

Горное дело, проведение горных выработок и БВР

Лекции - 17 ч.

Лабораторные занятия - 17 ч.

ЗАЧЕТ

Курс лекций

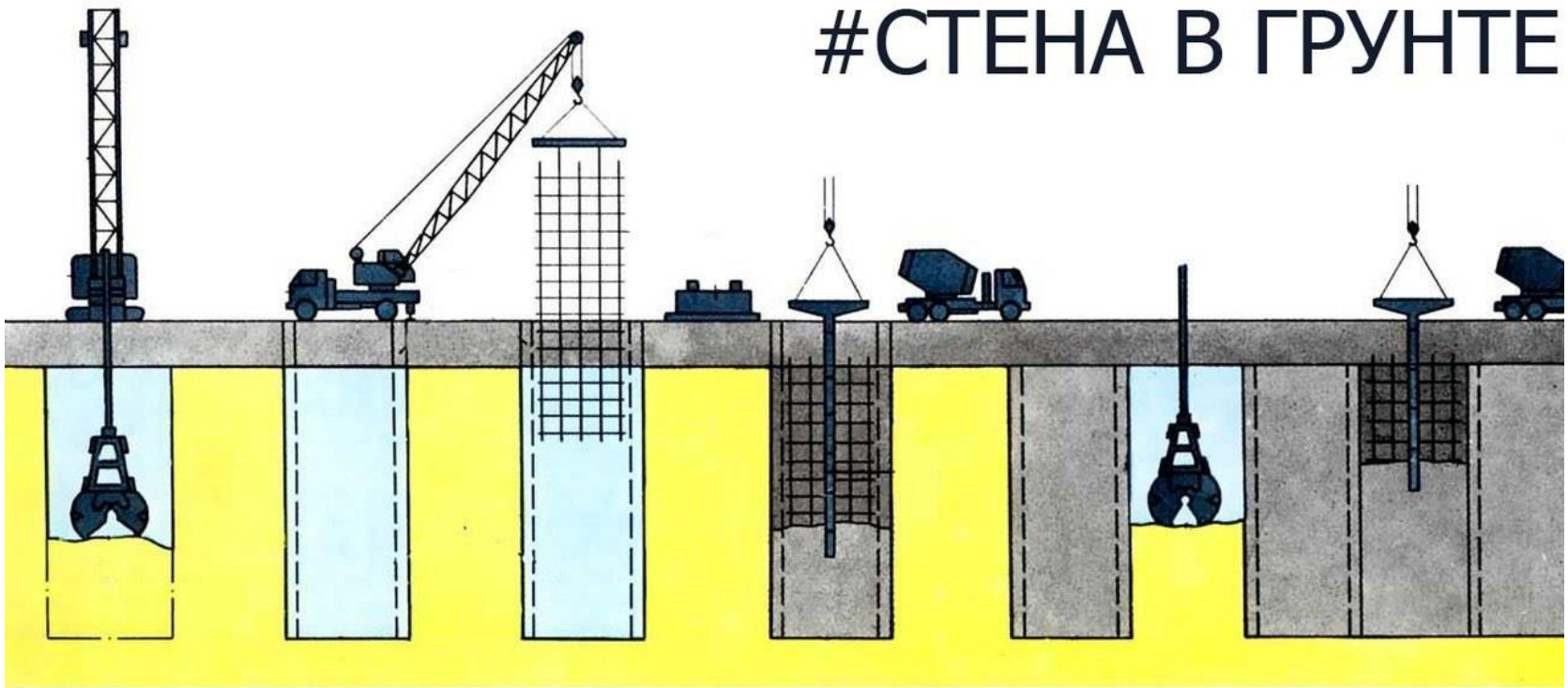
Сидорова Галина Петровна

д.т.н., профессор кафедры « Прикладной геологии и
технологии геологической разведки».

Горный факультет.

Забайкальский государственный университет

#СТЕНА В ГРУНТЕ



Тема. Методы защиты горных выработок от подземных и поверхностных вод

1. Противофильтрационные завесы

В системах защиты горных выработок от подземных вод следует предусматривать **противофильтрационные завесы (ПФЗ): траншейные, свайные, тонкие щелевые, завесы выполняемые методом струйной цементации грунтов, инъекционные, льдопородные, шпунтовые, завесы устраиваемые открытым способом.**

ПФЗ подразделяются по типу, способу устройства и материалу, с замещением грунта или без замещения.

ПФЗ, устраиваемые открытым способом (например, в насыпях дамб обвалования) следует проектировать согласно СП 39.13330.

Возможно устройство комбинированных завес, как по типу, так и по способу устройства и материалам.

При проектировании и устройстве ПФЗ следует соблюдать требования свода правил **СП 103.13330.2012, СП 23.13330, СП 45.13330, СП 69.13330 .**

Выбор типа и параметров противофильтрационной завесы следует производить исходя из инженерно-геологических и гидрогеологических условий в районе защищаемого от подземных вод объекта, результатов фильтрационных расчетов (исследований) и при необходимости – расчетов на силовые воздействия.

Завесы, как правило, должны полностью прорезать водоносные породы и заглубляться в водоупорные породы на глубину, определяемую характером контактной зоны, состоянием водоупорных пород и действующим напором на завесу, но не менее чем на 1 м при хорошо выраженной границе слоев.

Применение несовершенных (не доходящих до водоупора) завес должно быть обосновано фильтрационными и технико-экономическими расчетами.

При проектировании противофильтрационных завес необходимо обосновывать расчетами фильтрационную устойчивость завесы, ее сохранность (прочность) на протяжении всего проектного срока службы и устойчивость воспринимающего напор на завесу массива горных пород.

Притоки подземных вод через завесу, доведенную до водоупора, допускается определять по формулам, исходя из величины перепада напора с верховой и низовой сторон противofiltrационной завесы H_s , м, определяемого по формуле:

$$H_s = t_s I_{cr}$$

где, t_s – толщина противofiltrационной завесы, м;

I_{cr} – допускаемый градиент напора на завесу, определяемый, как правило, по экспериментальным данным.

При сложных гидрогеологических условиях площадки строительства или сложных очертаниях выработок параметры фильтрационного потока следует определять методом численного моделирования, расчетами с применением инженерно– расчетных программ и программных комплексов или экспериментальным путем.

Фильтрационные расчеты завес следует уточнять по данным опытно-производственных работ .

В проектной документации следует предусматривать прием подземных вод, фильтрующихся через завесу, внутрикарьерными (внутришахтными) водопонизительными устройствами и водостоками.

Для наблюдений за перепадом напора на завесе (за уровнями подземных вод) в проектной документации следует предусматривать устройство пьезометрических скважин с обеих сторон завесы и программу мониторинга за уровнями с учетом разработки карьера (разреза) по этапам .

По результатам наблюдений, в случае необходимости, корректируются противofiltrационные мероприятия следующего этапа, в том числе по приему фильтрующихся через завесу подземных вод.

Траншейные, свайные, тонкие щелевые ПФЗ, завесы, выполняемые методом струйной цементации грунтов, следует проектировать в виде контурных и линейных схем для защиты, как правило, открытых выработок от притока подземных вод.

Материал для заполнения перечисленных выше типов завес следует выбирать путем технико-экономического сопоставления, учитывая при этом величину напора подземных вод, срок работы завесы и характеристики вмещающего ее грунтового массива.

В любом случае завесы этих типов, назначаемые в проектной документации, должны быть сплошными по фронту, а так же по глубине.

Для обеспечения сплошности завесы по глубине допускается ее устройство переменной глубины (обычно ступенчато), повторяя контур водоупорного слоя, в который осуществляется заглубление.

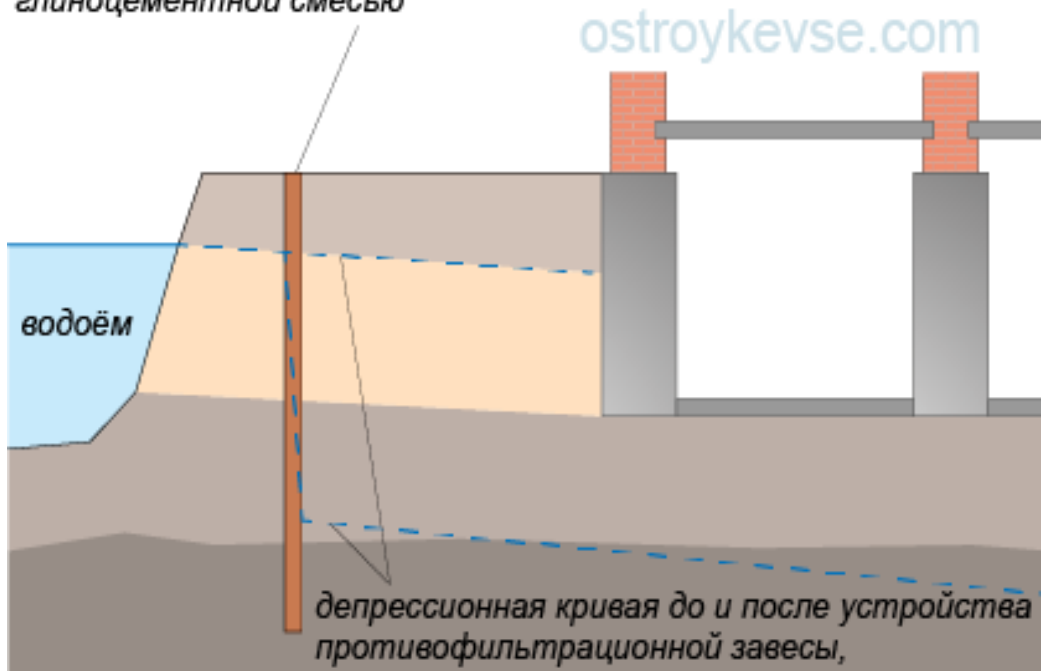
Траншейные завесы

Траншейные секционные и непрерывные завесы, выполняемые способом «стена в грунте» под защитой тиксотропного глинистого раствора, следует проектировать в нескальных горных породах без крупнообломочных включений глубиной, определяемой возможностями применяемых землеройных механизмов и оборудования.

В качестве заполнителя траншеи применяются твердеющие (бетон, глиноцементный раствор) и нетвердеющие материалы (глины, суглинки, заглинизированный грунт, глиногрунтовые пасты).

Толщину траншейных завес следует принимать, как правило, в пределах 0,5–1,0 м при использовании специального оборудования и до 2,0–2,5 м – при использовании землеройных машин общего назначения.

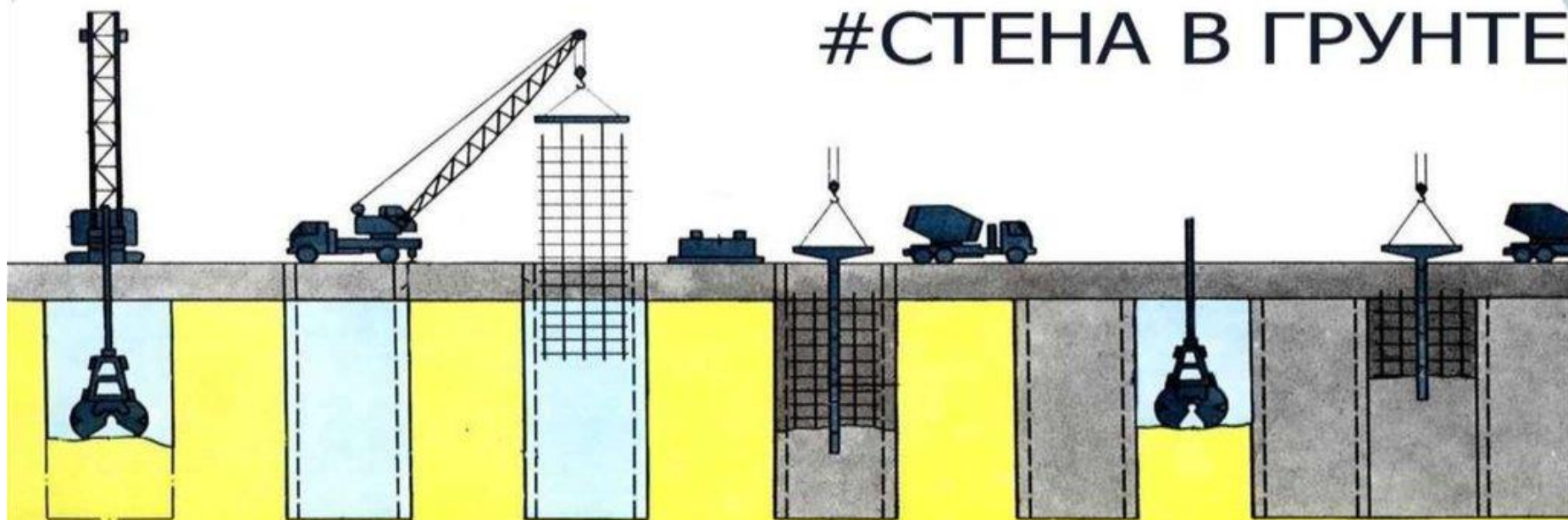
*противофильтрационная завеса траншейного типа,
устраиваемая методом «стена в грунте» и заполняемая
глиноцементной смесью*



СПОСОБ «СТЕНА В ГРУНТЕ».

Сущность способа «стена в грунте» заключается в устройстве стен из монолитного или сборного железобетона в узких и глубоких траншеях. В процессе разработки грунта устойчивость стен траншей обеспечивается за счёт заполнения траншеи глинистыми растворами (суспензиями), обладающими тиксотропными свойствами. После разработки траншеи заданных размеров глинистый раствор замещается различного рода материалами, которые образуют в грунте несущие конструкции.

#СТЕНА В ГРУНТЕ



Свайные завесы

Свайные завесы из буроэкущихся свай (пересекающихся буронабивных свай) следует предусматривать в нескальных горных породах, в том числе содержащих крупнообломочные включения, на глубину до **40–50** и более метров.

Буронабивные сваи для завес следует предусматривать, как правило, диаметром **0,5–1,0** м из твердеющих материалов (бетона или глиноцементного раствора).

Расстояние между центрами **буроэкущихся** свай завесы следует принимать не более **0,7–0,8** диаметра свай.

Расчетная толщина завесы из буроэкущихся свай принимается по толщине на стыке свай.

Допускается устройство свайной завесы из примыкающих одна к другой буронабивных свай (**бурокасательные сваи**) или с зазорами между ними в свету, при этом для герметизации завесы (обеспечения сплошности завесы) между смежными буронабивными сваями следует выполнять локальные грунтоцементные сваи (комбинированная ПФЗ) методом струйной цементации грунтов или выполнять герметизацию другими методами.

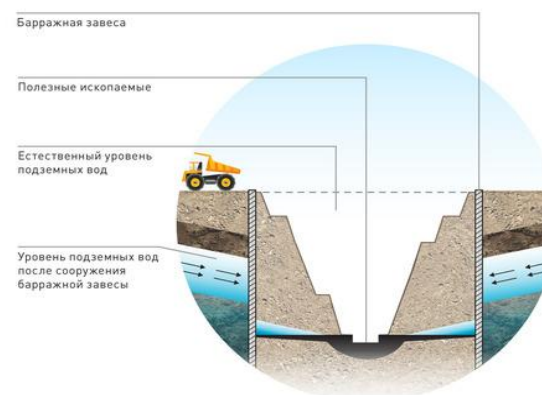
Для подбора параметров технологии устройства локальных (одиночных) грунтоцементных свай методом струйной цементации грунтов необходимо, как правило, организовывать опытные участки.

Расчетная толщина комбинированной свайной завесы принимается по наименьшей толщине на стыке буронабивной и грунтоцементной свай.

При однорядном устройстве завесы из соприкасающихся буронабивных свай или свай расположенных с зазором, грунтоцементные сваи необходимо располагать между буронабивными сваями с напорной стороны завесы.



Схема расположения барражной завесы на карьере в разрезе



Буросекущие сваи формируются прямо в грунте: бурятся скважины и заливается в них жидкий бетон.



Порядок монтажа стены такой:

Бурятся скважины первой очереди. Диаметр равен сечению будущей сваи, шаг – меньше, чем сечение. Заполняются бетоном (без армирования).

Ожидание застывания (75 % прочности).

Бурятся скважины в промежутках между готовыми сваями. Диаметр тот же, края готовых свай при этом разбуриваются.

Помещаются арматурные прутья.

Заливается бетон.



Тонкие щелевые завесы

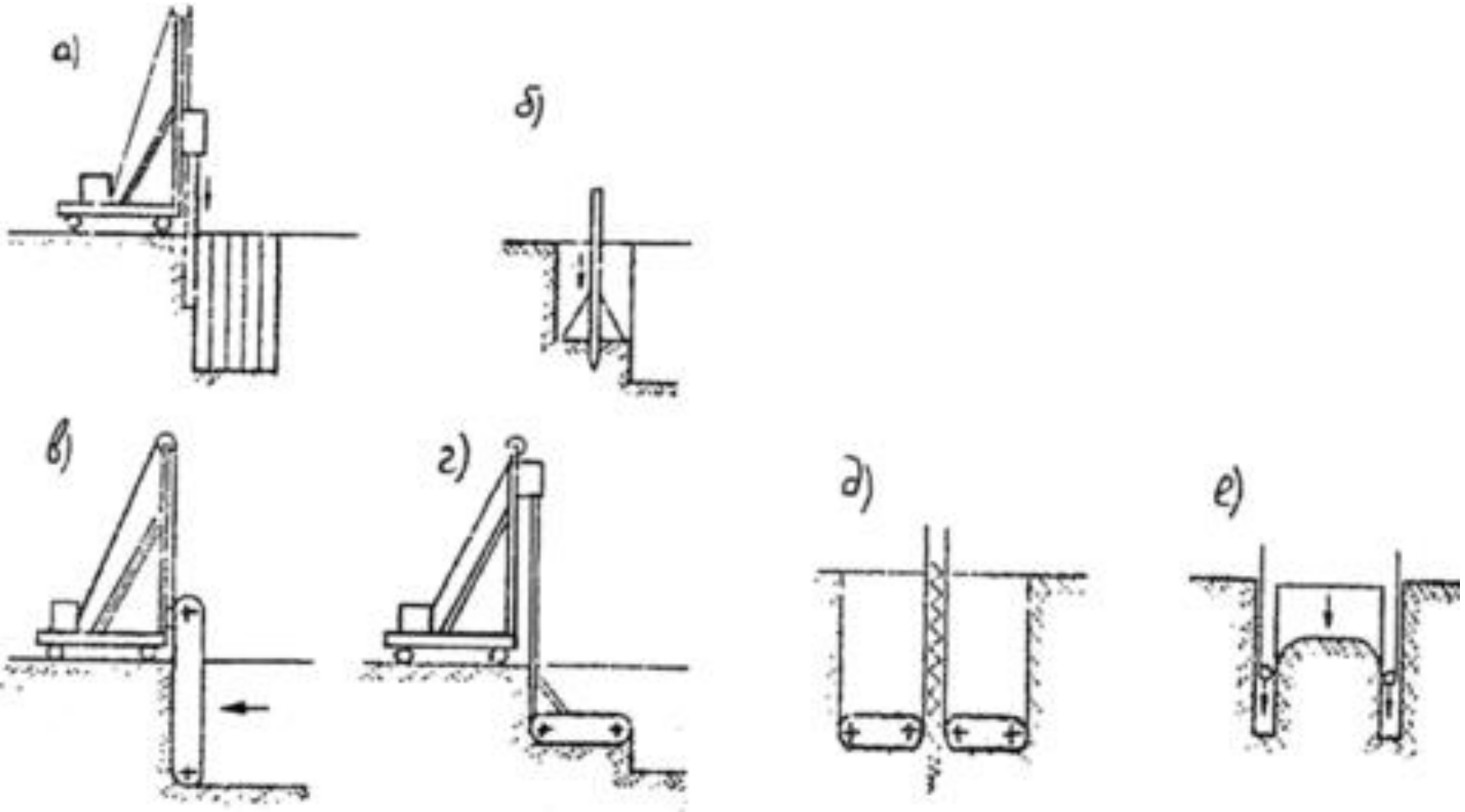


Схема устройства тонких завес с использованием: а - копров; б - вибраторов; в,г - боровых машин; д - боровой машины и шнека; е - установки для нарезания узких щелей

Тонкие щелевые завесы (5–20 см), устраиваемые путем заполнения твердеющим (глиноцементным раствором) и нетвердеющим (глиногрунтовые пасты) материалом щели, образованной с помощью инвентарного плоского металлического элемента, следует предусматривать в песчаных и глинистых горных породах без крупнообломочных включений на глубину до 20 м.

При проектировании следует предусматривать разработку траншей и бурение скважин для траншейных и свайных завес, как правило, под защитой глинистого раствора, обеспечивающего устойчивость стен от обрушения и удовлетворяющего требованиям **СП 45.13330**.

Для приготовления глинистых растворов следует предусматривать, как правило, бентонитовые глины, а при их отсутствии – местные, имеющие число пластичности не менее **0,2**, с содержанием частиц размером крупнее **0,05 мм – не более 10 %** и мельче **0,005 мм – не менее 30 %** к весу сухой пробы грунта. Плотность тиксотропного раствора на бентонитовых глинах **1,03–1,15 г/см³**, на местных глинах **1,10–1,30 г/см³**.

Допускается предусматривать смеси бентонитовых и местных глин. Для улучшения свойств глинистых растворов могут применяться различные химические реагенты, перечень которых приведен в **СП 45.13330**.

Пригодность местных глин должна быть подтверждена лабораторными испытаниями глинистых растворов.

Вода для глинистых растворов не должна вызывать их коагуляцию и должна удовлетворять техническим требованиям приготовления бетона.

В проектной документации следует предусматривать для траншейных, свайных и тонких щелевых завес материалы, удовлетворяющие следующим требованиям:

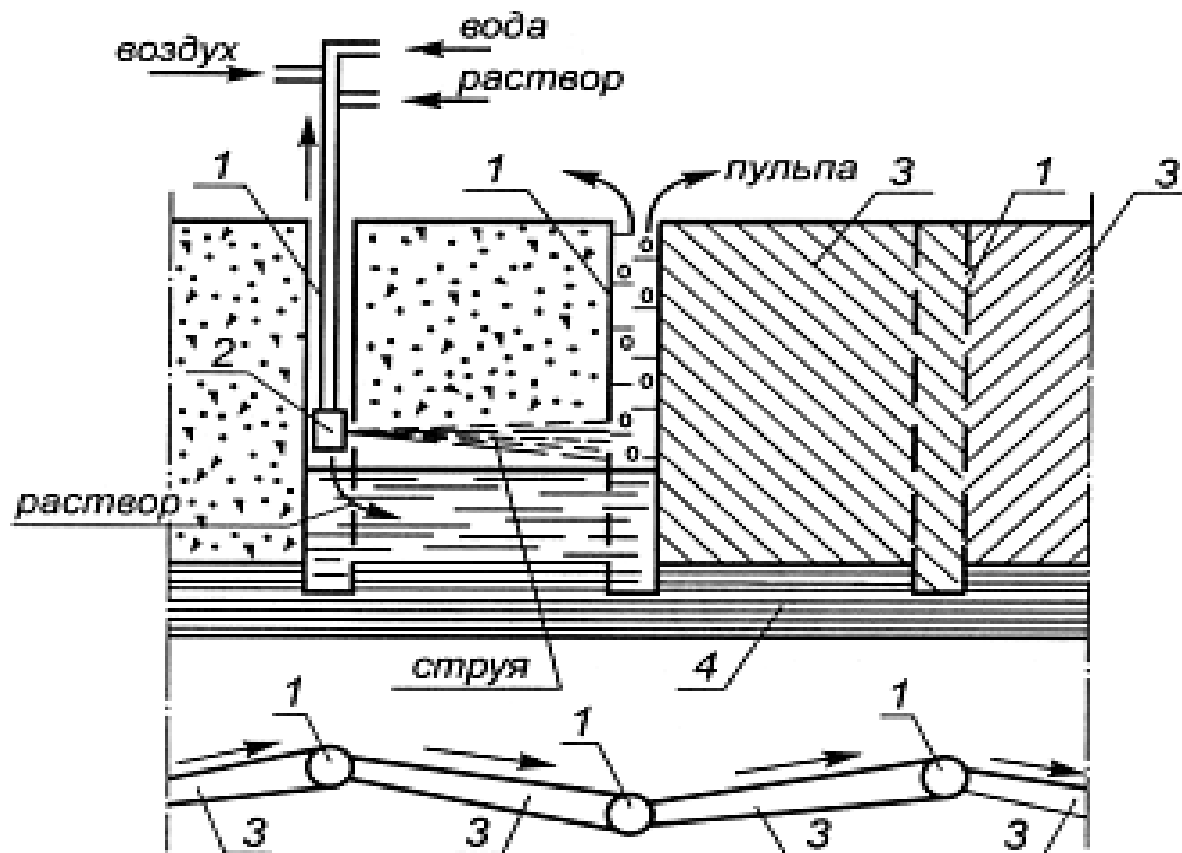
- бетон – подвижность 16–20 см (по осадке стандартного конуса);
- класс по прочности на сжатие не ниже B15;
- марка по водопроницаемости не ниже W2;
- марка по морозостойкости не ниже F50;
- глиноцементный раствор – плотность 1,5–1,8 г/см³ ;
- прочность на сжатие затвердевшего раствора не ниже 1,5 МПа (15 кгс/см²);
- выход камня при затвердении не менее 98 %;
- стабильность не более 0,5 г/см³ ;
- показатель распыла – в пределах, позволяющих вести перекачку его от растворного узла к месту укладки;
- глина – преимущественно комовой структуры (размер комьев от 10 см до 1/3 ширины траншеи);
- консистенция от твердой до тугопластичной;

- заглинизированный грунт (грунт, разработанный при проходке траншей и обогащенный глинистым раствором) – содержание (по массе) глинистых частиц с равномерным их распределением по всему объему смеси – не менее 10–15 %;
- консистенция, обеспечивающая качественную укладку его в траншею;
- глиногрунтовая паста, приготовленная в смесительных установках из местных комовых глин или суглинков, должна удовлетворять условиям укладки их в тело завесы и проектным требованиям к водопроницаемости завесы.

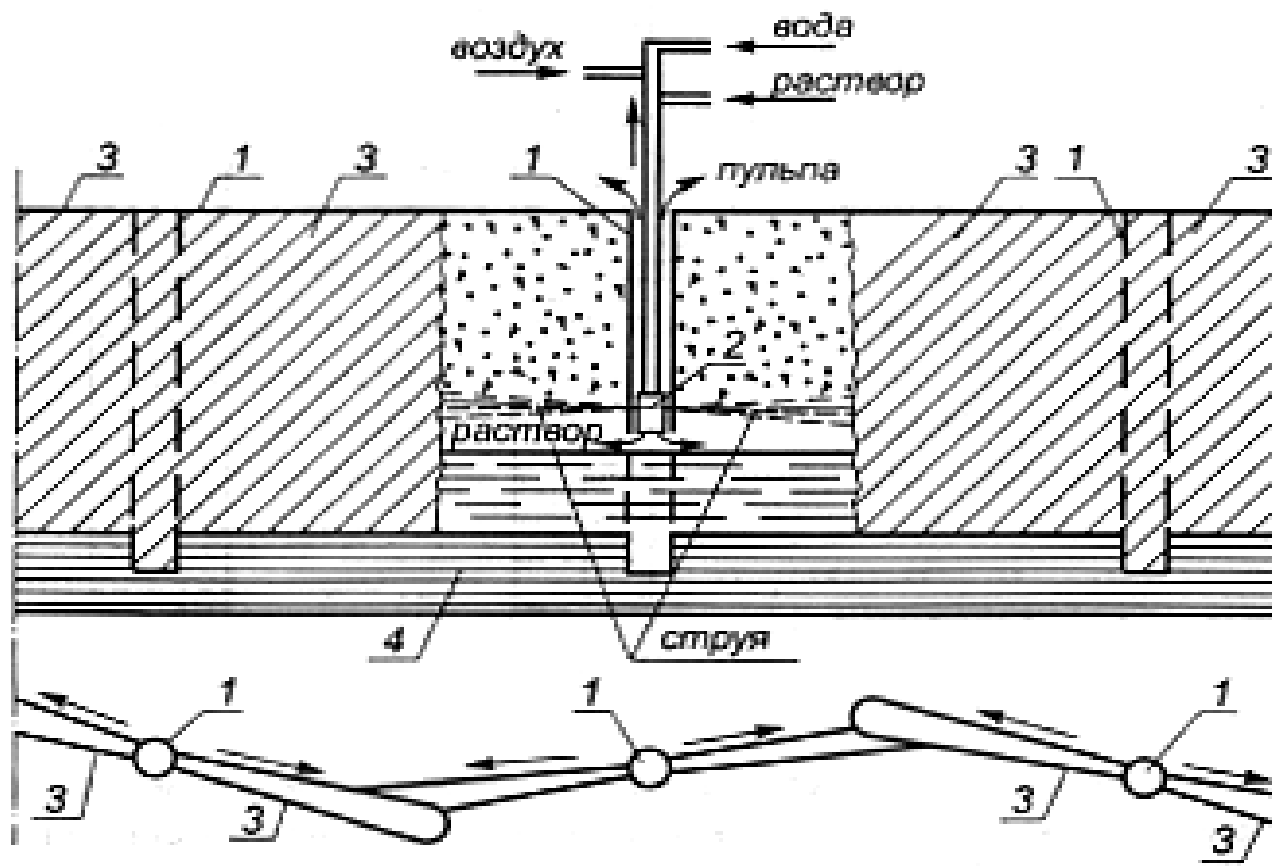
Коэффициент фильтрации твердеющих и пластичных заполнителей завес не должен превышать **0,005 м/сут.**

Градиенты напора на завесу при отсутствии специальных экспериментальных данных допускается принимать по таблице.

Материал тела противοfiltrационной завесы	Допускаемый градиент напора
Твердеющий:	
глиноцементный раствор	100
бетон	150
Нетвердеющий:	
заглинизированный грунт	20
комовая глина	30

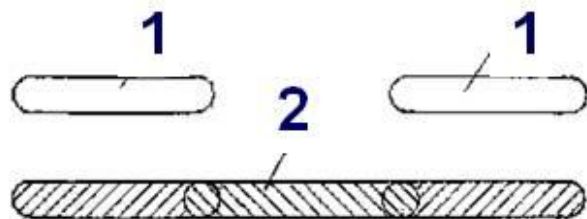


Сооружение тонких противофильтрационных завес по «сквозной» схеме 1 - струйный монитор; 2 - технологическая скважина; 3- готовая секция; 4- водоупор



**Сооружение тонких противофильтрационных завес по «тупиковой» схеме 1-струйный монитор;
2-технологическая скважина; 3-готовая секция; 4-водоупор**

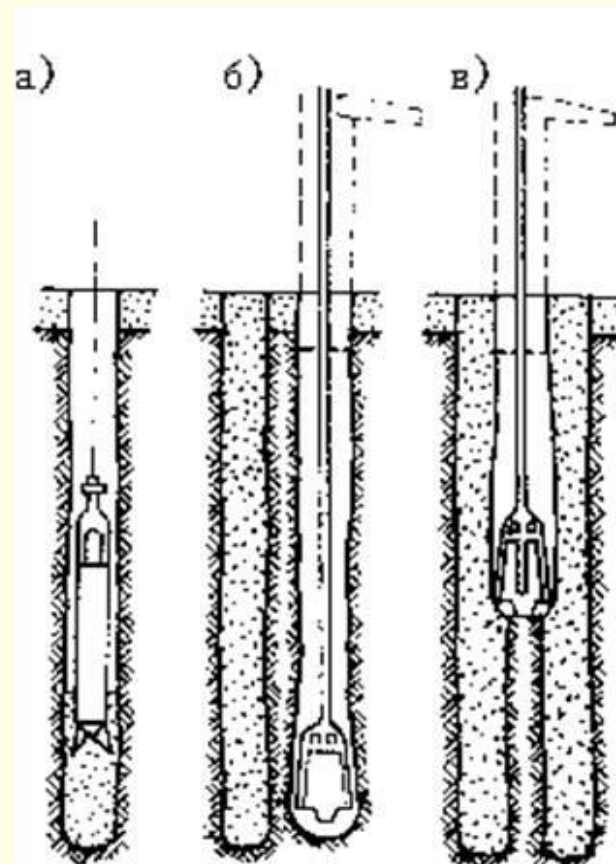
Порядок разработки делянок в траншее



1 – разработка деленок первой
очереди

2 – разработка деленок второй
очереди

Порядок разработки одной делянки



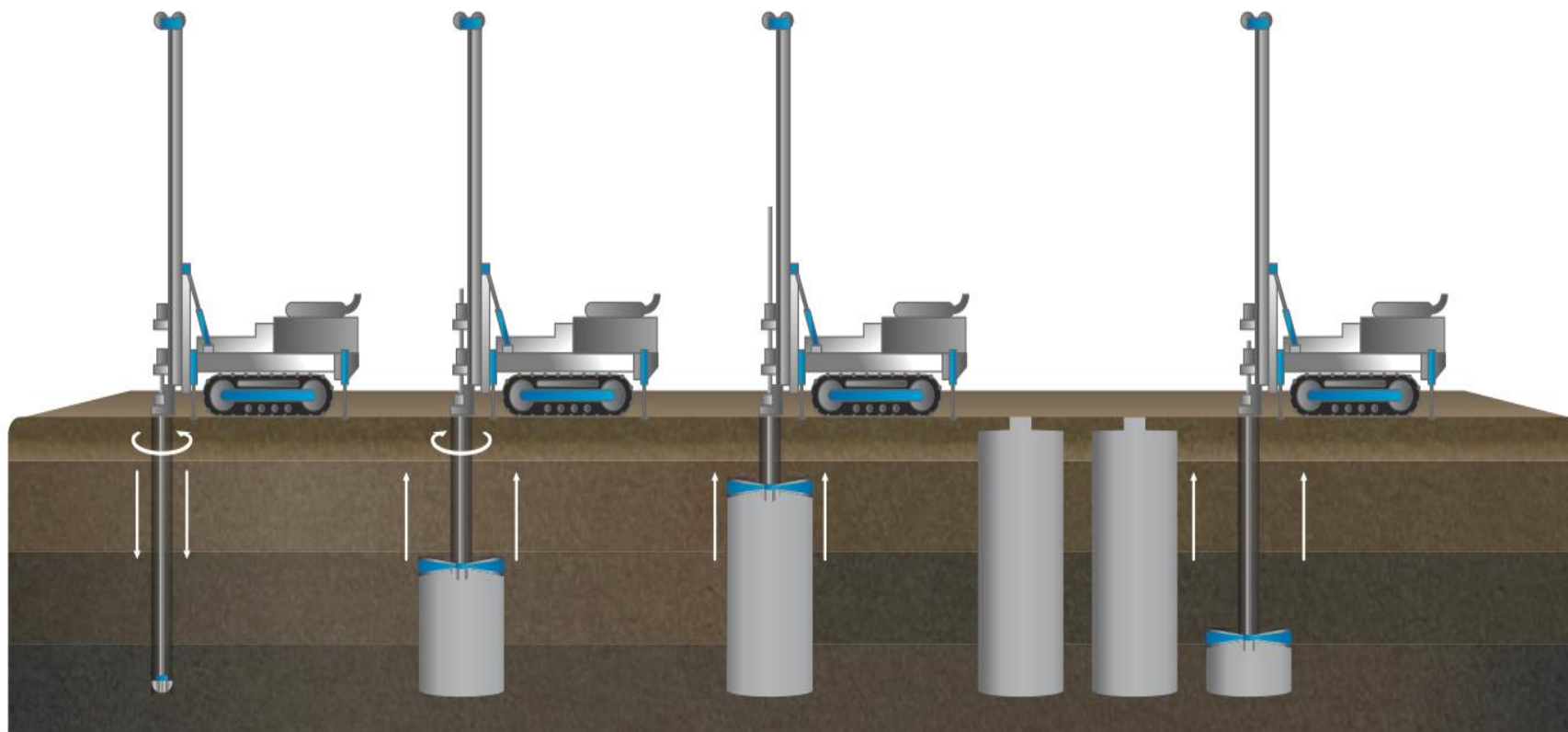
Последовательность разработки одной делянки:

1 – в первую очередь разрабатывают граничные участки делянки

2 – вторым этапом разрабатывают центральный массив делянки

Завесы, выполняемые методом струйной цементации грунтов

JET GROUTING - СТРУЙНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ГРУНТОВ



01

БУРЕНИЕ ЛИДЕРНОЙ СКВАЖИНЫ

02

ПОДЪЕМ БУРОВОЙ КОЛОННЫ С ВРАЩЕНИЕМ И ОДНОВРЕМЕННОЙ ПОДАЧЕЙ РАСТВОРА

Тонкие грунтоцементные завесы (10–30 см), выполняемые методом ламинарной струйной цементации грунтов следует предусматривать в нескальных грунтах, в том числе содержащих крупнообломочные включения, на глубину, как правило, до 20 м и более при соответствующем обосновании.

Устройство завесы выполняется заходками: бурение скважины с промывкой водой или глинистым раствором (прямой ход буровой колонны) и последующий подъем буровой колонны (обратный ход) с подачей в скважину через форсунку монитора цементного раствора под давлением до 70 МПа. Подъем буровой колонны производится без вращения (ламинарная цементация). Скорость подъема буровой колонны обычно составляет 5–30 см/мин.

Законченные цементацией заходки (противофильтрационные панели) устраиваются последовательно или с чередованием. В первом случае грунтоцементный несхватившийся композит предыдущей и последующей панели образуют бесшовную противофильтрационную завесу, во втором случае изготавливаемая панель примыкает к набравшей прочность предыдущей противофильтрационной панели.

Устройство противофильтрационных панелей методом струйной цементации грунтов может осуществляться с полным или частичным замещением грунта цементным раствором.

Шаг скважин прямого хода буровой колонны соответствует ширине противофильтрационной панели и определяется проектной документацией в зависимости от гидрогеологических условий, требуемой водонепроницаемости и, в необходимых случаях, прочности грунтоцементного композита, принятой схемы устройства завесы (последовательно или с чередованием), способа проходки, принятого давления и состава цементного раствора, диаметра форсунки, скорости подъема монитора и других параметров.

Для подбора параметров технологии устройства грунтоцементной целевой завесы методом струйной цементации необходимо, как правило, организовывать опытные участки. В сходных гидрогеологических условиях допускается принимать исходные параметры по объектам-аналогам.

Контроль качества грунтоцементной завесы следует осуществлять неразрушающими геофизическими методами (сейсмоакустическим, электрическим, георадарным и др.) в сочетании с вскрытием контрольных шурфов, выбуриванием образцов для определения прочностных характеристик и водонепроницаемости грунтоцементного композита.

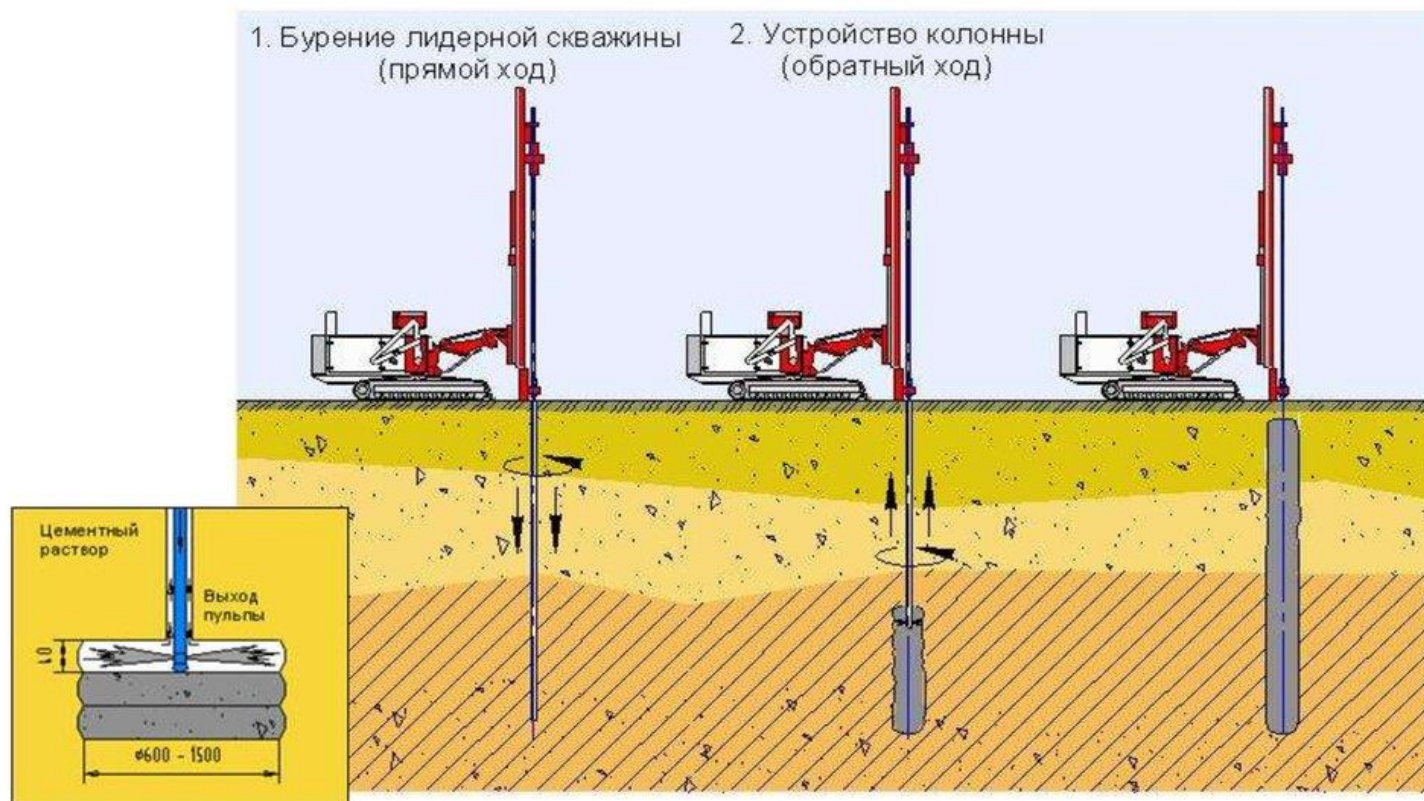
Грунтоцементные завесы из пересекающихся грунтоцементных свай, выполняемые методом струйной цементации грунтов, следует предусматривать в нескальных грунтах, в том числе содержащих крупнообломочные включения, на глубину до 50 м и более и могут проектироваться однорядными или многорядными.

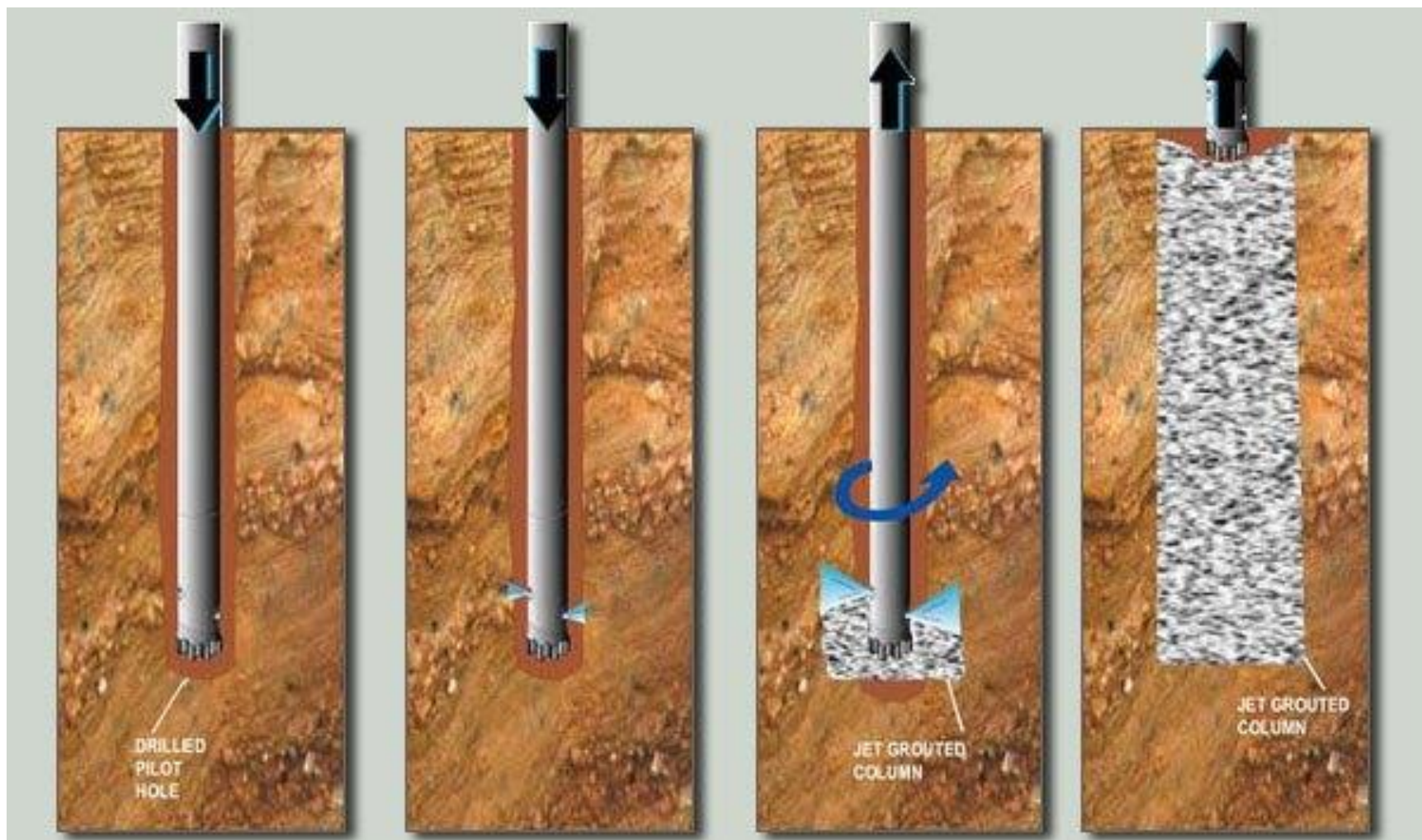
В многорядных завесах сваи необходимо располагать в шахматном порядке со смещением осей свай следующего ряда относительно предыдущего на величину, как правило, равную половине принятого в проектной документации шага свай.

Толщина грунтоцементной завесы, принимаемая в проектной документации, определяется фильтрационными расчетами .



Струйная цементация





СТРУЙНАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ГРУНТОВ

Геофизические методы контроля противодиффузионных завес

В последнее время в строительной практике для контроля качества выполненных инъекционных работ все чаще стали применяться различные методы геофизики.

Геофизические методы – это способы и средства изучения состояния геологической среды, основанные на измерении параметров физических полей искусственного или естественного происхождения с последующей обработкой и интерпретацией получаемой при этом информации.

С помощью геофизических исследований можно контролировать такие показатели укрепленного грунта, как сплошность, однородность закрепления и прочность грунтоцемента. Данные методы испытаний значительно дешевле по сравнению с прямыми методами исследований. Они позволяют производить оценку качества усиления в местах недоступных для разрушающих способов.

Еще одним их преимуществом является то, что неразрушающие методы могут быть выполнены в одном и том же месте несколько раз. Однако, геофизические МКК менее точны и требуют высокого профессионализма рабочей бригады, которая может оценить достоверность полученных результатов испытаний. В связи с этим рекомендуется совместное применение разрушающих и неразрушающих методов контроля (комплексирование).

Геофизические методы, проводимые совместно с традиционными методами инженерно-геологических изысканий, позволяют более надёжно оценивать качество укрепленного массива, производить поиск неоднородностей и разуплотнений. При больших объемах закрепления использование комплексного метода выйдет дешевле, чем использование исключительно традиционных способов.

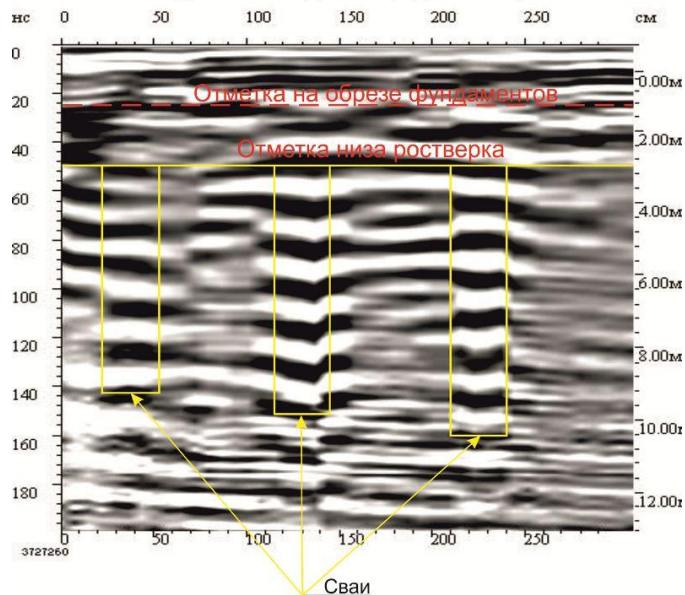
Существует множество методов геофизики. По изучаемым физическим полям и их природе, а также свойствам грунтов методы подразделяют на: электромагнитные, сейсмоакустические, магнитометрические, гравиметрические, ядерно-физические, газово-эманационные и термометрические. Однако, каждый из методов, в зависимости от типа физического поля, параметров излучения и мешающих факторов, имеет свою достаточно узкую область применения. Анализ сравнительных экспериментов по использованию геофизических методов для целей оценки качества выполнения струйной цементации показал наибольшую эффективность скважинных сейсмоакустических и георадарных (электромагнитных) методов.

Среди множества сейсмоакустических методов наиболее информативными и достоверными оказались методы прозвучивания .

Георадиолокационные измерения



Результаты обследования свайных фундаментов здания методом георадиолокации.

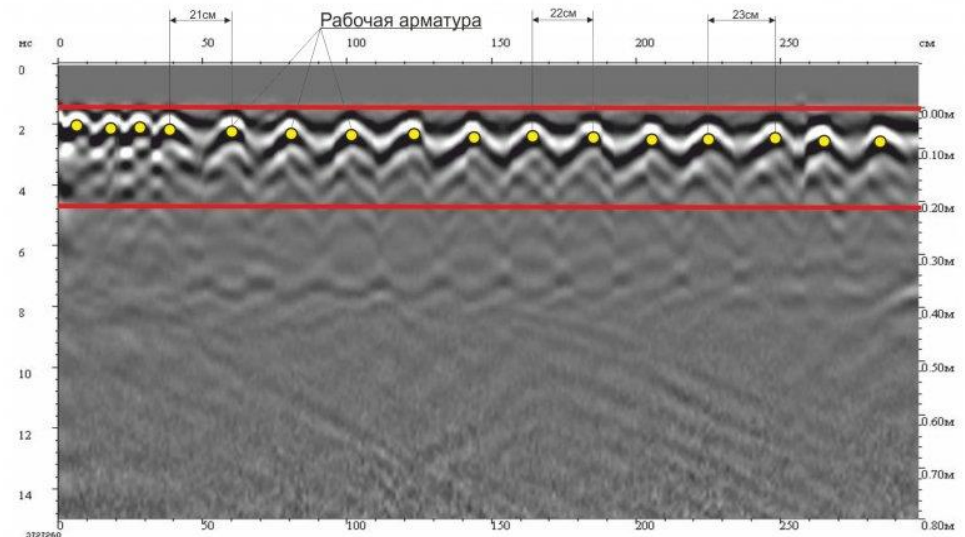


Оценку качества выполнения инъекционных работ методом **георадиолокационного** обследования проводят с помощью специального геофизического прибора – георадара.

Принцип действия **георадара** основан на методе георадиолокации: изучении электромагнитных волн, отраженных от различных подземных объектов зондируемой среды (рис.).

Современный георадар представляет собой сложный электронный прибор, который состоит из трёх основных частей: антенной части (источник импульсов), блока регистрации, выполняющего обработку поступающих с приёмной антенны сигналов, и блока управления всей системой.

Георадиолокационный вертикальный профиль монолитной ж/б диафрагмы.



ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

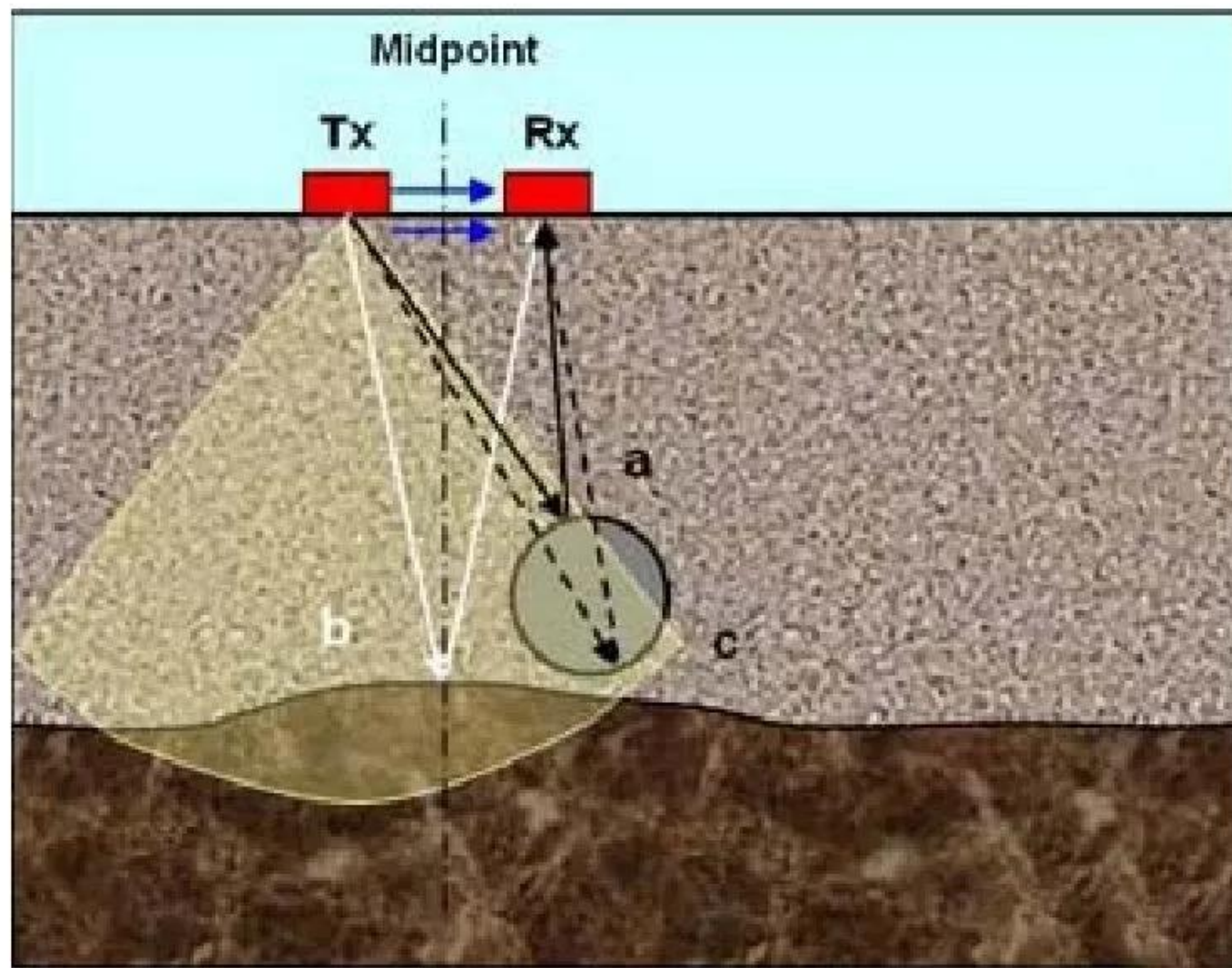


Схема волнового поля георадиолокации

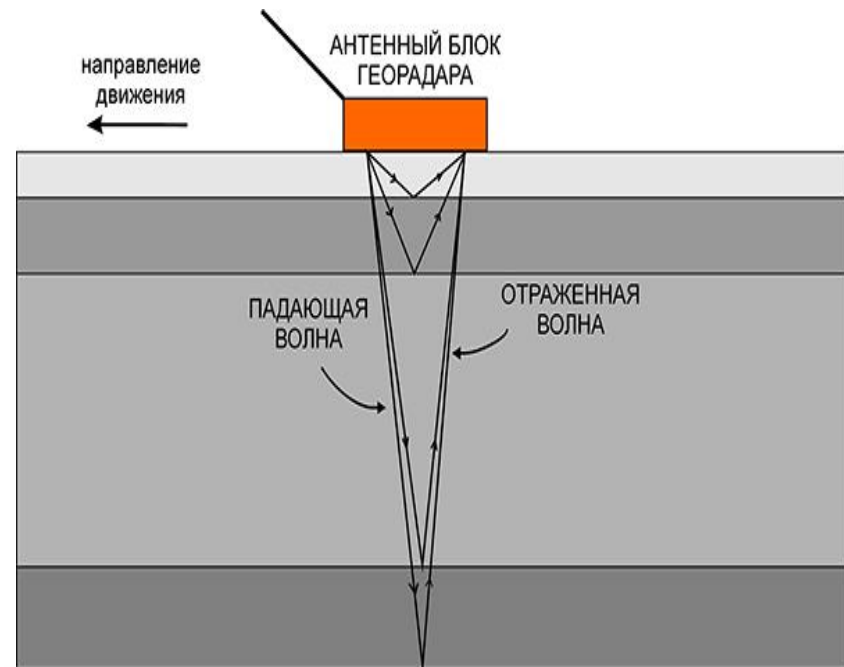
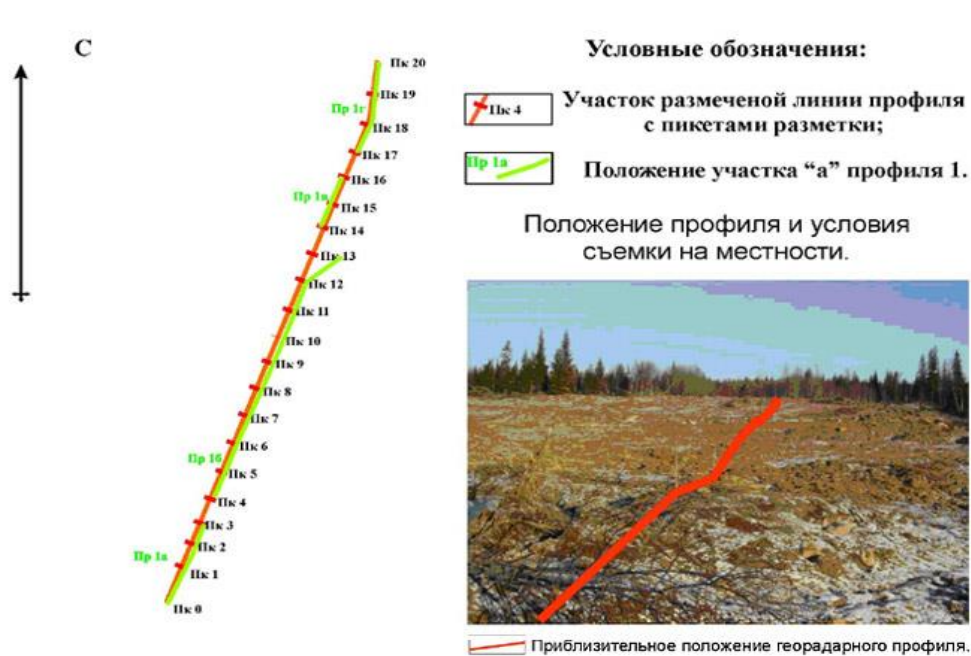
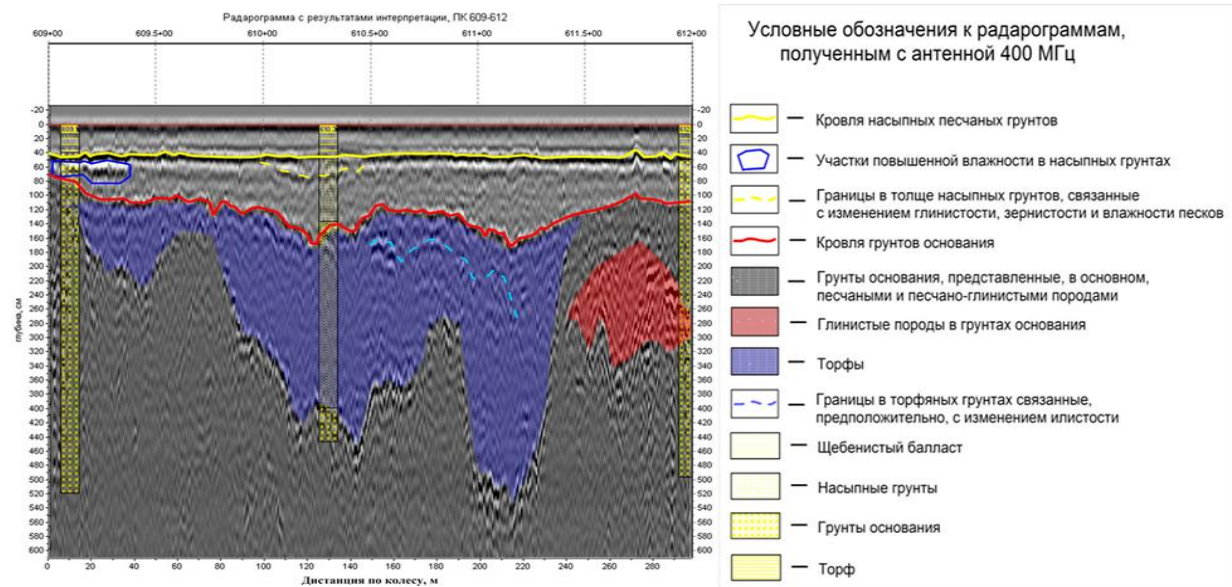
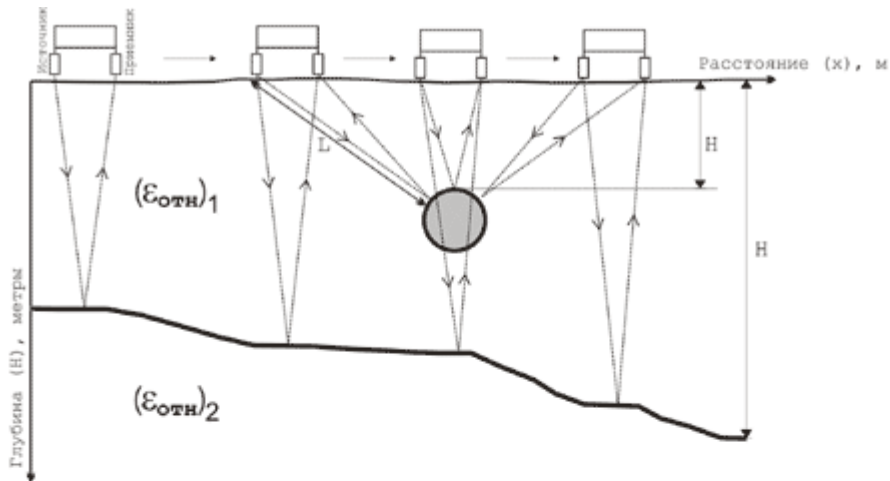


Рис. 2 План расположения георадиолокационного профиля 1, на месторождении "Илья-Вожская депрессия" пройденного с АБ 150 Масштаб 1:2000





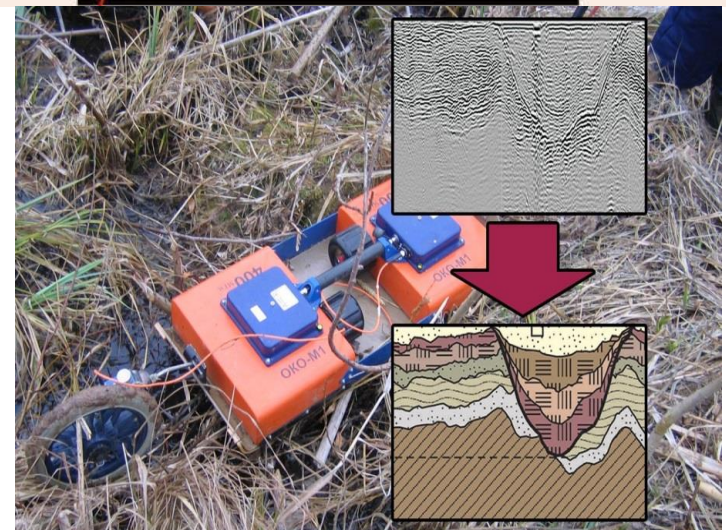
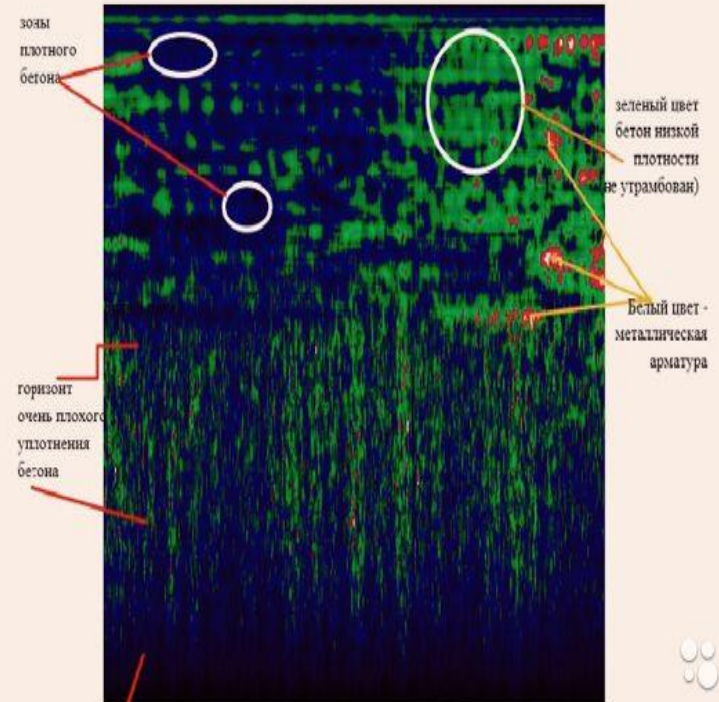
Принципиальная схема исследования грунтов с помощью георадара

ЭКСПЕРТИЗА БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГЕОРАДАРОМ

Пример плохого бетонирования. Вертикальный разрез

Восток (начало трассы)

Запад (конец трассы)

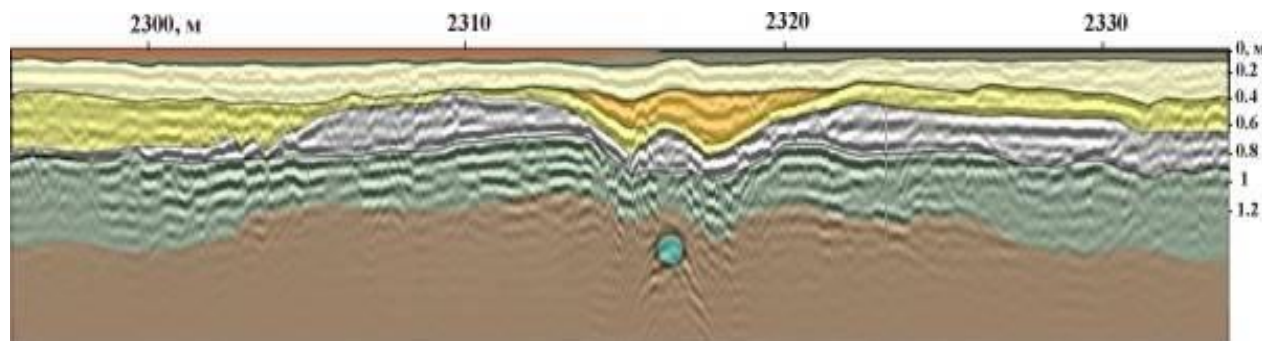


С помощью **георадиолокации** можно получить непрерывный разрез исследуемой среды и записать его в файл для дальнейшей обработки. Получаемые с помощью георадара данные показывают наличие инъецированного раствора в массиве, его пространственное распределение, местоположение разуплотненных областей грунта, в том числе и на контакте с фундаментом, а также они позволяют переходить к значениям плотности. При проведении скважинных георадарных наблюдений внутри ГЦК или вблизи неё фиксируется отражение от боковой поверхности колонны, что позволяет в ряде случаев определять не только длину колонны, но и оценивать ее форму.

Однако, следует отметить, что для георадиолокационных методов важным параметром грунтового массива, определяющим применимость и возможность данного метода, является диэлектрическая проницаемость ϵ . Она определяет скорость распространения электромагнитной волны в грунтовом массиве. Известно, что для практически значимого частотного диапазона метровых волн диэлектрическая проницаемость ϵ незначительно зависит от минерального состава грунтов, но очень сильно зависит от их влажности. Увлажнённые, проницаемые грунты имеют высокие значения диэлектрической проницаемости. В таких грунтах наблюдаются сильное поглощение и низкие значения скорости распространения электромагнитных волн.

Следовательно, **георадиолокационные методы исследования имеют ограничения при работе с обводненными, глинистыми и тонкодисперсными грунтами.** Еще одним ограничением метода являются большие глубины. Ограничение глубины георадарного сканирования связано с физическими особенностями метода. Чем ниже частота антенного блока, используемого при проведении работ, тем больших глубин можно достичь, однако при этом снижается разрешающая способность метода (точность измерений).

Поэтому георадарные измерения применяются в основном для исследования малоглубинных скважин. Данные методы хорошо зарекомендовали себя для контроля качества дорожно-строительных работ, а также для поиска и контроля качества заполнения пустот различного характера под существующими фундаментными плитами.



Сейсмоакустические методы

Для оценки деформационных и прочностных характеристик и сплошности протяженных грунтоцементных массивов, формируемых из секущихся колонн, например, ограждающих конструкций котлованов, применяются сейсмоакустические методы.

Наибольшее распространение получили метод межскважинного акустического просвечивания (МАП) и метод акустического каротажа (АК).

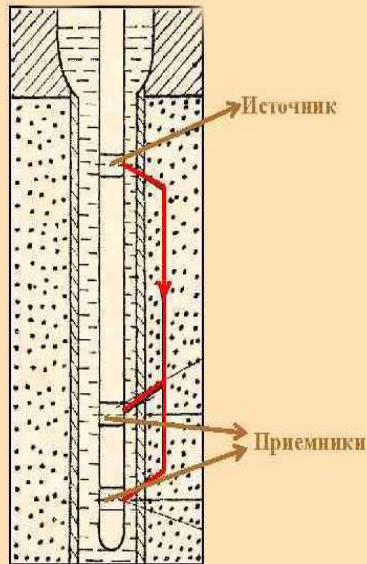
Суть межскважинного акустического просвечивания заключается в исследовании грунтов в межскважинном пространстве на основе параметров регистрируемого импульса упругой волны. С двух сторон от закрепляемого грунта устраиваются скважины не менее 46 мм, в одну из них помещают источник, возбуждающий упругую волну, в другую – приемник. В случае использования большого количества приемников в одной скважине результаты МАП позволяют получить томографическую картину, что повышает точность исследования.

Метод акустических каротажных измерений также основан на измерении упругой волны между точками возбуждения и приема. Но при каротаже источник и приемник опускаются в одну скважину с разносом по глубине. Анализ времени прихода упругой волны и осциллограммы зарегистрированных волн, позволяет получить те или иные характеристики массива.

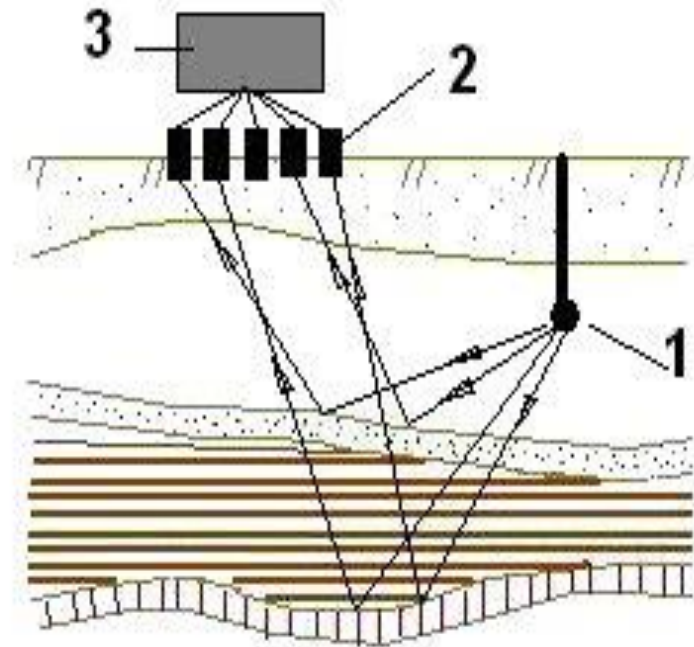
Дальность МАП по рыхлым грунтам (пескам, супесям) составляет не менее 20 м, по скальным грунтам — достигает 150 м. Глубина зондирования по скальным грунтам может достигать до 40 м.

Для основных типов ограждений и ГЦК составлены таблицы диагностических признаков состояний, позволяющих на основе сочетания диагностических параметров (скорости упругой волны, акустического спектра, коэффициента затухания и др.) определять состояние объекта (сплошность, неоднородность, наличие дефектов). **Основной диагностический параметр — скорость продольной упругой волны.**

При использовании данных методов неразрушающего контроля можно оценить качество проинъектированного грунта, в т.ч. рассчитать прочность материала ГЦК по градуировочной зависимости «прочность - скорость упругой волны», а также обнаружить зоны несплошности массива и впоследствии устранить их дополнительной цементацией.



Акустический каротаж трехэлементным зондом

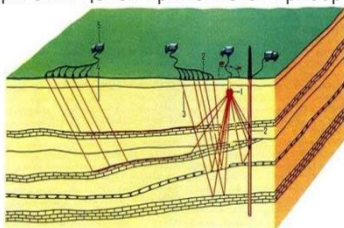


Методы исследования

Сейсмический метод дает возможность «проникнуть» на большие глубины.

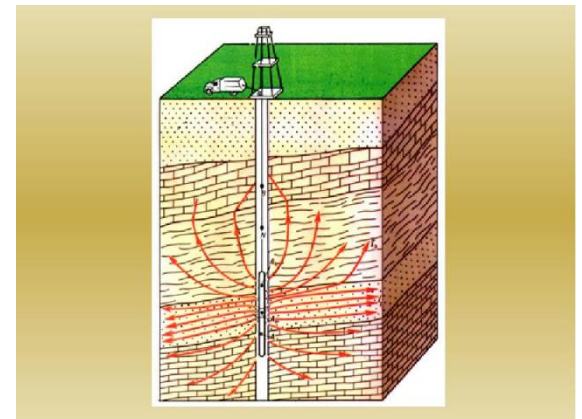
В основе этого метода лежит представление о том, что **сейсмические волны** в средах разной плотности распространяются с неодинаковой скоростью: чем плотнее среда, тем больше скорость. На границе двух сред часть волн отражается и подобно кругам на воде идет обратно, а другая - распространяется дальше.

Искусственно возбуждая волны на поверхности Земли путем взрывов, сейсмологи фиксируют время, за которое отраженные волны вернулись назад. Для этих целей применяется прибор-самопищик - сейсмограф.



Принципиальная схема сейсморазведки:

1 – источник упругих волн; 2 – сейсμοприемники;
3 – сейсмостанция



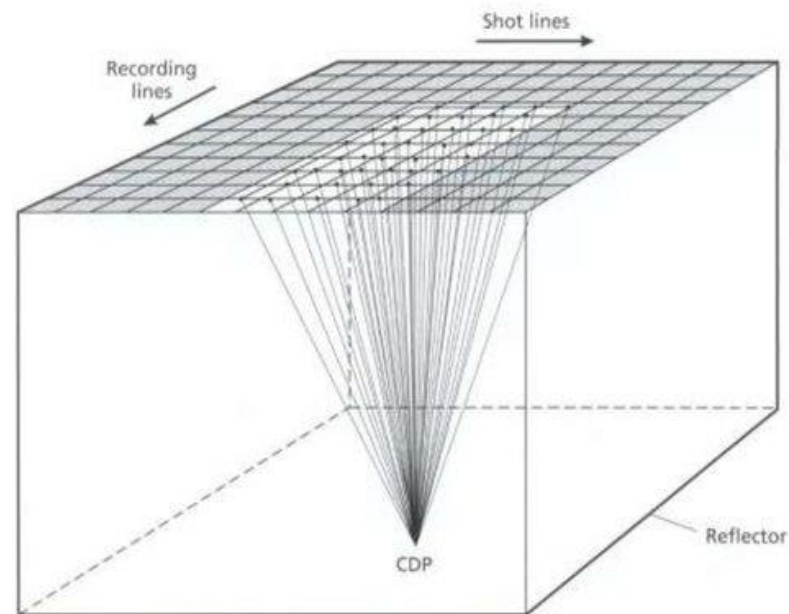
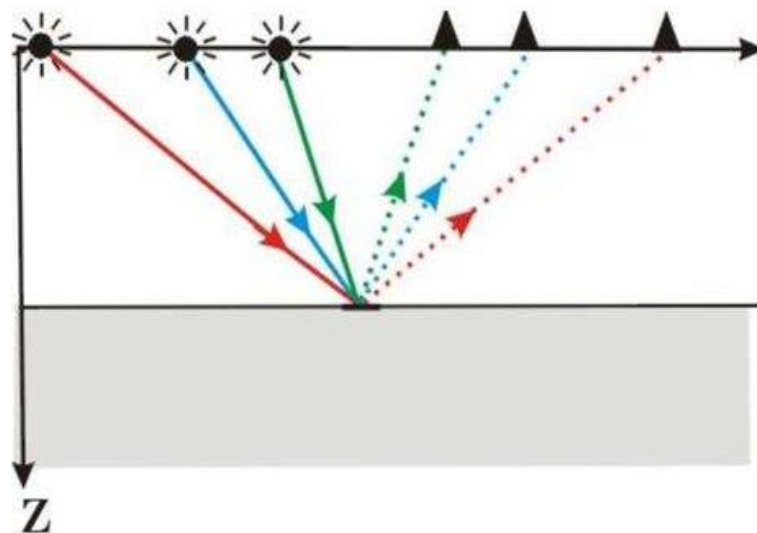
Методика проведения сейсморазведки МОВ

- Метод общей глубинной точки (МОВ-ОГТ, МОГТ).

Сущность МОГТ – профилирование по системе многократных перекрытий, при которой источник и приемник симметрично разносятся от центра установки, расположенной над изучаемым отражающим элементом («общей глубинной точкой»).

Если просуммировать полученные сейсмограммы, то отражения от одной и той же границы усиливаются.

По данным суммарной сейсмограммы можно определить время вступления ОВ и построить годограф ОГТ, обработка которого аналогична МОВ.



Гидравлические методы

В случаях, когда струйная цементация используется для создания конструкций, служащих в целях контроля движения воды (горизонтальные и вертикальные ПФЗ), необходимо проводить испытания водопроницаемости грунтоцементных массивов.

Существует ряд МКК, которые используются для оценки эффективности отсечки воды (водопроницаемости). Все эти методы имеют свои преимущества и недостатки, и нет единого метода, который лучше всего подходит для всех проектов. Выбор метода испытаний и месторасположение зависят от типа грунта, ограничений строительной площадки, требуемой точности результатов и стоимости выполнения испытаний. В данном блоке будут рассмотрены применяемые для контроля проницаемости методы с оценкой эффективности их использования.

