петровский А.Ф.**  
**Борисов А.А.**



# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ И ЗАВЕС



**Одесса 2017**

УДК 699.82

М 50

*Печатается по решению Ученого Совета  
Одесской государственной академии строительства и архитектуры  
(протокол № 3 от 3 ноября 2016 г.)*

**М 50 Менейлюк Александр Иванович**

Современные технологии создания противofiltrационных экранов и завес [Монография]/ А.И. Менейлюк, А.Ф. Петровский, А.А.

Борисов. – Одесса: ОГАСА, 2017. – 126с. **ISBN 978-617-7195-34-3**

Монография посвящена обзору и анализу современных технологий создания противofiltrационных экранов и завес в грунте. Такие сооружения устраивают для защиты подземного пространства от загрязнений, а подземных частей зданий от подтопления. Работа содержит анализ состояния проблемы загрязнения подземного пространства в Украине. Составлена классификация существующих технологий создания противofiltrационных экранов и завес. В монографии также представлены перспективные направления строительства таких сооружений, разработанные авторами.

Предназначена для студентов и аспирантов высших технических учебных заведений, научных и инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

***Рецензенты:***

**Д.Ф. Гончаренко** – доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры).

**Ю.Л. Винников** – доктор технических наук, профессор (Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка).

**УДК 699.82**

**М 50**

**© Менейлюк А.И.,  
Петровский А.Ф.,  
Борисов А.А., 2017**

**ISBN 978-617-7195-35-0**

| СОДЕРЖАНИЕ   | Стр. |
|--|------|
| ВВЕДЕНИЕ.....  | 4    |
| 1. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....   | 5    |
| 1.1. Источники подтопления и загрязнения подземного пространства.....  | 5    |
| 1.1.1. Источники подтопления и загрязнения.....  | 10   |
| 1.1.2. Состояние проблемы загрязнения подземного пространства в Украине.....   | 51   |
| 1.2. Анализ известных технологий устройства противofильтрационных экранов и завес.....   | 16   |
| 1.2.1. Виды противofильтрационных экранов.....   | 42   |
| 1.2.2. Методы устройства противofильтрационных экранов под сооружениями.....   | 61   |
| 1.3. Локализация очага загрязнения с помощью противofильтрационной завесы, выполненной методом инъекции растворов в грунт..... | 62   |
| 1.4. Применение метода горизонтально-направленного бурения для создания горизонтальных противofильтрационных экранов.....      | 73   |
| ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1.....   | 75   |
| 2. ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ И ЗАВЕС.....   | 76   |
| 2.1. Современные технологии создания защитных экранов и завес.....   | 76   |
| 2.2. Технология устройства противofильтрационных экранов в грунте плоским рабочим органом.....                                 | 96   |
| 2.3. Инъекционная технология устройства противofильтрационных экранов в грунте.....  | 99   |
| 2.4. Струевая технология устройства противofильтрационных экранов в грунте.....  | 101  |
| ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2.....   | 103  |
| ЛИТЕРАТУРА.....  | 104  |

## ВВЕДЕНИЕ

В Украине проблема защиты подземного пространства от техногенного загрязнения и подтопления определяется тем, что состояние большинства поверхностных и заглубленных в грунт хранилищ токсичных и радиоактивных отходов, а также свалок твердых бытовых отходов не отвечают современным требованиям по обеспечению безопасной эксплуатации.

Основными источниками отходов в Украине являются промышленные предприятия. Общее количество токсичных промышленных отходов в Украине составляет более 4,4 млрд. т., которые размещены на территории более 160 тыс. га. Предотвращение фильтрации вредных стоков из различного рода отстойников, накопителей и хранилищ промышленных отходов требует выполнения большого объема строительных работ, направленных на защиту подземного пространства.

Сегодня в Украине количество полигонов и свалок твердых бытовых отходов превышает 4 500. Ежегодно более 12 млн. т. отходов попадает на свалки, фильтрация загрязненных стоков из которых наносит значительный ущерб окружающей среде.

Потенциальную опасность представляют вопросы, связанные с подтоплением таких сооружений. Это связано с тем, что сооружение находится частично или полностью в почве. Гидроизоляция подземной части таких сооружений делалась в период их строительства, следовательно, около 50-60 лет назад. Гидроизоляционные материалы того времени не были рассчитаны на такую длительную эксплуатацию. Замены таких материалов на современные обычно не проводилось. В связи с активной техногенной деятельностью человека во многих местах поднялся уровень грунтовых вод, что привело или может привести к частичному или полному затоплению сооружения.

Большое количество сооружений находится в местах с глубоко расположенных или вообще отсутствовать водоупорным слоем почвы. Это не позволяет решить проблему, используя существующие технологии вертикальных завес вокруг сооружений в водоупорного слоя с полной от уткой воды.

В настоящее время отсутствует экономичный и эффективный способ для изоляции таких объектов и сооружений от фильтрационных потоков и грунтовых вод. Перспективные и новые технологии позволяют сделать защиту заглубленных частей таких объектов от воздействия грунтовых вод и источников подтопления, особенно в условиях городской застройки.

## РАЗДЕЛ 1

### АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 1.1. Анализ источников подтопления и загрязнения подземного пространства

**1.1.1. Источники подтопления и загрязнения.** При инженерной защите территорий зданий и сооружений подтоплением называют комплексный процесс, проявляющийся под действием техногенных и естественных факторов, при котором в результате нарушения водного режима и баланса территорий за расчетный период времени происходит повышение уровня подземных вод, достигающее критических значений, требующих применения защитных мероприятий.

Подтопление развивается вследствие подпора грунтовых вод при создании водохранилищ, организации поливного земледелия, строительного освоения территорий и эксплуатации зданий, сооружений и водонесущих коммуникаций. Такое подтопление называется техногенным [41,119,172].

Техногенное подтопление – следствие нормальной деятельности человека. В то же время оно чаще всего интенсифицируется там, где имеются недостатки в проектировании, строительстве и эксплуатации сооружений.

Основные причины подтопления на стадии строительства – нарушение стока поверхностных вод из-за отсутствия вертикальной планировки, нарушения естественного рельефа, ликвидация естественного дренажа.

Основными причинами подтопления на стадии эксплуатации застроенных территорий являются: инфильтрация утечек технологических вод, утечки из систем водонесущих коммуникаций и водовмещающих сооружений, задержка поверхностных и подземных вод зданиями и сооружениями в следствии барражного эффекта [34,41, 119,128].

Все источники подтопления можно разделить на естественные и искусственные:

– к естественным источникам относятся: атмосферные осадки, грунтовые воды, паводковые воды, вода в парообразной форме в грунтах зоны аэрации;

– к искусственным источникам относятся: воды, накапливающиеся в различных искусственных понижениях рельефа, котлованах, траншеях, грунтах обратной засыпки; водонесущие коммуникации всех видов; различные резервуары, отстойники, различные накопители стоков, каналы, бассейны и др.

Интенсивность развития процесса подтопления и особенности его проявления зависят от природных условий, характера технологического процесса предприятия, плотности застройки территории, параметров систем водонесущих коммуникаций, состояния гидроизоляции и противофильтрационных мероприятий на водовмещающих сооружениях.

Жизнедеятельность человека предопределяет образование большого количества промышленных и бытовых отходов, в результате чего происходит возрастающее загрязнение земной поверхности, гидрографической среды и атмосферы и, как следствие, загрязнение подземных вод. Борьба с загрязнением подземного пространства особенно актуальна на территориях городов, где в силу высокой концентрации населения, промышленности, транспорта и коммунального хозяйства оно происходит особенно интенсивно.

Различают следующие виды загрязнения грунтов:

– химическое (поступление минеральных веществ в составе промышленных выбросов, неорганических, органических и металлоорганических соединений, в составе ядохимикатов, удобрений и мелиорантов, нефти и нефтепродуктов в результате аварий на нефтепромыслах и нефтепроводах);

– радиоактивное (поступление радиоактивных веществ в результате выбросов и аварий на атомных электростанциях);

– биологическое (поступление с бытовыми, сельскохозяйственными отходами биоты, чуждой грунтовой фауне и флоре). [3].

В результате антропогенной деятельности в окружающую среду поступает значительное количество загрязняющих веществ. Загрязняющие

вещества подразделяются по агрегатному состоянию на твердые, жидкие и газообразные (парообразные). Твердые вещества в зависимости от размера частиц составляют следующий убывающий ряд: макрочастицы, сажа (агломераты углеродных частиц), пыль, летучая зола, дым. Твердые загрязняющие вещества, за исключением макрочастиц, рассеяны в сплошном потоке газовой или жидкой среды.

По характеру воздействия на живые организмы различают загрязняющие вещества общетоксического действия мутагенные (результатом действия которых могут быть нарушения в системе воспроизводства потомства) и канцерогенные, обуславливающие развитие злокачественных новообразований.

В практике природоохранной деятельности загрязняющие вещества разделяют с учетом их химических свойств на видовые группы: неорганические, органические; используют и более дробное деление на оксиды, кислоты, щелочи. В качестве видовых характеристик используют также физические свойства: цвет, запах, содержание и природа твердых частиц, скорость осаждения, температура, плотность, характеристики потоков (расположение, направление и скорость), скорость диффузии.

Нередко рассматривают группы веществ в зависимости от отраслей, их выделяющих: загрязняющие вещества химической, нефтеперерабатывающей, целлюлозно-бумажной промышленности, черной и цветной металлургии, автотранспорта, теплоэнергетики. Такое деление является нестрогим, так как в разные группы может входить одно и то же вещество. Например, диоксид серы  $SO_2$  поступает в окружающую среду с выбросами предприятий цветной металлургии, заводов химической промышленности, теплоэлектростанций. Но такая классификация удобна при разработке природоохранных мероприятий.

В зависимости от размеров выбросы загрязняющих веществ делят на массовые и немассовые. Массовые выбросы учитывают в первую очередь, так как они резко ухудшают санитарно-гигиеническое состояние природной среды. При аварийных ситуациях выбросы, обычно относящиеся к немассовым, могут

стать массовыми. Различные возможности контроля выбросов обусловили их деление на две группы: организованные и неорганизованные.

Организованные (или согласованные) выбросы вредных веществ - это такие выбросы, которые осуществляются с использованием специальных устройств: труб, компрессоров, очистных сооружений, заводских факелов, печей сжигания шламов, шламовых площадок, шламонакопителей. Организованные выбросы обычно содержат значительные количества токсических веществ, которые можно контролировать, устанавливая предельно допустимые согласованные выбросы (ПДСВ) для данной территории.

Неорганизованные выбросы технически невозможно вывести в нейтрализующую среду. К ним относятся утечки через не плотности в аппаратах, арматуре, магистралях; испарение с поверхности сточной жидкости в системах канализации и сооружениях очистки сточных вод; испарение продуктов из резервуаров и хранилищ, разливы и залповые выбросы продуктов при авариях и пожарах. Появление неорганизованных выбросов связано с причинами производственного характера. В этом случае контроль загрязнения проводят определением содержания поллютантов в различных объектах окружающей среды.

В настоящее время приоритетные *источники химического загрязнения* можно подразделить на естественные и антропогенные. Естественные источники обусловлены существованием различных месторождений (рудных, газовых, нефтеносных) и природных аномалий. Антропогенные источники подразделяются на промышленные (или техногенные), сельскохозяйственные и транспортные.

Главными *источниками сельскохозяйственного загрязнения* являются процессы внесение органических и минеральных удобрений при управлении почвенным плодородием и увеличения продуктивности земледелия. Страны с высокими нормами применения минеральных удобрений начинают чувствовать отрицательные последствия. Наблюдается попадание нитратов, нитритов, аммония в подземные воды на десятки метров водоносных горизонтов.



Отмечается повышение содержания нитратов, фосфатов, аммония в речных, озерных водах, в эстуариях. [4].

Пестициды в больших количествах поступают почти во все экосистемы. Вследствие миграции пестицидов с воздушными, водными потоками и биологического круговорота веществ последствия их токсического действия могут обнаруживаться на территории, где химикаты никогда не применяли [4].

*Радиоактивными загрязнениями* могут считаться растворы, изделия, газ, материалы, биологические объекты, содержащие радиоактивные вещества в количествах, превышающих величины, установленные действующими нормами и правилами, и не подлежащие дальнейшему использованию на данном или каком-нибудь другом производстве и в научных исследованиях [45].

В качестве основных источников радиоактивных отходов можно выделить следующие:

- предприятия ядерного топливного цикла (добыча и обогащение урановых руд, переработка ядерного топлива, производство электроэнергии);
- отходы атомной промышленности или аварии на атомных предприятиях;
- реализация военных программ, в том числе реабилитация территорий, загрязненных таким видом отходов;
- использование изотопных продуктов в народном хозяйстве и медицине.

Эти отходы содержат, как правило, плутоний, трансураниевые элементы (преимущественно нептуний, америций, кюрий), имеющие период полураспада до десятков тысяч лет, а также изотопы стронция, цезия, кобальта, рутения, европия, йода, фосфора, церия, циркония, ниобия, иттрия и другие.

Радиоактивные отходы подразделяют на жидкие, твердые и газообразные.

Под жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) понимают растворы, содержащие радионуклиды, которые по технико-экономическим или другим соображениям не могут быть и использованы для получения товарной

продукции или в других хозяйственных целях. Жидкие РАО характеризуются большим разнообразием составов, химических и физических свойств, зависящих от условий их образования, а также от условий их переработки перед направлением на хранение или захоронение. Помимо радиоактивных нуклидов в их состав входят соли, ионы металлов, кислоты, щелочи, органические соединения и т. д., а также твердые вещества в виде мелкодисперсных взвесей, золь и гелей [12,45,47,49,50].

К твердым радиоактивным отходам (ТРО) относят загрязненные радиоактивными веществами демонтированное оборудование, изделия, материалы, биологические объекты, отработанные фильтры для очистки воздуха, спецодежду, мусор, отработавшие источники ионизирующего излучения и т. д., не подлежащие дальнейшему использованию [12,45,47,49,50].

К газообразным радиоактивным отходам (ГРО) относят газовые воздушные смеси, содержащие радиоактивные вещества в виде газа или аэрозолей, в которых превышена допустимая объемная активность радионуклидов во вдыхаемом воздухе, и которые не могут быть использованы в хозяйственных целях или исследованиях [12,45,47,49,50].

Под *биологическим загрязнением* понимают привнесение в экосистемы в результате хозяйственной деятельности человека нехарактерных для них видов живых организмов (растений, животных, вирусов, бактерий и др.), ухудшающих условия существования биоценозов или негативно влияющих на здоровье человека.

**1.1.2. Состояние проблемы загрязнения подземного пространства в Украине.** Водные запасы Украины крайне невелики. Среднегодовая водообеспеченность одного жителя Украины сегодня составляет приблизительно 1 тыс. м<sup>3</sup>, что в 15 раз ниже нормы, которая определена Европейской экономической комиссией ООН [15]. Кроме того, имея ограниченные запасы пресной воды, Украина, практически не имеет поверхностных вод, которые отвечали бы требованиям стандартов, предъявляемым к источникам питьевого водоснабжения. Основная часть

водных ресурсов приходится речной сток (92,6%) [39]. На территории Украины насчитывается более 71 тыс. рек и источников общей протяженностью 248 тыс. км. Из них более 67 тыс. (94,4%) водостоков - короткие (менее 10 км), общей протяженностью 131 тыс. км.

Водные ресурсы Украины загрязнены радионуклидами. Наблюдается интенсивная миграция радионуклидов с севера на юг. В Кременчугском водохранилище накопление радионуклидов ежегодно растет на 40%.

Накопление распространенного цезия - 137 в водах Киевского водохранилища оценивается в 7200 Ки, Каневского - 2200 Ки. Всего аварийный выброс техногенных радионуклидов на Чернобыльской АЭС составил более 50 млн. Ки, в т.ч. долгоживущих цезия - 137, стронция - 90, плутония - 270. Около 120 тыс. км<sup>2</sup> территории Украины подвергается загрязнению малыми дозами радиации и 40 тыс. км<sup>2</sup> - средними и крупными [46].

Особое место в стране принадлежит подземным водам. Они чистые и поэтому обычно используются для удовлетворения потребностей населения.

Несомненно, одним из важнейших загрязнителей подземных вод является также радиоактивное заражение. Рассмотрим состояние данной проблемы, а также причины, по которым радионуклиды попадают в систему водных ресурсов Украины.

Территория с сильным радиоактивным загрязнением грунта составляет 8,4 млн. га и охватывает 32 районов шести областей Украины рисунок 1. Большая часть этих почв приходится на сельскохозяйственные угодья. Радионуклидами загрязнено также 3 млн. га леса. На территориях с загрязнением цезием-137 более 45 Ки на 1 км<sup>2</sup> проживает более 15 тыс. человек, 15-45 Ки - около 46 тыс, 5-15 Ки - еще 150 тыс. Около 1,5 млн. человек проживает на территории, где радиоактивный фон превышает допустимые нормы (Киевская, Житомирская, Черниговская, Ровенская, Черкасская, Винницкая, Черновицкая, Кировоградская, Ивано-Франковская области). Дезактивационные работы, на которые в 1986-1989 гг. были потрачены миллионы, желаемых результатов не дали [40].

Особое место в проблеме защиты грунтов и грунтовых вод в Украине занимает ситуация, сложившаяся в результате Чернобыльской катастрофы.

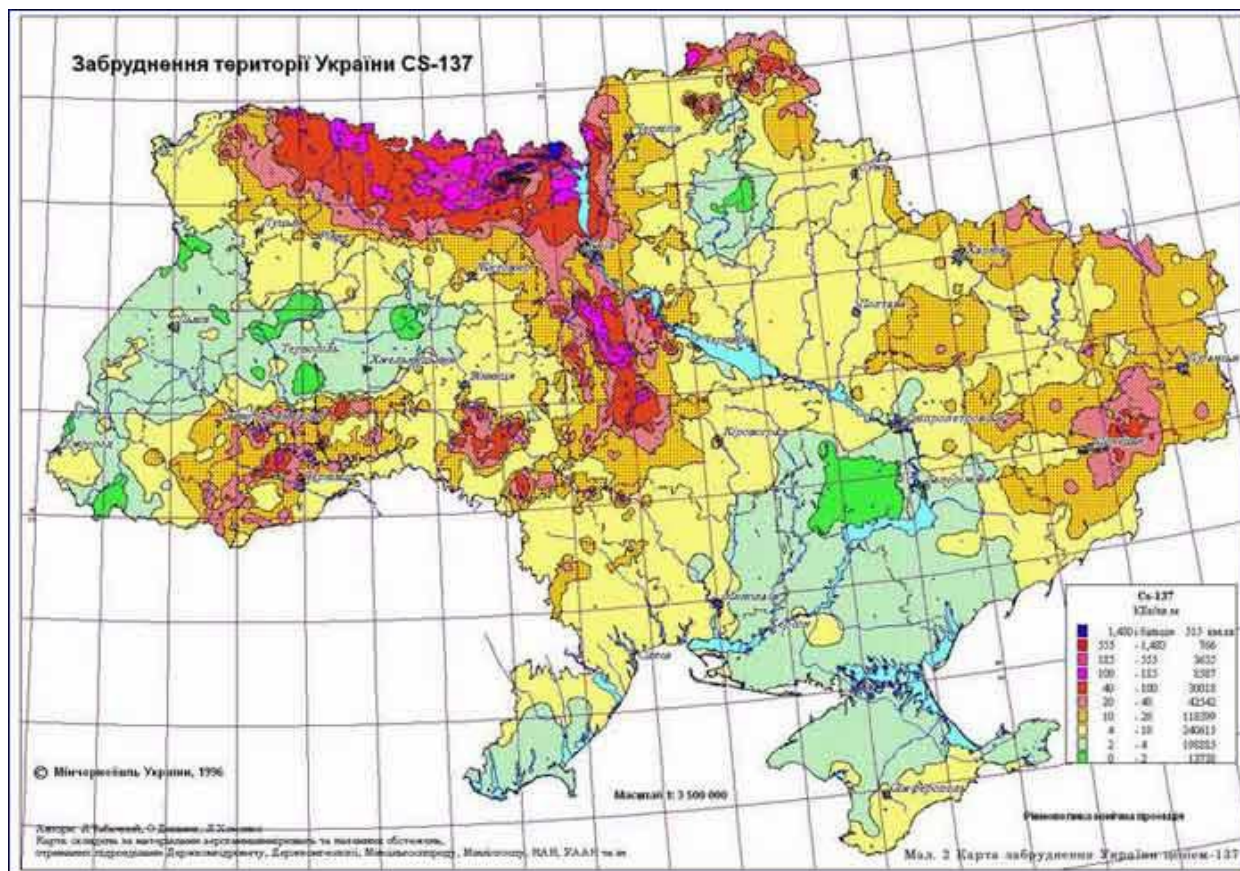


Рис. 1.1 Регионы, наиболее поражённые радионуклидами.

В водах Припяти, Днепра и его водохранилищ (особенно в Киевском) резко возросла концентрация радионуклидов. Даже спустя 6 лет после аварии она была в 10-100 раз выше, чем до нее, а в донных осадках, особенно илах, богатых на органику, накопилось огромное количество радиоактивных отходов. В Киевском водохранилище на дне накопилось уже более 60 млн. т радиоактивного ила [46].

Особого внимания, из проблем радиационной опасности территории зоны отчуждения, заслуживают пункты временной локализации радиоактивных отходов (ПВЛРО), которые представляют собой места захоронения радиоактивных материалов (преимущественно высокоактивного верхнего слоя почвы). Захоронения проводились в крайне сжатые строки, что привело к тому,

что не было создано надежной изоляции материалов содержащих радионуклиды от окружающей среды (почвенных вод и др.). На территории Чернобыльской зоны отчуждения насчитывается около 800 таких пунктов, в которых содержится 40 млн. м<sup>3</sup> твердых отходов общей радиоактивностью более чем 200 000 Ки. Не менее опасен и «саркофаг» над сгоревшим четвертым энергоблоком ЧАЭС. Там еще осталось огромное количество радиоактивных веществ. Надежность изоляции этих веществ отнюдь не гарантирована. Могильники уже сегодня протекают, «саркофаг» с годами становится все более радиоактивным, конструкции его проседают и деформируются [3].

В 1986 г. в качестве первоочередных работ по защите водных объектов от радиоактивного загрязнения были осуществлены следующие мероприятия [41]:

а) Создана противофильтрационная стена вокруг АЭС (планируемая длина - 8 - 8,5 км, фактическая - 2,8 км) - глиняная перемычка в грунте глубиной 30 м, которая была предназначена для предотвращения попадания радиоактивности в подземные воды из зоны технических аварийных объектов станции.

б) Для регулирования уровня загрязнения подземных вод в ближней зоне ЧАЭС сооружена линейная дренажная система скважин протяженностью 5,5 км, в том числе вертикального дренажа: южный отсекающий дренаж - 54 скважины, береговой вертикальный дренаж г. Припять - 96 скважин.

с) Осуществлено сооружение дренажной системы вдоль р. Припять и пруда-охладителя для перехвата естественного потока фильтрационных загрязненных вод из пруда в р. Припять - 177 скважин.

д) Выполнено обвалование берегов р. Припять для предотвращения поверхностного смыва с дождевыми водами и др.

Эти сооружения предназначались, в первую очередь, для защиты вод р. Припять от поступления радионуклидов с промплощадки и непосредственно примыкающих к станции территорий, где наблюдались самые высокие плотности радиоактивных выпадений.

Для ограничения смыва радионуклидов в Киевское водохранилище и расположенные ниже водохранилища Днепроовского каскада в 1986 г. были выполнены работы по перекрытию существующих каналов и малых рек фильтрующими и глухими плотинами. Всего было построено 131 временное перегораживающее гидротехническое сооружение, в том числе на территории Украины 96 с использованием сорбирующих материалов на основе природных цеолитов. Общая протяженность глухих дамб составила 17670 м и фильтрующих перемычек - 4908 м. Стоимость прямых затрат на сооружение дамб на территории Украины составляла около 7 млн. руб. (в ценах 1984 г.) [3].

Эти сооружения, в основном, выполнили свою водоохранную роль летом-осенью 1986 г. Однако во время паводка 1987 г. эффективность большинства сооружений оказалась малой. Эффект снижения концентраций  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в водах малых рек, пропускаемых через плотины, не превышал в среднем 1,3 - 1,5 раза. Заложённые в них сорбенты после полугодовой эксплуатации поглотили лишь несколько кюри активности. Кроме того, фильтрующие плотины быстро заиливались и превращались в глухие. Это приводило к подтапливанию значительных по площади прилегающих территорий с высоким содержанием радиоактивных веществ в почвах, способствовало повышению растворимости и переходу обменных форм изотопов цезия, стронция и частично рутения в воду, и последующему выносу их в речную сеть.

Для предотвращения миграции радионуклидов с твердым стоком были построены четыре насосоулавливающие донные ловушки на р. Припять у г. Чернобыля, сел Ивановка, Оташев, а также на Киевском водохранилище у с. Стахолесье. Однако и их эффективность в силу преимущественного радиоактивного загрязнения в виде тонких фракций наносов реки и высокой транспортирующей способности потоков оказалась очень низкой (в 1988 г. в этих русловых карьерах было перехвачено не более 7 %  $^{137}\text{Cs}$ , вынесенного рекой за год в Киевское водохранилище). В этой связи естественные плесовые участки реки и застойные зоны верхней части Киевского водохранилища

перехватывали несравненно большее количество радиоактивных веществ из речного потока за счет естественной седиментации. Общая стоимость прямых строительных затрат на сооружение четырех донных ловушек составила около 10 млн. руб. (в ценах 1984 г.) [5].

Особое беспокойство доставили проблемы фильтрации загрязненных вод из водоема-охладителя ЧАЭС. Только за счет проектной фильтрации ежегодно в р. Припять и подстилающие водоносные горизонты разгружается до 200 млн. м<sup>3</sup> загрязненной воды. Предполагалось, что с ними в р. Припять поступят растворимые формы радиоактивных веществ, первично локализованных в донных отложениях водоема, в основном <sup>90</sup>Sr. Для уменьшения выноса <sup>90</sup>Sr с фильтрующимися водами между водоемом-охладителем и рекой была построена дренажная "завеса", которая так и не была введена в эксплуатацию ввиду необоснованных до настоящего времени последствий от ее включения. Она находится в так называемом "режиме ожидания", хотя прямые - около 22 млн. руб. - и эксплуатационные затраты на ее содержание - до 5 млн. руб. (в ценах 1989 г.) остаются велики. Таким образом, вышеперечисленные основные мероприятия по снижению радиоактивного загрязнения водно-эрозионных потоков в сторону подземных и поверхностных вод на первом этапе водоохранной деятельности в зоне ЧАЭС (1986 - 1989 гг.) не дали значимого эффекта в улучшении радиационной обстановки в водных системах зоны влияния аварии [3,5,46].

Разработан план, которым предусмотрено сооружение «саркофага-2», имеющий целью накрыть весь четвертый энергоблок со старым «саркофагом». После окончания строительства планируется постепенные разборки разрушенного четвертого энергоблока, и извлечение ядерного топлива осталось. Этот проект рассчитан на 7 лет. На сегодня выполнено лишь некоторые работы по укреплению старого «саркофага» [46].

Таким образом, особого, самого оперативного внимания заслуживают места захоронения, называемые могильниками. Именно они никак не защищены от проникновения радиоактивных элементов в систему подземных

вод, и требуют наискорейшего устройства противofильтрационных защитных экранов.

## **1.2. Известные технологии устройства противofильтрационных экранов и завес**

Противofильтрационные устройства (экраны и завесы) применяются для преграждения движения грунтовых вод к защищаемым от подтопления сооружениям и площадкам (противofильтрационные завесы), а также для перехвата инфильтрационных вод, поступающих из водовмещающих наземных и подземных емкостей и сооружений-резервуаров, отстойников, шламохранилищ, накопителей стоков (противofильтрационные экраны) [1]. Завесы конкурируют с экранами. Выбор завесы или экрана решается технико-экономическими расчетами [7].

Противofильтрационные экраны (ПФЭ) рекомендуется применять при устройстве шламохранилищ, наземных и подземных резервуаров и т.п. Такие экраны представляют собой площадные устройства, выполненные из одного или нескольких слоев непроницаемых материалов, которые могут сочетаться с дренирующими устройствами типа фильтрующих постелей и др. [1].

Преимуществом противofильтрационных завес (ПФЗ) является возможность их строительства на эксплуатируемых сооружениях, а также при больших площадях водоемов или карт для захоронения отходов и близком залегании водоупора, когда экраны явно не экономичны [7].

Наиболее целесообразно устройство противofильтрационных завес, полностью прорезающих водоносные слои и частично заглубленных в водоупорный слой грунта. При глубоком залегании водоупорного слоя и невозможности или нецелесообразности полного прорезания водоносных слоев грунта глубина противofильтрационной завесы определяется на основании фильтрационных расчетов.

Глубина противofильтрационной завесы является одним из основных параметров, определяющих эффективность воздействия завесы на фильтрационный поток. В зависимости от назначения завесы ее эффективность



может выражаться в сокращении расхода фильтрационного потока или уменьшении его напоров. По обоим этим признакам наиболее эффективна совершенная завеса, полностью пересекающая водоносный слой. При очень малой водопроницаемости тела завесы (коэффициент фильтрации материала заполнения порядка  $10^{-3} - 10^{-4}$  м/сут и менее) совершенная завеса практически полностью останавливает фильтрационный поток и принимает на себя полный его напор.

Несовершенная завеса (“висячая”), пересекающая водоносный слой не на полную его глубину, имеет значительно меньшую эффективность, чем совершенная, как по сокращению расхода фильтрационного потока, так и по уменьшению напоров. Тем не менее в определенных гидрогеологических условиях устройство несовершенной завесы может быть целесообразным [8].

На основании анализа известных способов устройства противофильтрационных экранов и завес была предложена их классификация. На рис. 1.2 приведена классификация способов устройства вертикальных противофильтрационных экранов и завес, на рис. 1.3 – горизонтальных противофильтрационных экранов и завес.

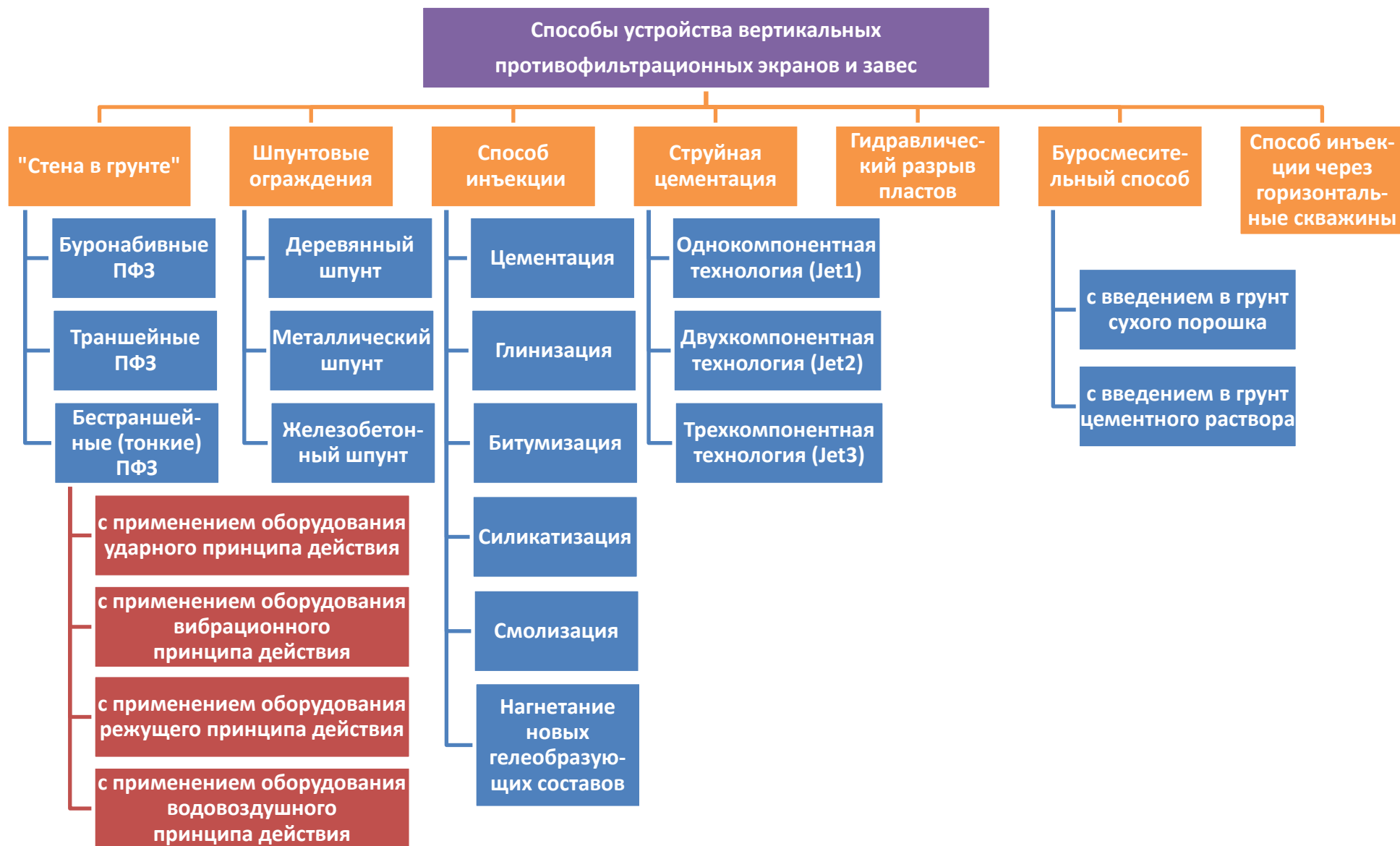


Рисунок 1.2 Классификация способов устройства вертикальных противofильтрационных экранов и завес

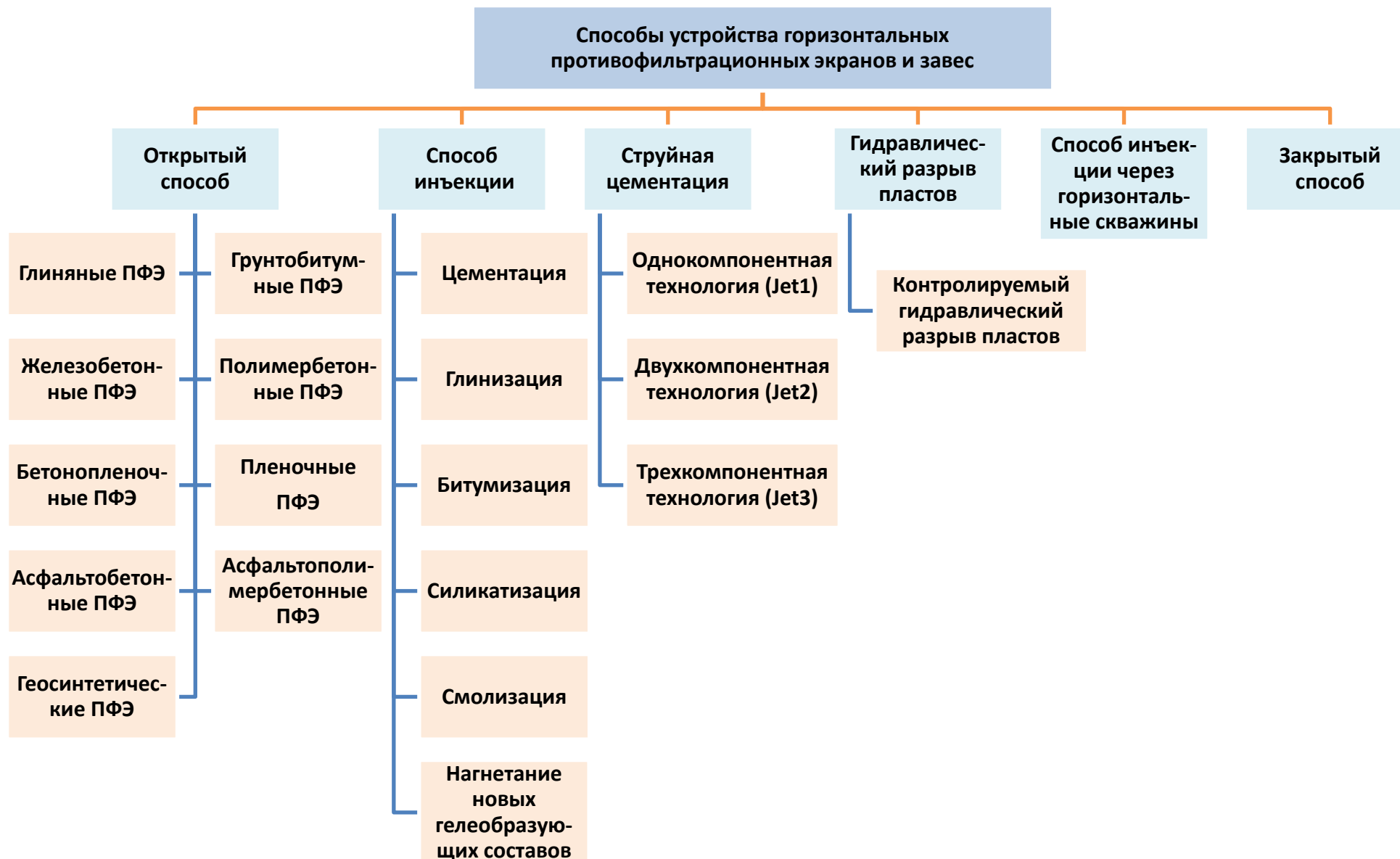


Рисунок 1.3 Классификация способов устройства горизонтальных противofильтрационных экранов и завес

**Способ “стена в грунте”.** Сущность способа “стена в грунте” состоит в устройстве в грунте выемок и траншей различной в плане конфигурации. В процессе работы землеройных механизмов устойчивости стен выемок и траншей достигают заполнением их глинистыми растворами (суспензиями) с тиксотропными свойствами. После устройства в грунте выемок или траншей заданных размеров глинистый раствор в них в зависимости от назначения сооружения замещают различного рода материалами, которые образуют в грунте несущие и ненесущие конструкции. Для заполнения траншей используют бетон, сборные элементы, различного рода смеси глины с цементом или другими материалами [9].

Широкое применение способ “стена в грунте” находит при строительстве противофильтрационных завес.

В зависимости от технологии выполнения строительных работ и применяемого оборудования, противофильтрационные завесы, устраиваемые способом “стена в грунте”, можно разделить на следующие виды:

- буронабивные (в виде секущиеся свай);
- траншейные (секционные и непрерывные);
- бестраншейные (тонкие).

*Буронабивные противофильтрационные завесы* выполняют в виде линейно расположенных буронабивных взаимно пересекающихся свай. Расстояние между набивными сваями должно быть менее диаметра их ствола. Примыкая друг к другу сваи образуют сплошную стену с волнистой поверхностью [9]. На рис. 1.4 показана прямолинейная стена из секущихся свай, где номерами обозначена последовательность устройства свай. Буровые станки для устройства скважин оснащают рабочими органами вращательного и ударного бурения. Диаметр буровых скважин обычно изменяется от 600 до 800 мм. Для заполнения скважин применяют твердеющий материал [9].

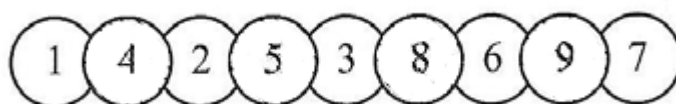


Рисунок 1.4 Прямолинейная стена из секущихся свай

Для устройства тела свай применяются различные технологии, наиболее распространенной из которых является бурение грунта под защитой инвентарной обсадной трубы, бетонирование скважины с помощью поднимаемой бетонолитной трубы, погружение в не схватившийся бетон арматурного каркаса (рис.1.5) [11].

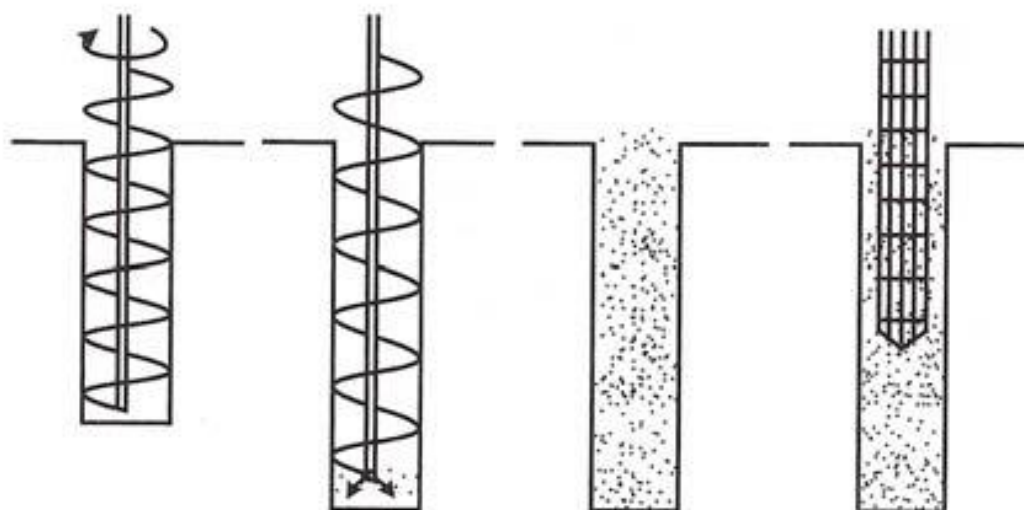


Рисунок 1.5 Схема устройства скважин-свай

Противофильтрационные завесы из буросекущихся свай чаще всего применяются в гидротехническом строительстве, а также когда возможны потери бентонитового раствора в грунтах. Глубина завес этого вида в некоторых случаях достигает 100 м. Буровое оборудование позволяет устраивать такие завесы в любых грунтовых условиях. В грунтах с крупнообломочными включениями – валунами, глыбами, крупной галькой – эффективно может быть применено только ударно-механическое бурение.

К недостаткам этого способа можно отнести худшую гидроизоляцию, чем у траншейных “стен в грунте”. По грунтовым условиям, а также в связи с низкой по сравнению с другими способами разработки грунта производительностью ударно-механического бурения и необходимостью применения твердеющего заполнителя (бетон или глиноцементный раствор), свайная конструкция завес является наиболее дорогостоящей [8,9,10].

*Траншейные завесы* сооружают с использованием специализированных ковшовых и бурофрезерных агрегатов или землеройных машин общего назначения (драглайны, обратные лопаты). Ширина траншей в зависимости от характеристик используемого оборудования принимается в пределах 500 – 1000 мм (для специализированного оборудования), до 2000 – 2500 мм (для землеройных машин общего назначения). Непрерывная траншея при заполнении может быть разделена на секции, и завеса в этом случае по конструктивным признакам относится к секционной. Необходимость разделения траншеи на секции или возможность непрерывного ее заполнения обусловлена свойствами материала заполнения, главным образом его способностью удерживать откос в траншее [8].

Работы по устройству траншеи (как и бетонирование) в случаях близкого расположения фундаментов существующих зданий выполняют отдельными захватками (через одну) или с применением ограничителей, которые разделяют траншею по длине на захватки. Наибольшее распространение получили трубчатые или фасонные металлические разделительные элементы ограничителей, позволяющие устраивать полукруглые стыки захваток или устанавливать между захватками гидроизолирующие вставки. После того как экскавация захватки доводится до проектной отметки, в нее погружается пространственный арматурный каркас. Далее в траншею погружается бетонолитная труба, в которую подается бетонная смесь, вытесняющая на поверхность находившийся в захватке глинистый раствор. Таким образом бетонирование осуществляется снизу-вверх в процессе подъема бетонолитной трубы. После набора необходимой прочности бетона начинается устройство

соседней захватки. Последовательность работ по устройству “стены в грунте” показана на рис. 1.6 [10].

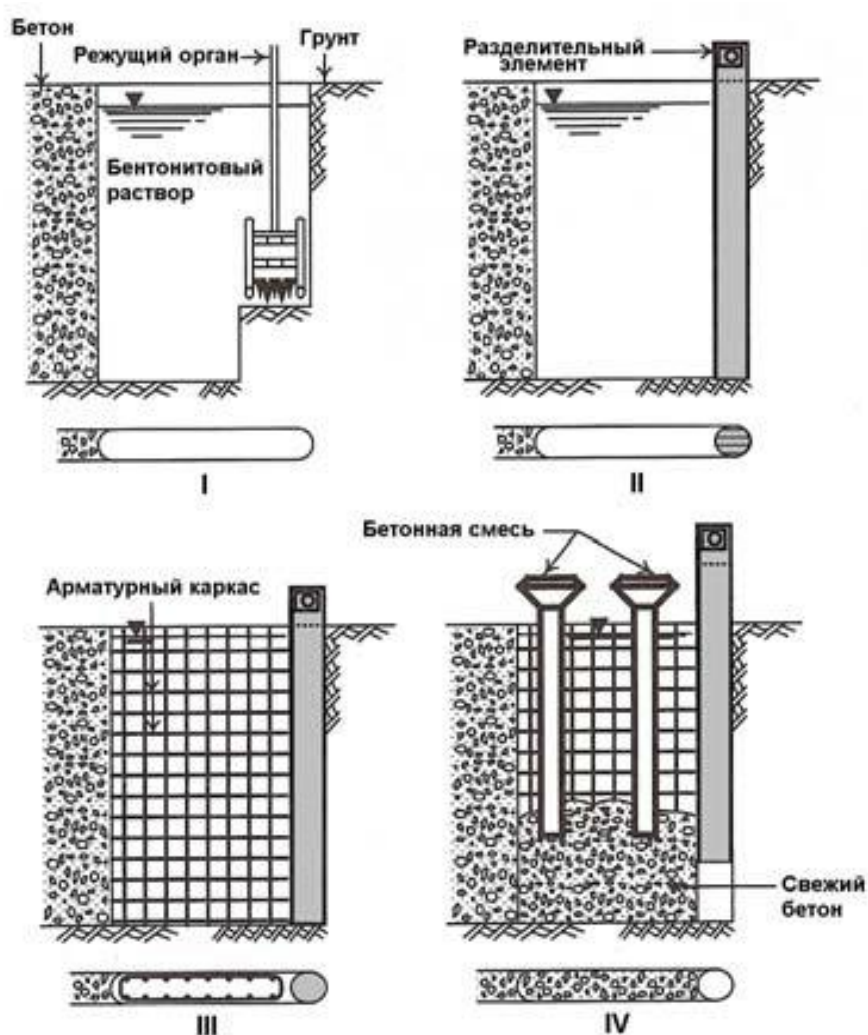


Рисунок 1.6 Последовательность устройства “стены в грунте”

Для устройства противодиффузионных завес могут использоваться твердеющие (бетон, глиноцементный раствор) и нетвердеющие (комовая глина, заглинизированный грунт) материалы. Материал для заполнения противодиффузионных завес выбирают исходя из технико-экономических сравнений и учитывая величину напора воды на завесу, срок работы завесы и ожидаемое напряженно-деформированное состояние завесы и вмещающего ее грунта.

Траншейные завесы устраивают в связных и несвязных грунтах без крупнообломочных включений. Глубина таких завес, как правило, составляет 40 – 50 м [9].

Траншейные конструкции завес имеют меньшую стоимость по сравнению со свайными, причем применение нетвердеющих материалов заполнения сокращает стоимость по сравнению с вариантами применения твердеющих материалов заполнения [8].

Для улучшения противодиффузионных свойств завесы могут устраиваться с применением синтетических пленок. Строительство ПФЗ из синтетических пленок в сочетании с местным грунтовым наполнителем осуществляется на Украине по инициативе треста Укргидроспецфундаментстрой на ряде объектов с применением установки, показанной на рис. 1.6.

До укладки в траншею из отдельных полос пленки составляются “карты” требуемой ширины. Длина карт принимается больше глубины траншеи на 1,5 – 2 м с тем, чтобы устроить в нижнем конце карты карман, в который укладывается груз, обеспечивающий необходимое натяжение карты, опущенной в траншею.

Верхний конец карты длиной около 1 м повернут вдоль поверхности земли и пригружен. Карты навешивают на стенку траншеи внахлестку с перепуском 0,5 до 1 м в зависимости от глубины траншеи и гладкости стен. Установка, показанная на рис. 1.7, имеет два барабана. Пленка необходимой длины намотана на нижний барабан, на конце ее имеется карман и груз.

Верхний конец пленки перед ее опусканием в траншею расстилают на бровке траншеи и пригружают. Сматывая трос с верхнего барабана, опускают нижний барабан, с которого сматывается карта пленки. При достижении дна нижний барабан освобождается от намотанной на нем карты, натянутой грузом, уложенным в карман карты в нижнем ее конце. Наматывая тросы на верхний барабан, поднимают нижний барабан, освободившийся от пленки, после чего приступают к заполнению траншеи грунтом, соблюдая меры предосторожности для того, чтобы не повредить синтетическую пленку. Во



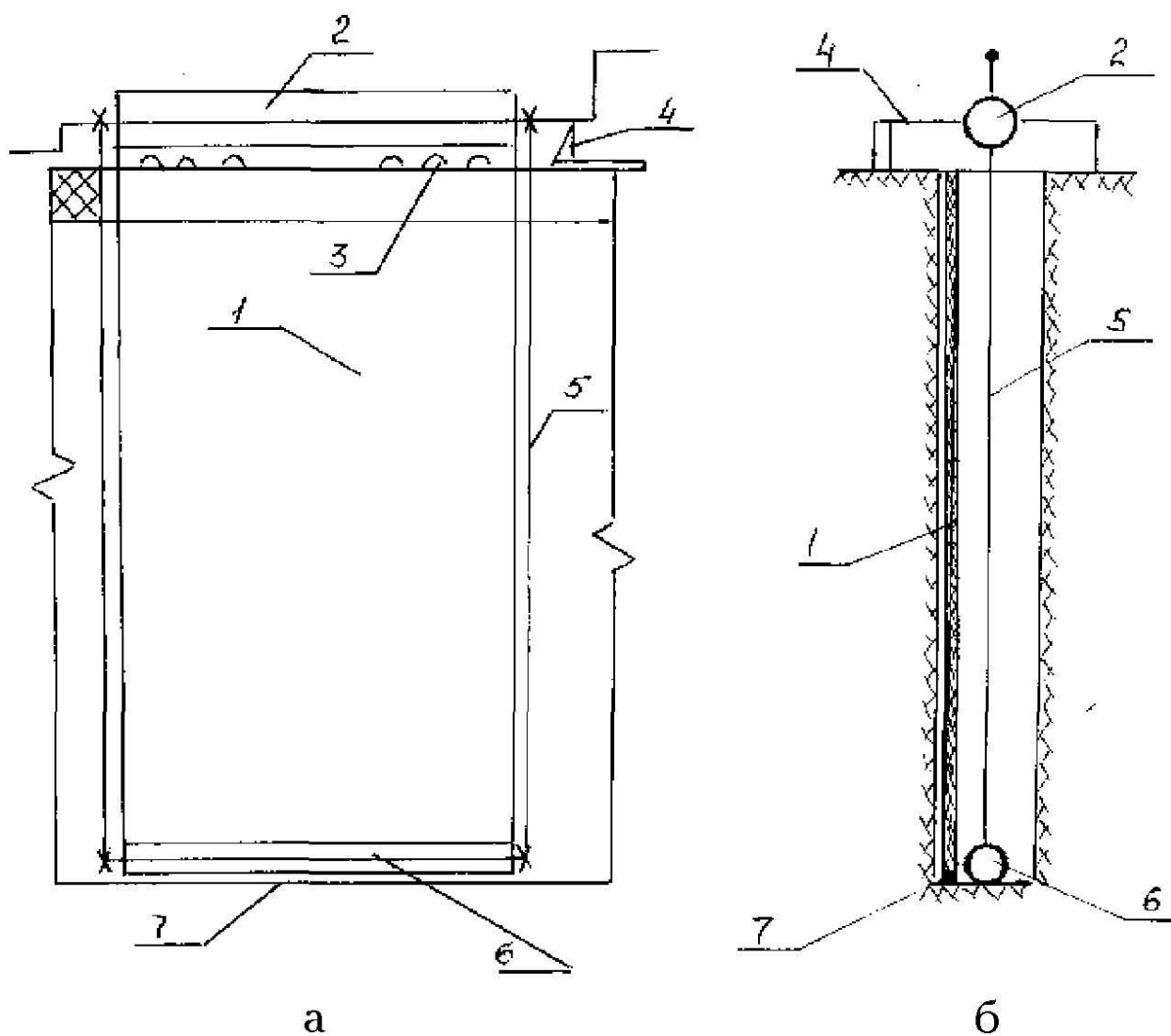


Рисунок 1.7 Установка для укладки пленки на стенке траншеи

а – общий вид с боку; б – разрез

1 – карта пленки; 2 – верхний барабан; 3 – пригрузка верха карты;  
4 – переставной мостик; 5 – трос; 6 – нижний барабан; 7 – груз

избежание перекоса карт в траншее следует обращать особое внимание на обеспечение горизонтальности оси верхнего барабана и точного соблюдения равенства длины тросов, на которых подвешен нижний барабан [11].

В статье [12] приводится вариант использования способа “стена в грунте” для локализации пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) в зоне ЧАЭС. Авторами было предложено предотвращение возможных контактов радиоактивных отходов (РАО) с подземными водами непосредственно в ПЗРО.

Достигается это, применив противофильтрационные и противофильтрационно-дренажные конструкции, возводимые способом “стена в грунте”, и надземные – с воздухонепроницаемым экраном. Варианты предлагаемых конструкций приведены на рис.1.8. Вариант воздухонепроницаемой конструкции, предлагаемый совместно со специалистами НПО “Комбинат”, применим только для твердых РАО и глубокорасположенном водоупоре, а водонепроницаемой – для любых РАО при наличии водоупора на глубине до 50 м.

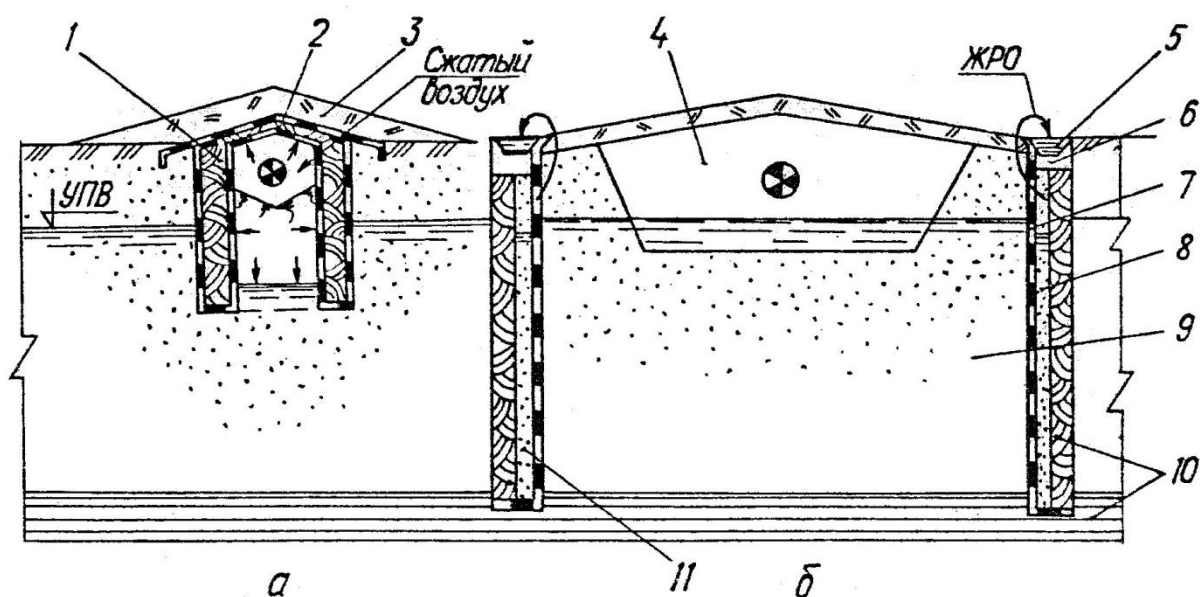


Рисунок 1.8 Варианты применения противофильтрационных завес (ПФЗ) и противофильтрационно-дренажных конструкций (ПФДК) при локализации пунктов радиоактивных отходов

*а* – воздухонепроницаемая конструкция; *б* – водонепроницаемая конструкция;  
 1 – ПФЗ; 2 – экран; 3 – пригрузка; 4 – радиоактивные отходы; 5 – лоток для ЖРО; 6 – глиняный замок; 7 – пленка; 8 – геотекстиль; 9 – песок; 10 – глина;  
 11 – ПФДК

Особенность предлагаемых сооружений состоит в том, что в первом случае контакту подземных вод с РАО препятствует воздух, подкачиваемый по мере

необходимости в ее внутреннюю часть для обеспечения противодействия при чрезмерном подъеме уровня подземных вод, а во втором – контакт возможен, но загрязненная вода, просочившаяся через ПФЗ во внутрь конструкции, собирается в дренаже, откуда откачивается водопонижительными скважинами в лоток для регенерации, после чего очищенная от РАО вода сливается в специальный отстойник, а загрязненная – отправляется в специальные хранилища жидких радиоактивных отходов (ЖРАО).

В каждом конкретном случае эффективность того или иного сооружения определяется технико-экономическим расчетом.

Для ориентировочных расчетов можно принять, что для ПЗРО площадью до 500 м<sup>2</sup> и глубоко расположенном или отсутствующем водоупоре более эффективными могут оказаться воздухонепроницаемые сооружения, в остальных случаях – сооружения с противofiltrационно-дренажными конструкциями.

Преимущество первого варианта сооружений по сравнению со вторым состоит в том, что нет необходимости делать глубокие боковые стены, доводя их до водоупора. Достаточно заглубить их на уровень, обеспечивающий заземление воздуха в таком объеме, чтобы при повышении давления от столба грунтовой воды за пределами сооружения этого объема было достаточно, чтобы не подтопить РАО.

Особенность второго варианта сооружения состоит в том, что по сравнению с подземными сооружениями, предназначенными для хранения агрессивных и токсичных сред [13], противofiltrационно-дренажная конструкция возводится в одной общей траншее, а не в двух параллельных.

Технология строительства способом “стена в грунте” противofiltrационных и противofiltrационно-дренажных конструкций показана на рис.1.9. Технология строительства противofiltrационных конструкций способом “стена в грунте” давно освоена специализированными строительными организациями Украины и регламентируется республиканскими строительными нормами РСН 316-88. Технология

возведения противофильтрационно-дренажных конструкций [14] близка к завершению. Для оценки ее эффективности целесообразно было бы предоставить возможность построить опытный участок и провести на нем необходимый минимум исследований.

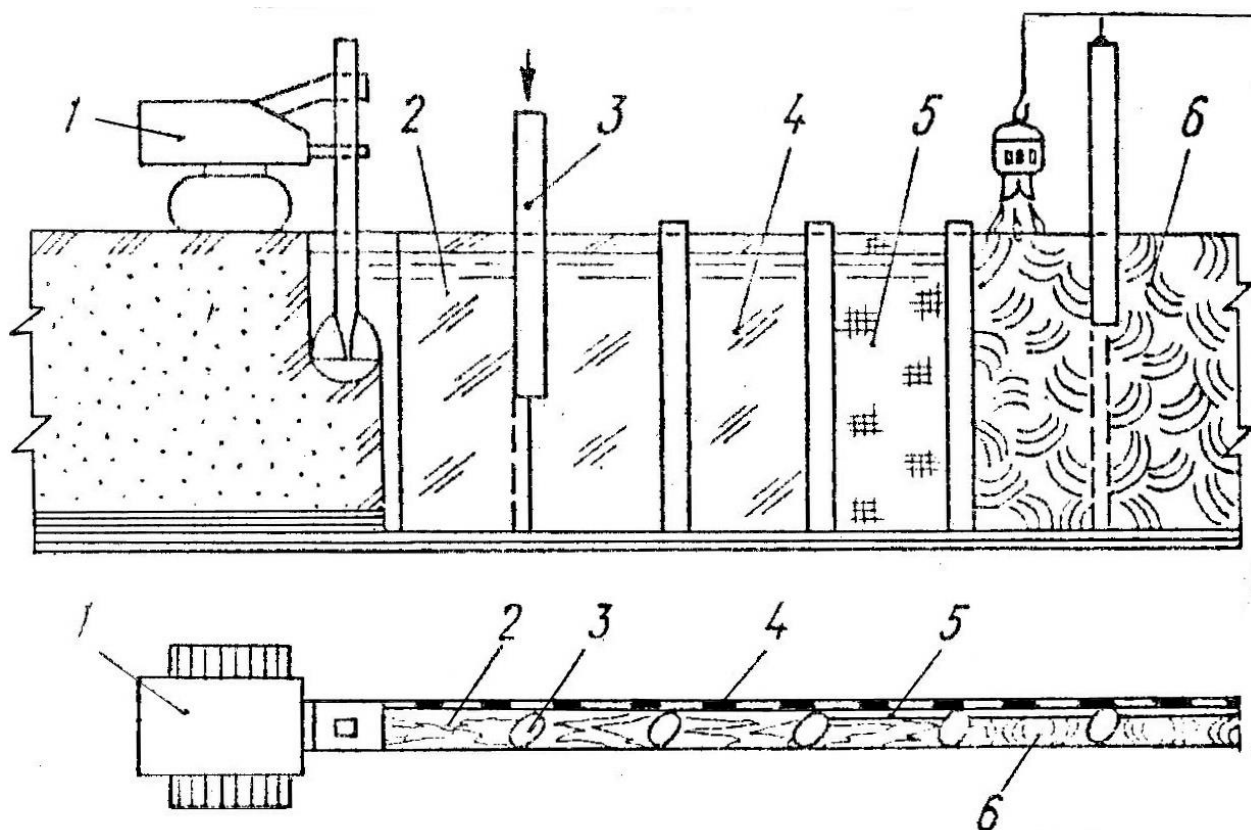


Рисунок 1.9 Технология строительства способом “стена в грунте”

противофильтрационных и противофильтрационно-дренажных конструкций  
1 – экскаватор с грейферным ковшом; 2 – глинистый раствор; 3 – ограничитель захваток; 4 – пленка; 5 – геотекстиль; 6 – наполнитель (глина, бетон и т.д.)

Применение рассмотренных воздухонепроницаемых и противофильтрационно-дренажных конструкций для локализации пунктов захоронения радиоактивных отходов в зоне ЧАЭС представляется затруднительным. Во-первых, устройство таких конструкций будет очень дорогим. Во-вторых, за ними необходим постоянный эксплуатационный уход.

В-третьих, данные конструкции не применялись на практике и необходимо провести испытания по оценке их эффективности. В-четвертых, предлагаемые способы достаточно сложны в исполнении.

Устройство *бестраншейных (тонких) противofильтрационных завес* предусматривает вместо разработки относительно широких траншей прорезание тонкой щели с последующим заполнением ее противofильтрационным материалом. Толщина таких завес (150 – 300 мм) обусловлена формой погружаемого элемента.

Для устройства тонких завес применяют оборудование, в основу работы которого положены ударный, вибрационный, режущий и водовоздушный принципы действия.

Оборудование ударного действия представляет собой копровый агрегат, оснащенный молотом. Агрегат погружает в грунт пустотелую сваю или шпунтовую конструкцию (рис. 1.10, *а*). При извлечении их через канал в свае или по специальным трубопроводам в образующуюся в грунте полость подают глиноцементный или глинистый раствор, который занимает объем грунта, вытесненного погружаемым элементом. Далее копровый агрегат перемещается вдоль будущей завесы, а погружаемый элемент забивают в точку, удаленной от точки предыдущего места погружения не более чем на ширину стороны погружаемого элемента. После забивки опять извлекают этот элемент, закачивают раствор и т. п. Таким образом в грунте формируется противofильтрационная завеса толщиной 0,15 – 0,25 м без разработки в грунте траншей.

Оборудование вибрационного действия предусматривает использование в качестве погружаемого и извлекаемого элемента вибратора (рис. 1.10, *б*).

Оборудование, показанное на рис. 1.10, *в*, представляет собой установку, которая выполняет нарезание щели для последующего заполнения противofильтрационным материалом цепным режущим органом. Грунт нарезают зубки или резцы, размещенные на специальном направляющем

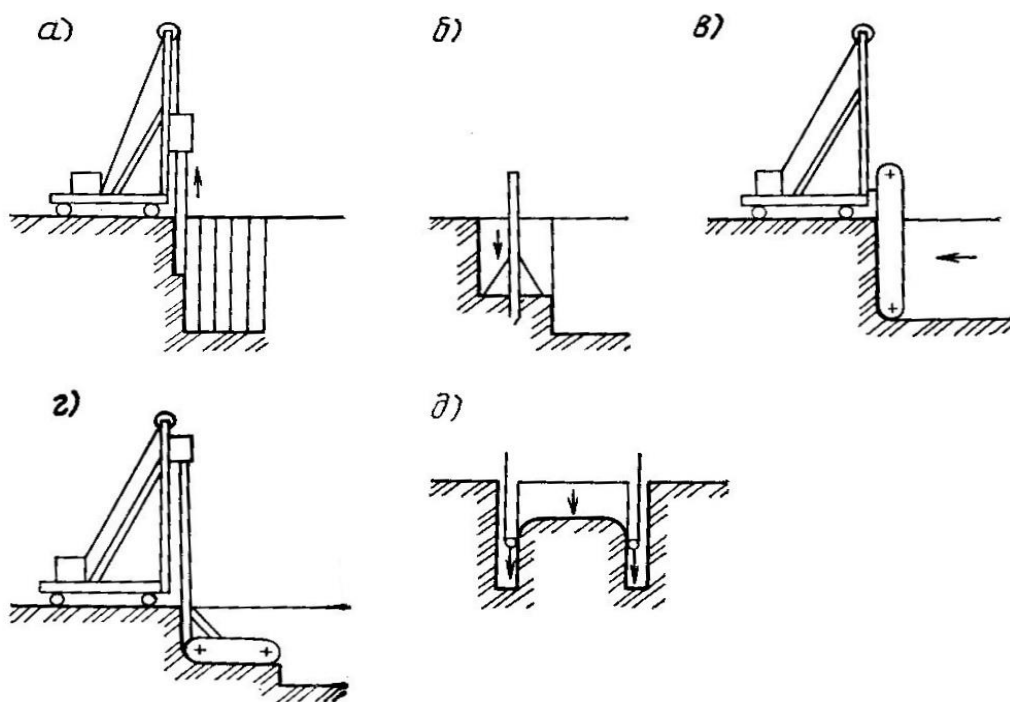


Рисунок 1.10 Виды рабочих органов для устройства  
противофильтрационных завес

*a* – устройство с погружным инвентарным элементом; *б* – устройство с вибропогружателем; *в*, *г* – оборудование для нарезания траншей цепным режущим органом, соответственно с вертикальным и горизонтальным расположением бара; *д* – устройство с канатным режущим органом

устройстве. Наряду с вертикальным возможно и горизонтальное расположение режущего бара (рис. 1.10, *г*).

Для нарезания узких щелей разработана установка, в которой в качестве режущего органа использован металлический канат (рис. 1.10, *д*). Щель в процессе ее образования заполняется раствором, который движется сверху и внизу перемешивается с разрушенным грунтом.

Тонкие бестраншейные завесы сооружают в грунтах без крупнообломочных включений. Глубина ПФЗ такого типа обычно не превышает 12 – 17 м [9].

Бестраншейный способ является более экономичным по сравнению с буронабивным и траншейным способом, так как позволяет создавать тонкие завесы и избежать перерасхода материала.

Проведенные в разное время советскими учеными Г. И. Абрамовичем, И. М. Коноваловым, Г. Н. Сизовым, С. С. Шавловским и др. исследования законов течения водяных струй явились теоретической основой гидромеханизированной разработки грунта. Эти исследования использовались при разработке оборудования для реализации новой технологии сооружения противofильтрационных завес и несущих конструкций в грунте. В основе этой технологии, получившей название *струйной*, лежит использование энергии водяной струи для прорезания в грунте вертикальных щелей, заполняемых в зависимости от назначения сооружения противofильтрационным или твердеющим материалом.

Устройство противofильтрационных завес с помощью струйной технологии состоит из двух операций: бурения направляющих скважин и прорезания водяной струей щели в грунте с одновременным заполнением ее противofильтрационным материалом. Диаметр направляющих скважин составляет 150 - 200 мм. На рис. 1.11 приведена схема устройства противofильтрационных завес.

Рабочим органом установки является струйный монитор с размещенными на его боковой поверхности водяными насадками (соплами). В нижнем торце монитора имеется отверстие для выпуска материала заполнения. К верхнему торцу монитора подсоединяются подводящие трубопроводы и крепится штанга, при помощи которой монитор опускается в направляющую скважину.

Для повышения эффективности действия водяной струи мониторы оснащаются дополнительным соплом. Оно выполняется в виде кольцевого зазора вокруг водяного сопла. Через этот зазор-насадку подается сжатый воздух. Образующаяся при этом воздушная рубашка отделяет струю от подземной воды и пульпы и тем самым увеличивает дальность ее действия.

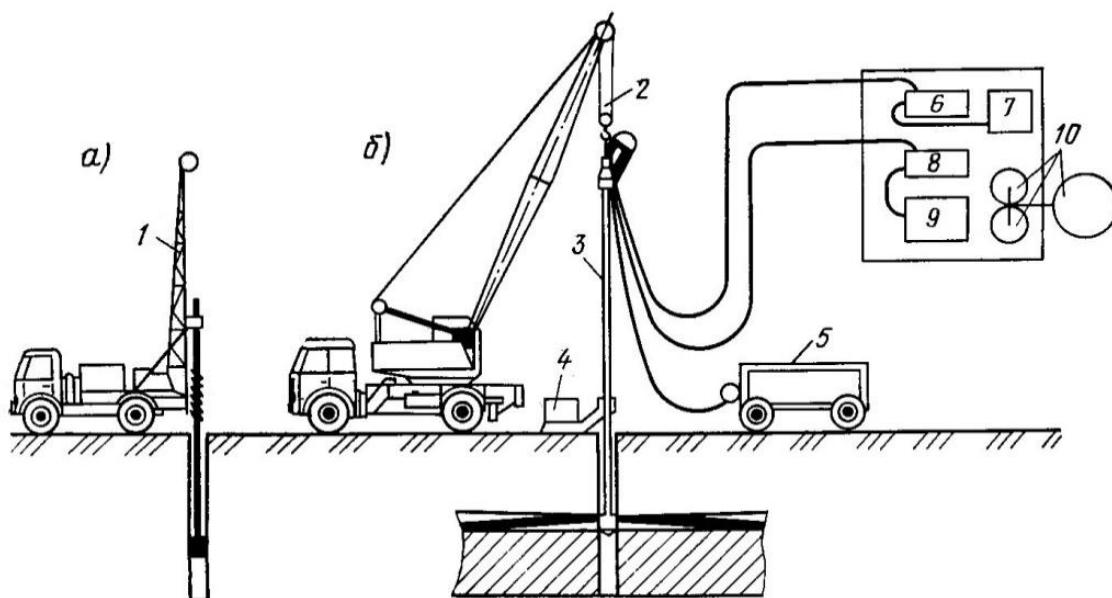


Рисунок 1.11 Схема устройства противофильтрационных завес

*а* – бурение скважины; *б* – устройство секции завесы, *1* – буровая установка; *2* – подъемный механизм; *3* – струйный монитор; *4* – фиксирующее (направляющее) устройство; *5* – компрессор; *6* – водяной насос; *7* – емкость для воды; *8* – насос для раствора; *9* – емкость для раствора; *10* – растворный узел

Кроме того, воздух в скважине создает эрлифтный эффект, способствуя выносу пульпы на поверхность.

Струйный монитор монтируется на базовой машине с гибкой подвеской на канате или жестким закреплением на копровой направляющей стреле. При гибкой подвеске для стабилизации положения монитора относительно вертикальной оси используют различного рода фиксирующие устройства.

Монитор опускают на дно направляющей скважины с ориентировкой водяного сопла по заданному направлению и по мере разрушения грунта поднимают вверх по скважине.

Ширина получаемых прорезей зависит от вида грунта и составляет 10 – 20 см, а при использовании монитора со сдвоенными соплами достигает до 40 см. Для получения более широкой прорези должны применяться мониторы с



большим числом сопел. Длина прорезей в зависимости от вида грунта колеблется в пределах 1,5 – 3 м.

Противофильтрационные завесы сооружают отдельными секциями от скважины к скважине. Стыковка секций обычно производится под углом около  $130^\circ$  с целью обеспечения надежного смыкания секций и предотвращения размыва не затвердевшего заполнителя в готовой секции водяной струей из примыкающей секции. Толщина завесы получается неодинаковой по ее длине и колеблется от 5 до 30 см.

Материал заполнения нагнетают сразу же после того, как из направляющей скважины, начнет изливаться пульпа. Время размыва первичной каверны до излива пульпы из второй скважины в песках и супесях составляет 0,5 – 2 мин. Материал заполнения подается под давлением 3,5 – 6 МПа. В качестве противофильтрационного материала используют глинистые или твердеющие растворы в зависимости от предъявляемых к завесам требований. Твердеющие растворы готовят на основе цемента или полимеров.

Изливающаяся из направляющей скважины пульпа отводится в ловушки, заранее устроенные на некотором расстоянии от завесы в виде скважин, канав или ям. Осветленная вода после отстаивания пульпы может вторично использоваться для размыва грунта.

Подъем струйного монитора осуществляется со скоростью 0,5 – 7 м/мин в зависимости от вида грунта, давления водяной струи и требуемой толщины завесы.

Прорезание в грунте щелей может выполняться по двум схемам: сквозной и тупиковой. При сквозной схеме работа производится в двух скважинах – в одну опускают струйный монитор, а другая, в сторону которой направлена струя, – служит для излива пульпы. При тупиковой схеме одна и та же скважина служит для перемещения монитора и для излива пульпы.

Сквозная схема обладает рядом преимуществ: имеется возможность оперативно контролировать качество размыва прорези, так как выход пульпы из изливающей скважины свидетельствует о сплошном размыве прорези между

скважинами; непосредственно в процессе работы регулируется скорость подъема монитора, вследствие чего исключается перерасход раствора-заполнителя. Однако при такой схеме требуется большое число направляющих скважин.

При тупиковой схеме требуется вдвое меньшее число направляющих скважин и обеспечивается наибольшая дальность размыва прорези. Недостатками тупиковой схемы являются отсутствие визуального контроля за процессом размыва прорези и перерасход раствора-заполнителя, вызываемый неполным использованием длины секций при их стыковке.

Другим примером использования струйной технологии является сооружение круглых в сечении бетонных и грунтобетонных свай большого диаметра. Достигается это вращением струйного монитора в направляющей скважине вокруг его вертикальной оси с одновременным медленным подъемом. Диаметр таких свай в зависимости от вида грунта получается равным 2 – 5 м [9]. Кроме несущих конструкций, таким способом сооружаются противофильтрационные завесы в виде взаимно пересекающихся свай.

В Японии, где струйная технология получила значительное развитие, в настоящее время с ее использованием сооружаются противофильтрационные завесы и грунтобетонные сваи глубиной до 45 м.

Использование струйной технологии для сооружения противофильтрационных завес возможно в илах, песках, супесях и суглинках, не содержащих крупнообломочных включений размером свыше 150 мм, а также в слабых скальных грунтах типа аргиллита.

Сооружаемые с использованием струйной технологии противофильтрационные завесы могут применяться для защиты строительных котлованов и горных выработок от притока подземной воды, уменьшения фильтрации воды в основаниях дамб и плотин, инфильтрации ее из каналов и водохранилищ, ограждения площади с очагами загрязнения с целью защиты окружающей среды и в других случаях.

К преимуществам струйной технологии следует отнести: экономность, высокую производительность, простоту оборудования, отсутствие шума и сотрясений при проведении работы, а также возможность проведения работы под существующими сооружениями без их разборки или усиления.

Следует отметить ряд преимуществ струйной технологии строительства противофильтрационных завес по сравнению с траншейным способом. Струйная технология позволяет полнее решить задачу механизации процесса сооружения завес, при этом значительно сокращаются сроки строительства, уменьшаются энергоемкость и расход материалов, не требуются громоздкие строительные машины. Имеется возможность выборочного устройства завес по высоте только в водопроницаемых слоях грунта, а также под существующими сооружениями без их разборки [9].

Использование метода "стена в грунте" в практике отечественного и зарубежного строительства приобретает все большее развитие, так как позволяет надежно и сравнительно просто решать сложные инженерные задачи возведения заглубленных частей сооружений ниже уровня грунтовых вод.

Следует отметить, что существующие методы разработки грунта и технология возведения глиногрунтовых противофильтрационных завес позволяют разрабатывать грунты в траншеях на глубину до 13 – 20 м, шириной 0,5 – 1,2 м, что приводит к повышенному расходу энергетических и материальных ресурсов, хотя экспериментальный материал и зарубежный опыт свидетельствуют о том, что глиногрунтовые противофильтрационные завесы шириной в 5 см не уступают по качественным показателям более широким глиногрунтовым противофильтрационным завесам, а для возведения несущих стен заглубленных сооружений рекомендуют ширину траншеи 0,3 – 0,6 м.

Кроме того, внедрение в строительном производстве прогрессивного метода "стена в грунте" сдерживается отсутствием серийно выпускаемого оборудования для образования узкой глубокой щели под слоем глинистого раствора. Поэтому организации вынуждены использовать для выполнения

работ по сооружению “стена в грунте” импортное оборудование или приспособлять общестроительные грузоподъемные механизмы и буровую технику, что приводит к снижению темпов производства работ и удорожанию строительства [11].

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, противодиффузионные диафрагмы для защиты от утечки воды и стоков в окружающий грунт, а также противодиффузионные завесы для защиты карьеров и котлованов от притока грунтовых вод [11].

При защите строительных котлованов от затопления грунтовыми водами способ “стена в грунте” позволяет отказаться от применения дорогостоящих металлических труб и шпунта для крепления стен котлованов, что приводит к значительному удешевлению и сокращению сроков строительства. Особенно

эффективен этот способ при заглублении сооружений в водоупорные грунты, что дает возможность полностью отказаться от открытого водоотлива или водопонижения.

Стены и противодиффузионные завесы, устраиваемые способом “стена в грунте”, наиболее рационально предусматривать для строительства:

- в сложных гидрогеологических условиях и при высоком уровне грунтовых вод, причем наиболее эффективно в водонасыщенных грунтах при возможности заглубления стены в водоупорный слой;

- подземных помещений и ограждений котлованов в городских условиях вблизи существующих зданий, сооружений коммуникаций, а также подземных сооружений на территории бульваров, скверов, широких улиц и так далее;

- на свободных территориях при необходимости ограждения больших котлованов.

Наиболее характерны для применения данного способа площадки, сложенные несколькими грунтами: песчаными, гравелистыми, глинистыми и т. п. Применение способа “стена в грунте” возможно также в скальных грунтах невысокой прочности: слабосцементированных песчаниках и конгломератах, алевролитах, аргиллитах и т.д. [8].

Применение способа “стена в грунте” является технически и экономически нецелесообразным в следующих случаях:

- при малом заглублении (до 5 м) сооружения в грунт и при большом числе конструктивных сопряжений ограждающих стен с перекрытиями или перегородками;

- при наличии крупнообломочных грунтов с пустотами между отдельными камнями, не заполненными мелкозернистыми грунтами, в результате чего глинистая суспензия с большими скоростями проваливается в грунт и траншеею создать не удастся;

- при наличии карстовых грунтов 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;

- при наличии илов текучей консистенции, особенно когда они залегают у поверхности земли;

- при наличии рыхлых свалочных и насыпных грунтов;

- при наличии захоронений каменной кладки, обломков бетонных и железобетонных плит, железа и других препятствий на трассе траншеи;

- при скоростях движения грунтовых вод, когда глинистая суспензия уносится из траншеи, что приводит к обрушению стенок [8,11].

Преимуществом применения способа “стена в грунте” для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является высокая эффективность таких противодиффузионных завес. Способ позволяет создать завесы, полностью прорезающие водоносные слои и частично заглубляющиеся в водоупорный слой грунта. Недостатком является большая стоимость таких ПФЗ и необходимость использования специализированных строительных машин. Уникальные образцы дорогостоящего оборудования японских и французских фирм позволяют достичь глубины 100 м и более.

**Шпунтовые ограждения.** Шпунтовые ограждения представляют собой сплошную тонкую стенку из отдельных элементов (шпунтин), жестко заземленную грунтом. С одной стороны поперечного сечения шпунт имеет паз, с другой – гребень. При забивке шпунта гребень одной шпунтины заходит в паз другой и в грунте создается сплошная стена, предохраняющая откосы глубоких котлованов от обрушения [15]. Благодаря заиливанию зазоров в замках шпунтовые ограждения вскоре после возведения становятся практически водонепроницаемыми [16].

Существуют разные способы погружения шпунта в грунт:

- вдавливание (или метод статистического вдавливания) с помощью сваевдавливающих машин;

- погружение посредством вибропогружателя;

- ударный способ (забивка шпунта молотом);

- метод вибровдавливания;

– гидропогружение [17].

В зависимости от назначения и условий работ шпунтовые ограждения выполняют из деревянных, железобетонных или металлических шпунтовых свай.

*Деревянные шпунтины* изготавливают из брусков, выбирая паз и гребень, или делают составными, сбитыми из досок на гвоздях.

Деревянный шпунт погружают на глубину не более 6 м. Для погружения применяют вибромолоты и дизель-молоты с массой ударной части 250 и 600 кг. Устанавливают молоты на легкие копровые установки всех типов или на краны. Наличие скосов в остриях шпунтовых свай обеспечивает плотное заполнение швов между шпунтинами.

Забитые деревянные шпунтовые ограждения почти невозможно извлечь обратно из грунта без значительных поломок, т. е. повторное использование деревянных шпунтин практически исключено. Такие неинвентарные ограждения ложатся большим накладным расходом на строительство [16].

*Металлический шпунт* выпускают трех различных профилей: U-, Z-образного поперечного сечения или плоские (рис. 1.12). Стальные шпунтины снабжены замковыми захватами по краям, позволяющими фиксировать один элемент относительно другого в вертикальном положении. Наибольшее распространение получили U-образные шпунты типа «Ларсен». Установка шпунта в грунт осуществляется обычно вибропогружением [10].

Процесс погружения шпунта состоит из следующих операций: жесткого крепления вибропогружателя на шпунте с помощью клинового наголовника, подъема с земли вибропогружателя со шпунтиной и переноски их к месту погружения, заводки нижнего конца в замок ранее погруженной шпунтины, опускания до уровня направляющих, заводки в направляющее устройство и опускания до поверхности земли. После этого включают вибропогружатель и погружают шпунтину до проектной отметки. Затем вибропогружатель освобождают от шпунтины и переносят к месту соединения со следующей шпунтиной.

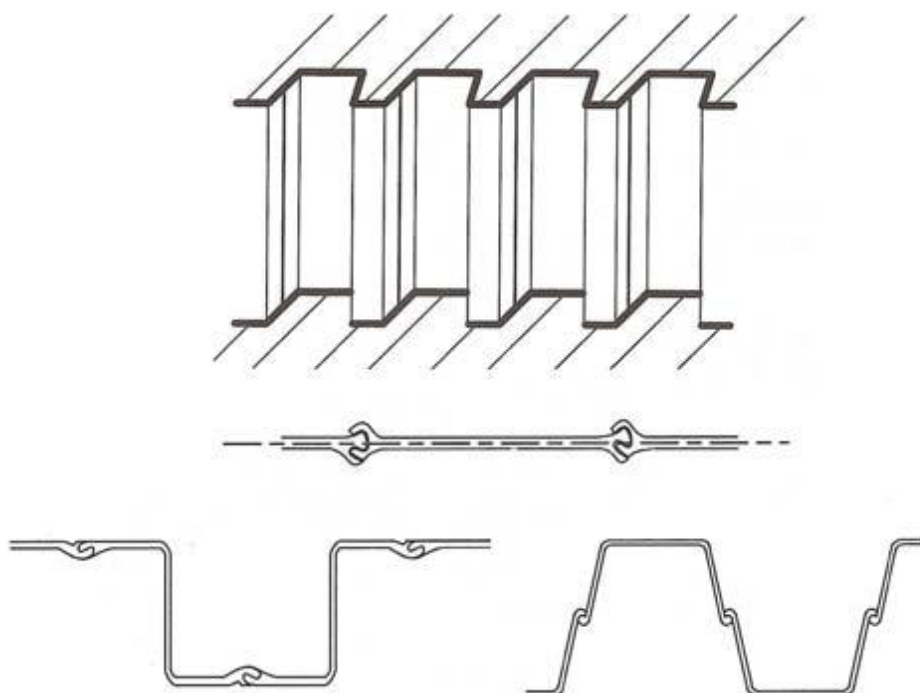


Рисунок 1.12 Шпунтовое ограждение

Устройство шпунтовых ограждений начинают с погружения маячных свай, к которым в 2 – 3 яруса крепят схватки, служащие направляющими при забивке шпунта.

Для забивки прямолинейной в плане шпунтовой стенки используют одно-, двухъярусные направляющие, для забивки криволинейной стенки применяют направляющие шаблоны, закрепляемые на предварительно погруженных шпунтинах, металлических балках или трубах. При образовании шпунтового ряда требуется соблюдать вертикальность погружения каждой шпунтины.

Для обеспечения качества погружения предварительно набирают стенки, т. е. шпунтины устанавливают в замок друг другу до их погружения. После набора стенки погружение осуществляют в 2 –3 приема в зависимости от глубины погружения.

Для устранения отклонения стального шпунта в плоскости шпунтовой стенки, обусловленного разным сопротивлением погружаемых шпунтин в замках со стороны погруженной стенки и со свободной стороны, необходимо свободный замок закрывать снизу заглушкой, которая предохраняет его от



засорения грунтом.

Для защиты шпунта от коррозии необходимо покрывать его эмалями и грунтовкой [15].

Металлические шпунтины получили наибольшее распространение. Их можно многократно забивать и извлекать из грунта. Они удобны для перевозки и в целом более рентабельны, нежели деревянные.

*Железобетонные шпунтовые сваи* в плане имеют прямоугольную форму с трапециевидными пазом и гребнем. Длина таких свай обычно не превышает 15 м. При большей длине во время их транспортирования могут образоваться трещины. Во время подъема шпунта на копер необходимо следить за возможным прогибом конструкций. В тех случаях, когда прогиб возникнет, необходимо поднимать шпунты подъемным механизмом.

Железобетонные шпунтовые сваи погружают в грунт молотами с большой энергией удара. Известно, что при погружении обычных свай вокруг тела сваи образуется уплотненная грунтовая зона, препятствующая погружению соседних свай. Железобетонные шпунтовые сваи необходимо погружать вплотную одна к другой, что весьма затруднительно. Поэтому железобетонные шпунтины применяют редко. Их применяют главным образом в сооружениях по укреплению берегов и в строительстве мостов. Железобетонные шпунтины не извлекают для повторной забивки [16].

Шпунт применяется в основном для ограждения котлованов при гидротехническом строительстве в условиях слабых водонасыщенных грунтов при высоких отметках уровня подземных вод, когда водопонижение экономически нецелесообразно или вообще неэффективно. Такие конструкции способны воспринимать не только давление грунта, но и гидростатическое давление, являясь одновременно противофильтрационной завесой.

Ограничением для использования шпунта является сложность или невозможность его погружения в гравелистых, скальных и полускальных грунтах. Другим его недостатком является достаточно высокая стоимость. В условиях города при наличии застройки использование шпунта может быть

рекомендовано только при отсутствии в геологическом разрезе прочных грунтов, так как в ином случае погружение шпунта может привести к развитию значительных осадок близ расположенных зданий, а также к дискомфорту из-за шума для их жителей [10].

Применение шпунтовых завес для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля имеет ряд недостатков. К ним, прежде всего, следует отнести очень высокую стоимость таких завес. Из-за наличия зазоров в замках шпунт не может обеспечить полную гидроизоляцию. Небольшая глубина шпунтового ряда может привести к невозможности заглубления в водоупорный слой, а устройство “висячей” завесы в нашем случае нецелесообразно.

### **1.2.1 Виды противofильтрационных экранов**

**Открытый способ.** Противofильтрационные экраны выполняемые открытым способом представляют собой площадные устройства, выполненные из одного или нескольких слоев непроницаемых материалов, которые могут сочетаться с дренирующими устройствами типа фильтрующих постелей и др. [1].

Основными видами противofильтрационных экранов являются:

- глиняные (однослойные и двухслойные);
- грунтобитумные;
- железобетонные;
- полимербетонные;
- бетонопленочные;
- пленочные (однослойные и двухслойные);
- асфальтобетонные (однослойные и двухслойные);
- асфальтополимербетонные (однослойные и двухслойные);
- геосинтетические (однослойные, двухслойные и комбинированные).

*Глиняные экраны* – наиболее простые, надежные и долговечные противofильтрационные устройства. При наличии местных глин их

применение является наиболее экономичным и целесообразным.

Однослойный глиняный экран представляет собой слой уплотненной глины толщиной 0,5 – 1 м с коэффициентом фильтрации не более  $10^{-3}$  м/сут. При применении такого экрана не удастся полностью устранить потери жидкости из защищаемого хранилища.

Для повышения защитного эффекта устраивается двухслойный глиняный экран (рис.1.13, а), состоящий из двух слоев глины, каждый толщиной не менее 0,5 м. Между слоями глины устраивается дренажный слой из крупнозернистого песка толщиной 40 – 60 см [1,7].

*Грунтобитумный экран* назначается, как правило, как основание для других типов экранов и представляет собой минеральный естественный грунт, обработанный на глубину 10 – 15 см жидким битумом или нефтью с добавлением цемента и уплотненный гладкими катками. Перед внесением добавок грунт протравливается гербицидами на глубину до 20 см.

В чистом виде *бетон или железобетон в экранах* применяется редко, так как этот материал имеет сравнительно высокий коэффициент фильтрации и слабую трещиностойкость. Снижение коэффициента фильтрации достигают путем торкретирования или силикатизации. Процесс этот дорогостоящий, поэтому железобетон применяется в небольших емкостных сооружениях типа резервуаров и отстойников. По фильтрационным и прочностным соображениям толщина монолитных или сборных железобетонных плит принимается не менее 10 – 15 см, бетон марки не ниже Б, В30, F100, W8.

Известны *экраны из полимербетонов*, обладающих повышенной плотностью, трещиностойкостью, морозостойкостью и устойчивостью к воздействию агрессивных сред. Полимербетоны отличаются от обычного бетона тем, что в качестве связующего вместо цемента используются фурановые и эпоксидные смолы или их смесь, состоящие на 80 % из более дешевого продукта – фурана и на 20 % из эпоксидной смолы с добавкой отвердителя – полиэтиленполиамина.

Значительное распространение получили *бетонопленочные экраны*, в

которых бетон выполняет защитные функции, а пленка - противофильтрационные. Монолитные или сборные железобетонные плиты толщиной 8 - 15 см укладываются на защищенную от повреждений пленку.

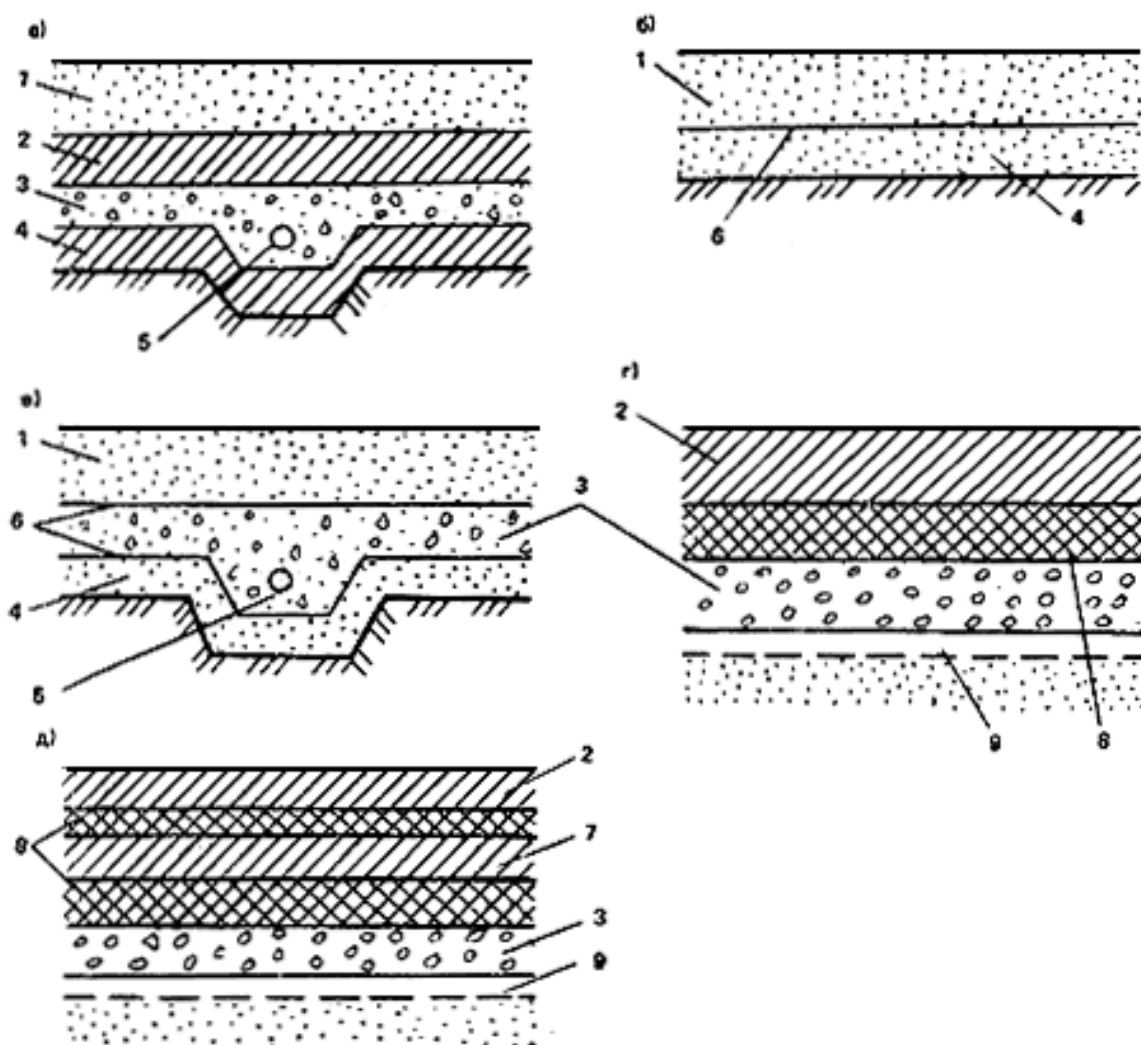


Рисунок 1.13 Схемы противофильтрационных экранов

*а* – двухслойный глинистый экран; *б* – однослойный пленочный экран; *в* – двухслойный пленочный экран; *г* – асфальтобетонный экран; *д* – усиленный асфальтобетонный экран

*1* – защитный слой; *2* – глиняный слой; *3* – дренирующий слой; *4* – выравнивающий слой; *5* – дренажная труба; *6* – пленка; *7* – пористый фильтрующий асфальтобетон; *8* – асфальтобетон; *9* – протравленное основание

Основание под пленку устраивается как для пленочного экрана. При

укладке сборных железобетонных плит на пленку следует соблюдать повышенную осторожность [7].

*Пленочные экраны* (рис. 1.13, б) выполняются из полиэтиленовой пленки толщиной 0,2; 0,4 или 0,6 мм, которая укладывается на выравнивающий слой песчаной подготовки либо на выровненную и укатанную поверхность экранируемого грунта.

Соединение пленки в сплошное водонепроницаемое покрытие осуществляется путем склеивания или сварки отдельных лент специальными аппаратами. Поверх пленки укладывается защитный слой грунта для предохранения пленки от механических повреждений. Толщина выравнивающего и защитного слоев обычно принимается равной 0,15 - 0,2 м.

Для повышения надежности однослойного пленочного экрана возможна укладка поверх пленки уплотненного слоя глинистого грунта, играющего одновременно и роль защитного покрытия.

Двухслойный пленочный экран состоит из двух слоев полиэтиленовой пленки (рис. 1.13, в), разделенных между собой слоем песчаного грунта, играющего роль пластового дренажа. Отвод воды из песчаного слоя осуществляется трубчатыми дренами [1].

*Асфальтобетонные экраны* (рис. 1.13, г) выполняются из гидротехнического мелкозернистого асфальта.

Основанием однослойного экрана могут быть практически любые грунты, поддающиеся обработке грейдером. После планировки грунты подвергаются обработке (протравливанию) гербицидами на глубину 20 см. Затем производится поверхностная обработка грунта на глубину 10 – 15 см с внесением битума или сырой нефти из расчета 1,5 – 2,0 кг/м<sup>2</sup>. После чего основание уплотняется 5-тонными катками до полного устранения деформации.

На подготовленное основание укладывается мелкозернистый асфальтобетон слоем 40 – 60 мм. Поверхность асфальтобетона покрывается слоем жидкого битума толщиной 2 – 4 мм с последующей посыпкой слоем песка толщиной 5 –

10 мм. Вместо битума может производиться розлив битумно-латексной эмульсии слоем 4 – 6 мм, состоящей из 20 % латекса и 80 % битума по массе.

При двухслойном экране промежуточный слой устраивается из сортированного гравия или щебня слоем 15 – 20 см с крупностью фракции 10 – 40 мм, покрытых битумом (черный гравий). Обработка верхнего и нижнего слоев асфальтобетона такая же, как для однослойного экрана.

Асфальтополимербетонные экраны конструктивно ничем не отличаются от обычных асфальтобетонных экранов; выполняются они однослойными и двухслойными. Различие заключается в том, что асфальтобетоны выполняются на вяжущем из битума, а асфальтополимербетоны – на модифицированном вяжущем, состоящем из битума с добавлением каучука или других полимеров в количестве 10 – 20 % массы битума. Это придает асфальтополимербетону повышенную морозостойкость и эластичность и снижает его водопроницаемость, что обуславливает целесообразность его применения при строительстве противofильтрационных экранов.

Ввиду повышенной гибкости и прочности асфальтополимербетонные экраны могут выполняться монолитными и сборно-монолитными [7].

В последнее время для устройства противofильтрационных экранов все чаще применяются *геосинтетические* материалы. Геосинтетика – это специальные полимерные материалы: геомембраны, тканый и нетканый геотекстиль, георешетки, геокомпозит. Благодаря уникальному сочетанию своих характеристик геосинтетические материалы широко применяются для армирования грунтов, укрепления откосов, устройства дренажных систем, изоляции источников загрязнения окружающей среды, для инженерной подготовки территорий, гидроизоляции подземных и заглубленных сооружений [18].

Геомембраны – это рулонные полимерные листовые материалы толщиной более 1 мм и шириной более 5 метров, основной рабочей характеристикой которых является полная водонепроницаемость. Геомембраны изготавливаются на основе различных полимеров: полиэтилена, ПВХ, полипропилена. Для

устройства противофильтрационных экранов применяются геомембраны из полиэтилена высокой плотности (ПЭВП, HDPE) или полиэтилена низкой плотности (ПЭНП, LDPE). Строгая стандартизация – исключительная особенность данного класса материалов. Любой из производителей полиэтиленовых геомембран вынужден следовать единой разработанной Международным институтом геосинтетики спецификации – GRI GM13 для геомембран ПЭВП (ПНД, HDPE) и GM17 для геомембран ПЭНП (ПВД, LDPE, VFPE). Поэтому, когда говорят о геомембранах – говорят не просто о полиэтиленовой пленке, а о продукте, обладающем комплексом конкретных инженерных характеристик.

Геокомпозиты – это комбинация нескольких геосинтетических продуктов, соединенных друг с другом в заводских условиях. Отдельного упоминания заслуживает бентонитовый мат (GCL – Geo Clay Liner) – композит, имеющий в своем составе слой бентонитовой глины, и применяемый в комплексе с полиэтиленовой геомембраной, при строительстве полигонов бытовых и промышленных отходов [19]. Бентомат состоит из натурального натриевого бентонита, в качестве водонепроницаемой прослойки, и двух слоев полипропиленового геотекстильного материала, в качестве армирующей оболочки, которая удерживают слой бентонита. Тканое геотекстильное полотно соединено с нетканым иглопробивным способом (поперечными волокнами), что обеспечивает равномерное распределение и фиксацию бентонитового порошка внутри каркаса.

Обычно в комплексе с геомембранами используются нетканые термически скрепленные или иглопробивные геотекстили. Геотекстиль может выступать в качестве подстилающего, дренажного и/или защитного слоев. Также он помогает равномерно распределить нагрузки по всей площади геомембраны и, в отличие от гранулированного дренажа, без затруднений укладывается на откосах.

Геомембрана укладывается на ровное основание в виде бетона или железобетона, хорошо урвненной глины, супеси, суглинка, песка или песчано-

гравийной смеси. Если в подстилающем слое имеются частицы, которые могут повредить геомембрану, то в качестве подстилающего защитного слоя используется геотекстиль.

Полотна геомембраны укладываются внахлест вручную или с помощью специальных траверс для укладки. Отдельные полотна геомембраны соединяются между собой свариванием специальным оборудованием. На рис. 1.14 показан пруд-накопитель в процессе укладки геомембраны.



Рисунок 1.14 Пруд-накопитель, г. Одесса

Поверх геомембраны укладывается защитный слой грунта или геотекстиля. Толщина защитного слоя может быть разной от 10 до 80 см в зависимости от назначения объекта строительства и его дальнейшей эксплуатации. Защитным слоем может выступать мелкозернистый грунт без каменистых включений либо бетонная стяжка [20].



Конструкции противофильтрационных экранов с применением полиэтиленовой геомембраны выполняют однослойными (рис.1.15), двухслойными или комбинированными (рис. 1.16).

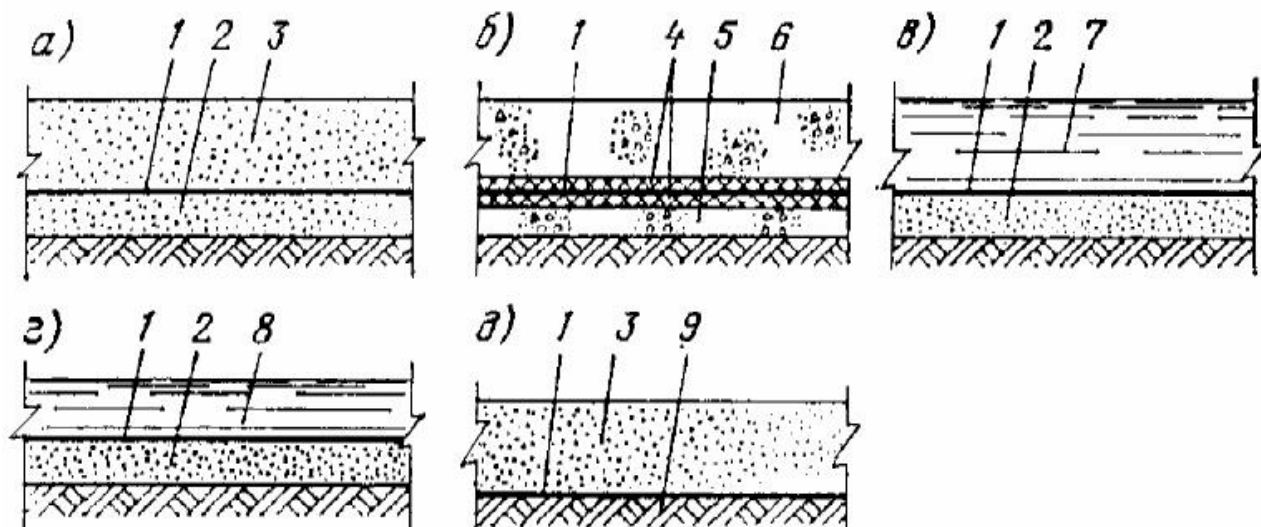


Рисунок 1.15 Варианты конструкций однослойного противофильтрационного экрана из геомембраны

*a* – подстилающий и защитный слой из песка; *б* – подстилающий и защитный слой из несвязного грунта с включением остроугольных частиц, полиэтиленовая геомембрана защищенная с обеих сторон геотекстилем; *в* – защитный слой из воды, подстилающий – из песка; *г* – защитный слой из шлака, подстилающий – из песка; *д* – подстилающий слой из местного грунта, защитный – из песка;

*1* – полиэтиленовая геомембрана; *2* – подстилающий слой из грунта; *3* – защитный слой из грунта; *4* – защитные слои из геотекстильного полотна; *5,6* – соответственно подстилающий и защитный слой из несвязного грунта с включением остроугольных частиц; *7* – слой воды; *8* – слой шлака; *9* – основание

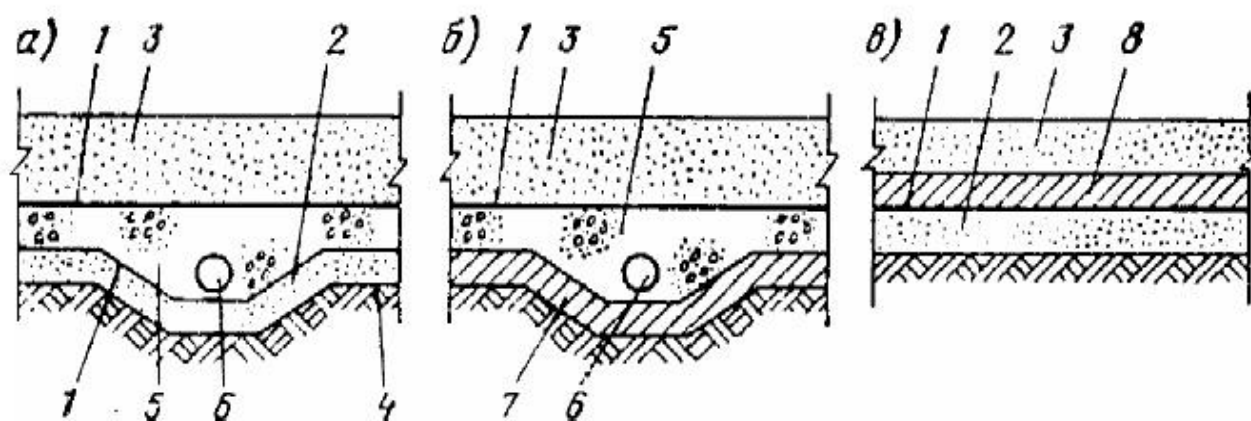


Рисунок 1.16 Варианты конструкций двухслойного (а, б) и комбинированного (в) противofильтрационного экрана из геомембраны

а – верхний и нижний противofильтрационные слои выполнены из геомембраны; б – верхний противofильтрационный слой выполнен из геомембраны, нижний – из уплотненной глины или бентонитовых матов; в – противofильтрационный слой выполнен из геомембраны, поверх которой уложен глиняный грунт или бентонитовые маты;

1 – полиэтиленовая геомембрана; 2 – подстилающий слой из грунта; 3 – защитный слой из грунта; 4 – основание; 5 – дренажный слой; 6 – дренажная труба; 7 – слой уплотненного глиняного грунта или бентонитовые маты; 8 – слой глиняного грунта или бентонитовые маты

Геомембраны характеризуются высокими антикоррозийными и гидроизоляционными свойствами, стойкостью по отношению к большинству химических реагентов (возможно применение для хранения жидкостей с рН от 0,5 до 14) и ультрафиолетовому излучению, гибкостью, безусадочностью, эластичностью, имеют высокие механические характеристики. За счет высокой прочности при растяжении (до 26,2 МПа) мембраны могут воспринимать значительные усилия и, таким образом, кроме противofильтрационных, выполнять функции армирующего материала. Большое относительное удлинение (до 850 %) под действием максимальной нагрузки и

трещиностойкость обеспечивают целостность противофильтрационного элемента при значительных просадочных деформациях. Геомембраны сейсмически устойчивы, выдерживают диапазон наружных температур от  $-50^{\circ}$  до  $+70^{\circ}$ . Срок службы их – до 100 лет. Полимерные мембраны устойчивы по отношению к насекомым, грызунам и бактериям. Превосходная свариваемость листов дает возможность быстро и просто выполнять сварочные работы, образуя сплошной непроницаемый экран. Геомембраны удобны при транспортировке и складировании. Очень важный аспект – отработанные методики оценки качества материалов и работ [18 – 21].

Противофильтрационные экраны применяются при устройстве полигонов твердых бытовых и промышленных отходов, шламохранилищ, золоотвалов, наземных и подземных резервуаров, сооружений для очистки воды и стоков, водоемов, каналов и других гидротехнических сооружений.

Открытый способ устройства противофильтрационного экрана является наиболее экономичным и простым в исполнении. Однако применение данного способа для защиты от фильтрационных потоков из могильников радиоактивных материалов в зоне ЧАЭС является равносильным их перезахоронению. А перезахоронение радиоактивных отходов потребует больших денежных затрат, является не безопасным и может повлечь за собой вторичное загрязнение окружающей среды.

**Способ инъекции.** Инъекционные завесы сооружаются методом поэтапного разбуривания скважин с последующим нагнетанием в них твердеющих растворов (рис.1.17).

Проникая в поры и трещины грунта или породы, они связывают зерна грунта и, твердея, превращают его в водонепроницаемый и не размываемый монолит. На первом этапе расстояние между скважинами составляет 8 – 10 м. На каждом последующем этапе скважины бурят в промежутках между скважинами, пройденными на предыдущем этапе, до достижения необходимой сплошности сооружаемой завесы.

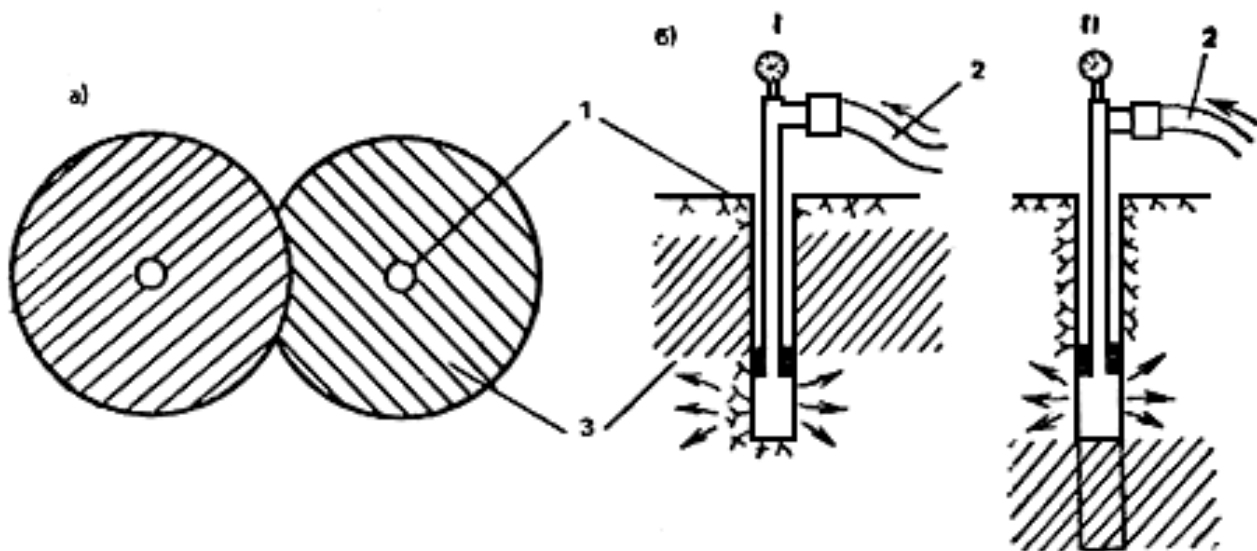


Рисунок 1.17 Схема устройства инъекционной завесы

*a* – расположение инъекционных скважин; *б* – варианты нагнетания раствора в скважину

*I* – нисходящими зонами; *II* – восходящими зонами

*1* – скважина; *2* – подача раствора; *3* – закрепленная зона

Инъекционные завесы обычно устраиваются из 1 – 2 рядов цементационных скважин с расстоянием между рядами 1 – 3 м и между скважинами в ряду 1,5 – 5 м. Закачку раствора в грунт осуществляют зонально участками не более 5 м по вертикали. При этом возможно инжецирование восходящими (в песчаных и галечниковых грунтах) или нисходящими (в трещиноватых скальных породах) зонами. Закрепление грунта осуществляется по глубине заходками, высота которых равна длине перфорированной части иньектора с добавлением радиуса закрепления.

Инъекционное оборудование подбирается с учетом удельных расходов, требуемых давлений и агрессивности нагнетаемых химических растворов. Для иньекторов используются стальные трубы с внутренним диаметром 25 – 50 мм.

Иньекторы могут устанавливаться в заранее пробуренные скважины, погружаться в грунт забивкой с помощью воздуха, задавливаясь. Бурение

скважин под иньекторы осуществляется станками и оборудованием для проходки скважин диаметром 60 – 127 мм на глубину 15 – 30 м.

Для нагнетания растворов в грунт применяются плунжерные насосы ПС-4Б, НС-3, НД, шестеренчатые насосы типа БГ, пневматические установки, в состав которых входит емкость объемом 0,5 – 1 м<sup>3</sup>, выдерживающая давление до 0,8 МПа (8 атм). Перекачка растворов предусматривается по резиноканевым шлангам с внутренним диаметром 12 – 25 мм, выдерживающим давление до 3 МПа (30 атм).

При устройстве иньекционных завес применяются цементные, глиноцементные, глинистые растворы, силикатный гель, а также битумы и смолы.

*Способ цементации* применяется в скальных водоустойчивых породах с раскрытием трещин более 0,1 мм при скорости движения грунтовых вод не более 600 м/сут, а также в галечниковых и гравелистых отложениях с коэффициентами фильтрации 80 – 500 м/сут. При наличии водорастворимых минералов скорость потока грунтовых вод не должна превышать 300 м/сут.

В грунтовых водах, агрессивных по отношению к цементам, применение цементационных завес нецелесообразно.

При цементации грунтов раствор нагнетается в скважины под избыточным давлением от 0,1 до 0,2 МПа и более (от 1 до 2 атм).

При наличии в скальном грунте крупных трещин и каверн в цементные растворы добавляются глина, песок, суглинок. При закреплении крупнообломочных пород в цементный раствор добавляются глина, бентонит, а также некоторые реагенты, улучшающие свойства глин [2].

Способ цементации в настоящее время наиболее распространен и освоен. Главные преимущества способа цементации, способствовавшие широкому распространению его в строительстве, заключаются в технической простоте, удобстве применения и высокой надежности достигаемых результатов. Кроме того, способ цементации достаточно экономичен (он дешевле, например, силикатизации и битумизации) и не требует сложного оборудования.

Способ цементации находит широкое применение в гидротехническом строительстве для создания противofильтрационных завес в основании сооружений и для укрепления оснований, для придания монолитности и водонепроницаемости бетонным сооружениям, для уплотнения и обжатия туннельных обделок и для укрепления окружающей туннель породы. Также способ цементации применяется в условиях морского гидротехнического строительства для ремонта бетонных и каменных кладок (доков, молов, набережных и т. п.). В промышленном строительстве цементацию применяют для укрепления главным образом галечниковых и гравелистых пород под фундаментами тяжелых сооружений и для уменьшения водопроницаемости этих пород.

*Способ глинизации* состоит в нагнетании глинистых суспензий в трещиноватые породы и пески с целью их уплотнения.

Глинизация применима в случаях, когда цементация неэкономична из-за больших поглощений цемента в крупных трещинах и взаимосоединяющихся кавернах, при карсте или когда цементация ненадежна из-за наличия агрессивных вод, способных корродировать цемент.

Недостатком способа глинизации является пониженная стойкость глинизационной завесы против суффозии.

*Способ битумизации* подразделяется на горячую битумизацию и холодную битумизацию.

Способ *горячей битумизации* служит для создания противofильтрационных завес в трещиноватых скальных, а также в гравийно-галечниковых грунтах.

Сущность способа заключается в нагнетании разогретого до температуры около 200°С битума под давлением в скважины, пробуренные в грунте. Сохранение высокой температуры битума в скважине обеспечивается применением специальных устройств для электропрогрева или паропрогрева битума.

Положительной особенностью способа горячей битумизации в отличие от других рассматриваемых способов является возможность его применения в

условиях высоких скоростей фильтрационного потока. Осуществление повторных нагнетаний в одну и ту же скважину способствует хорошему заполнению трещин в породе. Другое важное преимущество этого способа заключается в высокой коррозионной стойкости битума, что позволяет применять битумизацию в условиях воздействия сильно агрессивных вод.

Недостатками способа горячей битумизации является способность битума к пластическим деформациям (течи) под длительным действием гидростатического напора и трудность заполнения мелких трещин, а также громоздкость и сложность оборудования.

Область применения способа горячей битумизации ограничивается преимущественно трещиноватыми породами при размерах трещин более 0,2 – 0,3 мм; при меньших размерах трещин заполнение их битумом не достигается. При нагнетании битума не всегда обеспечивается хорошая связь его со стенками трещин в породе. При гравийных грунтах, как показали опыты, битум не всегда удовлетворительно схватывается с окатанной (гладкой) поверхностью гравия. Существенным является то обстоятельство, что способ горячей битумизации, как, впрочем, и холодной, не обладает упрочняющим эффектом и, следовательно, не может предотвратить деформаций или просадок грунта под действием собственного веса сооружений.

Способ *холодной битумизации* заключается в нагнетании в грунт битумных эмульсий. Нагнетанию в этом случае подвергается тонкодисперсная эмульсия, содержащая 25 – 50% битума. В качестве стабилизирующих реагентов применяются различные поверхностно-активные вещества.

В результате процесса коагуляции, вызываемого некоторыми электролитами или сложными эфирами жирных кислот, частицы битума заполняют поры и трещины в грунте, придавая ему водонепроницаемость. Битумные эмульсии вполне пригодны для уплотнения песчаных грунтов и очень тонких трещин скальных пород [22].

*Силикатизация* заключается в цементировании частиц грунта гелем кремневой кислоты, образуемой силикатными растворами при их смешении с

коагулянт. Коагулянт может быть в виде раствора или газа. Силикатизация применяется в основном для закрепления песчаных грунтов. В зависимости от степени проницаемости песчаных грунтов рекомендуется одно- или двухрастворный способ силикатизации.

Силикатизация не рекомендуется в грунтах, содержащих нефтяные продукты или смолы, при действительной скорости фильтрации подземных вод более 5 м/сут, при высокой их щелочности.

*Смолизация* заключается в нагнетании в песчаный грунт растворов высокомолекулярных органических соединений типа карбамида с добавкой кислотных коагулянтов (соляная или щавелевая кислота). При содержании в грунте карбонатов от 0,1 до 3% грунт обрабатывается 3-5%-ным раствором кислоты. Смолизация возможна в песках с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 50 м/сут.

При силикатизации и смолизации песков закрепление производят заходками сверху вниз. При увеличении коэффициента фильтрации с глубиной закрепление производится снизу вверх. При слоистом строении песчаной толщи, где коэффициенты фильтрации слоев отличаются по значению более чем на 30%, химические растворы нагнетают отдельно по слоям, начиная с наиболее проницаемого слоя.

Инъекционный метод создания завес не применяется в илах и глинах [1].

В результате применения методов закрепления и уплотнения грунтов удается достигнуть резкого снижения проницаемости пород. При этом в теле завесы обеспечивается уменьшение коэффициентов фильтрации до  $10^{-5}$  см/с. Практика показала, что при успешной цементации тонких трещин и пор возможно еще большее снижение коэффициентов фильтрации [22].

К преимуществам способа инъекции для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля следует отнести достаточную экономичность способа и простоту оборудования. Инъекционные завесы можно сооружать на большие глубины, что дает возможность заглубиться в водоупор и создать совершенную завесу. С помощью данного способа возможно также создание горизонтальной



противофильтрационной завесы под могильниками радиоактивных отходов, т.к. завесу можно устраивать через направляющие скважины на необходимую высоту. Таким образом, при сочетании горизонтальной завесы с вертикальными, возможно заключение источника загрязнения в блочную конструкцию. Однако создание горизонтальной завесы требует большого объема бурения скважин (на единицу объема сооружаемой конструкции). Недостатком способа является то, что он не позволяет полностью предотвратить фильтрацию, а лишь в той или иной степени снизить ее.

### 1.2.2. Методы устройства противофильтрационных экранов под сооружениями

*Технология струйной цементации.* Технология струйной цементации грунтов позволяет создать искусственный слой водоупора – горизонтальный противофильтрационный экран (рис.1.18).

По данной технологии можно создавать сплошные массивы, состоящие из взаимно секущихся грунтоцементных колонн [153].

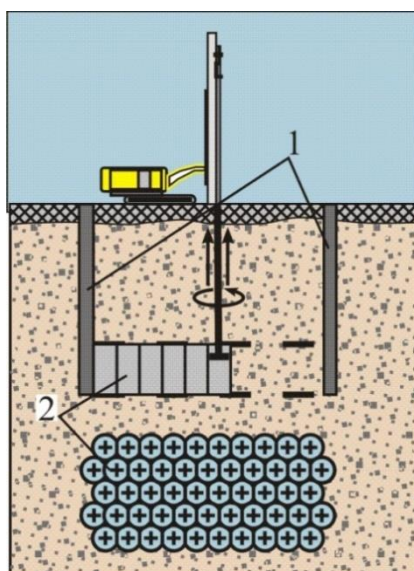


Рис. 1.18 Схема устройства горизонтальной Jet завесы  
1– "стена в грунте", 2– горизонтальная завеса

По сравнению с традиционными технологиями инъекционного закрепления грунтов струйная цементация позволяет укреплять практически весь диапазон грунтов – от гравийных отложений до мелкодисперсных глин и илов [138].

К преимуществам технологии следует отнести: высокую скорость сооружения грунтоцементных свай, возможность работы в стесненных условиях, в том числе и в подвальных помещениях, вблизи существующих зданий, на откосах.

Применение технологии струйной цементации грунтов позволяет создать горизонтальный противofiltrационный экран, при отсутствии водоупорного слоя непосредственно под пятном будущего заглубленного сооружения, однако для создания экрана под существующим сооружением, как правило, потребуется бурение скважин через само сооружение, что может привести к дополнительному загрязнению грунтов токсичными стоками.

*Глиногрунтовая технология.* Технология устройства искусственного водоупора из глиногрунтового материала, основана на применении специализированного оборудования [196]. Она предусматривает устройство вертикальных траншей под защитой глинистого раствора на проектную глубину, опускание в траншею специального рабочего органа 1 с двумя полыми перфорированными валами 2 со шнековой спиралью, прикрепленных к вертикальному полному валу 3 (рис.1.19).

Через вертикальный полый вертикальный вал 3 нагнетают глинистый противofiltrационный раствор к полым перфорированным валам 2. При повороте рабочего органа 1 вокруг вертикальной оси с одновременным вращением перфорированных валов 2 вокруг горизонтальной продольной оси происходит перемешивание раствора с грунтом, формируя горизонтальный противofiltrационный экран.

Применение этой технологии позволяет создать горизонтальный противofiltrационный экран, при отсутствии водоупорного слоя непосредственно под пятном будущего заглубленного хранилища, однако для создания экрана под существующим хранилищем требуется устройство

вертикальных траншей через само хранилище, что может привести к дополнительному загрязнению грунтов токсичными стоками.

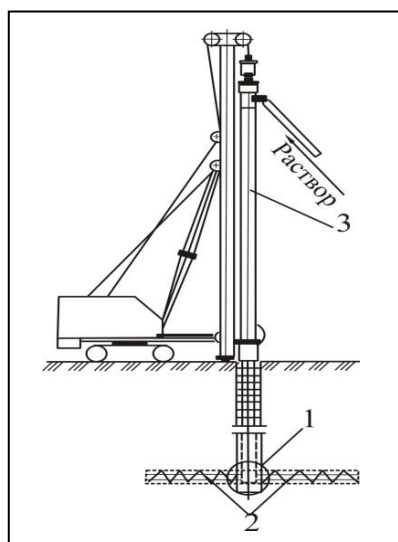


Рис. 1.19 Устройство горизонтального противофильтрационного экрана

*Буромесительная технология.* За рубежом для создания грунтобетонных свай в последние годы стала применяться буромесительная технология.

Популярно японское буромесительное оборудование по введению в предварительно разрыхленный слабый грунт сухого вяжущего в соответствии с технологией Dry Jet Method.

По этой технологии вяжущее вводится в грунт в сухом состоянии, подача его осуществляется воздухом через специальные воздушные сопла.

Применение бурового инструмента позволяет вводить вяжущее и в затворенном водой состоянии. Расположенные на буровом инструменте-смесителе лопасти жестко определяют диаметр закрепляемой колонны и служат для измельчения и перемешивания исходного грунта с поданным в скважину вяжущим. Буровые установки позволяют изготовить грунтобетонные сваи диаметром до 1,0 м и глубиной до 35,0 м.

Безусловный интерес представляют разработки геоинженеров из итальянской фирмы "Soilmec" по объединению преимуществ буромесительной и струйной технологий. Это технология " Turbojet", при которой диаметр закрепляемой колонны жестко обеспечивается механическим путем, а

однородность материала и конечная прочность – высоконапорной струей цементного раствора. Прочность грунта, закрепленного буросмесительным методом, может варьироваться от 30 до 90 кг/см<sup>2</sup> [35].

Применение буросмесительной технологии для создания искусственных горизонтальных противодиффузионных экранов возможно перед строительством различного рода заглубленных сооружений, но значительно проблематичнее ее использование под уже существующими сооружениями.

*Способ гидравлического разрыва грунта.* При этом способе, для сооружения горизонтального подземного экрана по площади сооружаемого экрана бурят на заданную глубину ряд скважин на определенном расстоянии друг от друга. Устье одной из скважин герметизируют, и подают в нее под давлением твердеющий раствор. Если грунты для данного раствора непроницаемы, то происходит гидравлический разрыв грунта, с выходом раствора в ближайшие скважины [35]. При этом в грунте образуется горизонтальный экран радиусом около 10–30м.

*Способ контролируемого гидравлического разрыва грунта* предусматривает два этапа.

На первом этапе использование струйной технологии для подготовки искусственного слоя грунта с пониженным сопротивлением деформациям, путем струйного размыва в заданном слое грунта.

На втором этапе подаваемый в требуемый слой под давлением раствор производит гидравлический разрыв грунта по сформированной поверхности разрыва и образует фрагмент горизонтального экрана. При достаточном давлении щели между фрагментами разрыхленного грунта соединяются, и экран получается сплошным.

Применение способа гидравлического разрыва для создания искусственного водоупора имеет ряд недостатков: процесс трещинообразования при проведении гидроразрыва грунта является практически неуправляемым; смыкание различных фрагментов экрана является крайне затруднительным,

поэтому сплошность экрана не гарантирована; возможны большие потери раствора.

*Технологии устройства экранов под сооружением методом инъектирования.* Анализ таких технологий был выполнен на основании патентного поиска по теме: "Строительство горизонтального противofильтрационного экрана закрытым способом".

Предметом патентного поиска являлся технологический процесс строительства горизонтального экрана в целом и устройства для его осуществления. Поиск проводится в Украине и России. Глубина поиска – 30 лет.

Поиск осуществлялся по имеющимся в электронным базам данных СССР [7], Укрпатента [8] и Роспатента [9] с реферативным и полным описаниям патентов.

Основным критерием для оценки применимости технического решения, описанного в патенте или авторском свидетельстве, являлась возможность решения проблемы устройства горизонтального экрана под существующим сооружением без его повреждения.

В большинстве патентов, по вышеуказанному критерию, в качестве основного технического решения предлагается устройство из вертикального ствола горизонтальных скважин с последующим инъектированием грунта различными противofильтрационными растворами.

К таким патентам относятся: "Способ защиты водных ресурсов с помощью горизонтальных (межпластовых) противofильтрационных завес и технология их сооружения" [206], "Способ строительства противofильтрационной завесы на застроенных территориях" [207]. "Способ сооружения подземной непроницаемой завесы" [208], "Способ создания противofильтрационной завесы" [199], "Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов" [204], "Способ изготовления водонепроницаемого экрана в грунтовых материалах элементов гидротехнического сооружения" [205], "Способ закрепления грунта"

[196], "Способ создания противofильтрационной завесы в лессовом грунте"  
[197], "Способ тампонажа горных пород с неоднородной трещиноватостью"  
[199], "Способ создания противofильтрационных завес" [198].

Отличием является то, что в "Способах...": [206,] – горизонтальный экран образуется методом гидроразрыва пластов грунта; [201,201,205,208,209] – для устройства горизонтального экрана применяются различные растворы: гелеобразующие [196,199], гидроизоляционные полимерные, закрепляющие твердеющие [201,209]; [196] – инъектирование с дополнительным применением гидроудара для улучшения проникновения растворов в грунт; [207] – методом инъектирования завеса под сооружением устраивается в вертикальной плоскости.

Рассмотренные способы устройства горизонтального экрана под существующим сооружением, показывают возможность инъектирования грунтов из горизонтальных скважин для создания экрана, однако общим недостатком предложенных конструктивно-технологических решений является неконтролируемость сплошности создаваемых экранов.

Для более подробного изучения возможности применения технологии инъектирования для защиты подземного пространства от загрязнений необходимо проработать современные составы, которые на сегодняшний день применяют для такого вида строительных работ.

**1.3. Локализация очага загрязнения с помощью противofильтрационной завесы, выполненной методом инъекции растворов в грунт.** Сущность способа инъектирования, относящегося к способам укрепления грунтов, заключается во введении под давлением через иньектор закрепляющего раствора, который распространяется в поровом пространстве грунта и образует области пропитки, размеры которых зависят от технологических параметров нагнетания, свойств грунта и вяжущего материала.

Инъекционный процесс как определенная технология воздействия на горные породы впервые был применен в строительных целях французским инженером Ш. Берини в 1802 г. Первоначально новая технология использовалась главным образом для «лечения» кирпичной кладки и бетона различных частей сооружений ниже уровня подземных вод. Во второй половине XIX в. и начале XX в. постепенно получает распространение инъекционное закрепление трещиноватых скальных пород в основном для целей уменьшения водопритоков при проходках шахтных стволов. В этот период наибольшее распространение в качестве инъекционных растворов получили глинистые и цементные суспензии различной концентрации; имелся также эпизодический опыт использования жидкого стекла.

В дальнейшем совершенствование техники и технологии нагнетания растворов и достижения в области инженерной геологии обусловили расширение области применения инъекционного процесса. Начиная с 20-х годов прошлого столетия, было разработано и запатентовано значительное число способов закрепления трещиноватых скальных и песчаных пород, основанных на использовании различных химических реагентов, включая синтетические полимеры. Результатом инъекционного воздействия является изменение состава, состояния и свойств пород в желаемом для человека направлении [38,95].

Широкое признание метод нашел только в 1920-1930 г, в период развития плотиностроения.

Для инъектирования растворов в песчано-гравийные породы в течение многих лет применялся метод Джустена (Joosten), заключающийся в последовательном нагнетании в грунт силиката натрия и реактива, вызывающего образование геля. Однако этот метод оказался дорогим и неприемлемым для использования в мелкозернистых песках [2].

В 1938 г. А. Майером (A. Mayer) были предложены глинистые растворы для создания протифильтрационных завес в гидротехнических сооружениях.

В настоящее время развитие способов укрепления грунтов идет по двум направлениям. Первое объединяет способы, основанные на перемешивании грунта с вяжущим материалом, второе - способы пропитки.

Способы смешения заключаются в распределении вяжущего материала в поровом пространстве грунта при их тщательном перемешивании. Это одинаково эффективно как для закрепления грунтов так называемыми поверхностными способами, нашедшими развитие в дорожном и аэродромном строительстве, так и глубинными - перемешивании грунта с вяжущим материалом с помощью глубинных фрез и шнеков. При закреплении грунтов способом смешения в дорожном строительстве обязательным является выполнение ряда технологических операций: предварительного рыхления и размельчения грунтовых агрегатов; точного дозирования и перемешивания составляющих компонентов; распределения и укладки готовой смеси; максимального уплотнения и ухода за укрепленным грунтом.

Способы пропитки заключаются в нагнетании вяжущих растворов в грунт. Эффективность этих способов зависит от фильтрационных свойств грунта (пористости) и проникающей способности раствора (вязкости).

Вопросы глубинного инъекционного закрепления грунтов в общестроительной практике освещены в работах Б. А. Ржаницына (1931), В. Е. Соколовича (1939), А. Н. Адамовича (1947), М. Пападакиса (1955), Б. П. Горбунова (1960), Н. А. Блескиной (1964), А. Камбефора (1964), В. М. Марголина (1969), Н. Ш. Белевитиной (1971), Л. В. Гончаровой (1973), С. Д. Воронкевича (1974), Д. Ю. Соболевского (1994) и других исследователей. Они наибольшее внимание уделяли подбору рецептур закрепляющих растворов и разработке технологических параметров.

В дорожной практике вопросы инъекции закрепляющих растворов для повышения устойчивости откосов отражены в работах Д. В. Волоцкого (1978), Р. З. Порицкого (1971), Ш. Х. Нетфуллова (1985).



Наибольшее распространение в практике инъекционных работ получила схема манжетных колонн, разработанная французской фирмой «Солетанш». Сущность схемы заключается в следующем.

На всю глубину инъекционных работ бурится скважина с использованием промывочного глинистого раствора. В эту скважину опускается собственно манжетная колонна, представляющая собой трубу с отверстиями через определенное расстояние, которые закрыты резиновыми манжетами. На практике отверстия наносятся обычно через 33 или 50 см. Через нижний манжет в затрубное пространство вводится «обойма», т.е. глиноцементный раствор. Состав обоймы подбирается таким образом, чтобы через 3-7 дней она имела прочность на одноосное сжатие около 3-5 МПа. После набора необходимой прочности «обоймы» инъекция проводится путем установки двойного разжимного тампона против соответствующего манжета. Раствор проникает в породу после разрушения «обоймы», которое достигается применением высоких давлений. Преимущество данной схемы заключается, прежде всего, в возможности инъекции пород при высоких давлениях в любой последовательности и даже повторной инъекции. Кроме этого, данная схема не требует использования обсадных труб при бурении. Использование схемы манжетных колонн позволяет вести инъекционные работы в несвязных грунтах на глубине до 200 и более метров [95].

Согласно ранее выполненным исследованиям в России и Франции, предельное давление инъекции, исключающей разрыв пласта должно рассчитываться по формуле [84,85,95]:

$$P_{ин} = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H + P, \text{ где } \mu - \text{ коэффициент Пуассона;}$$

$\gamma$  - объемная масса грунта;

$H$  - глубина инъекции;

$P$  – структурная прочность грунта

Ранее выполненными исследованиями установлено также, что при  $P_{ин} = \frac{\mu}{1-\mu} \gamma H + P$ , возникают разрывы пласта [85]. Ориентация плоскостей

разрывных нарушений определяется соотношением главных напряжений в точке инъекции. На рисунке 1.20 (а,б) можно видеть характер распределения главных напряжений в зоне инъекции для равнинных районов, где отсутствуют орогенетические напряжения.

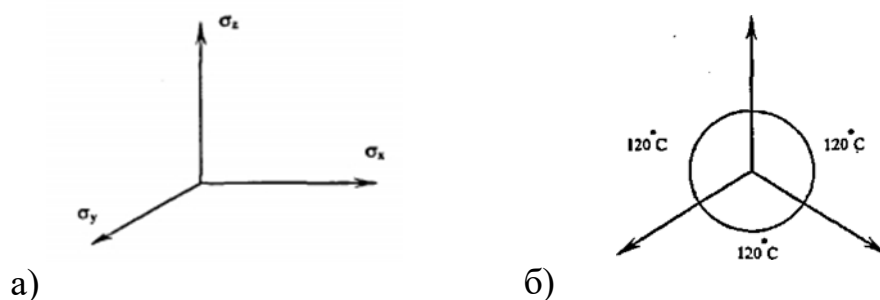


Рис. 1.20 Распределение главных напряжений а) и ориентация плоскостей разрывных нарушений в зоне инъекции б).

При условии, когда  $\sigma_x = \sigma_y$ , мы будем иметь три плоскости вертикальных разрывных нарушений, ориентированных под углом  $120^\circ$ .

Анализ ранее полученных результатов показал, что эффективность инъекционного закрепления может значительно повышаться за счет управления ориентацией плоскостей разрывных нарушений [85]. Решение этого вопроса достаточно актуально при необходимости создания вертикальной противодиффузионной завесы определенной конфигурации. При условии, когда  $\sigma_x \neq \sigma_y$ , формируется одна плоскость разрыва, которая ориентирована перпендикулярно минимальному главному напряжению. Это дает возможность создать вертикальную завесу перпендикулярную фильтрационному потоку.

Растворы, снижающие водопроницаемость, называются тампонажными, а процесс снижения водопроницаемости путем инъекции такого раствора называют тампонированием.

Наиболее ярким примером использования тампонажных растворов, вошедшим в мировую практику гидротехнического строительства, является создание крупнейшей противодиффузионной завесы высотной Асуанской плотины, законченной в 1970 г. Эта завеса выполнена советскими

специалистами. Завеса Асуанской плотины является уникальным сооружением как по размерам, так и объему закрепленного грунта.

Инъекционный способ создания геохимических барьеров основан на закачке тампонажных растворов в поровое и трещинно-пустотное пространство грунта.

Инъекционные растворы представляют собой специально подобранные жидкообразные материалы, различные по химической природе и агрегатному состоянию, способные под давлением проникать в грунт. Наиболее широкое распространение в отечественной практике в настоящее время имеют растворы суспензионного типа, приготовленные на базе природных глинистых материалов, а иногда и портландцемента (бентонитосиликатный раствор BS, глино-бентонитосиликатный CBS, глиносиликатный CS, глиноцементный CZ), и химические гелеобразующие растворы на основе жидкого стекла и карбомидных смол (табл.1.1-1.5) [84].

Таблица 1.1

Состав бентонитосиликатного раствора (BS) с  $\gamma=1,04-1,11 \text{ г/см}^3$

| Исходные компоненты            | Количество |         |
|--------------------------------|------------|---------|
|                                | кг         | л       |
| Бентонит (на $1 \text{ м}^3$ ) | 63,6-174   |         |
| Силикат (на $1 \text{ м}^3$ )  | 0,32-0,87  |         |
| Вода                           |            | 977-935 |

Таблица 1.2

Состав глинобентонитосиликатного раствора (CBS) с  $\gamma=1,28-1,29 \text{ г/см}^3$

| Исходные компоненты            | Количество |         |
|--------------------------------|------------|---------|
|                                | кг         | л       |
| Бентонит (на $1 \text{ м}^3$ ) | 63,6-174   |         |
| Силикат (на $1 \text{ м}^3$ )  | 0,32-0,87  |         |
| Глина (на $1 \text{ м}^3$ )    | 420-444    |         |
| Вода                           |            | 755-736 |

Добавка силиката натрия в суспензионные растворы необязательна и выполняется с целью получения более быстрого перехода раствора в вязкопластичное состояние.

Таблица 1.3

Состав глиносиликатного раствора (CS) с  $\gamma=1,35-1,38 \text{ г/см}^3$

| Исходные компоненты           | Количество |         |
|-------------------------------|------------|---------|
|                               | кг         | л       |
| Силикат (на $1 \text{ м}^3$ ) | 37-41      |         |
| Глина (на $1 \text{ м}^3$ )   | 552-596    |         |
| Вода                          |            | 769-742 |

Таблица 1.4

Состав глиноцементного раствора (CZ) с  $\gamma=1,25-1,27 \text{ г/см}^3$

| Исходные компоненты          | Количество |         |
|------------------------------|------------|---------|
|                              | кг         | л       |
| Цемент (на $1 \text{ м}^3$ ) | 110        |         |
| Глина (на $1 \text{ м}^3$ )  | 288-327    |         |
| Вода                         |            | 865-852 |

Таблица 1.5

Состав щавелево-аллюмосиликатной рецептуры (время гелеобразования 4 часа)

| Исходные компоненты   | Количество |     |
|---|------------|-----|
|   | кг         | л   |
| Жидкое стекло ( $\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$ ); $\gamma=1,46 \text{ г/см}^3$ |            | 250 |
| Сернокислый алюминий ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ )          | 20         |     |
| Щавеливая кислота ( $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )          | 20         |     |
| Вода  |            | 710 |

Рассмотрим возможность применения суспензионных растворов для сооружения противофильтрационных экранов. Возможности тампонажа суспензионными инъекционными растворами ограничены. Ограничения определяются способностью инъекционного раствора проникать в тампонируемый грунт. Существует закономерность распространения суспензии в песчаных грунтах: чем меньше размер частиц твердой фазы суспензии, тем более широкий по проницаемости спектр песчаных грунтов может быть тампонируван при ее использовании. В качестве критерия проницаемости песчаного грунта для суспензии широко используется критерий Кинга-Буша. Критерий Кинга-Буша определяется выражением  $d_{10}/D_{95} > 8$ , где  $d_{10}$  - диаметр частиц тампонируемого грунта, меньше которых по размеру в нем содержится 10% частиц,  $D_{95}$ -диаметр частиц твердой фазы суспензии, меньше которых по размеру в ней содержится 95% частиц. На рисунке 1.21 представлена диаграмма, из которой можно видеть значения  $d_{10}$  для песков различного гранулометрического состава и значение  $D_{95}$  для твердой фазы суспензий, широко используемых при тампонаже песчаных грунтов.

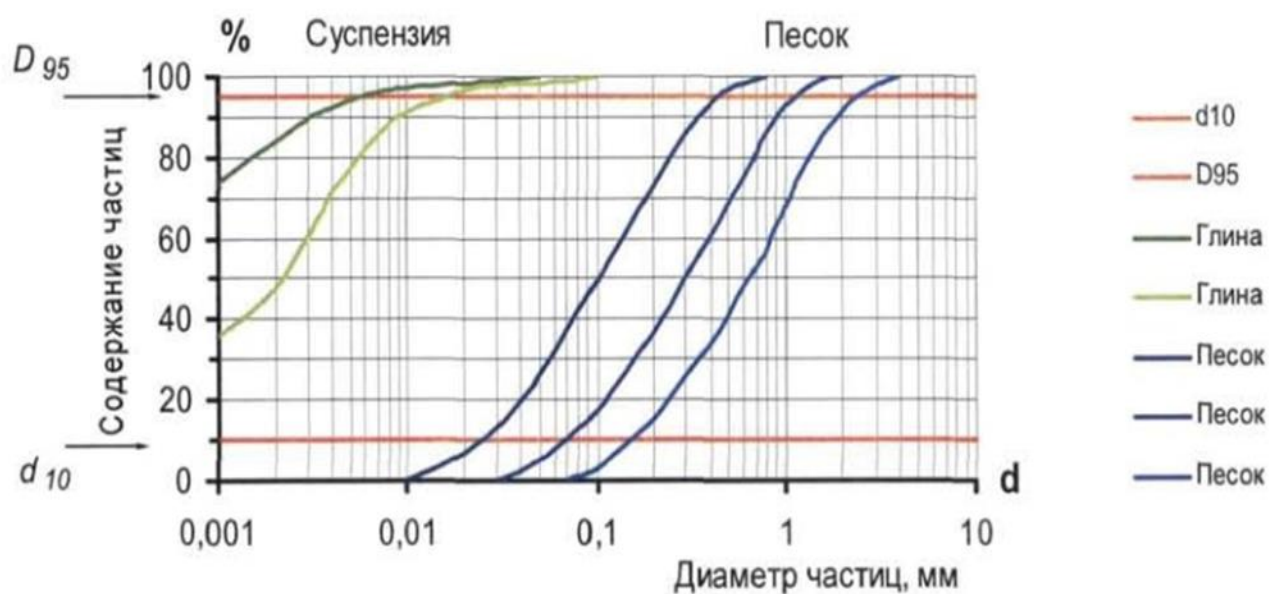


Рис. 1.21 Гранулометрический состав песчаных грунтов твердой фазы различных суспензий

Существует и еще одно ограничение для суспензионных растворов. Оно связано с процессом водоотдачи растворов при их движении вдоль радиуса инъекции. Известно, что давление инъекции в результате сопротивления тампонируемой среды падает вдоль радиуса распространения раствора. В этих условиях и происходит водоотдача суспензии, что ведет к повышению вязкости раствора и, соответственно, снижению скорости его распространения во времени. Процесс водоотдачи наблюдается при инъекции любых суспензионных растворов, но скорость водоотдачи для каждого из них различна. Наибольшей скоростью водоотдачи обладают глино-цементные растворы, а наименьшей - бентонито-силикатные. Следствием изменения вязкости раствора при его закачке в песчаный грунт является ограниченность радиуса распространения суспензии. Мировой опыт инъекционных работ показывает, что максимальный радиус распространения суспензионного раствора от инъектора не превышает 1,5 м, если соблюдать условия, обеспечивающие суффозионную устойчивость суспензий в грунте.

Это не позволяет рассматривать суспензионные растворы в качестве материала для создания горизонтальных противодиффузионных экранов большой площади, так как рассмотренное выше ограничение определяет необходимость бурения инъекционных скважин при создании горизонтального экрана большой площади с шагом не более 3-х метров и расстоянием между рядами скважин так же не более 3-х метров. Эти требования вполне выполнимы, но стоимость такого экрана будет очень высокой, а время его создания - продолжительным.

Далее остановимся на случае, когда для локализации очага загрязнения нет возможности сделать глинистый экран, так как в районе залегают песчаные грунты, которые не могут быть тампонированы суспензией и обладают очень слабой поглощающей способностью в отношении радиоактивных элементов, присутствующих в ЖРО.

Для создания геохимического барьера в малопроницаемых песчаных грунтах следует использовать химические гелеобразующие инъекционные

растворы. По сравнению с суспензионными инъекционными растворами основным преимуществом химических гелеобразующих растворов является отсутствие твердой фазы и, соответственно, более высокая проникающая способность. Вместе с тем и химические гелеобразующие растворы имеют ограниченный радиус распространения, т.к. со временем возрастает их вязкость вплоть до образования геля. При этом все известные гелеобразующие рецептуры химических растворов, используемые при инъекционных работах, имеют ограниченное время гелеобразования — не более 4-5 часов. За этот период, согласно расчетам гидрогеологов, радиус распространения химического гелеобразующего раствора с вязкостью близкой к вязкости воды составит 30-40 м. Такой радиус распространения позволит увеличить шаг скважин до 60 м. Эффективность работы такого экрана определяется не его проницаемостью, а поглощающей способностью в отношении радиоактивных элементов.

Стоимость химических инъекционных растворов, естественно, выше, чем суспензионных, но вполне приемлема для выполнения инъекционных работ при аварийных ситуациях. Таким образом, для создания противодиффузионного поглощающего экрана необходимо подобрать рецептуру химического гелеобразующего раствора, которая отвечает следующим требованиям.

1. Компоненты раствора не являются дефицитным материалом и имеют приемлемую стоимость.
2. Технология приготовления не требует применения специального оборудования.
3. Начальная вязкость раствора близка к вязкости воды, что необходимо для получения большого радиуса распространения от одной инъекционной скважины и, соответственно, для снижения их количества на единицу площади при создании горизонтального экрана.
4. Рецептура должна иметь минимальное изменение вязкости до момента гелеобразования.

5. Время гелеобразования химического инъекционного раствора должно иметь незначительную зависимость от температуры.

6. Гель раствора должен обладать поглощающей способностью в отношении радиоактивных элементов, позволяющей рассматривать искусственный геохимический экран, созданный на его основе, в качестве надежного барьера на протяжении длительного периода времени.

К настоящему времени разработаны и апробированы при выполнении инъекционных работ десятки химических гелеобразующих рецептов. Все они позволяют создавать надежный противofiltrационный экран, но радиус распространения раствора, как правило, не превышает 1,0-2,0 м от точки инъекции. Многие из этих рецептов (карбамидная, кремнефтористоводородная) обладают поглощающей способностью в отношении ряда тяжелых металлов. Вместе с тем, анализ состава и свойств этих рецептов показал, что основная часть из них не отвечает одному или нескольким требованиям, изложенным выше. Эти рецепты либо имеют высокую начальную вязкость (более 15 сантипуаз), либо постоянное увеличение вязкости во времени до момента гелеобразования.

Наиболее перспективной для создания противofiltrационного поглощающего геохимического барьера является щавелево-алюмосиликатная (ЩАС) рецептура. Вязкость золя щавелево-алюмосиликатного раствора сразу после приготовления не превышает 1,8 сантипуаз, и остается постоянной на протяжении 80% времени гелеобразования. Изменение вязкости во времени для щавелево-алюмосиликатного раствора показано на рисунке 1.22.

Отличительной особенностью щавелево-алюмосиликатного раствора является то, что рецептура практически не реагирует в плане времени гелеобразования на изменение температуры в интервале  $+5^{\circ}\text{C}$  -  $+25^{\circ}\text{C}$ . Этот интервал температур охватывает все возможные температурные изменения подземных вод в различных климатических зонах Украины.



Таким образом, накопленный опыт по созданию различного рода противодиффузионных экранов дает основание считать, что инъекционный способ получения защитных барьеров на пути миграции радиоактивных элементов может рассматриваться при аварийных ситуациях в качестве способа, приемлемого для локализации очага загрязнения и защиты водных ресурсов. Его надежность и эффективность будут определяться не только противодиффузионными свойствами, но и поглощающей способностью используемого материала в отношении радионуклидов.

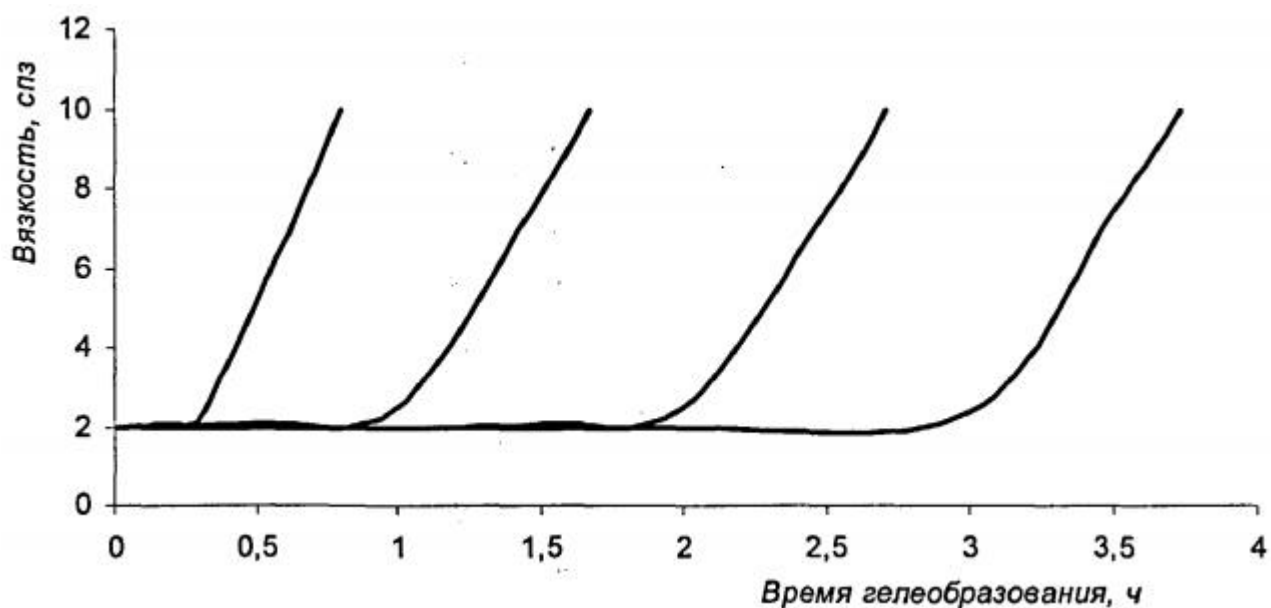


Рис. 1.22 Гранулометрический состав песчаных грунтов твердой фазы различных суспензий.

#### 1.4. Применение метода горизонтально-направленного бурения для создания горизонтальных противодиффузионных экранов

Анализируя способы создания горизонтального экрана под существующим сооружением без его повреждения, следует отметить, что все они основаны на устройстве горизонтальных скважин, как правило, выполняемых из вертикальных стволов. Однако, сегодня достаточно широко применяется метод горизонтально-направленного бурения (ГНБ) для устройства скважин и прокладки различных коммуникаций с поверхности земли под существующими сооружениями.

Бестраншейный метод прокладки коммуникаций - управляемое горизонтально-направленное бурение с использованием специализированных буровых комплексов был изобретен в 1963 году Мартином Черрингтоном (США), как альтернатива традиционному траншейному методу.

На сегодняшний день метод ГНБ позволяет бурить горизонтальные скважины и прокладывать коммуникации длиной от нескольких метров до нескольких километров диаметром более 1200мм [72,96,163] .

Бурение скважин методом ГНБ производится специальной буровой головкой, закрепленной на буровых штангах и управляемой системой локации. Буровая головка имеет отверстия для подачи специального бурового раствора, который закачивается в скважину и образует суспензию с размельченной породой. Буровой раствор уменьшает трение на буровой головке и штанге, предохраняет скважину от обвалов, охлаждает породоразрушающий инструмент, разрушает породу и очищает скважину от её обломков, вынося их на поверхность. Устройство скважин большого диаметра происходит после завершения пилотного бурения специальными расширителями обратного действия, которые крепятся на буровые штанги вместо буровой головки.

Основные преимущества метода ГНБ заключаются в возможности прокладки коммуникаций бестраншейным методом под существующими сооружениями в условиях плотной застройки, под различными магистралями, реками и водоемами, в охранных зонах в различных грунтовых условиях от плавунных грунтов до скальных пород.

Финансово-экономический эффект применения метода ГНБ заключается в значительном снижении стоимости строительства за счет исключения затрат на водопонижение и восстановление разрушенных участков на поверхности земли, а социально-экологический эффект – сохранение природного ландшафта и экологического баланса в местах проведения работ, исключение техногенного воздействия на флору и фауну, минимизация негативного влияния на условия проживания людей в зоне проведения работ.

Без сомнения метод ГНБ мог бы быть использован и для создания инъекционных экранов под существующим сооружением.

Исследования, проведенные отечественными и зарубежными учеными Ю.А. Ветровым [55], В.Л. Баладинским [18], А.Н. Зелениным [113], В.В. Кованько [134], С.В. Кравцом [139], В.К. Тимошенко [196] и др. показали возможность использования различных грунторазрабатывающих рабочих органов для устройства полостей в грунте бестраншейным методом для прокладки коммуникаций.

Эти исследования дали возможность расширить использование бестраншейных методов проходки и современных проходческих комплексов [31,160,161].

По нашему мнению одним из направлений расширения использования ГНБ - применения горизонтально-направленного бурения для создания экрана под сооружением, как базового метода для новой технологии, при которой сплошной противодиффузионный экран создается между горизонтальными направляющими скважинами с расположенными в них иньекторами, путем одновременной иньекции противодиффузионных составов с расчетным радиусом.

## **ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 1**

1. Исходя из анализа видов загрязнений, для Украины особую опасность представляют радиационные загрязнения с дальнейшей миграцией частиц в подземные воды.

2. Обзор информационных источников выявил отсутствие экономичной и эффективной технологии устройства противодиффузионной защиты закрытым способом в случаях, когда в грунте присутствуют твердые включения и водоупорный слой грунта расположен на большой глубине или вообще отсутствует.

## РАЗДЕЛ 2

### ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОЗДАНИЯ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ И ЗАВЕС

#### 2.1. Анализ современных технологий создания противofильтрационных экранов и завес

*"Способ защиты водных ресурсов с помощью горизонтальных (межпластовых) противofильтрационных завес и технология их сооружения"* [31]. Прямая гидравлическая связь между смежными водоносными горизонтами 1 происходит через литологические (гидрогеологические) "окна" и талики, то есть на участках, где разделяющие слабопроницаемые или водоупорные слои 2 отсутствуют. Цель изобретения – предложить надежный и эффективный способ разобщения гидравлически взаимосвязанных водоносных горизонтов через литологические "окна".

Для решения этой задачи предлагаются способ межпластовых горизонтальных противofильтрационных завес (ГПФЗ) и технология их сооружения в различных по физико-механическим и фильтрационным свойствам породах.

Поставленная задача решается с помощью технологии, базирующейся на сооружении в зоне фильтрующего "окна" системы лучевых инъекционных скважин и проведении тампонажа водопроницаемых пород закрепляющими составами.

Принципиальная схема создания межпластовой ГПФЗ представлена на рис. 2.1 (разрез) и рис. 2.2 (план).

Для реализации предлагаемого способа примерно в центре литологического "окна" проходится шахтный ствол 4 диаметром в свету 3,1 – 3,6 м на глубину, превышающую положение проектируемой завесы, что необходимо для устройства шахтного водосборника и водоотлива. Из ствола разбуривают систему лучевых инъекционных скважин 5 с таким расчетом, чтобы максимальное расстояние между концевыми участками смежных скважин не превышало двух

радиусов закрепленных пород подобранным составом. Учитывая расходящийся с удалением от ствола характер иньекторов, необходимо в зависимости от расстояния между смежными скважинами применять различные по вязкости составы иньектирования. В зависимости от длины лучевых иньекторов предлагается выделять 2 – 3 зоны (интервала) закрепления составами,

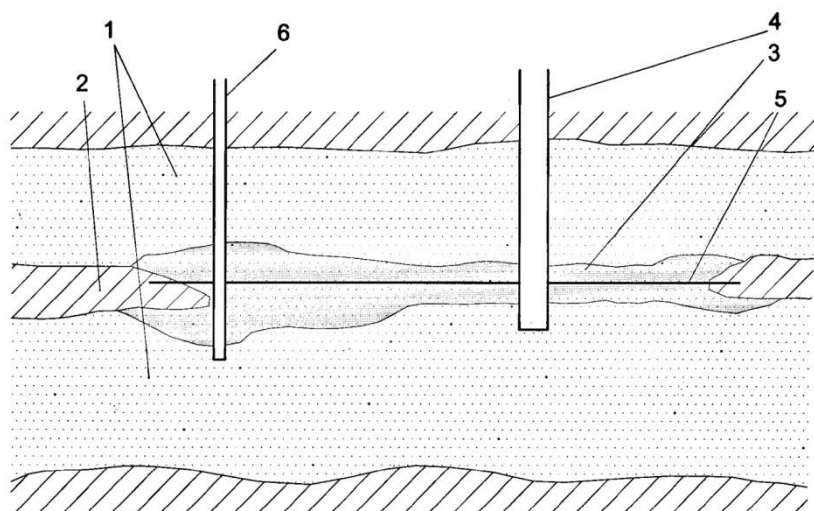


Рис. 2.1 Принципиальная схема создания межпластовой ГПФЗ (разрез)

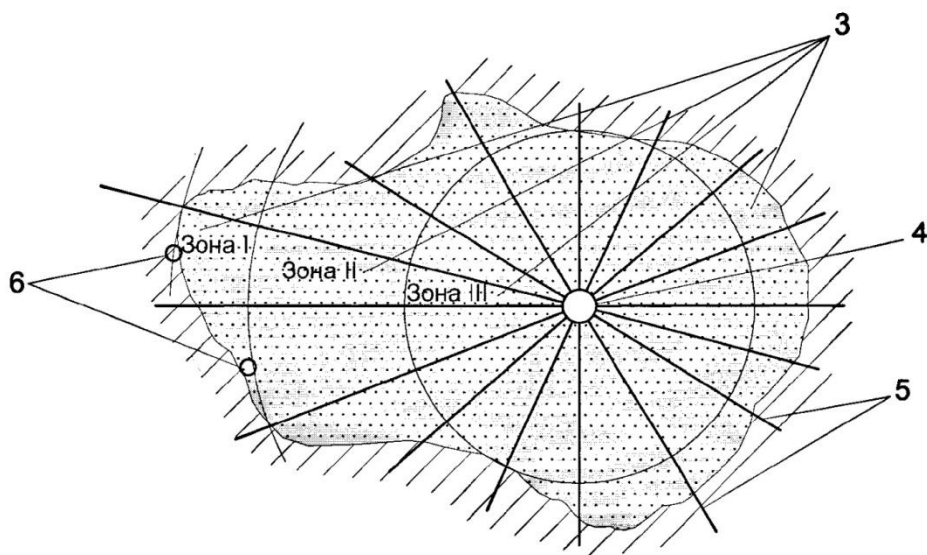


Рис. 2.2 Принципиальная схема создания межпластовой ГПФЗ (план)

отличающимися вязкостью и временем схватывания (гелеобразования) и соответственно радиусами закрепления.

Инъектирование пород предусматривается осуществлять в направлении от границ "окна" к центру (к стволу). После истечения срока схватывания закрепляющих составов на участке "окна" образуется горизонтальная межпластовая противofильтрационная завеса, препятствующая перетоку подземных вод между смежными горизонтами и проникновению загрязнений в водоносный горизонт.

При значительных размерах литологических "окон" (более 250 м в диаметре) потребуется проходка нескольких шахтных стволов и систем инъекционных скважин.

Для контроля за растеканием закрепляющих составов и положением уровней подземных вод в наиболее удаленных от ствола точках – посредине между инъекционными скважинами закладываются наблюдательные скважины б, которые оборудуются оголовками с целью предотвращения излива закрепляющих составов на поверхность. Для повышения информативности наблюдений нагнетаемые растворы подкрашиваются различными индикаторами – флюоресцеином, "радомином-ж" и др.

Технические результаты, которые могут быть получены при внедрении способа в производство:

- получение возможности сооружения межпластовых завес необходимых размеров по площади;
- повышение надежности создания в границах литологического "окна" сплошной ГПФЗ;
- возможность сооружения завесы в гранулярных несвязных и высокопроницаемых породах;
- повышение противofильтрационного эффекта за счет увеличения толщины завесы;
- получение возможности уточнения границ литологического "окна" при бурении горизонтальных инъекционных скважин;

– повышение надежности и долговечности работы разделительной ГПФЗ.

Способ может быть применен для охраны ресурсов подземных вод от истощения и загрязнения и защиты горнорудных предприятий от обводнения.

Предложенный способ может быть применен для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля, если использовать его для создания искусственного водоупора. Для заключения источника загрязнения в блочную конструкцию можно использовать горизонтальный противofильтрационный экран под источником загрязнения, сооруженный с помощью предложенного способа, в сочетании с вертикальными противofильтрационными конструкциями, например, выполненными с помощью способа инъекции или другим способом.

Главным преимуществом способа является возможность создания горизонтальной противofильтрационной завесы больших размеров (до 250 м из одного шахтного ствола), что может быть эффективным при локализации больших территорий с захоронениями. Недостатком способа является недостаточная надежность предложенной горизонтальной завесы.

Анализ описания изобретения к патенту ***RU 2375580 C1*** "*Способ сооружения подземной непроницаемой завесы*" [32]. Способ сооружения подземной непроницаемой завесы включает проходку вертикального ствола, бурение из него горизонтальных скважин, нагнетание в них закрепляющих и твердеющих растворов, причем в зоне необходимого пересечения водоносного горизонта или рядом с подземным техногенным процессом дополнительно сооружают вертикальные стволы, соединяют их между собой рядами горизонтальных скважин, которые располагают в вертикальной плоскости одна над другой, затем, нагнетая в них твердеющий раствор, образуют подземную непроницаемую завесу, перекрывающую водоносный горизонт от верхнего до нижнего водоупора или зону распространения подземного техногенного процесса.

Полученная таким образом завеса, перекрывающая в подземных условиях только толщину водоносного горизонта, а не глубину от дневной поверхности до нижнего водоупора, позволяет уменьшить материальные

затраты, снизить трудоемкость изготовления завесы, сократить сроки возведения завесы, а также расширить зону применяемости данной завесы. Кроме того, подземную непроницаемую завесу могут выполнить из двух, трех и более вертикальных рядов скважин, что значительно увеличивает ее надежность.

Для сооружения вертикальной подземной непроницаемой завесы в зоне необходимого пересечения водоносного горизонта на дневной поверхности земли (почвы) *1* проходят необходимое количество вертикальных стволов *2* (рис. 2.3, *а*).

Из одного ствола до другого бурят ряд *3* горизонтальных скважин *4*, расположенных в вертикальной плоскости одна над другой (рис. 2.3, *б, в, г*). Скважины *4* образуют завесу *5*, перекрывающую водоносный горизонт *б* от верхнего *8* до нижнего *7* водоупора (рис. 2.4, *б, в, г*). Полученная таким образом завеса *5*, перекрывающая в подземных условиях только толщину водоносного горизонта, а не глубину от дневной поверхности до нижнего водоупора, позволяет уменьшить материальные затраты, снизить трудоемкость изготовления завесы, сократить сроки возведения завесы, а также расширить зону применяемости данной завесы. Образованная завеса *5* становится непроницаемой после нагнетания в скважины *4* твердеющего раствора. При бурении горизонтальных скважин *4* производят контроль за направлением бурения с использованием горизонтальных инклинометров. Для увеличения надежности завесы *5* ее могут выполнить из двух *9* и *10*, трех *11, 12, 13* (рис. 2.3, *в, г*) и более рядов скважин.

На поверхности земли (почвы) *1* располагается объект *14*, являющийся источником возникновения в подземных условиях техногенного процесса, ограниченного контуром *15* (рис. 2.4, *а*). При попадании в зону неустойчивых пород *16*, представленных, например, песком, техногенный процесс расширяется (контур *17*), в результате чего увеличивается возможность влияния техногенного процесса на окружающую среду. Чтобы уменьшить или



исключить это влияние сооружают подземную непроницаемую завесу, для этого вокруг вертикального подземного техногенного процесса сооружают

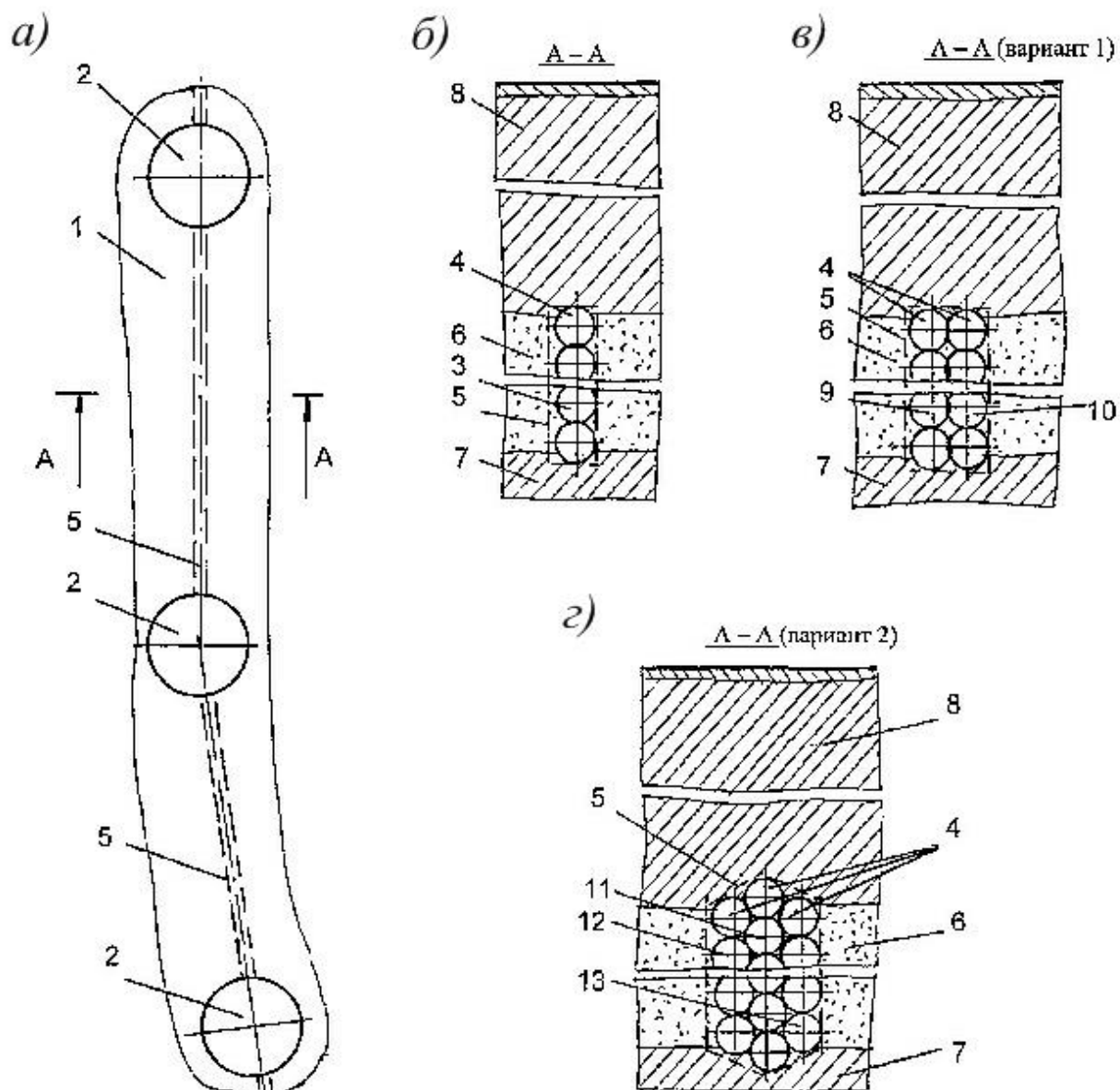


Рис. 2.3 Схема устройства подземной непроницаемой завесы

*a* – план расположения вертикальных стволов, между которыми в подземных условиях расположена завеса (показана пунктирно); *б* – вид по А – А (вертикальный разрез завесы); *в* – вид по А – А (вариант 1); *г* – вид по А – А (вариант 2)

стволы 18 (рис. 2.4, б). Из одного до другого стволов 18 бурят горизонтальные скважины 4 так, что из них образуется замкнутая линия будущей завесы. После нагнетания в них твердеющего раствора образуют подземную непроницаемую завесу 19, расположенную между устойчивыми породами 20 и 21.

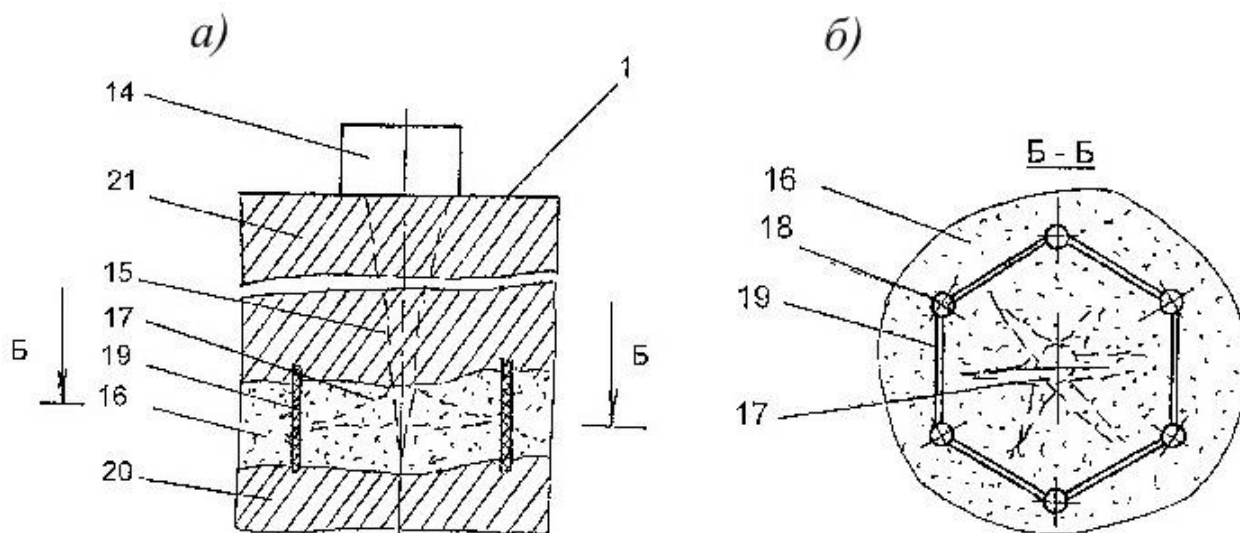


Рис. 2.4 Схема устройства подземной непроницаемой завесы для защиты от влияния подземных техногенных процессов

*a* – продольный разрез вертикального подземного техногенного процесса, окруженного непроницаемой завесой; *б* – вид по Б-Б

Данное техническое решение может найти применение при защите водных источников от негативного воздействия хозяйственной деятельности, защите окружающей среды при эксплуатации различных отстойников, хвостохранилищ на горнодобывающих предприятиях, нефтеперерабатывающих комбинатах и других.

Применение предложенного способа для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является затруднительным, так как для надежной локализации источника радиоактивного загрязнения, последний необходимо заключить в блочную конструкцию.

Анализ описания изобретения к патенту **RU 2349710 C1** "Способ строительства противодиффузионной завесы на застроенных

*территориях"* [33]. Способ сооружения вертикальной инъекционной противофильтрационной завесы под существующими сооружениями включает сооружение вертикальных инъекционных скважин. На участке расположения существующих сооружений по трассе ПФЗ бурение вертикальных инъекционных скважин заменяется бурением горизонтальных инъекционных скважин 1, располагаемых одна над другой в одной вертикальной плоскости, как это показано на рис. 2.5. Горизонтальные скважины бурятся и инъецируются в очередности снизу вверх, начиная от водоупора обводненных пород до отметок заложения фундаментов находящегося на поверхности объекта. Бурение осуществляется из вертикального ствола 2, закладываемого на трассе строящейся завесы на безопасном расстоянии от объекта. Глубина ствола превышает глубину залегания кровли водоупорного слоя, что необходимо для создания в стволе водосборника. Диаметр ствола 2 в свету назначается в зависимости от габаритов применяемой буровой установки и требований техники безопасности. Бурение осуществляется с перемещаемого в стволе полка. Проходка скважин ведется под защитой "глухой" инвентарной колонны труб, что необходимо для предотвращения поступления в ствол грунтовых вод и плавунных пород в опасных (непредвиденных) объемах в процессе бурения. Инъекционные скважины должны выходить за пределы пересекаемого объекта на расстояние, необходимое для закладки стыковочной скважины 3, которое определяется безопасным интервалом между буровой установкой и объектом.

Инъецирование водоносных грунтов проводится твердеющими составами, которые подбираются в соответствии с проницаемостью тампонируемых пород с учетом их вязкости и сроков отверждения. Расстояние между горизонтальными скважинами назначается с учетом радиуса закрепления грунтов применяемыми составами. Закрепленный участок пород 4 показан в разрезе на чертеже.

С внешней стороны завесы после ее сооружения возникает подпор грунтовых вод. Чтобы предотвратить развитие процесса подтопления объекта, пересекаемого трассой завесы из пройденного ствола 2, закладываются лучевые горизонтальные (слабонаклонные) скважины 5, а в стволе устанавливается

насосное оборудование и система автоматизации работы водоподъемного насоса (на чертеже не показаны). Дренажные воды сбрасываются в ближайший канализационный коллектор.

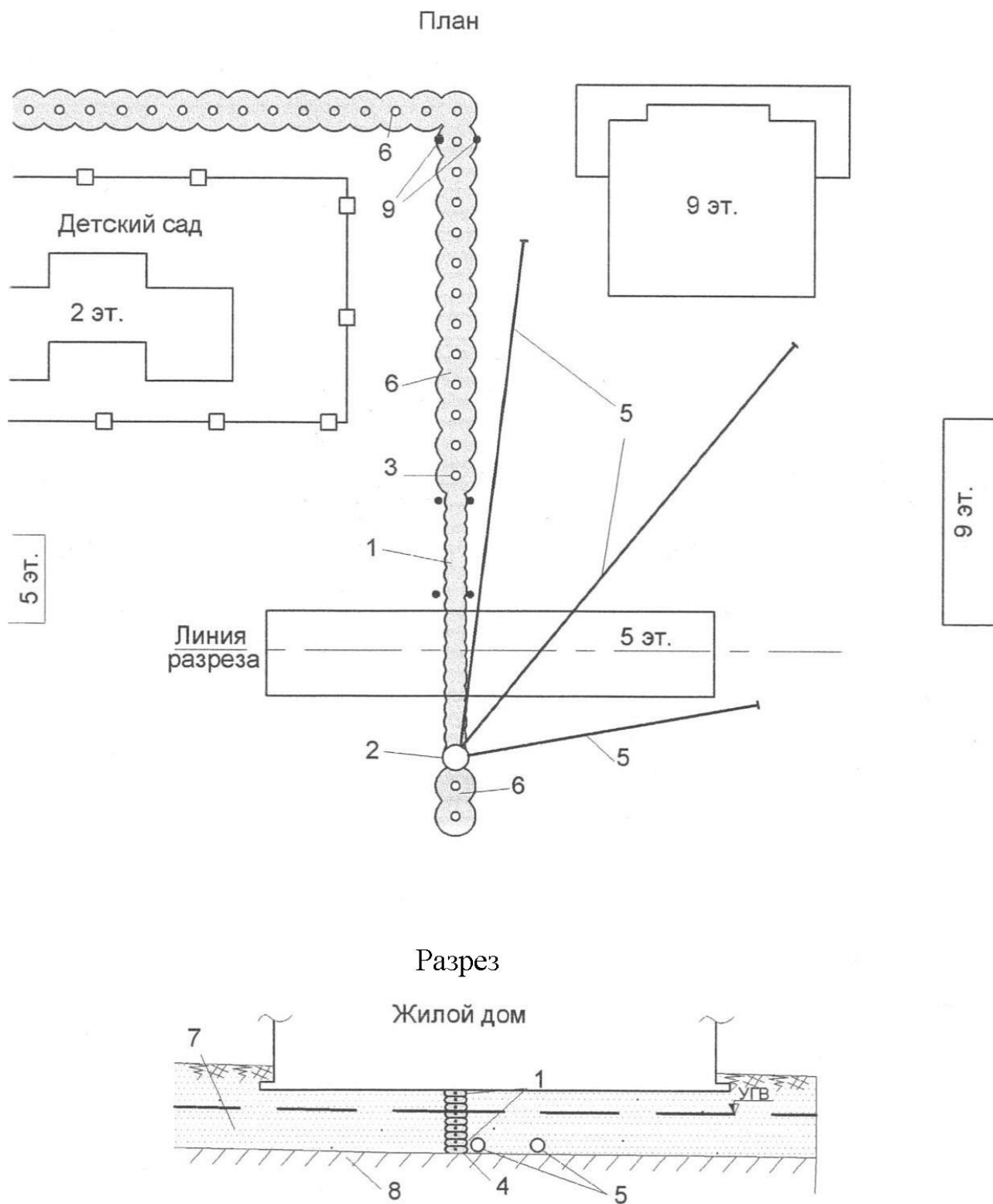


Рис. 2.5 Схема сооружения вертикальной инъекционной противофильтрационной завесы под существующими сооружениями

Для обеспечения надежного сопряжения между завесой сооруженной под существующим сооружением и ее продолжением б непосредственно на стыке бурится стыковочная инъекционная скважина 3, с помощью которой осуществляется омоноличивание стыка участков завесы.

Техническими результатами, которые могут быть получены при внедрении изобретения, являются:

- возможность сооружения ПФЗ под существующими на поверхности объектами;
- возможность создания замкнутого контура противofильтрационного ограждения вокруг участка подземного строительства;
- выполнение строительных работ под действующими объектами без остановки их эксплуатации на период строительства ПФЗ;
- предотвращение процессов подпора грунтовых вод с внешней стороны завесы и подтопления объекта;
- обеспечение безопасных условий стыковки сооруженной завесы с ее продолжением за пределами контура объекта;
- недопущение разуплотнения и снижения прочностных характеристик несущих грунтов естественного основания действующего сооружения в зоне возведения ПФЗ.

Предложенный способ, как таковой, не рационально применять для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля, а анализ выполняемых по данной технологии вертикальных и горизонтальных противofильтрационных завес приведен в описании к двум предыдущим патентам (RU 2347034 С1, RU 2375580 С1). Традиционный способ инъекции через вертикальные скважины рассмотрен в п. 1.2.

Анализ описания изобретения к патенту *UA 23549 А "Способ создания противofильтрационных завес"* [34]. Способ создания противofильтрационных завес включает бурение скважин по контуру изолируемого участка массива, заполнение скважин жидкостью и воздействие на пласт ударными волнами, генерируемыми на поверхности и передаваемыми

на интервал противофильтрационной завесы через столб жидкости в скважине (волны направляются в заданный участок массива с помощью специального отражателя). Затем, не прекращая генерировать ударные волны, начинают закачивать в скважины раствор экранирующего заполнителя, меняя его концентрацию от 1 до 75% по мере уменьшения проницаемости массива. Наложение ударных волн при закачке заполнителя способствует более эффективному его проникновению в трещины и поры массива.

Применение заявленного способа позволяет достичь практически полного заполнения трещинного и порового пространства экранирующей смесью (кольмотантом), что приводит к повышению качества противофильтрационных завес. Воздействие на экранирующую смесь ударными волнами в процессе закачки ее в пласт способствует более эффективному заполнению трещин и пор и волновому транспортированию экранирующего раствора на заданные расстояния от скважины.

Заявленный способ создания противофильтрационных завес, в принципе, может быть применен для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля, однако создание глубоких совершенных противофильтрационных завес будет достаточно дорогостоящим. Положительным эффектом способа является возможность добиться лучших противофильтрационных свойств по сравнению с традиционными способами инъекции.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2183273 C2 "Способ тампонажа горных пород с неоднородной трещиноватостью"* [35]. В предложенном способе, включающем в себя бурение основной и дополнительной скважины и нагнетание в них воды и раствора под давлением, достаточным для расширения тонких трещин до необходимой величины, нагнетание производят одновременно в основную и дополнительную скважины, причем в дополнительную скважину нагнетают воду под давлением, обеспечивающим расширение тонких трещин, а в основную скважину нагнетают тампонажный раствор под давлением, превышающим давление нагнетания воды в дополнительную скважину на величину, обеспечивающую

требуемый радиус распространения раствора от скважины. Устья скважин оборудуют нагнетательными головками, обеспечивающими сброс воды и раствора обратно в расходные емкости для поддержания необходимого давления. Процесс нагнетания раствора заканчивается по мере уменьшения его поглощения массивом до 5 – 10% (обратный сброс раствора в расходную емкость составляет 90 – 95%). Затем производят бурение следующей пары основной и дополнительной скважин и процесс повторяется.

Дополнительные скважины для нагнетания воды в процессе тампонажа используют в качестве основных, для нагнетания тампонажного раствора, что приводит к поддержанию в расширенном состоянии всех тонких трещин на любом расстоянии от тампонажной скважины, исключает возможность их охлопывания и обеспечивает плотное заполнение.

Способ обеспечивает плотность заполнения всех тонких трещин, сокращение продолжительности и трудоемкости тампонажных работ за счет совмещения во времени и пространстве тампонажа крупных трещин, расширения и тампонажа тонких трещин.

Изобретение относится к горной промышленности, в частности к тампонажу горных пород вокруг выработок растворами на основе цемента для создания противofильтрационной завесы или упрочнения массива.

Заявленный способ создания противofильтрационных завес, в принципе, может быть применен для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля, однако создание глубоких совершенных противofильтрационных завес будет достаточно дорогостоящим. Положительным эффектом способа является возможность добиться лучших противofильтрационных свойств по сравнению с традиционными способами инъекции.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2039150 C1 "Способ создания противofильтрационной завесы"* [36]. Способ предусматривает бурение в грунтовом массиве ряда скважин, отстоящих друг от друга на 12 – 15 м, размещение невзрывных пневматических источников, ориентированных в направлении действия максимального главного напряжения. Упругие

колебания возбуждают в диапазоне 60 – 1500 Гц в совокупности с нагнетанием разупрочняющих растворов и вибровоздействия, которые производят в период времени, при котором прочность массива на разрыв снижается на 20 – 60% по сравнению с первоначальной величиной до воздействия и значительно до 200 – 700% повышается проницаемость грунтового массива. После этого переходят на частоту вибровоздействия, равную частоте собственных колебаний грунтового массива, и нагнетают гелеобразующие растворы в резонансном режиме. Для перевода гелеобразующих веществ в твердое состояние в массив нагнетают горячую воду при 150 °С.

Использование предложенного способа позволит не только управлять состоянием и свойствами грунтового массива при создании в нем противодиффузионной завесы, но и снизить энергоемкость и увеличить эффективность и срок службы создаваемых экранов в массиве по сравнению с имеющимися классическими технологиями, не использующими в своем арсенале упругий миграционный геоэффект, проявляющийся при воздействии на породы и грунт мощными вибрационными колебаниями в широком диапазоне частот.

Применение предложенного способа для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля представляется затруднительным. Способ является дорогостоящим и требует использования специального оборудования.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2316068 C1 "Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов"* [37]. Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов, заключающийся в создании на путях миграции противодиффузионного барьера путем нагнетания в скважины гелеобразующего раствора. Гелеобразующий раствор получают путем кислотного разложения породы группы ийолита-уртита, причем для разложения породы используют 10 – 15%-ную азотную кислоту, при соотношении порода: кислота – 1:10-1:20, при времени разложения 2 – 2,5 ч, при температуре 40°С.



Применение заявленного способа создания противofильтрационных завес для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является затруднительным из-за дороговизны способа.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2342484 C1 "Способ изготовления водонепроницаемого экрана в грунтовых материалах элементов гидротехнического сооружения"* [38]. Способ состоит в кольматации грунтового материала гидроизоляционным полимерным составом, состоящим из водного раствора поливинилового спирта и борной кислоты, путем поинтервального нагнетания под давлением, меньшим давления гидроразрыва грунтового материала. Нагнетание гидроизоляционного полимерного раствора производят одновременно с подачей воздуха и добавлением пенообразователя и пластификатора для поливинилового спирта.

Изобретение обеспечивает снижение стоимости изготовления водонепроницаемого экрана и возможность его использования в широком диапазоне температур.

Изобретение может быть использовано для восстановления водонепроницаемости грунтовых гидротехнических сооружений или понижения водопроницаемости, а также при создании и ремонте противofильтрационных завес, экранов в грунтовых плотинах.

Применение заявленного способа создания противofильтрационных завес для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является затруднительным из-за дороговизны способа.

Анализ описания изобретения к авторскому свидетельству *SU 1102852 А "Способ закрепления грунта"* [39]. Согласно способу закрепления грунта бурят скважину 1 и вводят в нее или забивают в грунт иньектор 2 с продольной щелью, ориентированной в заданном направлении. К иньектору 2 присоединяют иньекционную установку, включающую емкость-компенсатор 3, краны 4 и 5, нагнетательную трубу 6, насос 7, емкость 8 для закрепляющего раствора. Закрывают кран 4, закачивают насосом 7 раствор в емкость-компенсатор 3 до создания в нем давления, в 5 – 10 раз превышающего

критическое давление разрыва грунта. Затем включают насос 7, закрывают кран 5 и открывают кран 4. Ограниченный объем раствора поступает из емкости-компенсатора 3 по нагнетательной трубе 6 в иньектор 2. При этом под действием гидравлического удара с давлением, превышающим критическое, происходит разрыв грунта с образованием ориентированной в заданном направлении вертикальной щели, что ведет к увеличению поверхности соприкосновения иньекционного раствора с грунтом. После этого открывают кран 5, включают насос 7 и ведут иньекцию под давлением и с расходом, исключающим дальнейшее развитие щели разрыва. При этом происходит проникновение раствора от щели в массив грунта.

На рис. 2.6 показана схема осуществления предлагаемого способа и используемых при этом устройств.

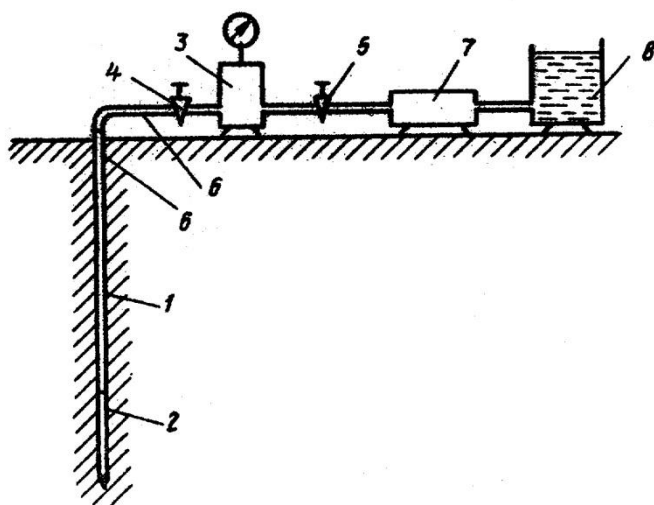


Рис. 2.6 Схема иньекции закрепляющего раствора с использованием направленного гидроразрыва

Предлагаемый способ закрепления грунта обеспечивает увеличение радиуса иньекции в заданном направлении и сокращение времени нагнетания до 10 раз, при этом повышается производительность и сокращаются потери раствора. Благодаря развитой поверхности поступления раствора в грунт из вертикальной

щели разрыва длиной до 4 м повышается эффективность закрепления грунтов малой проницаемости с коэффициентом фильтрации от 0,02 м/сут.

Применение предложенного способа при создании вертикальной противofильтрационной завесы для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является затруднительным. Процесс трещинообразования при проведении гидроразрыва грунта является практически неуправляемым, поэтому положение сооружаемой завесы может не совпадать с проектным. Смыкание различных фрагментов завесы является крайне затруднительным, поэтому сплошность завесы не гарантирована. В ходе производства работ возможны большие потери раствора.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2015248 C1 "Способ создания противofильтрационной завесы в лессовом грунте"* [40]. Согласно предложенному способу на участке создания вертикальной противofильтрационной завесы с поверхности земли погружают двухнаправленный щелевидный иньектор и производят иньектирование лессовой пульпы под давлением, обеспечивающим образование в заданном направлении трещины гидроразрыва длиной не менее 5 м в каждую сторону от иньектора. Лессовую пульпу нагнетают под давлением 40 – 60 атм. в объеме, определяемом заданной площадью и толщиной завесы. Толщина трещины гидроразрыва зависит в свою очередь от плотности грунта. Затем в образовавшуюся трещину гидроразрыва производят нагнетание песчано-цементной смеси под давлением, обеспечивающим заполнение трещины гидроразрыва, в объеме, необходимом для заполнения трещины. В результате в грунте образуется песчано-цементная стенка длиной около 10 м и толщиной примерно 0,5 – 2 см.

Предложенный способ позволяет создать экологически чистую и дешевую противofильтрационную.

Дополнительным положительным эффектом данного способа является возможность с целью удешевления использовать для заполнения трещины гидроразрыва песчано-глинистую смесь.

Применение предложенного способа при создании вертикальной противофильтрационной завесы для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля является затруднительным из-за неуправляемости процесса трещинообразования при проведении гидроразрыва грунта и крайне затруднительном смыкании различных фрагментов завесы.

Анализ описания изобретения к патенту *UA 40722 A "Раствор для противофильтрационной завесы"* [41]. Раствор для противофильтрационной завесы на основе смеси глинистых частиц, воды и добавок. Как добавка применяется бокситовый шлам и зола сухого отбора тепловых электростанций. Смесь имеет такой состав, масс. %: глина 25 – 20; вода 47 – 52; шлам бокситовый 18 – 23; зола 10 – 5.

Техническим результатом является улучшение противофильтрационных свойств растворов, которые используются в качестве заполнителей противофильтрационных завес.

Предложенный раствор может быть применен при устройстве противофильтрационных конструкций для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля. Положительным эффектом являются высокие противофильтрационные свойства сооружаемых завес.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2304195 C2 "Стена в грунте и способ ее возведения"* [42]. Способ возведения в грунте (3) стены, через которую проходит препятствие (1), в котором по обеим сторонам от препятствия (1) разрабатывают боковые выемки (51, 52) под стену, а под препятствием (1) разрабатывают нижнюю выемку (60) под стену посредством бокового перемещения разрабатывающего грунт устройства, по меньшей мере, от одной из боковых выемок (51, 52). При разработке выемок (51, 52, 60) разрыхленный грунтовый материал смешивают внутри выемок (51, 52, 60) или за пределами выемок со связующим средством для образования схватывающейся суспензии. В качестве разрабатывающего грунт устройства используют фрезерное щелерезное устройство (10). Стена в грунте возводится вокруг препятствия (1), которое проходит через стену. Технический результат состоит в снижении

экономических и временных затрат при строительстве стены в грунте, через которую проходит препятствие.

На рис. 2.7 на виде с боку показано фрезерное щелерезное устройство на различных этапах осуществления способа.

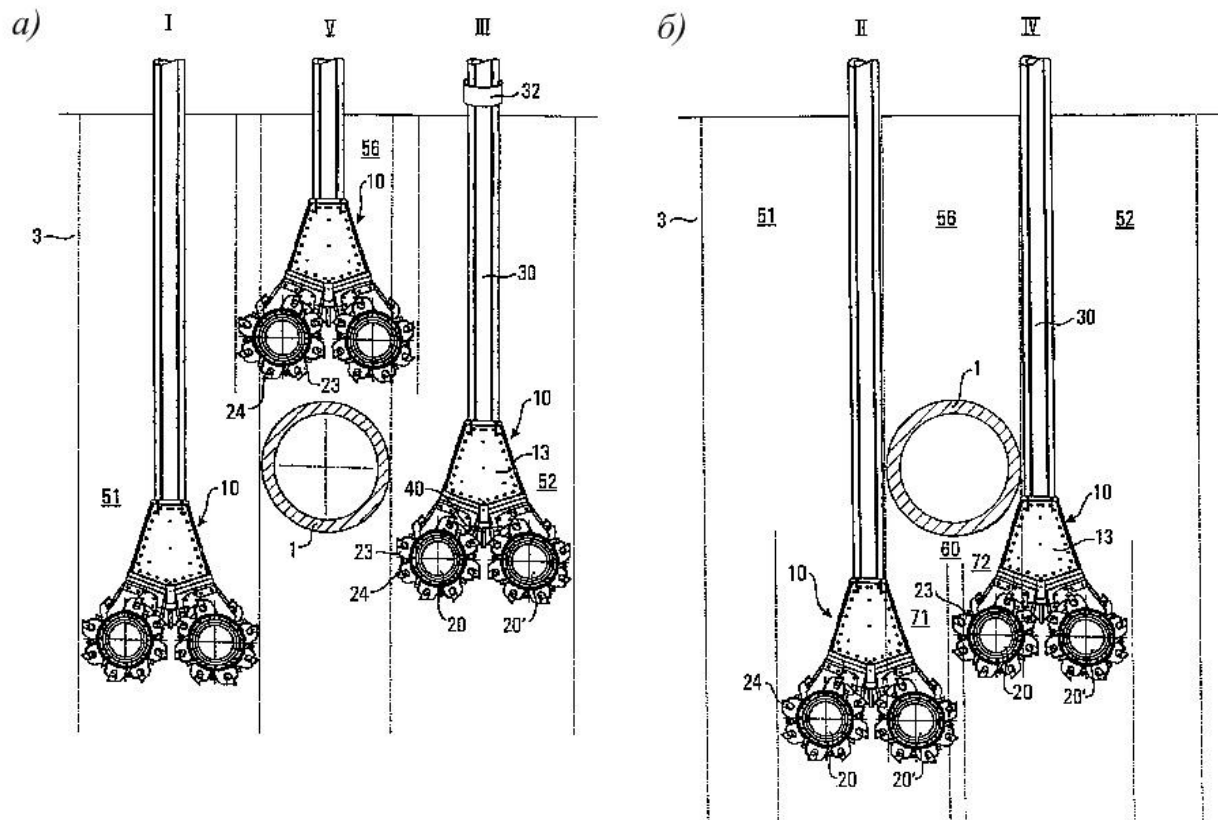


Рис. 2.7 Способ возведения в грунте стены, через которую проходит препятствие  
*а* – разработка выемок по обеим сторонам от препятствия; *б* – разработка выемки под препятствием

Применение предложенного способа для устройства вертикальной противofильтрационной завесы для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля представляется нерациональным. Сооружаемая завеса будет обладать большой стоимостью, несмотря на экономический эффект способа благодаря тому, что разрыхляемый грунтовый материал можно смешивать с закрепляющим раствором непосредственно в самой выемке, т.е. "на месте". К тому же способ требует использования специализированной строительной машины.

Анализ описания изобретения к патенту *RU 2211283 C1 "Способ возведения противодиффузионной инженерно-защитной конструкции"* [43]. Способ возведения противодиффузионной инженерно-защитной конструкции преимущественно в сложных гидрогеологических условиях включает выполнение в грунте на расстоянии друг от друга элементов ограждения в виде свай, а затем выполнение свай на участках между возведенными сваями (рис. 3.9). Сваи выполняют путем погружения в грунт по периметру участка грунта защищаемой территории для фундамента имеющих в нижней части разрыхляющий наконечник и винтовую навивку на внешней поверхности тел вращения в виде полых труб или в виде монолитного тела вращения, причем погружение каждого тела вращения в грунт осуществляют за счет одновременного вращения его и вдавливания в грунт под внешним усилием или под собственным весом. Затем в устье образованной скважины с вставленным телом вращения между витками винтовой навивки подают закрепный и/или противодиффузионный материал и производят вывинчивание тела вращения на дневную поверхность за счет его обратного вращения для уплотнения грунтовой стенки скважины в зоне пяты скважины и боковой стенки скважины указанными трамбуемыми закрепным и/или противодиффузионным материалом с одновременным заполнением полости скважины для образования свай указанным материалом, подаваемым во время вывинчивания по внешней поверхности тела вращения, при этом погружаемые вначале тела вращения располагают на расстоянии не менее максимального диаметра винтовой навивки.

Технический результат изобретения заключается в геотехнически безопасной возможности погружения трубы за счет замены выбуриваемого грунта телом трубы в текущий момент времени, повышение несущей способности свай, а также в возможности организации свайной

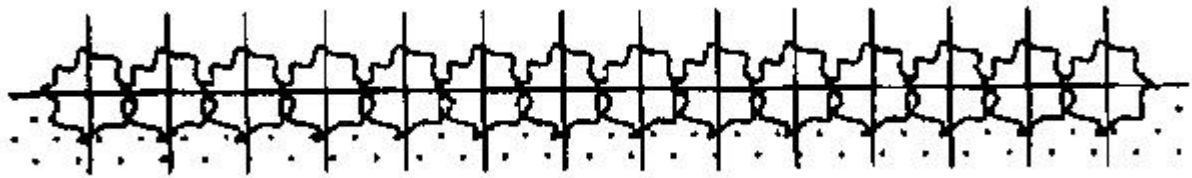


Рис. 2.8 Противофильтрационная инженерно-защитная конструкция в плане

противофильтрационной ограждающей инженерно-защитной конструкции для защищаемой территории в стесненных городских условиях.

Предложенный способ не рационально применять для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля, т.к. он является дорогостоящим, сложным в исполнении и требует использования специализированного оборудования, к тому же сооружаемая завеса может оказаться недостаточно надежной.

Анализ описания изобретения к патенту **RU 2206663 C1** "*Способ возведения ограждающей противофильтрационной инженерно-защитной конструкции (варианты)*" [44]. Предложенный способ создания ограждающей противофильтрационной инженерно-защитной конструкции отличается от рассмотренного выше (RU 2211283 C1) по первому варианту тем, что в грунт погружают сваи 1 с разрыхляющим наконечником в нижней части и винтовой навивкой на внешней поверхности полыми или монолитными, а затем между указанными ввинченными в грунт сваями с поперечным смещением от линии, проходящей через центры свай, в грунт погружают другие элементы ограждения в виде обсадных труб 2 с разрыхляющим наконечником в нижней части и винтовой навивкой на внешней поверхности (рис. 3.10). По второму варианту в качестве тел вращения используют только обсадные трубы.

Технический результат, обеспечиваемый обоими вариантами изобретения, заключается в геотехнически безопасной возможности погружения трубы за счет замены выбуриваемого грунта телом трубы в текущий момент времени, повышении несущей способности за счет выхода грунта на дневную поверхность меньшим объемом, чем объем погружаемой трубы, возможности

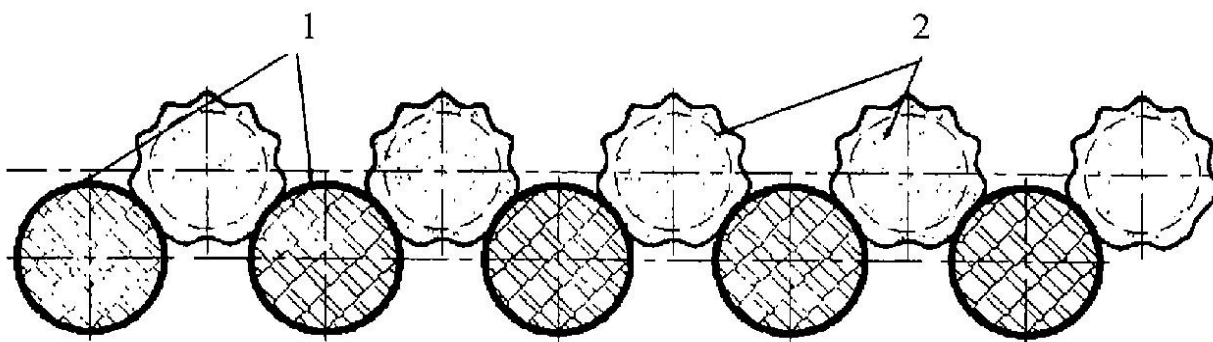


Рис. 2.9 Противофильтрационная инженерно-защитная конструкция по первому варианту исполнения

организации противофильтрационной ограждающей инженерно-защитной конструкции для защищаемой территории в стесненных городских условиях и повышении производительности труда без увеличения энергетических ресурсов.

Предложенный способ, как и рассмотренный выше (RU 2211283 C1), не рационально применять для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля в связи с высокой стоимостью, сложностью в исполнении, необходимостью использования специализированного оборудования. Сооружаемая завеса может оказаться недостаточно надежной.

В результате патентного поиска выявлено, что использование способа создания противофильтрационного экрана и способа устройства противофильтрационной завесы по разработанным технологиям являются новыми и эффективными направлениями в противофильтрационной защите от подтопления и загрязнения.

## **2.2. Технология устройства противофильтрационных экранов в грунте плоским рабочим органом**

Первый способ - "Способ устройства экрана под сооружением" [211]. Согласно способу, по которому образуется экран под сооружением, на



некотором расстоянии от сооружения *1* заглубляют в грунт *2* ниже подошвы *3* сооружения отклоняющие устройства *4*, после чего на дневной *5* поверхности с помощью бурового станка *6* под защитой проходческой жидкости *7* бурят насквозь аутентично плоскости подошвы сооружения, по крайней мере две параллельные крайние направляющие скважины *8* (рис. 3.1, *а*). К буру *9*, что выходит на дневную поверхность *5*, прикрепляют гибкие тяги *10* и заводят их в направляющие скважины по мере извлечения бура (рис. 3.1, *б*). К сводным концам тяг прикрепляют грунторазрабатывающий элемент *11*, а вместо бурового станка – тяговые устройства *12*. После этого подтягивают грунторазрабатывающий элемент с помощью тяговых устройств к забою в направлении, ограниченном отклоняющими устройствами, разрабатывают грунт, который находится между направляющими скважинами, при этом образуют сплошную полость *13*, в которую подают конструкционный материал *14*, который выдавливает проходческую жидкость и создает экран *15* (рис. 3.1, *в*). В качестве конструкционного материала возможно использование эластичного материала, который затягивается в полость в след за грунторазрабатывающим элементом. При устройстве экрана под сооружением из отдельных фрагментов *16* стыковку последних производят в средних направляющих скважинах *17* (рис. 3.1, *г*), которые до создания полости оборудуют разделительными элементами *18* с центральной перегородкой *19*, которая препятствует попаданию разрабатываемого грунта и конструкционного материала из одного фрагмента *16* в другой. Разделительный элемент имеет прорези *20* для прохождения грунторазрабатывающего элемента (рис. 3.1, *д*).

Применение предложенного способа для защиты от радиоактивных отходов Чернобыля имеет ряд преимуществ: возможность создания противofильтрационного экрана под сооружением закрытым способом; достаточная простота выполнения работ; экономичность способа.

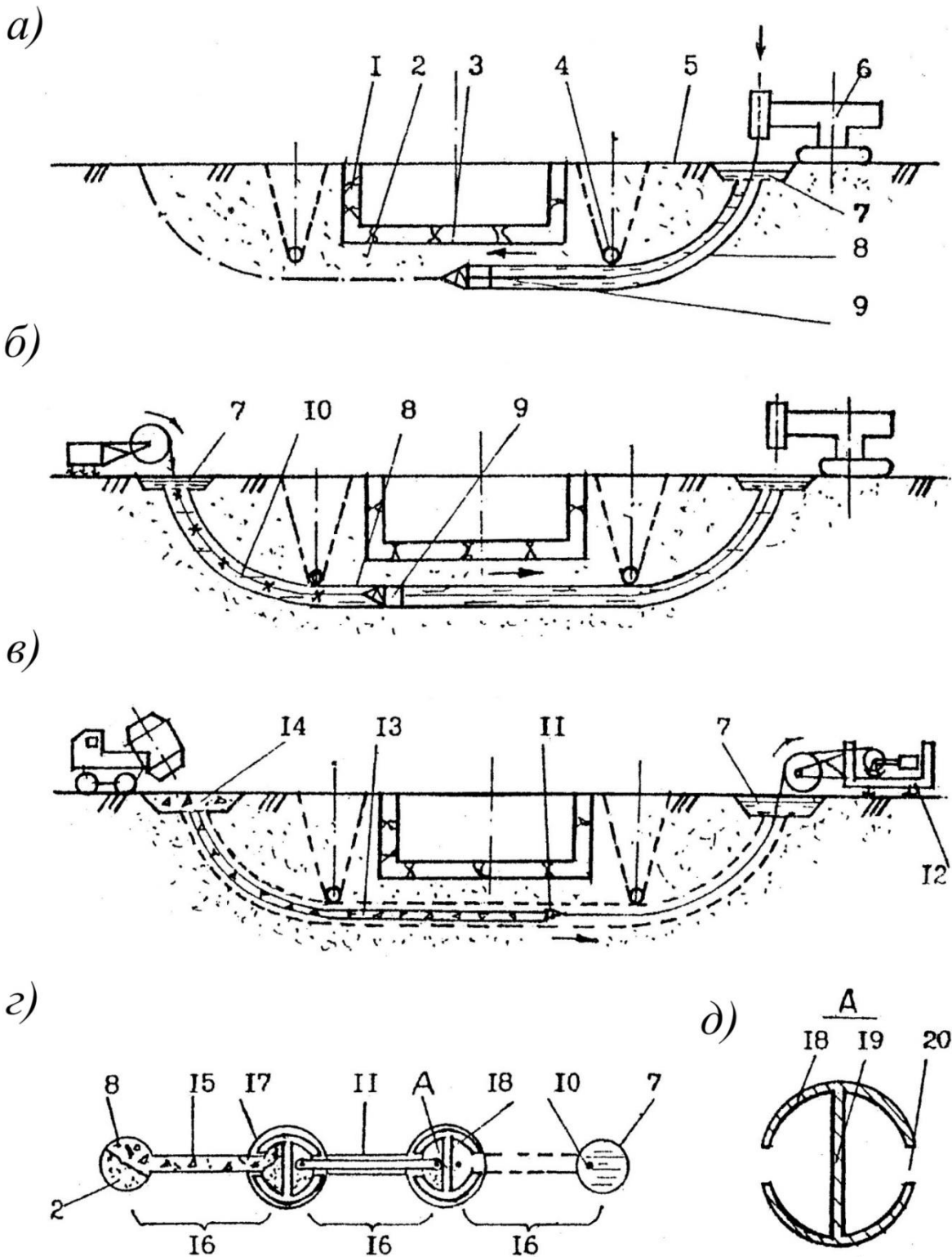


Рис. 2.10 Схема устройства экрана под сооружением

*a* – вертикальный разрез по оси направляющей скважины; *б* – то же, при вводе в нее гибких тяг; *в* – продольный разрез экрана; *г* – поперечный разрез фрагментов, которые стыкуются; *д* – узел А

## 2.3. Технология устройства противофильтрационных экранов по инъекционной технологии

Второй способ подразумевает использование струйной (Jet) технологии для образования полостей между направляющими скважинами и одновременное их заполнение противофильтрационным материалом (рисунки 2-5) [212].

Струйная технология подразумевает следующее. Под сооружением с дневной поверхности с помощью буровой установки под защитой проходческой жидкости бурят насквозь аутентично подошве сооружения, заглубленной в грунте, две или несколько пилотных направляющих скважин рис.2.11.

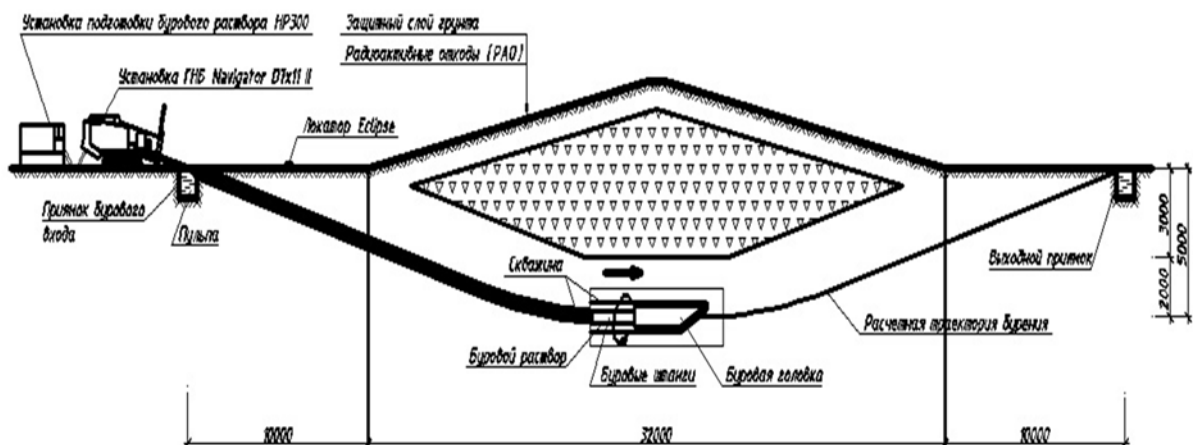


Рис. 2.11. Бурение пилотных направляющих скважин

После завершения пилотного бурения выполняется расширение скважины рис.2.12. При этом вместо буровой головки к буровым штангам присоединяется расширитель обратного действия, который протягивается через скважину в направлении буровой установки, расширяя пилотную скважину. На противоположной от буровой установки стороне скважины располагается струйный монитор для последующего протягивания. К его переднему концу крепится оголовок с воспринимающим тяговое усилие шарниром (вертлюгом) и расширителем. Буровая установка затягивает в скважину струйный монитор по проектной траектории.

Разработку грунта между смежными скважинами осуществляют двумя двухкомпонентными струйными мониторами рис.2.13. К ним по подводящим трубопроводам подают сжатый воздух и раствор. Струйные мониторы протягивают в направляющих скважинах одновременно с помощью тягового устройства, при этом две высоконапорные струи раствора под защитой сжатого воздуха действуют на встречу друг другу, тем самым разрабатывая и одновременно перемешивая грунт с твердеющим раствором. После твердения раствора в грунте образуется противофильтрационный экран рис.2.14.

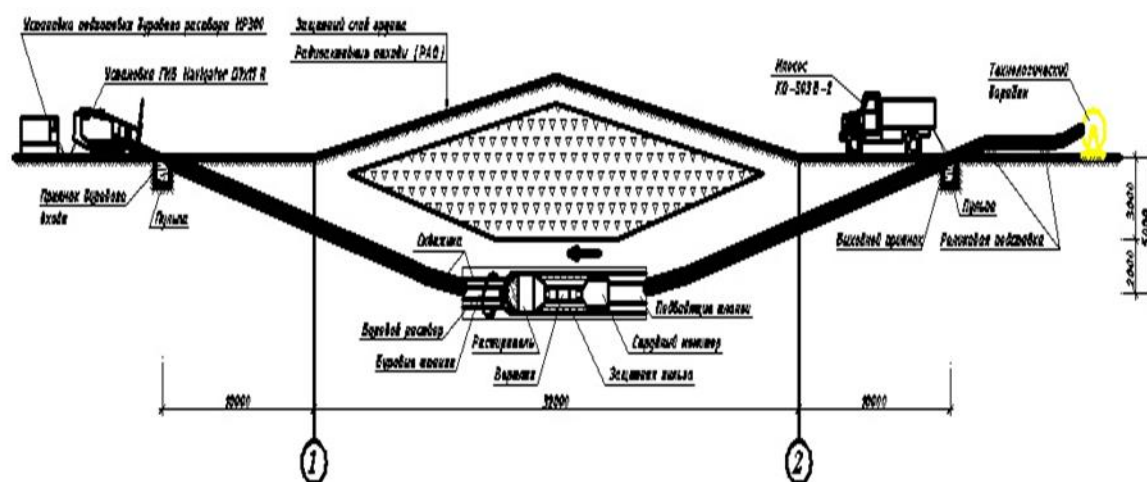


Рис. 2.12. Расширение скважины с одновременным затягиванием струйного монитора

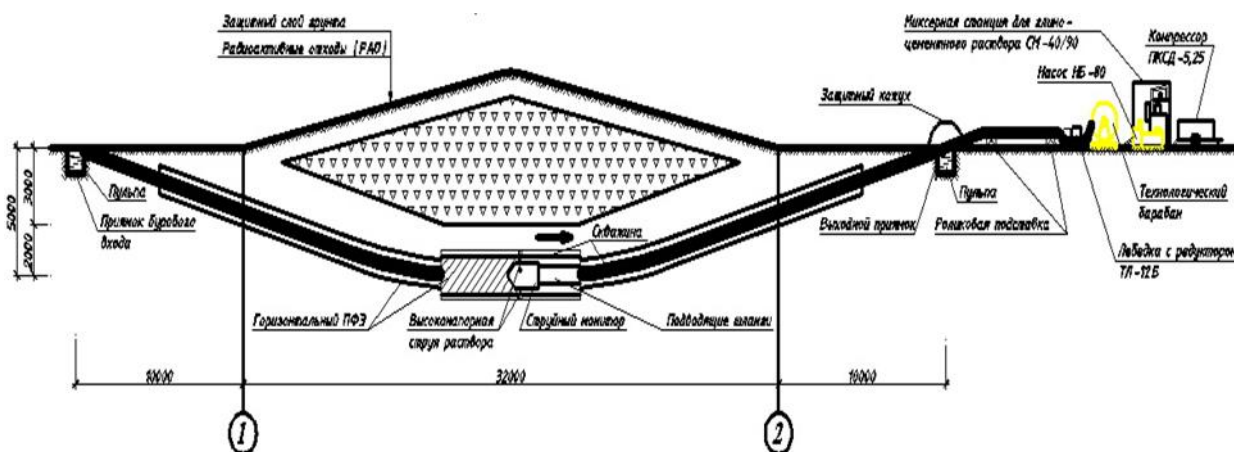
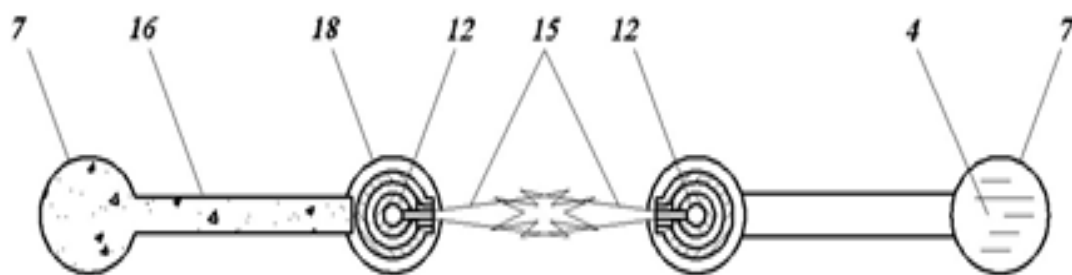


Рис. 2.13. Создание ПФЭ при помощи струйного монитора



4 – проходческая жидкость, 7 – крайняя направляющая скважина, 12 - струйный монитор, 15 - высоконапорные струи раствора, 16 - ПФЭ, 18 – средняя направляющая скважина

Рис. 2.14. Совместная работа двухкомпонентных струйных

#### 2.4. Технология устройства противофильтрационных экранов по инъекционной технологии

Третий способ устройства ПФЭ - это так называемый, инъекционный способ [210].

Инъекционная технология устройства ПФЭ заключается в следующем. Под сооружением с дневной поверхности с помощью буровой установки разбуривают ряд параллельно расположенных скважин аутентично подошвы сооружения рис.2.15. После этого нагнетают в них закрепляющие или противофильтрационные составы.

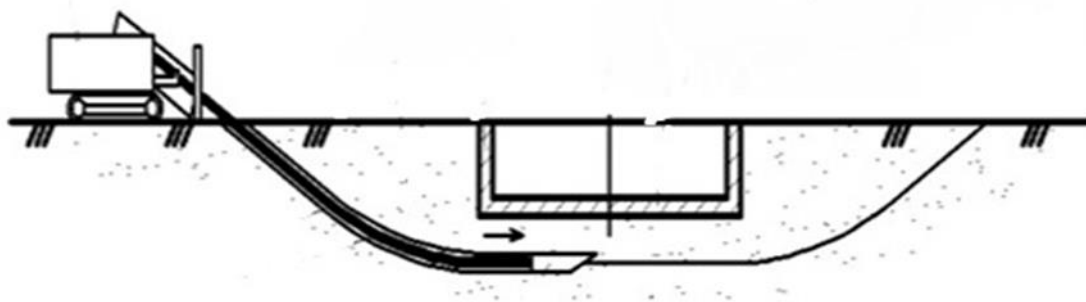


Рис. 2.15. Бурение направляющих скважин аутентично подошве сооружения

После завершения бурения скважины выполняется протягивание в нее иньектора с одновременным расширением рис.2.16.

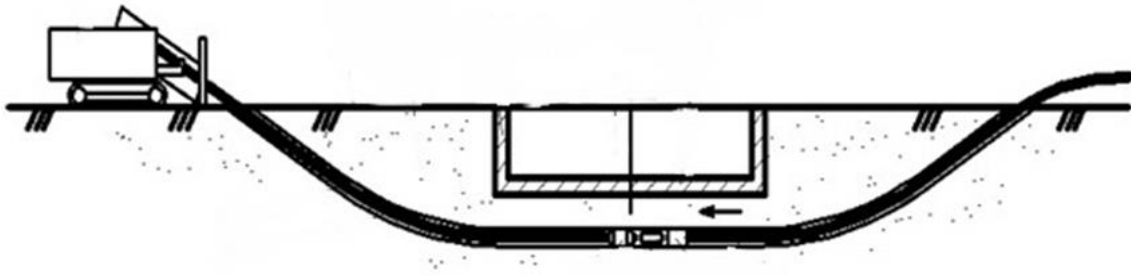


Рис. 2.16. Расширение скважины с протягиванием иньектора

Закрепляющий или противофильтрационный состав подается по подводящим трубопроводам к иньектору под давлением. Его протягивают в скважине с помощью тягового устройства рис.2.17

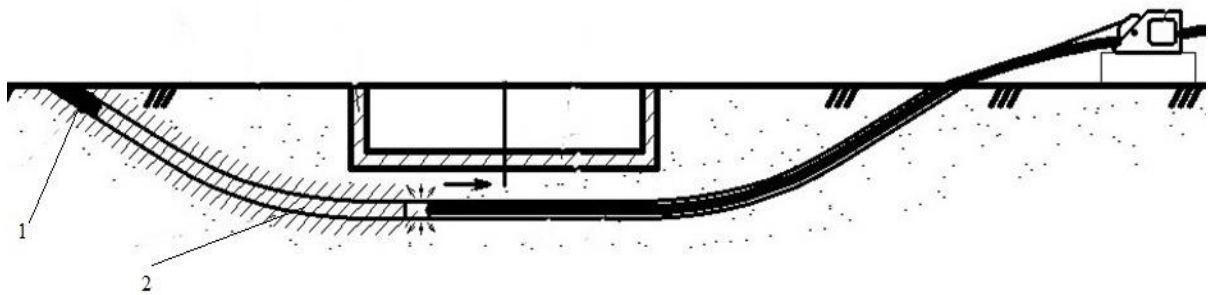


Рис. 2.17. Процесс иньекции

Расстояние между скважинами назначается в зависимости от радиуса действия иньектора в закрепляемых грунтах. После твердения раствора в грунте образуется противофильтрационный экран из взаимно секущихся заиньекцированных объемов грунта, огибающих подземную часть сооружения рис. 2.18.

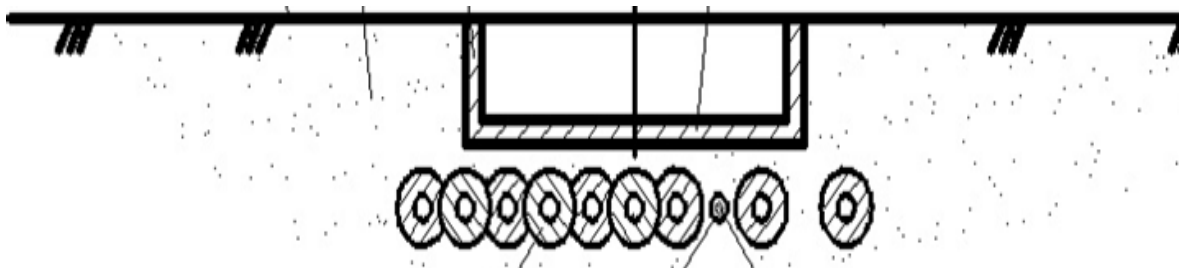


Рис. 2.18. Потивофильтрационный экран

## **ВЫВОДЫ ПО РАЗДЕЛУ 2**

1. В результате патентного поиска по изобретениям в Украине и России, выявлено, что два разработанных способа создания противofильтрационного экрана и завесы являются новыми направлениями в противofильтрационной защите от подтопления и загрязнения.
2. Для эффективной локализации могильников радиоактивных отходов, расположенных на территориях пунктов временной локализации радиоактивных отходов в окрестностях г. Припять, следует использовать разработанные конструктивно-технологические решения.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Адамович А. Н. Закрепление грунтов и противofильтрационные завесы в гидроэнергетическом строительстве / А. Н. Адамович. – М. : Энергия, 1980. – 320 с.
2. Алавердян Р. А. Исследование полимерных пленочных экранов водоемов и водохранилищ: автореф. дис. на соиск. науч.ст. канд. техн. наук / Р. А. Алавердян. – Л.: ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1976. – 25 с.
3. Алимов А. Г. Противofильтрационная защита каналов и водоемов / А. Г. Алимов // Гидротехническое строительство. – 2008. – № 4. – С. 36-42.
4. Аммосова Я. М. Охрана почв от химических загрязнений / Я. М. Аммосова, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. – М. : МГУ, 1989. – 96 с.
5. Бабиченко В. Я. Струменева технологія бетонування із застосуванням еластичних металних пристроїв: автореф. дис. на соиск. науч.ст. д-ра техн. наук: спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / В. Я. Бабиченко. – Одеса, 2011. – 38 с.
6. Баглай А. П. Новые материалы и технологии устройства гидрозащиты / А. П. Баглай, А. И. Гармаш // Аналитический обзор. – М.: ВНИИЭСМ, 1991. - 33 с.
7. База данных Роспатента [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ru.espacenet.com/>.
8. База данных Укрпатента [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://ukrpatent.org/>.
9. База патентов СССР [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://patents.su/>.
10. Балицкий В. С. Типовая технология реконструкции промышленных предприятий / В. С. Балицкий, О. Б. Белостоцкий, Т. П. Третьяк и др. – К. : Будивэльнык, 1988. – 98 с.
11. Белов В. А. Противofильтрационные мероприятия на малых водоемах / В. А. Белов. - Ростов-на-Дону : СКНЦВИ, 2000. - 192 с.



12. Бестраншейная прокладка коммуникаций с применением микротоннелепроходческих комплексов и реконструкция трубопроводов с применением специального оборудования : МГСН 6.01-03. - ТСН 40-303-2003. - Москва, 2004.

13. Богов С. Б. Глубинное закрепление глинистых грунтов [Электронный ресурс] / С. Б. Богов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2002. – №5. – Режим доступа до журн.: <http://www.georec.spb.ru/journals/05/9/9.htm>.

14. Бойко Г. А., Азбель Г. Г., Никольская Г. Н. Применение тонких противofильтрационных диафрагм в условиях Белоруссии. Строительство и архитектура Белоруссии / Г. А. Бойко, Г. Г. Азбель, Г. Н. Никольская. - 1980. - № 4. - С. 31.

15. Большаков В. А. Загрязнение почв [Электронный ресурс] / В. А. Большаков. – Режим доступа: [http://science.viniti.ru/index.php?option=com\\_content&task=view&Itemid=171&Section=Экология&id=316&id\\_art=H003760](http://science.viniti.ru/index.php?option=com_content&task=view&Itemid=171&Section=Экология&id=316&id_art=H003760).

16. Большаков Ю. В., Кацов К. П., Морозов А. А. Исследование фofильтрационных свойств заполнителя грунтовых противofильтрационных диафрагм. Основания, фундаменты и механика грунтов / Ю. В. Большаков, К. П. Кацов, А. А. Морозов. - 1982. - № 1. - С. 19-20.

17. Большаков Ю. В. Совершенствование технологии устройства противofильтрационных завес способом "стена в грунте" : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Ю. В. Большаков. - М., 1982. - 20 с.

18. Будников М. С. Технология и организация возведения зданий и сооружений / М. С. Будников, А. П. Обозный. – К. : Будивэльнык, 1964. – 304 с.

19. Бунтман А. Д. Об использовании противofильтрационных завес для защиты котлованов от притока грунтовых вод / А. Д. Бунтман // Энергетическое строительство. - 1978. - № 2. - С. 86-87.

20. Бунтман А. Д. Противofильтрационные завесы, сооружаемые способом "стена в грунте" / А. Д. Бунтман // Энергетическое строительство. -

1981. - № 4. - С. 42-46.

21. Вайсман Я. И., Глушанкова И. С. Условия образования и очистка фильтрационных вод полигонов захоронения твердых бытовых отходов / Я. И. Вайсман, И. С. Глушанкова. — Пермь : Пермский государственный технический университет, 2003. — 168 с.

22. Вальков В. Ф. Экология почв : учебное пособие для студентов вузов / В. Ф. Вальков, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Загрязнение почв. — Ростов-на-Дону : УПЛ РГУ, 2004. - Ч. 3. — С. 54.

23. Венцель Е. С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров. — М. : Наука, 1988. — 479 с.

24. Ветров Ю. А. Машины для земляных работ / Ю. А. Ветров. — Киев : Вища школа, 1981. — 346 с.

25. Возведение сооружений методом "стена в грунте" / Под общ. ред. А. Л. Филахтова. - Киев : Будивельник, 1976. - 204 с.

26. Временные указания по возведению заглубленных насосных станций и водозаборов способом "сборная стена в грунте" // РСН 272-74. - Киев : НИИСП Госстоя УССР, 1975. — 82 с.

27. Геосинтетические материалы. Термины и определения : ISO 10318:2005. - (Госстандарт Республики Беларусь).

28. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. - М. : Стройиздат, 1971. - Т. 1. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. - М. : Стройиздат, 1973. - Т. 2. Механические свойства грунтов / М. Н. Гольдштейн. - М. : Стройиздат, 1979.

29. Гончаренко Д. Ф. Методы формирования инженерной подготовки реконструкции промышленных предприятий: дис. на здобуття наук. ступ. доктора техн. наук: 05.23.08 / Гончаренко Дмитрий Федорович. — М., 1991. — 486 с.

30. Гумеров И. А. Обтекание цилиндра неустановившимся потоком вязкой несжимаемой жидкости при малых числах Рейнольдса / Гумеров И. А. - М.: Вест. Моск. ун-та, 1983. - Сер. I, № 2. - С. 79-83.

31. Дмитриев Н. В., Хейфец В. Б. Противофильтрационные и несущие конструкции, сооружаемые способом "стена в грунте" / Н. В. Дмитриев, В. Б. Хейфец // Энергетическое строительство. - 1981. - № 4. - С. 40-42.
32. Завальный А. П. Влияние накопителей промышленных отходов на окружающую среду / А. П. Завальный // Вісник Харківського національного університету імені В. М. Карамзіна. – Х., 2003. – № 604 "Геологія – Географія – Екологія". – С. 217-223
33. Завальный А. П. Мероприятия по охране подземных вод при эксплуатации накопителей промышленных отходов / А. П. Завальный // Вісник Харківського національного університету імені В. М. Карамзіна. – Х., 2013. – № 1084. – С.217-223.
34. Задгенидзе В. А. Защита территорий от подтопления / Задгенидзе В. А. // Практикум : метод. пособие. – Одесса: ОГАСА, 2005. – 120 с.
35. Зархин Б. М., Разумный В. В. Устройство противофильтрационных стенок способом экскаваторного черпания под глинистым раствором / Б. М. Зархин, В. В. Разумный // Экспресс-информация.: Строительство электростанций, 1965. - Р. 195. - 27 с.
36. Зеленин А. Н. Физические основы теории резания грунтов / А. Н. Зеленин. - М.: Изд-во АН СССР, 1950. - 353 с.
37. Земельна реформа в Україні в контексті розвитку аграрної економіки та розвитку сільських територій [Електронний ресурс] / Інститут розвитку аграрних ринків, 2013. - С. 8. Режим доступу: [http://www.amdi.org.ua/docs/broshura\\_1.pdf](http://www.amdi.org.ua/docs/broshura_1.pdf)
38. Измаилов А. Ф. Численные методы оптимизации: Учебное пособие / А. Ф. Измаилов, М. В. Солодов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 304 с.
39. Измайлова Р. А., Кричевский И. Е., Рельтов Б. Ф. О повреждаемости полиэтиленовых экранов при их устройстве / Р. А. Измайлова, И. Е. Кричевский, Б. Ф. Рельтов // Гидротехническое строительство. - 1965. - № 7. - С. 38-42.
40. Інженерні вишукування для будівництва: ДБН А.2.1–1-2008.

41. Инженерний захист територій та споруд від підтоплення та затоплення: ДБН В.1.1–24–2009.

42. Инструкция по проектированию и строительству противofiltrационных устройств из полиэтиленовой пленки для искусственных водоемов : СН 551-82. - М.: Стройиздат, 1983.

43. Инструкция по технологии и механизации строительства противofiltrационных диафрагм и монолитных несущих стен методом "стена в грунте": РСН 316-79. - Киев: НИИСП Госстроя УССР, 1980. - 102 с.

44. Камбефор А. Инъекция грунтов / А. Камбефор. – М.: Энергия, 1971. – 334 с.

45. Карамян Г. А. Опыт применения полимерных пленок для борьбы с фильтрацией из водоемов / Г.А. Карамян // Гидротехника и мелиорация. - 1964. - № 1. - С. 34-38.

46. Карта хвостохранилищ Украины, ранжированных в соответствии с рассчитанным индексом опасности хвостохранилищ (ИОХ) / [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=z3Wlu5VKPhek.ks440CdkfiR8&hl=en\\_US](https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=z3Wlu5VKPhek.ks440CdkfiR8&hl=en_US).

47. Клейн Г. К. Строительная механика сыпучих тел / Клейн Г. К. - М. : Стройиздат, 1977. – 256 с.

48. Клиопа, Г. И. Изменение механических свойств материалов ножей бульдозеров и автогрейдеров в процессе их работы / Г. И. Клиопа, Э. Д. Браун, Т. И. Заболеева // Труды Союздорнии. - Вып. 104: Вопросы механизации дорожно-строительных работ. - 1978. - С. 36-43.

49. Кованько В. В. Наукові основи створення підземно рухомих біонічно-синтезованих пристроїв підвищеної ефективності: автореф. дис. на здобуття наук. ст. д-ра. техн. наук; спец.: 05.05.04 / В. В. Кованько. – К., 2007. – 40с.

50. Колесников В. С. Возведение подземных сооружений методом "стена в грунте" / В. С. Колесников, В. В. Стрельникова // Технология и

средства механизации: учебное пособие: ISBN 5-85534-236-0. - Волгоград : Изд-во ВолГУ, 1999. – 144 с.

51. Контролируемый гидравлический разрыв грунта / [Электронный ресурс] / ТД “Аумас”. – Режим доступа : <http://www.drillings.ru/razrivgrunt>.

52. Концепція Національної програми ліквідації наслідків Чорнобильської катастрофи і соціального захисту громадян на 1994-1995 роки та період до 2000 року. - (Постанова ВР України № 3421-ХІІ від 02.09.1993 р.).

53. Косиченко Ю. М. Надежность каналов и водоемов с облицовкой из пленочных материалов и геомембран / Ю. М. Косиченко, М. А. Чернов // Мелиорация и водное хозяйство. — 2011. — № 3. — С. 37-40.

54. Кравець С. В. Ґрунтозахисні та енергозберігаючі машини для прокладки підземних комунікацій / С. В. Кравець. Рівне: Видавництво РДТУ, 1999. - 277 с.

55. Кравчуновська Т. С. Розвиток наукових основ організаційно-технологічного проектування комплексної реконструкції житлової забудови: автореф. дис. на здобуття наук. ступ. д-ра. техн. наук: 05.23.08 / Т. С. Кравчуновська. – Дніпропетровськ, 2009. – 40 с.

56. Кричевский И. Е. Вопросы применения полиэтилена в конструкциях противодиффузионных устройств плотин из местных материалов / И. Е. Кричевский. - Л. : Энергия, 1967. - 92 с.

57. Кричевский И. Е. Полиэтиленовые противодиффузионные экраны земляных хранилищ производственных сточных вод / И. Е. Кричевский // Труды координационных совещаний по гидротехнике. - ВНИИГ им.Б.Е.Веденеева, 1972. - Вып.74. - С. 98-105.

58. Куприна Г. А. Создание водонепроницаемых экранов из гидратированной силикат-глины / Г. А. Куприна // Материалы совещания по закреплению и уплотнению грунтов. - Тбилиси, 1964. - С. 421-427.

59. Куранов Н. П., Муфтахов А. Ж. Проблема подтопления грунтовыми водами территорий больших городов / Н. П. Куранов, А. Ж.

Муфтахов // Обзорная информация. Сер. Проблемы больших городов. - 1986. - Вып. 17. - С. 28.

60. Лапина О. Ю. Геосинтетика: материалы с уникальным сочетанием характеристик / О. Ю. Лапина, А. С. Бовыкин // Красная линия. – 2009. – № 38.

61. Ляпидевский В. В. Комплексная защита подземной части зданий и сооружений / В. В. Ляпидевский. - КДТУБА, ПГС, 1998. - № 9. - С. 35.

62. Ляшенко Т. В. Концепция полей свойств – методическая основа извлечения информации из ЭС-моделей в компьютерном материаловедении / Т. В. Ляшенко // Вісник ОДАБА. – Одеса, Місто майстрів, 2003. – Вип. 12. – С. 171-179.

63. Малинин А. Г. Применение струйной цементации грунтов в подземном строительстве / А. Г. Малинин // Подземное пространство мира. – 2000. – № 2.

64. Малинин А. Г. Устройство горизонтальной противofильтрационной завесы с помощью струйной цементации грунта / А. Г. Малинин // Метро и тоннели. – 2003. – № 3.

65. Малышев Л. И. Фильтрационная прочность противofильтрационных стенок / Л. И. Малышев // Труды Гидропроекта. - 1979. - Вып. 71. - С. 17-25.

66. Малышев Л. И., Хасин М. Ф., Бройд И. И. О способе сооружения противofильтрационных завес с образованием прорези водовоздушной струей / Л. И. Малышев, М. Ф. Хасин, И. И. Бройд // Труды Гидропроекта. - 1979. - Вып. 71. - С. 36-42.

67. Малышев Л. И., Хасин М. Ф., Логинов К. А. Лабораторные исследования структурообразования и фильтрационных свойств тела противofильтрационной стенки из комовой глины / Л. И. Малышев, М. Ф. Хасин, К. А. Логинов // Труды Гидропроекта. М., 1976. - Вып. 49. Специальные гидротехнические работы. - С. 17-34.

68. Маслов Н. Н., Казарновский В. Д. Определение сопротивляемости грунтов сдвигу методом плотности-влажности / Н. Н. Маслов, В. Д. Казарновский // Автомобильные дороги. - 1962. - № 12.

69. Матвеев Ю. Б, Пухнюк А. Ю. Полигоны бытовых отходов: ситуация и перспективы / [Электронный ресурс] / Ю. Б. Матвеев, А. Ю. Пухнюк - Режим доступа: <http://www.uabio.org/img/files/news/pdf/msw-landfills-situation-matveev-pukhniuk.pdf>.

70. Математическое моделирование проникания стальных ударников в гранулированную сыпучую среду / [Белов Н. Н., Югов Н. Т., Афанасьева С. А., Югов А. А.] // Механика композиционных материалов и конструкций. - 2004. - №1. - Т. 10. - С. 108

71. Машины для бестраншейной прокладки подземных коммуникаций / [Кравец С. В., Каслин Н.Д., Руднев В.К., Супонев В.Н.]; под ред.В.К. Руднева. – Харьков: ООО "Фавор", 2008. – 256 с.

72. Машины для горизонтального направленного бурения. Терминология и эксплуатационные показатели: ГОСТ Р ISO 2146-7:2011. - М. : Стандартиформ, 2012. - 9 с.

73. Меньлюк А. И. Разработка теоретических основ, исследование и внедрение инноваций при строительстве методом "стена в грунте": Дис. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук: 05.23.08 / А. И. Меньлюк. – Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры. - Х., 2001. - 340 л.

74. Меньлюк А. И. Теоретические основы использования направленных колебаний при бетонировании стен в грунте: [Монография] / Александр Иванович Меньлюк. – Одесса: Астропринт, 2000. – 124 с.

75. Меньлюк А. И. Технологические резервы повышения эффективности метода "Стена в грунте" : [Монография] / Александр Иванович Меньлюк. – Одесса: Астропринт, 2000. – 96 с.

76. Методика визначення розмірів шкоди, зумовленої забрудненням і засміченням земельних ресурсів через порушення природоохоронного

законодавства / Міністерство охорони навколишнього природного середовища та ядерної безпеки України, 1997. - (Наказ № 171 від 27.10.1997 р.).

77. Методические рекомендации по применению экспериментально-статистических моделей для анализа и оптимизации состава, технологии и свойств композиционных материалов на основе щелочных вяжущих систем / [Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Савченко С. В. и др.]. - ОГАСА, НИИВМ - Киев, 1996. - 105 с.

78. Методические рекомендации по проектированию и строительству монолитных заглубленных частей гидротехнических сооружений и противодиффузионных завес способом "стена в грунте". - М.: НИИОСП имени Н. М. Герсеванова. - 1981. - 121 с.

79. Методичні рекомендації з улаштування горизонтальних екранів / О. М. Галінський (науковий керівник), О. М. Чернухін // Методичні рекомендації. - Київ : НДІБВ, 2011. - 20с.

80. Михеев В. Л. Технологические свойства буровых растворов / Михеев В. Л. - М.: Недра, 1979. - 239 с.

81. Мишаков В. А. Исследование и расчет несущей способности инъекционных грунтовых анкеров / В. А. Мишаков, В. Ф. Раюк // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.: 1989. – № 2. – С. 6-8.

82. Мишин А. В. Наукові дослідження в галузі технології будівельного виробництва. Конспект лекцій / А. В. Мишин. – К.: КНУБА, 2000. – 16 с.

83. Млодецький В. Р. Організаційно-технологічна та управлінська надійність функціональної системи будівельної організації: автореф. дис. на здобуття наук. ст. д-ра техн. наук: спец. 05.23.08 «Технологія та організація промислового та цивільного будівництва» / В. Р. Млодецький. – Дніпропетровськ, 2005. – 39 с.

84. Мосолов Г. В. Исследования взаимодействия головной секции и грунтового массива при производстве работ по продавливанию тоннелей / [Электронный ресурс] / ОАО ЦНИИС грунта. – Режим доступа: <http://217.70.24.186/mosolov/>.



85. Никитенко М. И. Буроинъекционные анкеры и сваи при возведении и реконструкции зданий и сооружений / М. И. Никитенко. - Минск, 2007. - 529 с.
86. Никитенко М. И. Проектирование и устройство подпорных стен и креплений котлованов: пособие П17-02 к СНБ 5.01.01-99 / М. И. Никитенко. – Минархстрой, 2003. – 95с.
87. Николаевский В. Н., Сырников И. Н. О плоском предельном течении сыпучей дилатирующей среды / В. Н. Николаевский, И. Н. Сырников // Механика твердого тела. – М.: АН СССР, 1970. – 159-166 с.
88. Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – К.: Держбуд України, Держнаглядохоронпраці України, 2003. – 144 с.
89. Норми освітлення будівельних майданчиків : ДСТУ Б А. 3.2-15:2011.
90. Нормирование труда рабочих в строительстве / [Е. Ф. Балова, Р. С. Бекерман, Н. Н. Евтушенко и др.] ; Под ред. Е. Ф. Баловой. – М.: Стройиздат, 1985. – 440 с.
91. О взаимодействии глинисто-силикатных растворов с поверхностью пространства закрепляемых песков. Материалы УН Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов / В. Е. Соколович , Е. Л. Арджеванидзе. - Л.: Энергия, 1971. - 200-204 с.
92. Общая биология : [учеб. пособие для 11-го кл. 11-летней общеобразоват. шк. для базового и повыш. уровней] / Н. Д. Лисов, Л. В. Камлюк, Н. А. Лемеза и др. ; Под ред. Н. Д. Лисова. – Мн.: Беларусь, 2002. – 279 с. – ISBN 985-04- 0553-8.
93. Овчинникова М. Ф. Химия гербицидов в почве МГУ. - М., 1987. - 108 с.
94. Орлов В. А., Хантаев И. С., Орлов Е. В. Бестраншейные технологии / В. А. Орлов, И. С. Хантаев, Е. В. Орлов // Учебник. - М., 2011. - 224 с.
95. Орнатский Н. В., Сергеев Е. М., Шехтман Ю. М. Исследование

процесса кольматации песков / Н. В. Орнатский, Е. М. Сергеев, Ю. М. Шехтман. - М.: Изд. МГУ, 1955. - 181 с.

96. Освоение подземного пространства. Прокладка подземных инженерных коммуникаций методом горизонтального направленного бурения: Стандарт организации. СТО НОСТРОЙ 2.27.17-2011. - 135 с.

97. Основания и фундаменты / [Смородинов М. И., Федоров Б. С., Вканицын Б. А. и др.] ; Под общ. ред. М. И. Смородинова. ; Изд. 3-е, доп. и перераб. / Справочник строителя / - М. =: Стройиздат, 1983. - 367 с.

98. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення : ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96).

99. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Класифікація : ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95).

100. Печенежская И. А. Водопроницаемость полимерных противofiltrационных экранов для условий установившегося и неустановившегося характера фильтрации: автореф. дис. на соиск. науч. ст. канд. техн. наук. / И. А. Печенежская. - Новочеркасск, 1998. - 17 с.

101. ПЗРО и ПВЛРО в зоне ликвидации последствий аварии / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pripyat-city.ru/main/42-pzro-i-pvlro-v-zone-likvidacii-posledstviy-avarii.html>.

102. Пленочные противofiltrационные устройства гидротехнических сооружений; Под ред. И. Е. Кричевского. - М.: Энергия, 1976. - 207 с.

103. Подземные сооружения возводимые способом "стена в грунте"; Под ред. В. М. Зубкова. - Л.: Стройиздат, 1977. - 200 с.

104. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию / СНиП 2.01.28-85 / - М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985.

105. Поляков С. А. Надежность противofiltrационных облицовок и экранов и применением пленочных материалов на оросительных каналах и водоемах: автореф. дис. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. / С. А. Поляков – Новочеркасск, 1993. — 26 с.

106. Порошок бентонитовый из глины Черкасского месторождения : ТУ 3.58–14310589–103–97.

107. Порядок виконання будівельних робіт. / Кабінет Міністрів України, 2011. - (Постанова Кабінету Міністрів України № 466 від 13.04.2011).

108. Порядок здійснення авторського та технічного нагляду під час будівництва об'єкта архітектури. / Кабінет Міністрів України, 2007. - (Постанова Кабінету Міністрів України № 903 від 11.07.2007).

109. Пособие по проектированию полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. (к СНиП 2.01.28–85). – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1990. – 48 с.

110. Правила пожежної безпеки в Україні : НАПБ А.01.001-2004.

111. Применение метода конечных элементов при выполнении курсовых работ по строительным дисциплинам : учебное пособие / [Фадеев А. Б., Парамонов В. Н., Репина П. И. и др.]. - СПб. : СПб гос. архит.-строит. ун-т, 1997. - 60 с.

112. Про Загальнодержавну програму поводження з токсичними відходами : Закон України № 1947-111 от 14.09.2000 р.

113. Про Загальнодержавну програму подолання наслідків Чорнобильської катастрофи на 2006-2010 роки : Закон України № 3522-IV від 14.03.2006 р.

114. Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року : Закон України № 4836-VI від 24.05.2012 р.

115. Про національну програму екологічного оздоровлення басейну Дніпра та поліпшення якості питної води. / Верховна Рада України, 1997. - (Постанова Верховної Ради України № 123/97-ВР від 27.02.1997 р).

116. Про статус і соціальний захист громадян, які постраждали внаслідок Чорнобильської катастрофи : Закон України № 796-XII від 28.02.1991 р.

117. Проектирование и устройство свайных фундаментов : Учебное пособие / [Беленький С. Б., Дикман Л. Г., Косоруков И. И. и др.]. – М. : Высшая школа, 1983. – 328 с.

118. Проектирование и устройство траншейных и свайных стен методом "стена в грунте". – Минск: РСН 20-87. / БПИ, Госстрой БССР, 1987. – 102 с.

119. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях. (Справочное пособие к СНиП) / – М.: ВНИИ ВОДГЕО Госстроя СССР: Стройиздат, 1991. – 272 с.

120. Протипожежний захист. Знаки безпеки. Форма та колір (ISO 6309:1987, IDT) : ДСТУ ISO 6309:2007.

121. Пшинько О. М. Основи технології підводного бетонування при ремонті штучних транспортних споруд: автореф. дис. на здобуття наук. ст. д-ра техн. наук : спец. 05.23.08 / О. М. Пшинько. – Харків, 2001. – 40 с.

122. Радиоактивные отходы АЭС и методы обращения с ними / [Ключников А. А., Пазухин Э. М., Шигера Ю. М., Шигера В. Ю.] - К.: Институт проблем безопасности АЭС НАН Украины, 2005. - 487 с.

123. Рекомендации по возведению заглубленных сооружений и конструкций методом "стена в грунте". - Киев, 1973. - 156 с.

124. Рекомендации по расчету противодиффузионных стенок и подбору материалов для их заполнения / - М.: НИИОСП имени Н. М. Герсеванова, 1973. - 31 с.

125. Рекомендации по струйной технологии сооружения противодиффузионных завес, фундаментов, подготовки оснований и разработки мерзлых грунтов / Под общей редакцией Королькова В.Н. и Хасина М.Ф. - М.: ВНИИ оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова, 1989. - 90 с.

126. Ресурсні елементні кошторисні норми на будівельні роботи / Збірник 5. Пальові роботи. Опускні колодязі. Закріплення ґрунтів : ДСТУ Б Д. 2.2.5:2012.

127. Ресурсні елементні кошторисні норми на прокладання полімерних трубопроводів методом горизонтально спрямованого буріння : СОУ Д.2.2-30312094:2007.

128. Ретхати Л. Грунтовые воды и строительство / Ретхати Л. ; пер. с англ. ; Под ред. В. А. Кирюхина. - М. : Стройиздат, 1989. - 432 с.

129. Ржаницын Б. А. Противофльтрационные завесы, создаваемые химическими методами / Ржаницын Б. А. // Закрепление и уплотнение грунтов. - Л. : Энергия, 1973. - 42-46 с.

130. Ржаницын Б. А. Тампонажные растворы для создания противофльтрационных завес / Ржаницын Б. А. // Материалы к совещанию по закреплению и уплотнению грунтов. - Новосибирск, 1966. - 470-474 с.

131. Ржаницын Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Ржаницын Б. А. - М. : Стройиздат, 1986. - 264 с.

132. Розроблення науково-обґрунтовуючих пропозицій та типового проекту по створенню захисних протифільтраційних дренажних конструкцій навколо регіональних полігонів (сховищ) довгострокового зберігання або захоронення токсичних відходів (ТВ) / Науковий керівник О. М. Галінський // Звіт про науково-дослідну роботу. Шифр П-3-1-04. № держ. реєстрації 0104U007712. – Київ : НДІБВ, 2006. – 102 с.

133. Руководство по проектированию стен сооружений и противофльтрационных завес, устраиваемых способом “стена в грунте” / НИИОСП им. Н. М. Герсееванова. – М. : Стройиздат, 1977. – 128 с.

134. Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов / НИИОСП имени Н. М. Герсееванова. - М. : Стройиздат, 1977. - 240 с.

135. Рыбальский В. И. Автоматизированные системы управления строительством / Рыбальский В. И. – К.: Выща школа, 1979. – 479 с.

136. Савйовський В. В. Методологічні принципи організаційно-технологічного проектування реконструкції цивільних будівель: автореф. дис.

на здобуття наук. ст. д-ра техн. наук : спец. 05.23.08 / В. В. Савйовський / Харьк. держ. техн. уні-т будів. і арх. – Х., 2011. – 44 с.

137. Савйовский В. В. Технология возведения и ремонта сооружений. Учебное пособие. / Савйовский В. В. – К.: Фарт, 2014. - 256 с.

138. Сайт компании “ИнжПроектСтрой” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.jet-grouting.ru>.

139. Скуеро А. М., Васкетти Г. Геомембраны, хорошо зарекомендовавшие себя водонепроницаемые системы на гидротехнических сооружениях / А. М. Скуеро, Г. Васкетти // Международный дайджест по гидроэнергетике и плотинам. – 2007. – с. 5968.

140. Смирнов И. В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / И. В. Смирнов., И. В. Дунин-Барковский. – М.: Наука, 1969. – 512 с.

141. Смородинов М. И., Андреев В. М., Большаков Ю. В. Исследование технологии устройства тонких противofильтрационных завес / М. И. Смородинов, В. М. Андреев, Ю. В. Большаков // Устройство фундаментов и заглубленных сооружений в условиях реконструкции действующих предприятий и стесненных условиях строительства. - Л.: 1983, 74-76 с.

142. Смородинов М. И. Устройство фундаментов и конструкций способом “стена в грунте” / М. И. Смородинов, Б. С. Федоров. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1986. – 216 с.

143. Смородинов М. И., Федоров Б. С. Устройство фундаментов и конструкций способом "стена в грунте" / М. И. Смородинов, Б. С. Федоров. – М. : Стройиздат, 1976. - 128 с.

144. Снісаренко В. І. Наукові основи та методи удосконалення технологій будівництва заглиблених в ґрунт споруд і конструкцій: автореф. дис. на здобуття наук. ст. д-ра техн. наук : спец. 05.23.08, 05.23.02 / В. І. Снісаренко. – К., 1994. – 49 с.

145. Снисаренко В. И. Методические рекомендации по рас чету конструктивно-технологических решений заглубленных сооружений,

возводимых методом "стена в грунте" в водоносных пластах неограниченной мощности / В. И. Снисаренко. – К.: НИИСП, 1986. – 41 с.

146. Собрание сочинений [Горячкин В. П.] – М. : Колос, 1965. – Т. 2. – 460 с.

147. Совершенствование технологии устройства противofильтрационных завес способом "стена в грунте" / [Буров Ю. Е., Киселев В. И., Михлин А. Л., Смирнов Ю. С.] // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1979. - Р. 6. - С. 5-8.

148. Современные технологии в строительстве : [учебник] / А. И. Менейлюк, В. С. Дорофеев, Л. Е. Лукашенко и др. – [3-е изд., доп. и пер.]. – К. : Освіта України, 2011. – 534 с.

149. Соколович В. Е. Силикатизация лессовых грунтов / Соколович В. Е. - М.: Госстройиздат, 1959. - 79 с.

150. Стандарт ISO 10318:2005: Геосинтетические материалы. Термины и определения.

151. Струйная технология сооружения противofильтрационных завес / [Н. В. Дмитриев, А. В. Попов, Л. И. Малышев, М. Ф. Хасин]. // Гидротехническое строительство. - 1980. - № 3. - С. 5-9.

152. Сукач М. К., Филонов Ю. П., Литвиненко И. Н. Модель косоугольного щелевого резания грунта широким острым ножом / М. К. Сукач, Ю. П. Филонов, И. Н. Литвиненко // Техніка будівництва. – К. : КНУБА, 2005. – Вип. 18. – С. 4–11 .

153. Тагилов М. А. Противofильтрационная защита оснований полигонов захоронения твердых бытовых отходов: автореф. дис. на соиск. науч.ст. канд. техн. наук. - Пермь: Пермский государственный технический университет, 2002.

154. Теличенко В. И. Технология строительных процес сов : [В 2 ч. : учеб. для строит. вузов] / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А.Лapidус. – [2-е изд., испр. и доп.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 784 с.

155. Тер-Мартirosян З. Г. Механика грунтов [Учебное пособие] / Тер-Мартirosян З. Г. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2005.

156. Техника и технология горизонтального направленного бурения для бестраншейного строительства подземных коммуникаций в экстремальных условиях. - Казань: ООО "Эс-Ай-Ви Интертрэйд", 2003. - 24 с.

157. Технология горизонтально-направленного бурения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.yarpodvodnik.ru/pages/tech/HDD.html>.

158. Технология и механизация строительства противофильтрационных завес и монолитных несущих стен способом "стена в грунте". Киев : РСН 316-88. / НИИСП Госстроя УССР, 1989. - 49 с.

159. Технологія монтажу будівельних конструкцій / [В. К. Черненко, О.Ф. Осипов, М. Г. Тонкачєєв, Є.Г.Романушко, І.І.Назарєнко] ; під ред. В. К. Черненко. – [2-є вид.]. – К. : Горобець, 2011. – 371 с.

160. Технология, механизация и автоматизация строительства : [учеб. для строит. вузов] / С. С. Атаев, В. А. Бондарик, И. Н. Громов и др.; под ред. С. С. Атаева, С. Я. Луцкого. – М.: Высшая школа, 1990. – 592 с.

161. Технология строительного производства / [Литвинов О. О., Беляков Ю. И., Батура Г. М. и др.]; под ред. профессоров О. О. Литвинова и Ю. И. Белякова. – К.: Выща школа, 1984. – 479 с.

162. Технология строительных процес сов : [учеб. для строит. вузов] / С. С. Атаев, Н. Н. Данилов, Б. В. Прыкин и др. ; под ред. Н. Н. Данилова. – М.: Высшая школа, 2001. – 464 с.

163. Тимошенко В. К. Исследование процесса прокола грунтов при закрытой прокладке трубопроводов : автореф. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук : спец. 05.05.04 / В. К. Тимошенко. – К., 1969. – 16 с.

164. Траншейные стенки в грунтах / [Круглицкий Н. Н., Мильковицкий С. И., Скворцов В. С. и др.]. - Киев : Наукова думка, 1973. - 304 с.

165. Тугай О. А. Система адаптації організації будівництва до євро стандартів : автореф. дис. на здобуття наук. ступ. д-ра техн. наук : спец. 05.23.08 / О. А. Тугай. – К., 2008. – 31 с.



166. Тянь Р. Б. Организация производства / Р. Б. Тянь, Н. М. Чернышук. – Днепропетровск: Наука и просвещение, 1994. – 254 с.
167. Ушацкий С. А. Информационные основы управления строительным производством / С. А. Ушацкий. – К.: Будівельник, 1977. – 168 с.
168. Федоров В. С., Гаража Б. М. Перспективы применения способа "стена в грунте" в строительстве / В. С. Федоров, Б. М. Гаража // Основания, фундаменты и механика грунтов. - 1978. - № 1, С. 1-3.
169. Федоров Д. И. Рабочие органы землеройных машин / Федоров Д. И. – М.: Машиностроение, 1990. – 360 с.
170. Феоктистова Н. В. Исследование свойств глинистых растворов, применяемых при строительстве способом "стена в грунте" / Феоктистова Н. В. // Труды ВНИИГС. - Вып. 35. - Л.: Стройиздат, 1973.
171. Филяков А. Б. Исследование состояния сыпучей среды при интенсивном внедрении в нее деформатора / А. Б. Филяков // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1974. – № 9. – С. 140-144.
172. Химерик Ю. А. Защита зданий и сооружений от грунтовых вод : [изд. 2-е, перераб. и доп.] / Химерик Ю. А. - Киев : Будівельник, 1976. - 140 с.
173. Храменков С. В., Примин О. Г., Орлов В. А. Бестраншейные методы восстановления трубопроводов / С. В. Храменков, О. Г. Примин, В. А. Орлов. – М.: Прима-Пресс, 2002. - 283 с.
174. Цытович Н. А. Механика грунтов. Краткий курс. / Цытович Н. А. - М.: "Высшая школа", 1973.
175. Чаповский Е. Г. Лабораторные работы по грунтоведению и механике грунтов: [изд. 4-е., исправл. и доп. ] / Чаповский Е. Г. - М.: Недра, 1975. - 304 с.
176. Чернобыльская катастрофа / [гл. ред. Барьяхтар В. Г.] – К.: НАН Украины: Наук. думка, 1995. – 560 с.
177. Чернов М. А. Обоснование противодиффузионной эффективности облицовок каналов, с применением полимерных материалов / Чернов М. А. // Известия вузов. Сев.-Кав. регион, Техн. науки. - 2011. - № 2. - С.

108-114.

178. Чернухин А. М., Галинский А. М. Новая технология устройства тонкого противofильтрационного экрана под картой полигона токсичных отходов с поврежденной гидроизоляции / А. М. Чернухин, А. М. Галинский // Научно-технічний журнал "Нові технології в будівництві". - Київ : НДІБВ, 2001. - №1. - С. 51-53.

179. Чернухин А. М., Галинский А. М. Применение способа "стена в грунте" для локализации пунктов захоронения радиоактивных отходов (ПЗРО) / А. М. Чернухин, А. М. Галинский // Строительное производство: Межведомственный научно-технический сборник. – К.: АП НИИСП, 1997. – Вып. 37. - С. 36-40.

180. Черный И.П. Исследование экранирующих свойств противofильтрационных стенок из глинистых грунтов: автореф. дисс. на соиск. науч. ст. канд. техн. наук / Черный И. П. - М., 1979. - 174 с.

181. Черный И. П. Технология сооружения тонких противofильтрационных стенок / Черный И. П. // Материалы УП Всесоюзного совещания по закреплению и уплотнению грунтов. - Л.: Энергия, 1971. - 124-128 с.

182. Чернышевская И. Е. Создание водосберегающих конструкций каналов оросительных систем: автореф. дис. на соиск. науч. ст. докт. техн. наук / И. Е. Чернышевская. - Киев, 2006.

183. Чорнобиль. Післяаварійна програма будівництва. Монографія. – К.: "Іван Федорів", 1998. – 456 с.

184. Шавва К. И. Методы определения оптимальных параметров и их выгоднейших сочетаний проектируемых схем использования водоземельных ресурсов бассейнов рек и оросительных систем: автореф. дис. на соиск. науч. ст. д-ра техн. наук: 05.23.08 / К. И. Шавва. – М., 1975. – 43 с.

185. Штоль Т. М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений : [учеб. пособие для вузов] / Т. М. Штоль, В. И. Теличенко, В. И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288 с. – ISBN 5-274-00998-0.

186. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / [Вознесенский В. А., Ляшенко Т. В., Иванов Я. П., Николов Н. И.]. - Киев: Будівельник, 1989. - 240 с.
187. Boyes R. G. H., Miles M. M. Slurry trenching developments / R. G. H. Boyes, M. M. Miles. - Civil Engineering, April, 1982. - p. 51-52.
188. Boyes R. G. H. Structural and Cut-Off Diaphragm Walls / Boyes R. G. H. - Halsted Press: New York, N. Y., 1975.
189. Burton S. Handbook of Sustainable Refurbishment: Housing / Simon Burton. – Routledge, 2011. – 192 p.
190. D'Appolonia D. I. Soil-Bentonite slurry trench cutoffs. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proceeding of the American Society of Civil Engineers, Vol. 106. - No. GT4, April, 1980. - p. 399-417.
191. Lorenz H. Erfahrungen mit thixotropen Flüssigkeiten in Grundbau / Lorenz H. - Die Bautechnik, 1953. - n. 8 - p. 232-236.
192. Lorenz H. Über die Verwendung thixotroper Flüssigkeiten in Grundbau / Lorenz H. - Bautechnik, 1950. - nMO - p. 351-356.
193. Millet R. A., Jean-Yves Perez. Current USA Practice: Slurry Wall Specifications / R. A. Millet, Perez Jean-Yves // Journal of the Geotechnical Engineering Division, Proc. ASCE, August, 1981. - Vol. 107. - № GT8. - p. 1041-1056.
194. Simerman M. H. Infiltration – Pressurization Correlation: Similar Physical Modeling / M. H. Simerman, D. T. Grimsrud // ASHRAE Transactions. - Vol. 86. - Part 2. - 1980. – P. 778-807.
195. А. с. 1148926 СССР. М. Кл<sup>3</sup> Е 02 В 1/00, 3/16. Устройство для укладки вертикального противofiltrационного экрана из пленочного материала в траншею / В. И. Снисаренко, А. Л. Филахтов, Н. А. Великодний, Г. Ф. Костюченко; заявл.13.12.8; опубл. 07.04.85, Бюл. № 13.
196. А. с. 1271946 СССР. М. Кл<sup>3</sup> Е 02 F 5/20. Устройство для строительства подземных противofiltrационных экранов / А. Ф. Бабешко, В. С. Дудник, А. И. Копыл, А. И. Мельников, С. М. Новак, В. И. Снисаренко, Р. Н.

Ткаченко, А. Л. Филахтов, М. Г. Янкулин; заявл. 11.06.85; опубл. 23.11.86, Бюл. № 43.

197. А. с. 1286693 СССР. М. Кл<sup>3</sup> Е 02 F 5/20. Траншеекопатель / А. М. Галинский; заявл. 02.04.85; опубл. 30.01.87, Бюл. № 4.

198. Пат. 2015248 С1 Российская Федерация, МПК<sup>5</sup> Е 02 D 3/12. Способ создания противofильтрационной завесы в лессовом грунте / В. И. Осипов, С. Д. Филимонов, Б. Н. Мельников, Е. В. Кайль; заявл. 27.12.91; опубл. 30.06.94.

199. Пат. 2039150 С1 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> Е 02 В 3/16. Способ создания противofильтрационной завесы / В. Н. Бакулин, А. В. Бакулин; заявл. 24.05.1991; опубл. 09.07.1995.

200. Пат. 2183273 С2 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 21 D 1/16, 20/00. Способ тампонажа горных пород с неоднородной трещиноватостью / В. А. Хамяляйнен, В. М. Пампура, В. Д. Богатырев; заявл. 14.06.2000; опубл. 10.06.2002.

201. Пат. 2206663 С1 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения ограждающей противofильтрационной инженерно-защитной конструкции (варианты) / А. Н. Басиев, М. В. Зелов, А. Г. Икусов ; заявл. 21.12.2001 ; опубл. 20.06.2003.

202. Пат. 2211283 С1 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Е 02 D 5/56, 5/20, 7/22. Способ возведения противofильтрационной инженерно-защитной конструкции / А. Н. Басиев, М. В. Зелов, А. Г. Икусов; заявл. 21.12.2001; опубл. 27.08.2003.

203. Пат. 2304195 С2 Российская Федерация, МПК Е 02 D 5/18. Стена в грунте и способ ее возведения / Эрвин Штётцер; заявл. 25.07.2005; опубл. 10.08.2007, Бюл. № 22.

204. Пат. 2316068 С1 Российская Федерация, МПК G 21 F 9/20. Способ защиты природных вод от радиоактивных и токсичных веществ из хранилищ жидких отходов / Е. В. Захарова, Е. П. Каймин, Л. И. Константинова, А. А. Зубков и др. ; заявл. 16.03.2006 ; опубл. 27.01.2008, Бюл. № 3.

205. Пат. 2342484 С1 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ изготовления водонепроницаемого экрана в грунтовых материалах элементов гидротехнического сооружения / Н. К. Васильев, В. В. Сокуров, А. А. Иванов и др.; заявл. 15.05.2007; опубл. 27.12.2008, Бюл. № 36.

206. Пат. 2347034 С1 Российская Федерация, МПК Е 02 В 3/16. Способ защиты водных ресурсов с помощью горизонтальных (межпластовых) противодиффузионных завес и технология их сооружения / Ю.В. Пономаренко, А.А. Изотов, В.С. Кузькин, Н. А. Клименко; заявл. 30.07.2007; опубл. 20.02.2009, Бюл. № 5.

207. Пат. 2349710 С1 Российская Федерация, МКИ Е 02 D 29/00. Способ строительства противодиффузионной завесы на застроенных территориях / Ю. В. Пономаренко, А. А. Изотов, Н. А. Клименко, В. С. Кузькин; заявл. 30.08.2007; опубл. 20.03.2009, Бюл. № 5.

208. Пат. 2375580 С1 Российская Федерация, МКИ Е 21 F 17/00, Е 02 D 31/00. Способ сооружения подземной непроницаемой завесы / М. Н. Климентов, А. Н. Петин, С. В. Сергеев, В. С. Дрямов, Ю. В. Пономаренко; заявл. 01.08.2008; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 8.

209. Пат. 24792 Україна, МПК Е02В 3/16. Спосіб будівництва протифільтраційно-дренажної конструкції / О. М. Галінський, О. М. Чернухін, О. П. Федченко; заявл. 06.10.1998; опубл. 25.12.1998, Бюл. № 6.

210. Пат. 91704 А Україна, МПК Е 02 В 3/00. Спосіб улаштування протифільтраційної завіси під спорудою / О. М. Галинский, О.І. Менайлюк, А.Ф. Петровський; заявл. 26.02.2014; опубл. 10.07.2014, Бюл. № 13.

211. Пат. 65550 Україна на корисну модель, МПК Е 02 D 29/00. Спосіб улаштування екрана під спорудою / О. М. Галінський, О. М. Менайлюк; заявл. 12.05.2011; опубл. 12.12.2011, Бюл. № 23.

212. Пат. 73600 Україна на корисну модель, МПК Е 02 Р 29/00. Спосіб улаштування екрана під спорудою / О. М. Галінський, О. М. Менайлюк, А. Ф. Петровський; заявл. 13.04.2012; опубл. 25.09.2012, Бюл. № 18.

Наукове видання

**Менейлюк Александр Иванович  
Петровский Анатолий Францевич  
Борисов Александр Александрович**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ  
ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЭКРАНОВ И ЗАВЕС**

**Монографія**  
(російською мовою)

Підписано до друку 3.01.2017 р.  
Формат 60×84/16 Папір офсетний Гарнітура Times  
Друк-різографія. Ум.-друк. арк. 7,26.  
Наклад 300 прим. Зам. №16-464

Видавець і виготовлювач:  
**Одеська державна академія будівництва та архітектури**  
**Свідоцтво ДК № 4515 від 01.04.2013 р.**  
Україна, 65029, м. Одеса, вул. Дідріхсона, 4.  
тел.: (048) 723-63-21, e-mail: [rio@ogasa.org.ua](mailto:rio@ogasa.org.ua)

---

Надруковано з готового оригінал-макету  
в редакційно-видавничому відділі ОДАБА