

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Факультет строительный

Кафедра технологии строительных материалов и метрологии

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА**

Методы контроля качества инъецирования при закреплении грунтов  
(тема ВКР)

Работу выполнил обучающийся

Тишкова Е.Г.  
Фамилия И.О.

СММ-2  
№ группы

Направление подготовки 27.04.01 Стандартизация и метрология

Направленность Метрология, стандартизация и сертификация  
в строительстве

Руководитель:

Канд. эконом. наук, доцент  
ученая степень, ученое звание

Серебрякова А.Б.  
Фамилия И.О.

\_\_\_\_\_   
подпись

Консультант:

\_\_\_\_\_   
ученая степень, ученое звание/  
должность, место работы

\_\_\_\_\_   
Фамилия И.О.

\_\_\_\_\_   
подпись

Нормоконтролер

Серебрякова А.Б.  
Фамилия И.О.

\_\_\_\_\_   
подпись

Допустить к защите

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Ю.В. Пухаренко

«\_\_\_» июнь 2019г.

Санкт-Петербург 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ .....	2
ВВЕДЕНИЕ .....	4
ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ .....	9
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ .....	10
1.1 История развития инъекционного закрепления грунтов .....	10
1.2 Анализ применимости существующих методов инъекции грунтов для различных целей строительства и реконструкции в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга. ....	16
1.3 Анализ положений нормативной технической документации в области контроля качества закрепления грунта. ....	24
1.4 Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования .....	26
ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА К РАЗЛИЧНЫМ ЦЕЛЯМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ.....	28
2.1 Сущность струйной технологии .....	28
2.2 Анализ применимости струйной цементации для различных целей строительства и реконструкции .....	31
2.2.1 Устройство противодиффузионных завес и экранов .....	32
2.2.2 Устройство ограждений котлованов .....	34
2.2.3 Закрепление (армирование) грунтов .....	36
2.2.4 Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений .....	40
2.2.5 Закрепление грунтов при проходке тоннелей.....	42
2.2.6 Выводы к проведенному анализу .....	43
2.3 Методы контроля качества закрепления грунтового массива с анализом применения данных методов для различных целей закрепления .....	44
2.3.1 Обзор рекомендуемых нормативно-технической литературой контрольных мероприятий для оценки качества закрепления .....	44
2.3.2 Обзор методов контроля качества закрепления грунтов с помощью технологии струйной цементации с анализом применимости каждого метода для конкретных целей инъекции .....	46

2.4. Выводы по Главе 2. ....	81
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТАННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО МАССИВА, СОЗДАННОГО МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ .....	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	140
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ .....	141
СПИСОК ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА .....	153

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы.** Реконструкция городской среды, увеличение объемов строительства в современных условиях плотной застройки, а также рост кадастровой стоимости земельных участков привели к необходимости использования подземного пространства (метро, паркинг, комплексы торговых и складских помещений). Это позволило улучшить состояние инфраструктуры городов как в новых кварталах, так и в районах со сложившейся городской застройкой. Перенос транспортной инфраструктуры в подземное пространство позволил освободить дефицитные районы города и улучшить качество жизни людей.

Вместе с тем, подземное строительство в Санкт-Петербурге осложнено неблагоприятными инженерно-геологическими условиями – значительная часть центра города сложена слабыми, водонасыщенными, тиксотропными грунтами, которые изменяют свои характеристики при различного рода воздействиях: от природных до техногенных [67]. В связи с этим при освоении подземного пространства возникает необходимость предварительного улучшения строительных свойств грунтов. Улучшение строительных свойств грунтов также требуется для усиления оснований исторических зданий, которые за время своей эксплуатации получили многочисленные трещины и повреждения в несущих конструкциях из-за неравномерности осадок. При строительстве метрополитена требуются мероприятия по снижению вредного влияния подземного строительства на земную поверхность.

Для решения этих задач используют различные методы закрепления грунтового массива, в т.ч. инъекционные, целью которых является изменение строительных свойств грунтов путем нагнетания в них различных жидких веществ. Широкое применение методов инъекции позволило расширить границы возможностей строительства и реконструкции в условиях плотной городской застройки, а также стало важным подспорьем для выведения исторических зданий и архитектурных памятников центральной части города из

аварийного состояния. Применение некоторых технологий инъекции позволяет сооружать в грунтовых массивах различные грунтоцементные элементы: фундаменты, искусственные основания, ограждения котлованов, геотехнические барьеры, вертикальные и горизонтальные противofильтрационные завесы, распорные диафрагмы и т.д.

Производство работ по сооружению таких конструкций выполняется в условиях исключительной скрытости работ. Помимо этого, обеспечение надлежащего качества закрепления осложняется естественной неоднородностью грунтовой среды. Поэтому важным этапом устройства грунтоцементного массива является проверка соответствия его физико-механических характеристик требованиям проекта, а также проверка однородности закрепления. Проверку качества закрепления можно осуществлять различными методами контроля, выбор которых определяется способом закрепления грунтов, целями инъекции и необходимой точностью исследования грунтов.

При этом мероприятия по контролю качества работ по закреплению грунтов должны быть заложены в проект. Однако, в нормативной литературе вопросы оценки качества укрепления грунта не решены в полном объеме.

На данный момент времени основными нормативно-техническими документами, содержащими положения по контролю качества закрепленных различными способами инъекций грунтов, являются:

- СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве;
- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*;
- СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87;
- СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений;

- СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные.

Правила проектирования;

- Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83).

В данных стандартах отсутствует регламентация методов контроля, а также номенклатура параметров, контролирование которых обеспечит необходимый уровень качества закрепления. Вопросы контроля качества инъекции грунтов в национальных нормативах освещены поверхностно, без какой-либо конкретики для различных способов инъекции.

В связи с этим на стадии проектирования заложить в проект мероприятия, обеспечивающие надлежащий контроль качества выполненных работ, достаточно затруднительно. Анализируя труды отечественных и зарубежных авторов об опыте применения различных методов, можно по аналогии со схожими инженерно-геологическими условиями и целями улучшения свойств грунтов назначить метод контроля качества закрепления. Но отсутствие данной регламентации в едином нормативном документе, способствующем в выборе метода оценки качества, значительно усложняет и замедляет работу проектных организаций [89].

Вместе с тем, нерационально выбранный метод контроля может привести к перерасходу инъецируемых материалов или, хуже того, к развитию в будущем неравномерности осадок, а, как следствие, появлению дефектов в здании. В связи с этим для строительных организаций, занимающихся проблемами сохранения зданий исторической застройки, развития транспортной и подземной инфраструктуры, отсутствие документа, регламентирующего контроль качества закрепления грунтов, является весьма актуальным вопросом.

**Цель исследования.** Актуальность рассматриваемой проблемы определила цель данного исследования – разработать методические положения и рекомендации по оценке качества выполненных работ по закреплению грунтового массива на основе отечественного и зарубежного опыта контроля качества, а также на основе положений действующей нормативно-технической

литературы. При этом в рекомендациях следует установить зависимости между целями закрепления, контролируемыми параметрами и методами контроля.

Для достижения указанной цели были **поставлены следующие задачи исследования:**

- произвести анализ существующих в отечественной и мировой геотехнической практике методов закрепления грунтов для выявления наиболее перспективных;
- произвести анализ применимости наиболее перспективных методов инъекции грунтов для различных целей строительства и реконструкции в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга;
- произвести анализ положений нормативной технической документации в области контроля качества закрепления грунта;
- определить цели использования способа инъекции;
- выявить необходимые контролируемые параметры закрепленного массива в зависимости от целей использования способа инъекции;
- собрать и систематизировать информацию о существующих методах контроля качества закрепления с установлением их зависимостей от контролируемых параметров и целей использования способа инъекции;
- разработать методические положения и рекомендации по оценке качества выполненных работ по закреплению грунтового массива.

Поскольку данная тема исследования слишком обширная, то в качестве **объекта исследования** выбран контроль качества массива грунта, закрепленного при помощи струйной технологии. Данная технология является одной из наиболее перспективных геотехнологий закрепления грунтов в Санкт-Петербурге.

**Предмет исследования** – параметры созданного при помощи струйной технологии грунтоцементного массива, контролирование которых обеспечит надлежащее качество закрепления, а также методы и средства контроля данных параметров, выбор которых зависит от целей применения струйной технологии.

**Теоретическая значимость работы** заключается в установлении соответствия между методами оценки качества и целями применения струйной технологии и в определении параметров грунтоцементного массива, контролирование которых в зависимости от различных целей инъекции позволит обеспечить необходимое качество закрепления.

**Практическая значимость** исследования заключается в реализации предложенных положений в реальной деятельности по контролю качества грунтового массива, закрепленного с помощью струйной технологии. Это позволит на стадии проектирования назначить необходимые контролируемые параметры будущего грунтоцементного массива и подобрать эффективные методы оценки качества и однородности его закрепления.

**Апробация работы.** Постановка проблемы исследования докладывалась на 72-ой Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых университета СПбГАСУ («Актуальные проблемы современного строительства», Санкт-Петербург, 2019 г.).

**Публикации.** По теме выпускной квалификационной работе автором опубликовано 2 печатных работы, одна из которых помещена в национальную библиографическую базу данных РИНЦ. Работы опубликованы в следующих сборниках:

- Серия «Современное строительство»: сборник статей магистрантов и аспирантов. Вып. 2., ТОМ 2; СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2019 г.).
- Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений: межвузовский тематический сборник трудов; СПбГАСУ (Санкт-Петербург, 2018 г.).



## ТЕРМИНЫ, ОПРЕДЕЛЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

**Грунтоцемент** – грунт, закрепленный путем его перемешивания с цементным раствором методом струйной цементации или глубинного перемешивания и имеющий механические характеристики, заданные проектом [11];

**Грунтоцементный массив, ГЦМ** – объем грунта, закрепленный цементным вяжущим по методу струйной цементации, с приданием ему повышенной прочности и пониженной водопроницаемости, характеризуемый геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами, назначенными при проектировании и подтвержденными опытными работами [11];

**Инъекционное закрепление грунтов** – это целенаправленное изменение строительных свойств грунтов нагнетанием под давлением различных жидких веществ (инъекционных растворов);

**Конструкция грунтоцементная** – конструкция, состоящая из грунтоцементных элементов, устроенная в массиве грунта по методу струйной цементации или глубинного перемешивания, выполняющая определенные несущие и (или) ограждающие функции [11];

**Струйная цементация (jet grouting)** – закрепление грунта технологиями, позволяющими разрушать грунт струей цементного раствора (jet1), или струей цементного раствора, усиленной воздушным потоком (jet2), или струей воды с последующей подачей цементного раствора (jet3) для смешения его с грунтом и создания элемента из закрепленного грунта, обладающего заданными прочностными свойствами [5];

**ГЦК** – грунтоцементная колонна;

**ГЦМ** – грунтоцементный массив;

**МКК** – методы контроля качества;

**НДС** – напряженно-деформированное состояние;

**ПФЗ** – противодиффузионная завеса.

# ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

## 1.1 История развития инъекционного закрепления грунтов

Под закреплением грунтов естественного залегания понимают искусственное улучшение их свойств для различных целей строительства и реконструкции. Существует множество различных способов закрепления грунтов, выбор которых определяется типом грунта и целями закрепления.

Инъекционное закрепление грунтов – это целенаправленное изменение строительных свойств грунтов нагнетанием под давлением различных жидких веществ (инъекционных растворов).

Искусственное улучшение свойств грунтов начали применять еще в начале XIX века во Франции. Отправной точкой инъекционного закрепления грунтов следует считать разработки французского инженера Шарля Бериньи (Berigny), который в 1802 году успешно инъецировал цементные растворы [56].

Первые инъекции представляли собой закачивание в грунт растворов с использованием глины, пуццолана и гидравлической извести, а с 1838 года и портландцемента.

В 1864 г. впервые при проходке шахты была применена **цементация**, получившая в дальнейшем широкое распространение в строительстве благодаря совершенствованию технологического процесса и появлению специального насосного оборудования для нагнетания цементных растворов [79].

Цементация грунтов как способ представляет собой закачивание в грунт растворов на основе цементных вяжущих. Поначалу цементация осуществлялась в режиме пропитки, т.е. инъекция производилась под давлением и расходе, обеспечивающими только пропитку пор грунта, без нарушения структуры и сплошности грунтового массива.

Большой вклад в развитие способа цементации грунтов внесли А.М. Адамович, Э.Э. Аллас, В.М. Безрук, С.Д. Воронкевич, А. Камбефор, Д.В.

Колтунов, А.Н. Мещеряков, Б.А. Ржаницын, Е.Н. Самарин, В.Е. Соколович, Н.Г. Трупаков и др. [19, 22, 23, 29, 40, 56, 79, 81, 86, 91, 92].

В 1886 году немецкий инженер И. Езерский получил патент на инъектирование концентрированного силиката натрия (жидкое стекло) в скважину. С этого момента в Германии начинается развитие химического закрепления грунтов (силикатизация, смолизация, битумизация, электрохимическое закрепление). Но ввиду недоступности зарубежного опыта в СССР исследования по разработке способов силикатизации грунтов начались лишь в 1929 году. И в 1931 году Б.А. Ржаницыным разработан первый способ силикатизации водонасыщенных песков [79]. Эта дата считается началом развития химического закрепления грунтов в СССР.

Способ *силикатизации* грунтов осуществляется путем пропитки пор грунта растворами на основе силиката натрия и отвердителей в виде слабых растворов кислот или щелочей. Пропитка пор грунта осуществляется через забитый в грунт иньектор (перфорированную трубку). Изначально Б.А. Ржаницыным был разработан способ *двухрастворной силикатизации*, сущность которого состояла в нагнетании поочередно раствора силиката натрия и раствора хлористого кальция [78].

В 1939 году В.Е. Соколовичем был предложен *однорастворный способ* силикатизации [86], сущность которого состоит в нагнетании в грунт одного раствора силиката натрия с небольшой плотностью. В результате химической реакции между раствором силиката натрия и солями грунта выделяется гидрогель кремниевой кислоты и грунт прочно закрепляется. Способ однорастворной силикатизации впервые успешно применили по рекомендации профессора Н.М. Герсеванова для закрепления лессовых просадочных грунтов на алюминиевом заводе в г. Запорожье.

В 1944 году В.В. Аскалоновым был предложен способ *газовой силикатизации* лессовых грунтов. За рубежом данный метод был запатентован К.Х. Андерсоном в 1946 году. Суть способа состоит в том, что в закрепляемые грунты также через систему иньекторов подается под небольшим давлением

углекислый газ, а затем раствор силиката натрия и углекислого газа. Справедливости ради следует отметить, что первые попытки применения углекислого газа были предприняты еще И. Езерским в 1886 году [82].

В СССР первые опыты по закреплению песков газовой силикатизацией были проведены Л.А. Евдокимовой, М.Н. Ибрагимовым и В.Е. Соколовичем в 1967-1969 годах [88].

Теоретические основы в развитие способа силикатизации заложили Ю.М. Абелев, М.Ю. Абелев, Т.Т. Абрамова, В.В. Аскалонов, С.Д. Воронкевич, Л.А. Евдокимова, В.А. Королёв, Н.А. Ларионова, Б.А. Ржаницын, Е.Н. Самарин, В.Е. Соколович и др. [14, 15, 16, 17, 24, 25, 26, 39, 41, 57, 59, 78, 83, 86].

В 1930-1931 годах также был разработан способ *кольматации* (глинизации). Разработал данный способ отечественный инженер А.И. Гертнер. А за рубежом способ глинизации был разработан лишь в 1938 году инженером А. Майером [82]. Суть способа заключается в нагнетании в трещиноватые скальные грунты глинистого раствора для снижения их водопроницаемости.

В 60-х годах в связи с бурным развитием химии полимеров появляется новый способ химического закрепления грунтов – способ *смолизации*. Суть способа смолизации заключается во введении в закрепляемый грунт синтетических смол в смеси с отвердителями в виде соляной или щавелевой кислоты. После взаимодействия с отвердителями смола полимеризуется и грунт прочно закрепляется, приобретает водонепроницаемость. Кроме того, данный способ позволяет закреплять карбонатные грунты.

В СССР было проведено много исследований по использованию различных смол, в том числе фурановых, акриловых, резорцинформальдегидных, хромлигниновых, фенолформальдегидных и мочевиноформальдегидных [79]. Способ смолизации активно применялся при строительстве в Москве, а также в сложных инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга [79, 50].

Фенолформальдегидные и резорцинформальдегидные смолы начали применяться еще с конца 1940-х годов в Европе и США. Также в США для

закрепления грунтов активно использовали акриловую смолу и её производные. Однако, в 1970-х годах появились проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды. Исследования показали высокую токсичность смол. В связи с этим многие коммерчески продукты, получившие на тот момент мировое распространение, были запрещены. Так в 1974 году в Японии была запрещена акриламидная группа рецептур, а затем и все химическое закрепление, за исключением силикатных растворов, которые не содержат токсичных добавок. В 1987 году с рынка США был полностью удален инъекционный раствор АМ-9 (раствор, состоящий из акриламида и метилendiакриламида), который до этого времени активно применялся для закрепления грунтов.

Дальнейшие исследования были направлены на улучшение и модифицирование уже известных реакционных систем, а также на создание принципиально новых инъекционных растворов [82].

Большой вклад в развитие способа смолизации внесли А.Н. Адамович, В.В. Аскалонов, В.К. Баушев, Н.А. Блескина, С.Д. Воронкевич, Л.А. Евдокимова, Л.В. Гончарова, В.В. Давыдов, М.Н. Ибрагимов, В.И. Митраков, Е.Н. Огородникова, Б.А. Ржаницын, Л.Н. Ястребова и др. [20, 27, 28, 42, 45, 54, 70, 80, 98].

Описанные ранее способы основаны на инъекции в грунт химических растворов, поэтому они применимы только в грунтах с коэффициентом фильтрации более 0,2 м/сут. Указанный предел ограничивает применение данных способов для очень большой группы грунтов: например, для суглинистых или илистых грунтов при проходке в них траншей. Для решения этих задач был применен *электрохимический способ* закрепления.

Суть электрохимического способа закрепления грунтов заключается в пропускании через систему электродов постоянного электрического тока при одновременной подаче в грунт инъекционных растворов. Воздействие постоянного электрического тока способствует перемещению грунтовой воды по порам от анода к катоду. Это явление было открыто еще в 1807 году Ф.Ф. Рейсом и получило название электроосмоса. Совместное применение электрического и химического способов закрепления грунтов позволило

эффективно инъецировать химические растворы в малопроницаемые водонасыщенные грунты.

Вклад в развитие способа электрохимического закрепления и электроупрочнения грунтов внесли А.А. Акимов, Г.Н. Жинкин, В.Ф. Калганов, Б.А. Ржаницын и др. [21, 49, 50, 51, 78, 79].

В середине 50-х годов XX века французской фирмой «Soletanche» впервые было предложено *закрепление грунтов в режиме гидроразрыва* [52] – это укрепление грунта путем образования в нём локально направленных гидроразрывов (вертикальных, горизонтальных, наклонных), заполняемых твердеющим раствором на основе цементных вяжущих. Суть технологии заключается в направленной инъекции цементного раствора в заданные горизонты при давлении, превышающем прочность грунта. Цементный раствор нагнетается через погружаемые в грунт инъекторы или скважины, оборудованные манжетными колоннами. При цементации в режиме гидроразрыва в грунтовом массиве образуются искусственные трещины разрыва, которые заполняются инъекционным составом [37].

На основе принципов инъекции в режиме гидроразрыва в научно-исследовательском институте оснований и подземных сооружений (НИИОСП) разработан способ стабилизации осадок сооружений, находящихся в зоне влияния проводимых рядом геотехнических работ (проходка тоннелей, устройство котлованов и др.). Данный метод авторы назвали методом компенсационного нагнетания. Его применяют между объектами геотехнических работ и существующими рядом зданиями и сооружениями. В результате проводимой инъекции между объектами создается геотехнический барьер в виде плоскостей из гидроразрывов, заполненных твердеющим раствором [36].

Цементацию грунтов в режиме гидроразрыва часто называют методом высоконапорной инъекции. Вклад в развитие данной технологии внесли М. Аббуд, В.Н. Бронин, Е.С. Вознесенская, В.А. Ермолаев, А.И. Осокин, С.В. Татаринев, И.И. Сахаров и др. [33, 36, 37].

В 1975 году в лаборатории закрепления грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова начались разработки *буромесительного способа* закрепления слабых глинистых и илистых грунтов. В Скандинавских странах, США и Японии разработки данной технологии начались еще в 1950-х годах. В США технология глубинного перемешивания грунтов была представлена в 1954 году компанией «Intrusion Preprakt» и получила название *Deep Mixing Soil* [69].

Суть буромесительной технологии заключается в одновременном вращательном бурении, нарушающем естественное сложение грунта, и нагнетании инъекционного раствора. Это позволяет путем механического перемешивания грунта с вяжущими (цемент, известь и др.) создавать в песках, пылевато-глинистых грунтах, илах и лессах конструкции из грунтоцемента прочностью до 10 МПа в виде цилиндрических массивов (свай) длиной до 10 м, а в илах – до 30 м.

В США, Японии и России буромесительная технология развивается преимущественно в направлении закрепления грунтов цементными растворами, а в Скандинавских странах в качестве вяжущего чаще всего используют известь или цемент в сухом виде [69].

Вклад в развитие буромесительного способа закрепления грунтов внесли А. Белл, О.И. Богданов, А.И. Корпач, М.Н. Ибрагимов, Я.Я. Мотузов, В.В. Семкин, В.Е. Соколович, М. Топольницки (М. Topolnicki) и др. [99, 100, 30, 53, 58, 72, 73, 87, 102].

В 1979 году в СССР впервые была использована технология *струйной цементации* (*Jet-Grouting*) для устройства временной ПФЗ в котловане низовой плотины Загорской ГАЭС. Основой для создания данного метода послужили технологии разрушения горных пород с помощью водной струи, использовавшиеся еще с 30-х годов [69].

В Японии и ряде Европейских стран струйная цементация получила широкое применение еще в начале 70-х годов. Что касается СССР, то исследования данной технологии начались приблизительно в 1980 гг. в лаборатории закрепления грунтов НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. Так широкое применение струйной цементации в СССР пришлось на середину 90-х годов.

Суть струйного способа заключается в одновременном разрушении грунта струей высокого давления и перемешивании его со стабилизирующим раствором на основе цементных вяжущих. Первый этап процесса закрепления грунта по струйной технологии представляет бурение скважин буровым инструментом с соплами. Затем производится подъем буровых штанг с одновременной подачей цементного раствора через сопла под давлением 40-60 МПа и перемешиванием грунта. В результате вокруг скважины образуется грунтоцементная колонна, обладающая высокой прочностью.

С помощью струйной цементации решается широкий спектр задач во многих странах: усиление фундаментов зданий, закрепление слабых грунтов при проходке тоннелей, укрепление откосов, устройство ПФЗ и ограждений котлованов и т.д.

Большой вклад в развитие способа струйной цементации грунтов внесли А. Белл, И.И. Брод, К. Быков, А.В. Грабарь, Н.В. Дмитриев, В.Н. Корольков, А.Г. Малинин, Л.И. Малышева, М.И. Смородинов, М.Ф. Хасин, А.В. Черняков, О.П. Юркевич и др. [99, 100, 32, 34, 44, 46, 62, 84, 85, 93, 94, 95, 96, 97].

Описанные выше способы инъекции грунтов нашли своё применение во многих сферах строительства: в гражданском и промышленном строительстве, в тоннеле- и мостостроении, в горном деле, а также в дорожной и гидротехнической сферах. Однако возможность использования конкретного способа ограничена его областью применения. Рассмотрим опыт использования этих способов инъекции для различных целей строительства и реконструкции в городе Санкт-Петербурге.

## **1.2 Анализ применимости существующих методов инъекции грунтов для различных целей строительства и реконструкции в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга.**

Строительство зданий и сооружений в Санкт-Петербурге весьма затруднено по причине неблагоприятных инженерно-геологических условий. Так при освоении подземного пространства в геологических условиях Санкт-



Петербурга зачастую возникает необходимость повышения несущей способности «слабого» слоя грунта под вновь возводимыми зданиями и сооружениями, стабилизации грунтов под существующими зданиями, снижения влияния динамического воздействия при строительстве в стесненных условиях, устранения водопритоков в котлован, укрепления склонов, откосов и дорожных насыпей, а также крепления тоннельных выработок при строительстве метрополитена. Для решения этих задач используют описанные ранее способы закрепления грунтов, практический опыт применения которых доказал свою эффективность.

**Силикатизацию** применяют для увеличения несущей способности грунта под фундаментами существующих зданий и сооружений, при проходке выработок в слабых грунтах, для придания грунту водонепроницаемости, для защиты котлованов от притока грунтовых вод, а также для устройства ПФЗ. Однорастворную силикатизацию применяют так же для прекращения неравномерных осадок фундаментов зданий и сооружений при строительстве на лессовых грунтах и т. д.

Закрепление грунтов посредством силикатизации может быть применено для увеличения несущей способности песков, для предотвращения просадок лёссов и для придания водонепроницаемости пескам, супесям и лёссам.

Силикатизация применяется в песках с коэффициентом фильтрации 0,5 до 80 м/сут, а в просадочных грунтах при коэффициенте фильтрации не менее 0,2 м/сут и коэффициенте водонасыщения  $S_r \leq 0,7$ . Грунты, пропитанные смолами или нефтепродуктами, силикатизации не подлежат.

Обычно двухрастворную силикатизацию применяют для закрепления крупных песков.

Однорастворной силикатизацией закрепляют мелкие и пылеватые пески с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 20 м/сут. Данный способ применяют для грунтов при содержании солей кальция и магния более 0,6 мг-экв, при меньшем содержании этих солей в грунте необходимо использовать двухрастворный

состав. Так же однорастворная силикатизация применяется при доуплотнении трещиноватых скальных грунтов.

Способом газовой силикатизации закрепляются средние и крупные пески с большой влажностью. Предварительная обработка грунтов углекислым газом активизирует их, обеспечивая проникание в них силикатного раствора.

Опыт по применению силикатизации в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга описали в своих трудах Г.А. Жинкин и В.Ф. Калганов [50]. В связи с реконструкцией и надстройкой 3-х этажного жилого здания увеличивалось давление на грунты основания. Расчетное давление на грунты на уровне подошвы фундаментов составляло 0,15 МПа, а в связи с надстройкой трех этажей давление увеличивалось до 0,28 МПа. Площадка строительства была сложена слоями послеледниковых водонасыщенных пылеватых песков с растительными остатками, подстилаемых пылеватыми супесями. Вариант уширения подошвы фундаментов был отвергнут из-за большой трудоемкости. Обычная силикатизация вследствие малой проницаемости грунта здесь была не применима. И тогда было принято решение использовать метод двухрастворной электросиликатизации. В результате закрепления прочность грунтов повысилась до 0,35 МПа, а влажность снизилась на 10—12%. Спустя год после усиления и последующей надстройки, внешний осмотр подтвердил хорошее состояние здания и отсутствие каких-либо видимых деформаций [50].

Также способ силикатизации грунтов был применен для закрепления грунтов оснований зданий при реконструкции комплекса «Талион-Клуб 3» (ул. Б. Морская, д. 14) [105].

**Смолизацию** грунтов применяют редко вследствие высокой стоимости синтетических смол. В основном её применяют для получения высоких значений прочности и водонепроницаемости песчаных грунтов, для проходок подземных выработок и устройства противofильтрационных завес и экранов.

Способ смолизации применяют для закрепления пылеватых и мелких песков, супесей и суглинков с коэффициентом фильтрации от 0,3 м/сут и выше.

В результате лабораторных и полевых испытаний грунтов, закрепленных способом смолизации, выявили возможность закрепления мелких песков с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 5 м/сут с повышением прочности до 4-5 МПа.

Способ смолизации решил проблему закрепления карбонатных песков за счет сокращения времени гелеобразования. При применении в качестве отвердителя карбамидной смолы щавелевой кислоты время гелеобразования составило от 10 до 60 мин.

Опыт по применению смолизации в инженерно-геологических условия Санкт-Петербурга описал в своих трудах Б.А. Ржаницын. Смолизацию применяли для закрепления слабопроницаемых грунтов при увеличении площади сцены театра оперы и балета им. С.М. Кирова (Мариинского театра). Также способ смолизации применялся при закреплении основания под фундаментами производственного корпуса Молококомбината. При реорганизации одного из корпусов комбината, нагрузка на основание увеличилась в 1,5 раза по сравнению с допускаемой. Закрепление основания было решено выполнять способом смолизации, так как это позволяло не останавливать работу цеха. В результате проведенного закрепления была получена высокая прочность грунта [79].

***Цементацию в режиме пропитки*** применяют для стабилизации грунта во многих инженерных проектах, где несвязные грунты требуют увеличения прочности или уменьшения проницаемости. Данный способ является наиболее щадящим для производства работ вблизи существующей застройки. Также цементация в режиме пропитки используется при устройстве в песчаных грунтах несущих и ограждающих конструкций из грунтоцемента заданных габаритов, форм и требуемой прочности.

Цементацию в режиме пропитки в зависимости от инъекционной смеси и свойств грунта можно применять в песках от крупных до мелких и супесях. Также применение данного способа ограничивается коэффициентом фильтрации песчаного грунта, который должен быть не менее 1 м/сут.

Цементные растворы из цементов общестроительного назначения в силу грубодисперсного состава применяются для укрепления путем пропитки трещиноватых пород, крупнообломочных и гравелистых песков с коэффициентом фильтрации свыше 80 м/сут.

Инъекция в режиме пропитки в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга применяется чаще для закрепления грунтов в контактной зоне «фундамент-основание». Метод цементации применялся компанией ООО «Спецстрой» для усиления оснований фундаментов на ряде объектов: например, при усилении фундаментов Госненского историко-краеведческого музея (Лен. обл., г. Тосно, пр. Ленина, д.47а), для повышения несущей способности основания здания Дома Культуры в г. Гатчине (Лен. обл., г. Гатчина, пр. 25 Октября, д.1) и др. [105].

Еще один эффективный способ закрепления грунтов, применяемый в Санкт-Петербурге для усиления оснований зданий и сооружений, это **цементация в режиме гидроразрыва** (или технология компенсационного закрепления). Данную технологию применяют в целях уплотнения грунта, оперативного компенсационного изменения его НДС, а также для выправления крена зданий и сооружений на плитных фундаментах.

Инъекция цементного раствора в режиме гидроразрыва имеет широкий спектр применения. Данный способ можно применять в песчаных, супесчаных, суглинистых, глинистых, насыпных грунтах и лессах.

Фирма ЗАО «Геострой» успешно использовала в своей работе цементацию в режиме гидроразрыва, в основе которой - использование манжетной технологии. Суть манжетной технологии заключается в погружении колонны манжетных труб в пробуренную скважину и омоноличивании этой колонны обойменным раствором. После затвердения обойменного раствора на нижний интервал колонны опускают двойной пакер (обтюратор) и нагнетают проектное количество инъекционного раствора. Затем пакер переставляют на следующий интервал и повторяют операцию.

При такой технологии слабопроницаемые грунты в результате возникающих гидроразрывов как бы подвергаются армированию прожилками цементного раствора, заполняющего возникающие в грунте при избыточном давлении трещины гидроразрыва, сам же грунт при этом уплотняется и приобретает более высокую несущую способность [103].

Впервые технология компенсационного закрепления была применена при работах по обеспечению устойчивости зданий, расположенных по Малой Морской улице, в период проведения проходческих работ при строительстве станции метро «Адмиралтейская». Также положительный опыт применения данной технологии был получен при закреплении пылеватых песков в процессе устройства основания под трамвайные пути и проезжей частью на Литейном пр. и Заневской пл., при усилении оснований зданий вблизи площадки строительства 2-й сцены Мариинского театра и на других объектах [68, 48, 103].

**Цементация бурсмесительным способом** используется для закрепления слабых грунтов на большой площади, т.к. данный способ является достаточно дешевым по сравнению с другими способами укрепления грунтов. Поэтому бурсмесительная цементация хорошо подходит для закрепления слабых грунтов в основании дорог. Технологию бурсмесительной цементации применяют для закрепления оснований на суше и под водой, для создания подпорных стенок и противофильтрационных завес. Также способ широко используется для устройства илцементных свай в качестве фундаментов вновь строящихся зданий и сооружений.

Технология бурсмесительной цементации применима для грунтов любого типа: песков, супесей, глинистых грунтов, илов и лёссов. Закрепление грунта может осуществляться двумя методами: методом влажного перемешивания грунта и методом сухого перемешивания. При методе влажного перемешивания вяжущее (цемент) в грунт подается при помощи воды. Суть сухого метода заключается в подаче вяжущего в грунт с достаточным содержанием влаги. Сухое вяжущее (смесь цемента и негашеной извести) подается при помощи сжатого воздуха и вступает в химическую реакцию с

грунтом, что позволяет уменьшить содержание воды в грунте. Применение метода влажного перемешивания грунта наиболее эффективно и целесообразно в песчаных и супесчаных грунтах, при этом наличие грунтовых вод не является противопоказанием к применению метода. Метод сухого перемешивания наиболее эффективен в связных грунтах.

За рубежом технология перемешивания грунтов используется довольно успешно для закрепления грунтов в основании дамб, зданий и сооружений, устройства ПФЗ и др. Однако, в России данная технология не получила широкого распространения из-за отсутствия материально-технической базы.

В Санкт-Петербурге буросмесительный способ укрепления грунтов был использован всего на нескольких объектах. Так данный способ был применен в 2009-2010 годах при устройстве парковки около торгово-развлекательного комплекса «Лондон-Молл» (Дальневосточный пр.), на территории Большого порта Санкт-Петербург для закрепления основания одного из причалов «КТСП», а также буросмесительный способ был применен при строительстве второй очереди завода «Nissan» для закрепления днища котлована после того, как в него произошел выпор напорных вод. В последствии была предпринята попытка использования этого способа на одном из объектов в 2012 году, но проект так и не был реализован.

Еще одним эффективным способом закрепления слабых грунтов на большой площади является способ *струйной цементации*. Закрепление грунтов струйной цементацией эффективно применяют в целях повышения прочностных и деформационных характеристик грунта, для повышения устойчивости склонов и откосов, а также создания несущих ограждающих конструкций, ПФЗ и заполнения карстовых полостей в трещиноватых скальных породах. Данный способ широко используется в условиях тесной городской застройки.

Технология струйной цементации применима для широкого спектра грунтов с различной водопроницаемостью. Данный способ может применяться в песчаных, супесчаных, суглинистых и глинистых грунтах. Возможно использование способа в любых «слабых» грунтах – от текучих и

мягкопластичных глин до рыхлых песков и гравия. Такой способ широко применяют при строительстве на нарушенных грунтах с включениями, карстовыми пустотами и т.д. Применение струйного способа ограничено при наличии в основании крупных включений и значительного напора грунтовых вод.

Технология струйной цементации широко применяется в Санкт-Петербурге для различных целей закрепления грунтов. Метод *Jet Grouting* эффективно применили при укреплении грунтов в основании дорожных одежд при строительстве кольцевой автомобильной дороги (КАД) вокруг Санкт-Петербурга, в основании дорожных одежд под трамвайными путями при реконструкции Сенной площади, для устройства горизонтальной противofильтрационной завесы при реконструкции комплекса зданий под офисно-гостиничный комплекс на Почтамтской улице, для создания распорной диафрагмы под железобетонной плитой при устройстве подземного пространства на объекте «Торгово-офисный комплекс «Стокманн» и др. [47, 31, 108]. Наиболее ярким примером применения струйной цементации в освоении подземного пространства является строительство подземной части нового здания (второй сцены) Государственного академического Мариинского театра. Научно-производственное объединение «Космос» выполнило закрепление грунта методом *Jet Grouting* на площади 7 000 кв. м [106].

Из всего описанного выше следует, что инъекционные способы закрепления грунта активно применяются в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга для различных целей строительства и реконструкции.

К настоящему времени существует достаточное количество нормативной литературы, регламентирующей применимость способов закрепления оснований [5, 6, 7, 13]. С её помощью можно подобрать необходимый способ усиления основания в зависимости от типа грунта и целей закрепления. Данные нормативные документы помогают подобрать рациональный способ закрепления основания, а также назначить предварительные геометрические и прочностные характеристики закрепленного массива грунта.

Тем не менее недостаточно просто подобрать подходящий способ улучшения физико-химических свойств грунта, необходимо убедиться в надлежащем качестве выполненной работы.

### **1.3 Анализ положений нормативной технической документации в области контроля качества закрепления грунта.**

Контроль качества закрепления грунта обеспечивается контролем качества исходных инъекционных материалов, операционным контролем во время производства работ и после завершения всех работ контролем качества непосредственно закрепленного массива грунта.

На последнем этапе контроля возникают трудности планирования метода контроля, так как в вышеупомянутой нормативной литературе вопросы оценки качества закрепленного массива грунта не решены в полном объеме. В данных стандартах отсутствует регламентация методов контроля качества, а также номенклатура параметров, контролирование которых обеспечит необходимый уровень качества закрепления.

Наиболее близким и актуализированным документом, которым следует руководствоваться при проектировании и проведении работ по закреплению грунтов инъекционными способами, а также при назначении методов контроля качества выполненных работ, является стандарт организации Национального объединения строителей «Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве» [13].

В соответствии с данным нормативным документом, а также в соответствии с СП 45.13330.2017 [6] контроль и опытная проверка качества улучшенных грунтов обеспечивается следующими мероприятиями:

- вскрытием контрольных шурфов;
- бурением контрольных скважин с их обследованием, отбором и лабораторным испытанием проб;
- испытаниями усиленного массива зондированием;



– исследованиями усиленных массивов геофизическими методами.

Вскрытие контрольных шурфов, бурение контрольных скважин с отбором кернов и испытания зондированием - это более точные методы контроля качества (МКК) закрепления грунта, но не всегда есть возможность проведения данных видов испытаний. Например, при инъекции растворов под фундаменты в виде сплошных плит проходка контрольных шурфов затруднительна, также не всегда удается испытать отобранный монолит грунтоцемента. Для того, чтобы испытать закрепленные грунты в лабораторных условиях, отобранный керн должен быть ненарушенной структуры, так как испытание керна нарушенной структуры на одноосное сжатие резко занижает действительные прочностные характеристики усиленного массива. Но зачастую при бурении скважин малого диаметра керн повреждается в колонковой трубе и после извлечения из неё имеет многочисленные трещины неестественного происхождения. При бурении скважин большого диаметра удается отобрать монолиты ненарушенной структуры, но при этом стоимость оценки качества существенно увеличивается.

При больших объёмах закрепления грунта оценка качества закрепления исключительно разрушающими методами также окажется дорогим удовольствием. В таком случае на помощь приходит использование неразрушающих геофизических методов контроля. Существует огромное множество различных методов геофизических исследований, с помощью которых можно проводить оценку качества закрепления грунта. Геофизические методы, проводимые совместно с традиционными методами инженерно-геологических изысканий, позволяют более надёжно оценивать качество закрепленного массива, производить поиск неоднородностей и разуплотнений.

При больших объемах закрепления использование комплексного метода выйдет дешевле, чем использование исключительно традиционных способов. Геофизические методы 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. Но у каждого неразрушающего метода, помимо

достоинств, есть свои недостатки и ограничения в применении. Использование геофизических методов регламентируется СП 47.13330.2016 и СП 11-105-97 [4, 8]. Данные документы содержат в себе описание порядка производства работ для различных методов геофизических исследований. Но также, как и в вышеупомянутых стандартах в данных нормативах отсутствует конкретика по поводу выбора метода контроля для определенного способа закрепления грунта.

Еще одной проблемой является отсутствие в стандартах номенклатуры контролируемых параметров для различных целей закрепления. Данные нормативные документы содержат в себе только общую информацию о контроле качества усиленного грунта. И эта информация одна и та же для любых способов и целей закрепления. Но, к примеру, при устройстве ПФЗ главным контролируемым параметром грунта, свойства которого необходимо улучшить, является его водонепроницаемость, а при усилении основания из-за его недостаточной несущей способности главным показателем будет его прочность. Для закрепления грунта по периметру ограждения котлованов важно контролировать деформируемость ограждения котлована и проводить инклинометрические наблюдения за перемещениями грунтоцементного массива. Следовательно, при закреплении грунтов одним и тем же методом инъекции в зависимости от целей закрепления необходимо контролировать различные параметры.

Проведенный анализ положений нормативно технической литературы в области контроля качества закрепления грунтов позволил сделать выводы о наличии проблемных мест данных документов и определил цели дальнейшего исследования.

#### **1.4 Выводы по Главе 1. Постановка цели и задач исследования**

На данный момент существует множество способов искусственного улучшения свойств грунтов, которые эффективно применяются не только при новом строительстве, но и в случае реконструкции или надстройки

существующих зданий и сооружений, а также для устранения водоприток в котлован, устройства ПФЗ и т.п. Многие способы закрепления нашли широкое применение в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга и регулярно применяются при освоении подземного пространства в условиях плотной городской застройки. Но, несмотря на активное применение данных способов, вопросы оценки качества самого производства работ по закреплению грунтов оснований зданий и сооружений не решены в полном объеме.

Действующие на территории Российской Федерации нормативные документы содержат только общие положения по контролю качества закрепления грунтов, не учитывая при этом применяемую для закрепления технологию и цели улучшения строительных свойств грунтов.

В соответствии с вышесказанным была определена цель исследования – сопоставить существующие МКК закрепления грунта с применяемой технологией и целями инъекции. Поскольку исследуемая тема слишком обширная, в качестве объекта исследования выбрана струйная цементация. Данная технология закрепления грунтов является одной из наиболее перспективных геотехнологий. Следует отметить, что объектом исследования выбран контроль качества закреплённого массива грунта, а не отдельных грунтоцементных колонн (точечных свай).

В соответствии с целью исследования необходимо решить следующие **задачи**:

1. Провести аналитический обзор задач применения струйной цементации с целью определения контролируемых параметров.
2. Провести аналитический обзор существующих МКК закрепления грунта.
3. Провести анализ применимости исследуемых МКК для струйной технологии и сопоставить эти методы с целями закрепления грунтов.

## ГЛАВА 2. АНАЛИЗ ПРИМЕНИМОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТА К РАЗЛИЧНЫМ ЦЕЛЯМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

### 2.1 Сущность струйной технологии

Струйная цементация или *Jet Grouting* (от англ. струйная цементация) - это метод создания грунтоцементного массива (ГЦМ), обладающего определенными прочностными и деформационными характеристиками, путем перемешивания грунта под высоким давлением (от 20 до 70 МПа) с раствором на основе цементных вяжущих.

Технически струйная геотехнология осуществляется следующим способом. В предварительно пробуренную технологическую скважину опускают скважинный монитор, имеющий одну или несколько боковых насадок (сопел).

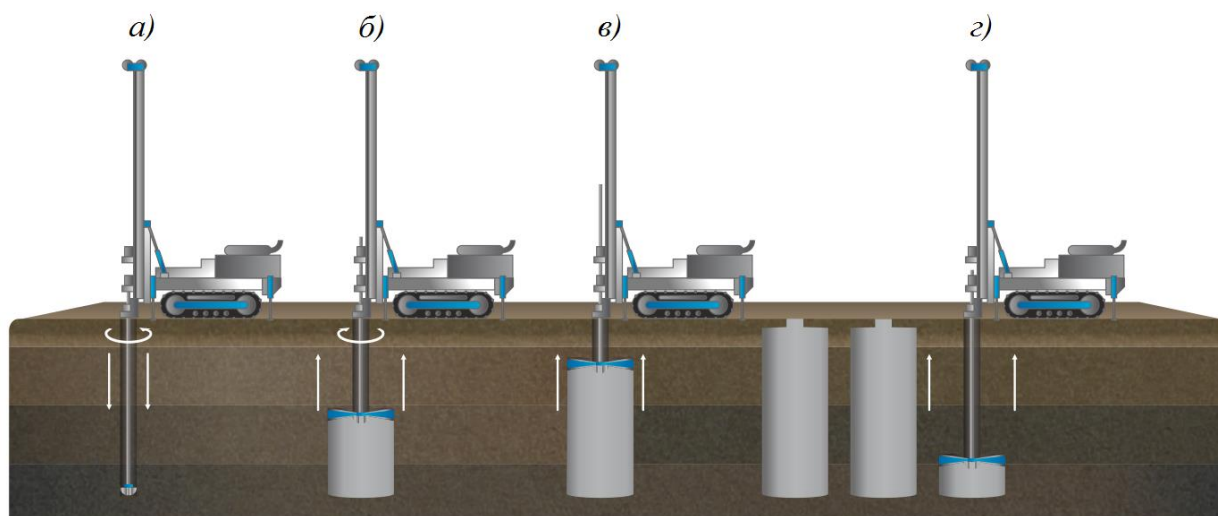
По рукаву к монитору подают раствор или жидкости для размыва грунта. При этом одновременно производится подъем скважинного монитора и его вращение вокруг вертикальной оси. Технологическая схема закрепления грунтов по струйной технологии представлена на *рис. 2.1*.

По мере подъема монитора часть размываемой струей грунта перемешивается с раствором. При этом размывтый грунт вместе с отработанным раствором частично выносится на поверхность в виде пульпы, которая собирается в специальный пульпоприемник (траншею или зумпф) [32].

В результате выполнения струйной цементации в грунте образуется грунтоцементная колонна (ГЦК), которая обладает достаточно высокими прочностными и деформационными характеристиками, более чем на порядок превышающими характеристики грунта.

В зависимости от используемых боковых насадок буровое оборудование для струйной цементации позволяет осуществлять закрепление грунта по трем технологиям:

- однокомпонентная (*Jet-1*) – разрушение грунта производится струей цементного раствора (*рис. 2.1.а*);
- двухкомпонентная (*Jet-2*) – разрушение грунта производится спаренной струей цементного раствора и сжатого воздуха (*рис. 2.1.б, в*);
- трехкомпонентная технология (*Jet-3*) – разрушение грунта производится спаренной подачей сжатого воздуха и промывочной воды и струей цементного раствора, которая подается через отдельный клапан (*рис. 2.1.г*).



*Рис. 2.1.* Технологическая схема закрепления грунтов по струйной технологии: *а* – бурение лидерной скважины; *б, в* – подъем буровой колонны с вращением и одновременной подачей раствора; *г* – создание ГЦМ [112].

Выбор системы струйной цементации в каждом случае зависит от инженерно-геологических условий и технического задания для разработки проекта: размера, формы и характеристик материала грунтоцемента.

Однокомпонентная технология наиболее проста в производстве и позволяет достичь наибольших показателей плотности и прочности грунта в сравнении с двумя другими технологиями. *Jet-1* – оптимальный выбор для армирования слабых грунтов, создания ПФЗ, а также укрепления фундаментов.

Двухкомпонентная технология используется в целях увеличения объема закрепляемого грунта, а также на участках, сложенных водоупорными глинистыми грунтами.

При трехкомпонентной технологии диаметр ГЦК еще больше, чем при двухкомпонентной, но прочность грунта *Jet-3* значительно ниже *Jet-2*. *Jet-3* – оптимально подходит при возведении масштабных сооружений и построек, а также при строительстве на участках с проблемными нарушенными породами. С помощью трёхкомпонентной технологии возможно полностью заменить грунт бетоном.

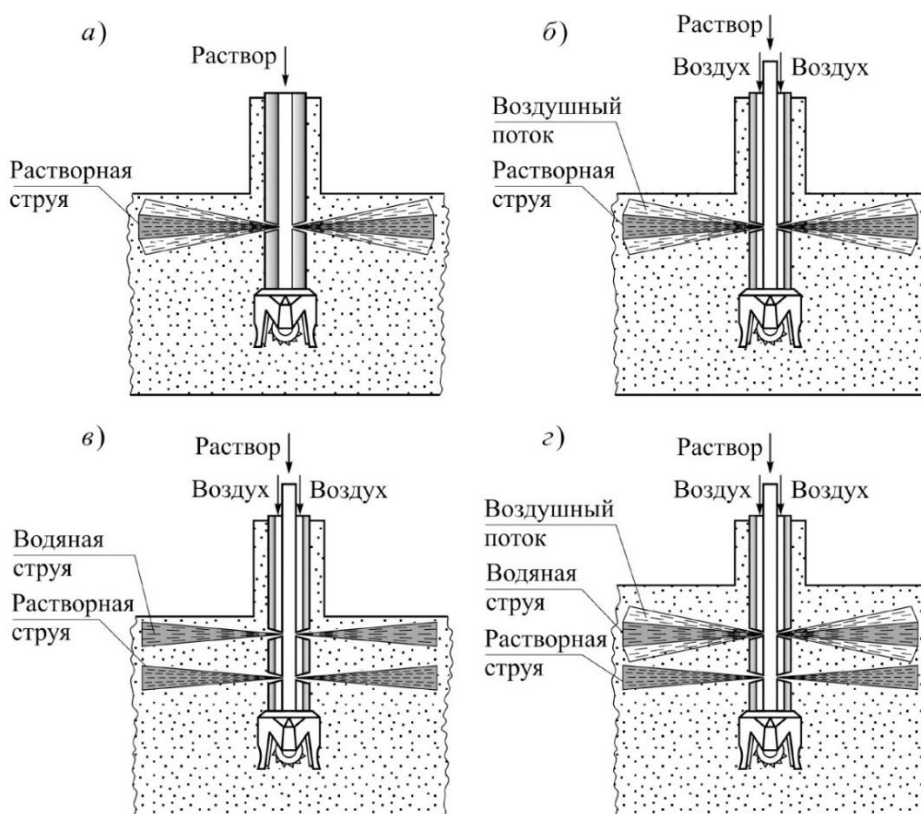


Рис. 2.2. Разновидности струйной технологии:

*a* – однокомпонентная технология (*Jet-1*); *б, в* – двухкомпонентная технология (*Jet-2*); *г* – трёхкомпонентная технология (*Jet-3*) [109].

При проектировании необходимо учитывать зависимость диаметра грунтобетонных элементов от типа грунта и выбранной технологии закрепления:

- *Jet-1* – диаметр элементов в глинистых грунтах не превышает 500 мм, в песчаных грунтах – 700 мм;
- *Jet-2* – в глинах грунтах 700 мм, в песчаных грунтах 1000 мм;
- *Jet-3* – в глинах грунтах 900 мм, в песчаных грунтах - 1500 мм.

Преимущества струйной цементации:

- широкий спектр применения способа;
- высокая производительность работ;
- высокая несущая способность закрепляемого грунта;
- закрепленный грунт обладает высокими водонепроницаемыми свойствами;
- закрепленный массив обладает предсказуемыми и стабильными свойствами, не зависящими от типа грунта;
- обеспечивает стабилизацию деформаций здания или сооружения;
- возможность производства работ в стесненных условиях;
- возможность закрепления грунтов при наличии существующих подземных коммуникаций.

Недостатками технологии являются высокий расход цементного раствора и трудности контроля качества закрепленного грунта.

В России наибольшее распространение получили технологии *Jet-1* и *Jet-2*. Система *Jet-1* наиболее проста в исполнении и требует минимального комплекта оборудования, а *Jet-2* используется в случае необходимости создания сваи большего диаметра. Применение наиболее дорогостоящей системы *Jet-3*, требующей использования дополнительного оборудования, оправдано лишь при масштабном строительстве крупных объектов на проблемных грунтах.

## **2.2 Анализ применимости струйной цементации для различных целей строительства и реконструкции**

Анализ монографий, посвященных технологии струйной цементации грунтов [32, 62, 69], а также руководства по струйной технологии, разработанного ВНИИОСП им. Н.М. Герсеванова [77] и руководства по струйной цементации американского общества инженеров-строителей (ASCE) [101] позволил выделить следующие цели использования струйной технологии для закрепления массивов грунта:

- устройство вертикальных и горизонтальных ПФЗ и экранов;
- устройство ограждений котлованов;
- закрепление (армирование) грунтов;
- усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений;
- закрепление грунтов при проходке тоннелей.

### 2.2.1 Устройство противофильтрационных завес и экранов

Противофильтрационная завеса – это водонепроницаемая для фильтрации водного потока преграда, устраиваемая в грунтовом основании и в местах береговых примыканий водоподпорных гидротехнических сооружений путём нагнетания в грунт через буровые скважины различных растворов. Основное назначение ПФЗ — уменьшение расхода фильтрационного потока и потерь воды из водохранилища и снижение фильтрационного давления на сооружение.

В зависимости от режимов струйной цементации вертикальные ПФЗ могут выполняться в виде касательных или секущихся цилиндрических колонн или в виде примыкающих друг к другу плоских секций (панелей) (рис. 2.3), а горизонтальные ПФЗ в виде секущихся свайных элементов (рис. 2.4 б).

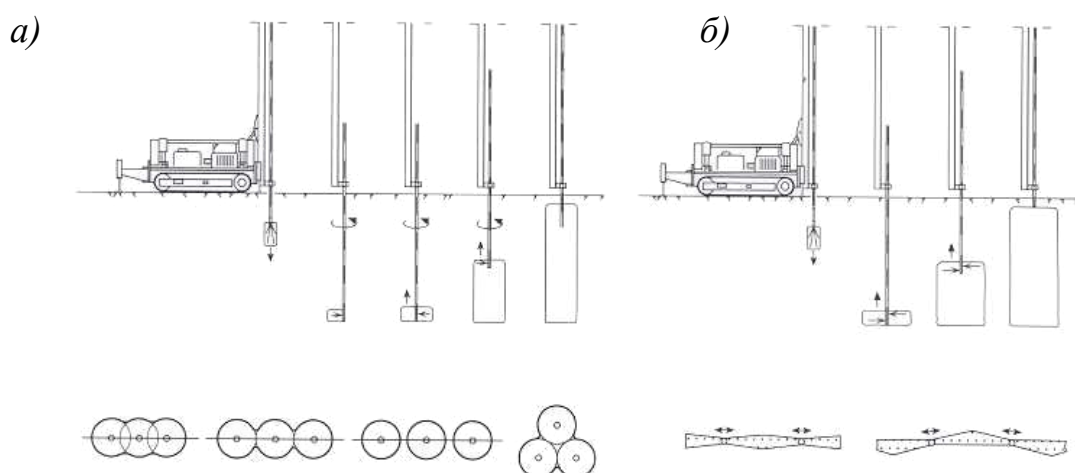


Рис. 2.3. Виды грунтоцементных элементов при струйной цементации:  
*а* – грунтоцементные колонны (секущиеся, касательные и т.д.); *б* – грунтоцементные панели (мембраны) [110].



Главные требования, предъявляемые к ГЦМ - это требования по водонепроницаемости, водоустойчивости и сплошности конструкции.

Перед производством работ по закреплению грунта необходимо проводить опытно-производственные работы (лабораторные и полевые) для уточнения состава инъецируемого раствора и исследования закрепляемости грунтов в данных инженерно-геологических условиях.

При устройстве ПФЗ необходимо производить все виды контроля качества: входной контроль, операционный контроль в процессе производства работ и контроль качества закрепления после выполнения всех работ.

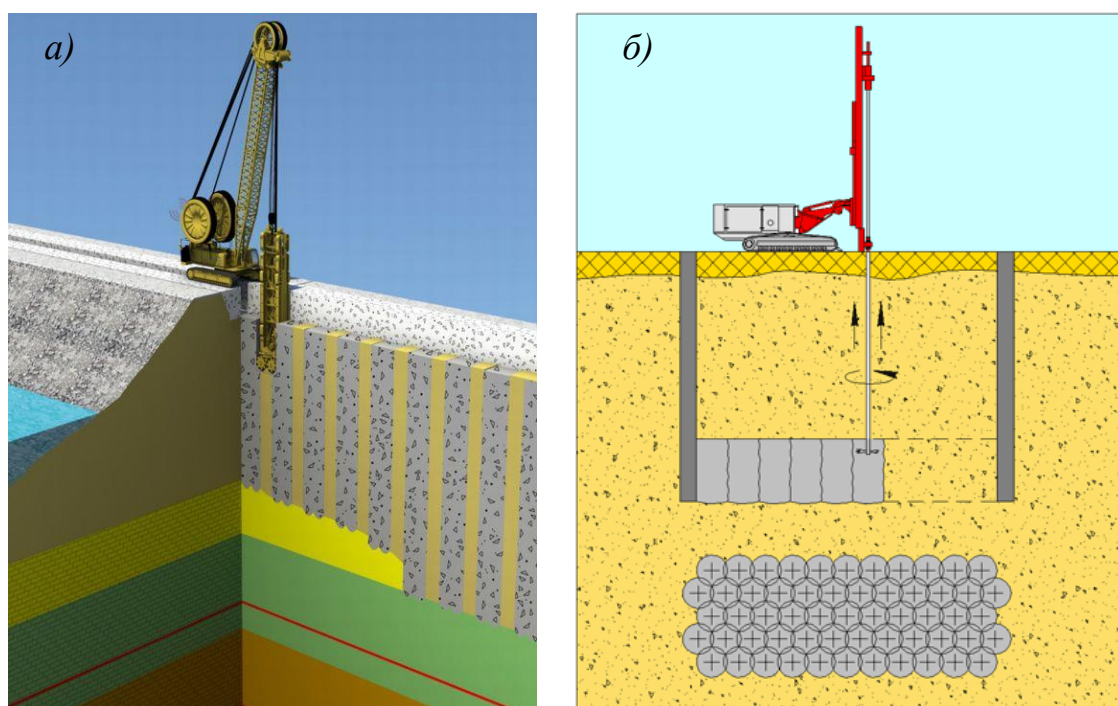


Рис. 2.4. Устройство ПФЗ: а – вертикальная завеса; б – горизонтальная завеса из грунтоцементных элементов [111, 113].

Контроль качества сплошности и водонепроницаемости готовых участков ПФЗ перед их приемкой в эксплуатацию может оцениваться измерениями уровней подземных вод в наблюдательных скважинах, измерениями притока подземных вод в защищаемую выработку (например, в случае сооружения ПФЗ для сокращения водопритока в готовый котлован), измерениями уровня подземных вод в наблюдательных скважинах с одной стороны завесы при искусственном повышении или понижении уровня подземных вод с другой ее

стороны (например, в случае сооружения завесы до начала проходки защищаемого котлована при отсутствии перепада уровней подземных вод на ПФЗ). Определение расположения несплошностей в завесе может проводиться путем запуска в скважины индикатора (красителя, солей, изотопов и т.д.) с фиксацией времени и трасс его прохождения [77].

Контроль работы ПФЗ в процессе ее эксплуатации осуществляется, как и для всех типов завес, путем наблюдений за уровнями (напорами) подземных вод по сети пьезометрических скважин, а также по измерениям притока в защищаемые выработки.

Опыт устройства горизонтальных и вертикальных противофильтрационных завес с использованием технологии струйной цементации освещен в трудах И.И. Бройда, С.Г. Богова, С.С. Зуева, А.Г. Малинина и др. [32, 31, 62].

### ***2.2.2 Устройство ограждений котлованов***

Струйная цементация для сооружения ограждений котлованов иногда применяется при устройстве котлована в условиях плотной городской застройки.

Конструкция ограждения котлованов выполняется в виде касательных или секущихся цилиндрических колонн (*рис. 2.5*).

Для увеличения несущей способности конструкций грунтоцементные колонны могут армироваться стальными элементами (трубы, прокатные профили и т.д.).

Также ограждение котлована может быть выполнено комбинированными методами (*рис.2.6*). Струйная цементация в таком случае применяется для закрепления грунта по периметру ограждения, устроенного иным способом (например, шпунтовое ограждение).

Закрепление грунтов по периметру ограждений котлованов, устроенных иным способом, также, как и в случае устройства ограждения струйным

способом, позволяет освободить пространство в подземной части здания без необходимости сооружения системы распорок и подкосов.



Рис. 2.5. Ограждение котлована, выполненное с помощью струйной цементации [114].

Такие конструкции служат геотехническим барьером для зданий и сооружений, попадающих в зону влияния нового строительства. В этом случае физические и механические процессы в основании здания происходят в замкнутом объеме, практически не взаимодействуя с окружающим подземным пространством.

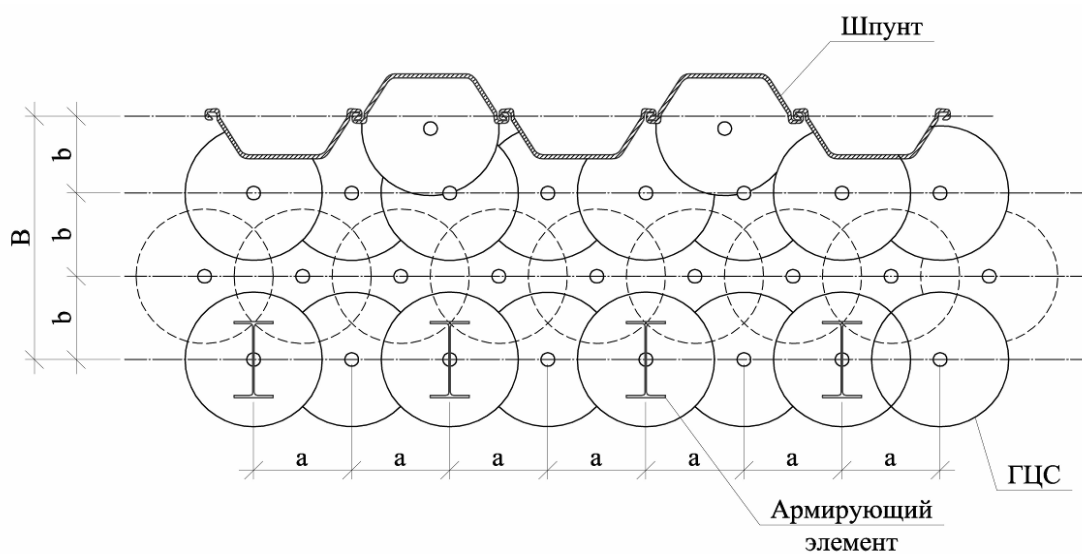


Рис. 2.6. Конструктивное решение ограждения комбинированного типа, выполненного из шпунтовой стенки и ГЦК, некоторые из которых заармированы [115].

Указанные выше преимущества устройства ограждения котлованов струйным методом привели в настоящее время к широкому практическому применению данной геотехнологии.

Опыт использования струйной цементации для создания ограждений котлованов освещен в работах И.И. Бройда, Ю.А. Готмана, А.Г. Малинина, П.А. Малинина, Т. Михальского, П.В. Струнина и др. [32, 43, 62, 66, 71].

Главные требования, предъявляемые к ГЦМ таких конструкций - это требования по прочности, сплошности, водонепроницаемости и герметичности стыковых соединений. Вместе с тем важно контролировать деформируемость ограждения котлована и проводить наблюдения за перемещениями ГЦМ (рис.2.7).

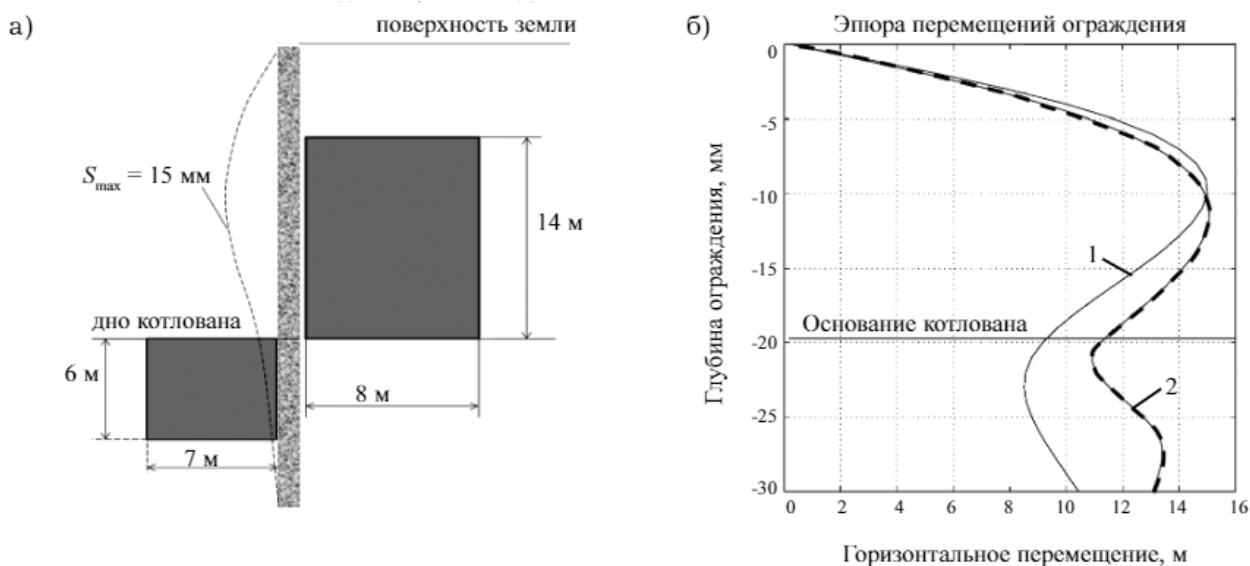


Рис. 2.7. Пример моделирования работы системы «ограждение-ГЦМ-грунт»: а) модель системы «ограждение-ГЦМ-грунт»; б) эпюра перемещений ограждения, полученная двумя различными методами расчета: 1- упругое основание, 2 – PLAXIS 2D [116].

### 2.2.3 Закрепление (армирование) грунтов

Одним из основных направлений применения струйной цементации является армирование слабых грунтов. Под армированием грунтов оснований зданий и сооружений понимается улучшение физико-механических свойств грунта путем устройства в массиве прочных элементов, совместно работающих

с окружающим их грунтом и конструктивно не связанных с фундаментами. Создание вертикально расположенных упрочненных элементов в грунтовом массиве или насыпи придает им устойчивость и надежность.

НДС грунтового основания, армированного вертикальными элементами, принципиально отличается как от естественного основания, так и от свайного фундамента, непосредственно контактирующего с ростверком. Прочность материала бетонных или железобетонных свай в сотни и тысячи раз больше чем окружающий их массив грунта, поэтому грунт лишь препятствует погружению свай от нагрузки, передаваемой сооружением, и деформация грунта происходит под подошвой условного фундамента.

При передаче нормального давления от фундамента на упрочненное вертикальным армированием грунтовое основание армирующие элементы, включаясь в совместную работу с окружающим их массивом грунта, снижают деформативность армированной части грунтового массива, взаимодействуют с грунтом по боковой поверхности за счет сил трения-сцепления и по торцам за счет сопротивления грунта, подстилающего армированный массив.

Закрепление слабого грунта в основании фундаментных плит нового здания позволяет достичь развития равномерных осадок и как следствие, более благоприятной работы всех конструкций здания за счет более равномерного распределения напряжений в массиве грунта, по сравнению с применением точечных забивных свай.

При закреплении слабых грунтов, в зависимости от проектных решений, схема закрепленного массива в плане может представлять массив из одиночных колонн, грунтовые панели, решетчатый тип массива, сплошной массив и т.д. По типу контакта грунтоцементных колонн различают касательные или секущиеся сваи.

Глубина закрепления слабых грунтов методом *Jet Grouting* может достигать 30-40 метров. В связи с этим технологию можно использовать как для закрепления насыпных грунтов в основании насыпей и дорожных одежд, так и

для заполнения карстовых пустот, для уплотнения просадочных грунтов на большой глубине и т.д.

Уплотнение просадочных грунтов с применением струйной технологии производится путём их замачивания на требуемую толщину. Уплотнение просадочных грунтов таким способом может производиться по двум схемам. Первая схема подразумевает локализацию замачиваемого массива путём устройства по его периметру противофильтрационной завесы, с последующим устройством в замачиваемом массиве дренажных прорезей с заполнением их дренирующим материалом (рис.2.8). Это позволяет ускорить процессы замачивания и уплотнения просадочного грунта в 2 - 3 раза по сравнению с замачиванием с поверхности и локализовать растекание воды в стороны от замачиваемого массива, что повышает равномерность уплотнения, предотвращает увлажнение оснований близко расположенных зданий. Вторая схема подразумевает сплошную переработку грунта в пределах замачиваемого массива путем разрушения и увлажнения его с помощью струйного монитора, перемещаемого с вращением в предварительно пробуренных направляющих скважинах (активное замачивание). Активное замачивание позволяет ускорить процессы замачивания и уплотнения просадочных грунтов в 3 - 4 раза по сравнению с замачиванием с поверхности [77].

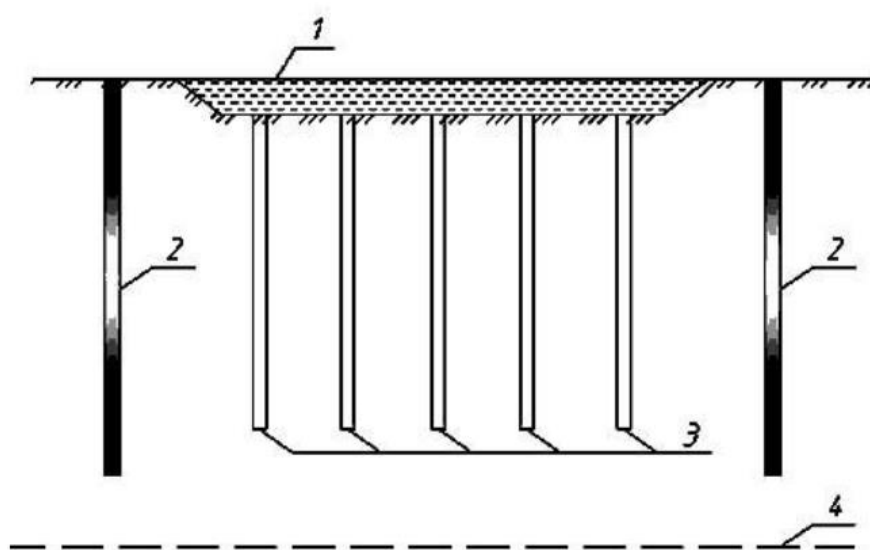


Рис. 2.8. Уплотнение просадочных грунтов по первой схеме: 1- котлован; 2 – ПФЗ; 3 – дренажные прорези (песчаные дрены); 4 – граница просадочной толщи [109].

Использование технологии струйной цементации для укрепления основания дорог позволяет выровнять прочностные и деформационные свойства грунта, а также достичь стабильности земляного полотна.

Грунт и грунтоцементные колонны под дорожной насыпью рассматриваются как единый геотехнический массив (рис.2.9).

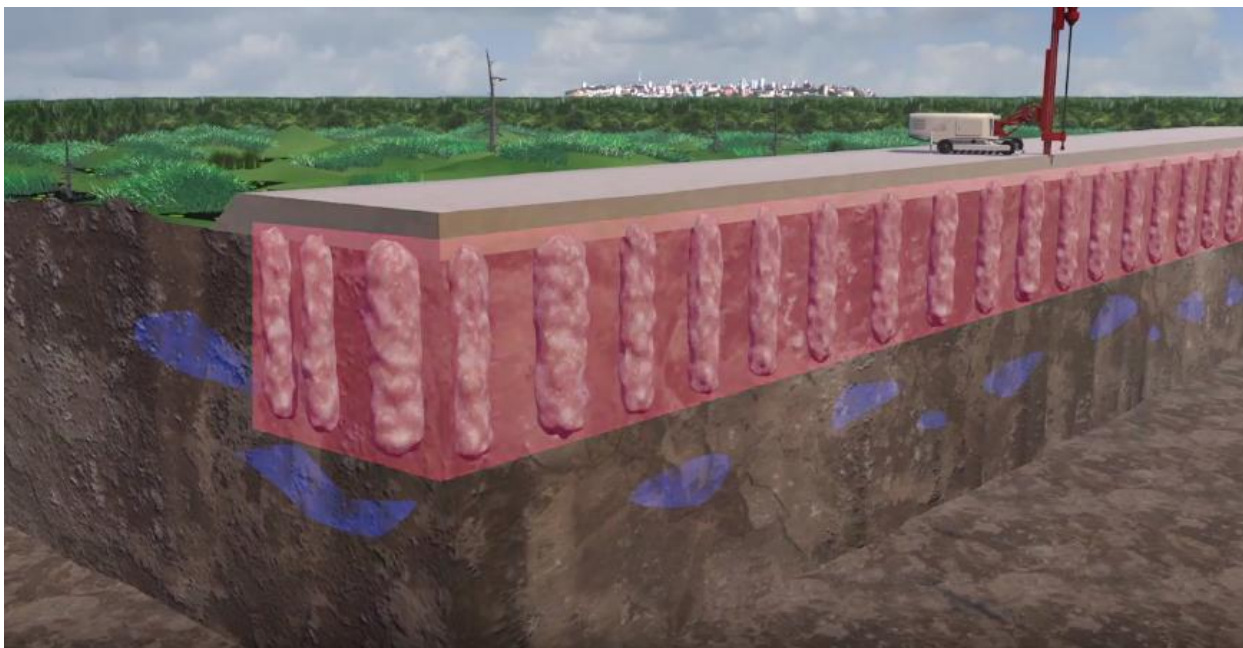


Рис. 2.9. Модель армирования грунта в основании дорожной насыпи [117].

Главные контролируемые параметры закрепленного грунта – это прочность и сплошность грунтоцементного массива. Прочность ГЦМ можно определять при помощи испытаний статическим или динамическим зондированием и/или при помощи вскрытий контрольных скважин с отбором проб. Для контроля сплошности закреплённого грунта в последнее время все чаще применяют различные методы геофизики. Также при армировании слабых грунтов важно вести геодезический мониторинг за осадками поверхности для определения стабильности грунтоцементного основания.

Опыт армирования грунтов с использованием технологии струйной цементации освещен в трудах И.И. Бройда, И.Л. Гладкова, А.А Жемчугова, С.С. Зуева, О.А. Маковецкого, А.Г. Малинина, В. Мустакимова и др. [32, 65, 60, 74].

## 2.2.4 Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений

Еще одним стремительно развивающимся направлением применения струйной цементации является усиление оснований под фундаментами существующих зданий и сооружений.

Применение струйной технологии при производстве работ в условиях плотной городской застройки позволяет исключить развитие сверхнормативных деформаций фундаментов и стен зданий, попадающих в зону влияния реконструкции или нового строительства.

При проведении реконструкции усиление фундаментов зданий представляет пересадку существующих фундаментов на грунтоцементные сваи. Усиление основания можно выполнять как вертикальными, так и наклонными сваями (рис.2.10), как с двух сторон фундамента, так и с одной стороны (односторонняя и двусторонняя схемы) (рис. 2.11).

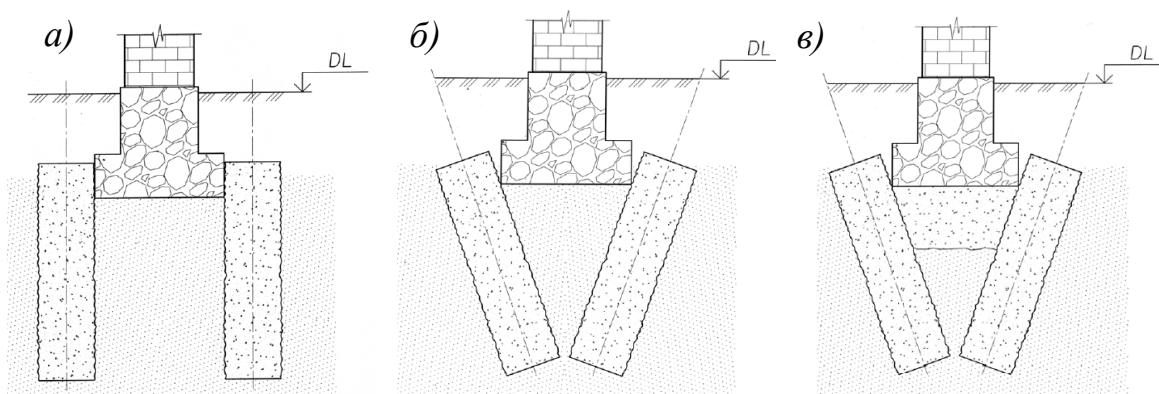


Рис. 2.10. Варианты усиления основания существующих фундаментов:  
а – вертикальными столбами; б – наклонными столбами; в – наклонными столбами с усилением контактного слоя [118].

Однако, при производстве работ по усилению фундаментов и оснований зданий и сооружений с помощью струйной цементации следует учитывать возможности возникновения негативных последствий: в процессе твердения грунтоцемент может получить усадочные деформации, что может привести к появлению полостей в зоне контакта подошвы фундамента и закрепленного



грунта, возможно возникновение дополнительных осадок фундаментов в период твердения и набора прочности грунтоцементного массива, а также снижение несущей способности основания [69].

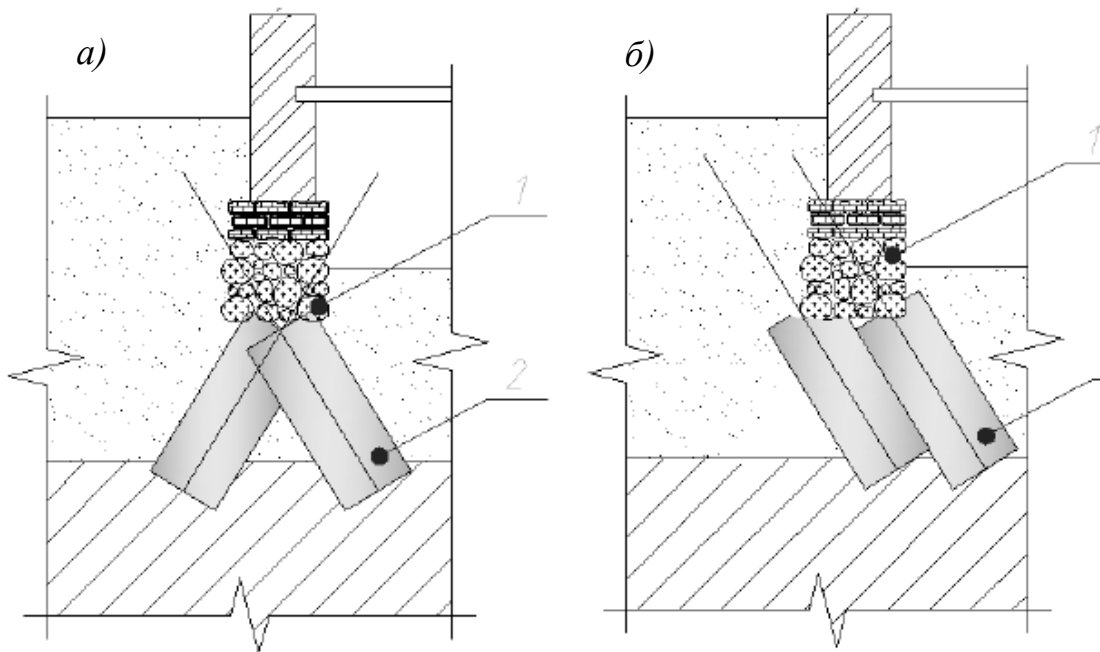


Рис. 2.11. Схема усиления грунтов в основании ленточных фундаментов:  
а – двусторонняя схема; б – односторонняя схема [109].

Поэтому при производстве работ важно соблюдать порядок устройства грунтоцементных колонн и учитывать сроки твердения, а также вести непрерывный геотехнический мониторинг за осадками усиливаемых оснований и фундаментов, а также за осадками и другими деформациями зданий окружающей застройки.

Опыт усиления оснований фундаментов существующих зданий и сооружений с использованием технологии *Jet Grouting* освещен в трудах С.Г. Богова, И.И. Бройда, С.С. Зуева, С.А. Кудрявцева, О.А. Маковецкого, А.Г. Малинина, В.Н. Парамонова и др. [31, 32, 61, 62, 75].

### ***2.2.5 Закрепление грунтов при проходке тоннелей***

Многие компании применяют технологию струйной цементации для закрепления грунтов при проходке тоннелей для метрополитена, а также подводного, ж/д, автодорожного, пешеходного и др.

Закрепление грунта может производиться сверху – вертикальными или слабо наклонными сваями или в горизонтальном направлении – горизонтальными и субгоризонтальными колоннами (*рис.2.12*).

Закрепление грунта при проходке тоннелей применяется в целях увеличения несущей способности грунта, его прочности, водонепроницаемости, сопротивления размыву. Технология закрепления грунтов методом струйной цементации при проходке тоннеля позволяет обеспечить существенное снижение сдвижений и деформаций на поверхности. Однако, следует учитывать, что кроме снижения оседаний поверхности, применение данной технологии может сопровождаться значительным поднятием участка цементации (на величины 0,5-0,8 м), что накладывает дополнительные ограничения при использовании такой технологии [38].

После окончания работ по закреплению грунта контроль качества выполненной крепи может осуществляться контрольным бурением скважин с отбором керна. Также для контроля качества закрепления в последнее время все чаще применяют различные методы геофизики.

Для контроля возможных оседаний, проявляющихся на земной поверхности, необходимо проводить натурные наблюдения за сдвижением пород. Наблюдения за сдвигами грунта можно производить как традиционными геодезическими способами (нивелирование оседаний по стенным реперам, наблюдение марок на фасадах зданий), так и методом скважинного мониторинга с применением экстензометров.

Опыт использования струйной цементации при проходке тоннелей осветили в своих работах В.П. Абрамчук, И.И. Бройд, В.Н. Веселовский,

Ю.И. Дозорец, С.В. Ляхов, А.Г. Малинин, А.Ю. Педчик, В.А. Смирнов и др. [18, 32, 64, 62, 63].

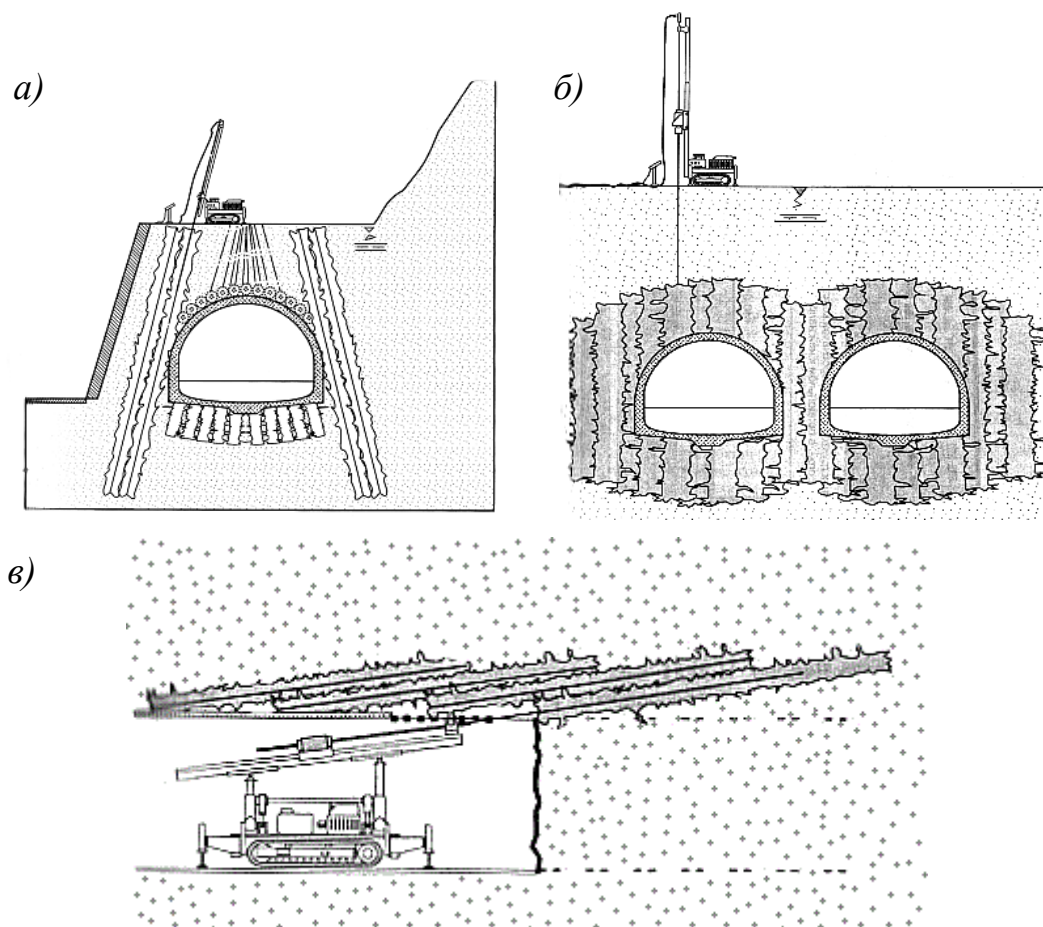


Рис. 2.12. Укрепление грунтов при проходке тоннеля:

*а* – субвертикальными, субгоризонтальными и наклонными сваями; *б* – вертикальными сваями; *в* – субгоризонтальными сваями [110].

### 2.2.6 Выводы к проведенному анализу

Проведённый аналитический обзор практического применения струйной цементации позволил определить цели закрепления, для которых возможно применение данной технологии, а также определить необходимые контролируемые параметры в зависимости от цели использования способа. На следующем этапе исследования необходимо произвести обзор существующих МКК закрепления грунта, с целью определения измеряемых параметров каждого метода, и сопоставить МКК с применяемой технологией и целями инъекции.

## **2.3 Методы контроля качества закрепления грунтового массива с анализом применения данных методов для различных целей закрепления**

### ***2.3.1 Обзор рекомендуемых нормативно-технической литературой контрольных мероприятий для оценки качества закрепления***

Положения нормативно-технической литературы рекомендуют для контроля качества закрепления грунта с помощью струйной технологии следующие контрольные мероприятия [6, 13, 76]:

- проверка качества исходных материалов;
- опытная проверка заложенных в проект расчетных параметров закрепления и технических условий на производство работ;
- операционная проверка качества рабочих закрепляющих реагентов при производстве работ;
- контроль исполнения при производстве работ заложенных в проект расчетных параметров закрепления и заданных им технических условий;
- проверка соответствия требованиям проекта характеристик физико-механических свойств закрепленных грунтов, а также однородности их закрепления;
- проверка проектных формы и размеров закрепленных массивов, а также сплошности закрепления;
- при усилении или устройстве оснований и фундаментов зданий и сооружений из закрепленных грунтов инструментальные геодезические наблюдения за осадками фундаментов.

Выше перечислены общие положения по контролю, которые обеспечивают надлежащее качество закрепления. Данные положения применимы к любым целям использования струйной цементации. Входной контроль исходных материалов и операционный контроль рабочих материалов и параметров производства работ осуществляются по одной и той же схеме для

различных целей закрепления. Вместе с тем, контроль заданных проектом форм и размеров закрепленных грунтовых массивов, а также требований в отношении сплошности и однородности закрепления может осуществляться посредством различных методов контроля.

Нормативно-техническая литература предлагает следующие контрольные мероприятия, выполняемые по завершению всех инъекционных работ на объекте:

- вскрытие контрольных шурфов с отбором образцов и обследованием качества закрепления грунтов;
- бурение контрольных скважин с отбором кернов и соответствующее обследование качества закрепления грунтов;
- прощупывание и фиксация контуров закрепленных массивов способами статического или динамического зондирования;
- обследование области закрепления геофизическими методами.

Однако, данной информации недостаточно для назначения метода оценки качества закрепления. В некоторых случаях, помимо контроля прочности грунта и сплошности закрепления, требуется контролировать линейные деформации грунтового массива. Это можно осуществить как с помощью инструментальных геодезических наблюдений, так и при помощи специальных приборов (инклинометров и экстензометров), которые не упомянуты в данных нормативах. Также возникают трудности с назначением геофизических методов контроля, так как существует огромное количество данных методов: например, вертикальное электрическое зондирование, сейсморазведка методом преломленных волн, сейсморазведка методом отраженных волн, вертикальное сейсмическое профилирование, акустический каротаж, электрический каротаж и др.

Следовательно, необходимо изучить существующие методы контроля, выполняемые по завершению всех инъекционных работ на объекте и применимые к технологии струйной цементации.

### *2.3.2 Обзор методов контроля качества закрепления грунтов с помощью технологии струйной цементации с анализом применимости каждого метода для конкретных целей инъекции*

Наиболее простыми для понимания являются механические методы контроля – отбор проб, откопка шурфов, отбор кернов, статическое и динамическое зондирование. Результаты испытаний, полученные путем применения данных методов, проще интерпретировать и оценить их достоверность. В связи с этим данные методы рекомендованы к использованию строительными нормами и правилами.

Однако, помимо данных МКК существует множество других методов, которые в конкретных условиях устройства грунтоцементного основания могут оказаться более рациональными для применения, а иногда и единственно возможными.

Для удобства восприятия информации исследуемые МКК были поделены на блоки. Определяющим критерием отнесения методов контроля к тому или иному блоку является схожесть их принципов действия.

#### *2.3.2.1 Отбор проб и образцов. Контроль форм и размеров*

Для оценки различных характеристик грунтоцемента, например, прочности, деформируемости, водопроницаемости и др., необходимо отбирать пробы из тела грунтоцементных элементов для последующего исследования их в лаборатории.

Сочетание необходимых для исследования характеристик назначается в зависимости от целей закрепления, однако испытание закрепленных грунтов на прочность при одноосном сжатии и на водостойкость во всех случаях является обязательным [76].

Для исследования закрепленного грунта необходимо отбирать монолиты ненарушенной структуры.

При отборе образцов также важно соблюдать правила их упаковки, транспортирования и хранения [1].

Образцы грунтоцемента можно отбирать из зачищенных участков горных выработок (шурфов, котлованов и т.п.), из буровых скважин методом колонкового бурения (отбор керна) или при помощи грунтоносов.

Помимо физико-химических характеристик грунтоцементного массива, важным параметром является диаметр грунтоцементной колонны. Оценка диаметра ГЦК непростая задача. Много факторов влияют на размер конечного диаметра: тип грунта, рабочие параметры процесса, выбранная технология закрепления и т.д. В данном блоке будут рассмотрены методы контроля, которые позволяют отобрать монолиты грунтоцемента для последующих лабораторных исследований, а также позволяют оценить диаметр ГЦК.

### *Откопка шурфов*

Как уже было отмечено выше, откопка шурфов применяется для отбора проб для последующего лабораторного определения характеристик закрепленных грунтов, для визуального обследования, а также для проверки проектных формы и размеров ГЦК.

Откопка шурфов может производиться ручным инструментом или механическим оборудованием, в зависимости от глубины и природы грунта, который будет испытываться. Образцы при этом могут отбираться с минимальным нарушением их структуры.

Метод откопки разведочных шурфов можно использовать для любых целей закрепления грунта. Но применение данного метода для закрепления больших объемов грунта нецелесообразно, поскольку шурфы возможно откапать на относительно небольшую глубину и обычно их отрывают на глубину не более 7 метров. Более глубокие шурфы могут отрываться там, где устраивается достаточное крепление. Стоимость разведочных шурфов значительно возрастает при необходимости крепления стенок. Поэтому чаще всего метод откопки шурфов используют для проверки проектной формы ГЦК (рис. 2.13) при

небольших глубинах закрепления и только там, где условия строительства (существующие здания и сооружения, ограниченное рабочее пространство и т.д.) позволяют такие работы. Как правило, откапывать имеет смысл грунтоцементные элементы, которые не соприкасаются и не пересекаются. Такие элементы можно устраивать для проверки радиуса закрепления при проведении опытных работ.

Число контрольных шурфов определяется проектом. При отсутствии указаний в рабочей документации объем для контроля принимают в количестве одного шурфа на 3000 м<sup>3</sup> закрепленного грунта.

Откопка шурфов является надежным методом контроля проектных форм и размеров ГЦК. Однако, как было упомянуто ранее, данный метод испытаний применим не для всех условий строительной площадки.



Рис. 2.13. Откопка шурфа для определения габаритов грунтоцементной сваи, выполненной по технологии *Jet-2* [119].

### *Отбор кернов*

Еще один способ отбора образцов грунта и определения диаметра ГЦК – это метод отбора керна. Отбор керна – это отбор образца грунта ненарушенной



структуры из массива, получаемый при помощи колонкового бурения (рис. 2.14).

Суть технологии отбора керна заключается в вырезании кольцом образца грунта из массива. Это может быть сделано при помощи специального пустотелого шнекового бура со специальной режущей коронкой в грунтах или вращающейся колонковой трубой в скальных или в других уплотненных породах. Отбор керна в плотных грунтах обычно требует использования промывочной жидкости (бурового раствора) для смазывания режущей коронки. В качестве промывочной жидкости обычно используют воздух, воду и буровой шлам. При этом следует учитывать возможное влияние этих жидкостей на получаемый образец керна. Керны до глубины около 1 м можно отбирать с применением относительно легкого оборудования. Отбор с больших глубин требует применения более тяжелой буровой оснастки.



Рис. 2.14. Керны из грунтоцементной колонны (ГЦК): сверху керны отобранные ближе к поверхности земли; снизу – отобранные у пяты ГЦК [120].

Диаметр контрольных скважин должен быть не менее 93 мм. Выход керна при бурении контрольных скважин - в пределах от 50 % до 75 %. При бурении

делается описание извлекаемых кернов из закрепленных грунтов с визуальной оценкой качества закрепления. Образцы из грунтоцементных элементов следует отбирать через каждые 1 м по глубине и не менее чем в двух точках в горизонтальном сечении на расстоянии от  $1/3$  и  $5/6$  радиуса закрепления [6].

Число контрольных скважин определяется проектом. При отсутствии указаний в рабочей документации объем для контроля принимают в количестве одной скважины на  $3000 \text{ м}^3$  закрепленного грунта.

Отбор монолитов грунта, закрепленного струйной цементацией, также можно производить при помощи обуривающего грунтоноса - приспособления для взятия образцов пород из стенок буровой скважины. Но так как этот метод более трудоемок в сравнении с методом колонкового бурения, второму отдается большее предпочтение.

Метод отбора кернов является основным методом, который обычно используется в геотехнической промышленности для проверки прочности тела грунтоцементной колонны.

Прочность определяют путем проведения испытаний образцов керна на сжатие. Данный метод применим для любых целей закрепления грунта. Недостатки способа заключаются в том, что не всегда удается отобрать образец грунта ненарушенной структуры. Процесс отбора кернов в закрепленном грунте может создавать микротрещины в образце. Образование таких трещин ведет к значительному увеличению значений проницаемости в лабораторных испытаниях. В этом случае крайне важно использовать правильное оборудование для отбора образцов. Также должна быть принята во внимание упаковка и транспортировка образцов в испытательные лаборатории.

Помимо извлечения керна для последующего его лабораторного исследования, методом колонкового бурения можно определять диаметр ГЦК для проверки соответствия проекту (*рис. 2.15, 2.16*).

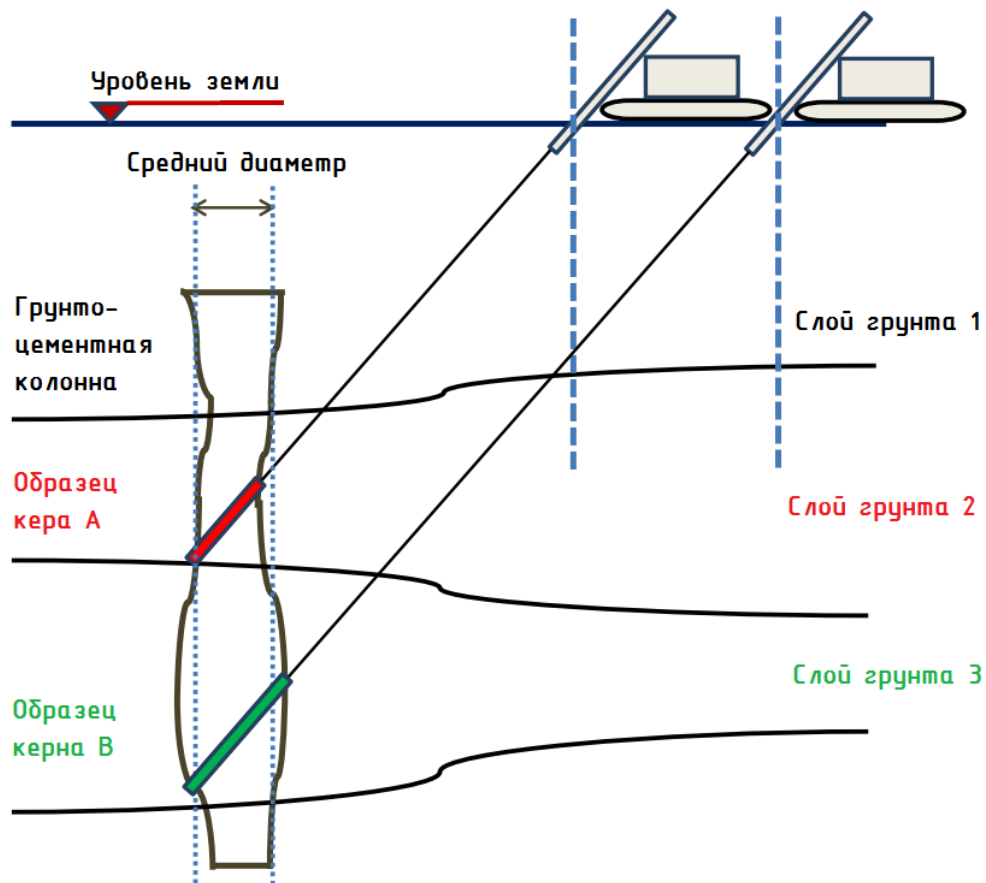


Рис. 2.15. Бурение наклонных контрольных скважин для определения диаметра грунтоцементной колонны на разных глубинах [121].

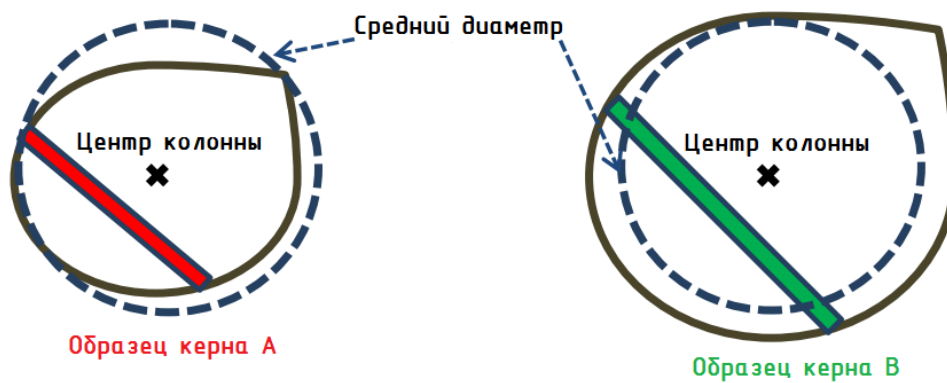


Рис. 2.16. Сечения грунтоцементной колонны на разных глубинах [121].

### Метод влажного отбора проб

Метод влажного отбора проб схож с методом отбора кернов, разница заключается в том, что в данном методе образцы отбирают из свежееукрепленного грунта с любой глубины сразу после устройства

закрепленной грунтовой колонны. Для этих целей применяются специальные пробоотборники.

Сущность технологии заключается в следующем: пробоотборник с отверстиями (см. рис. 17) прикрепляется к буровой установке для струйной цементации и опускается в ГЦК сразу после её устройства. Отверстия активируются с помощью компрессора, позволяющего собирать материал из «свежей» грунтоцементной колонны.

Следует отметить, что такая технология отбора проб не может быть применена в грунтах, содержащих крупный гравий, поскольку он может заблокировать отверстия в пробоотборнике и препятствовать сбору материала.

Этот метод простой и дешевый, но обычно не используется в промышленности в связи с малоизученностью корреляционных зависимостей между характеристиками отобранной пробы и характеристиками грунтоцементного массива.

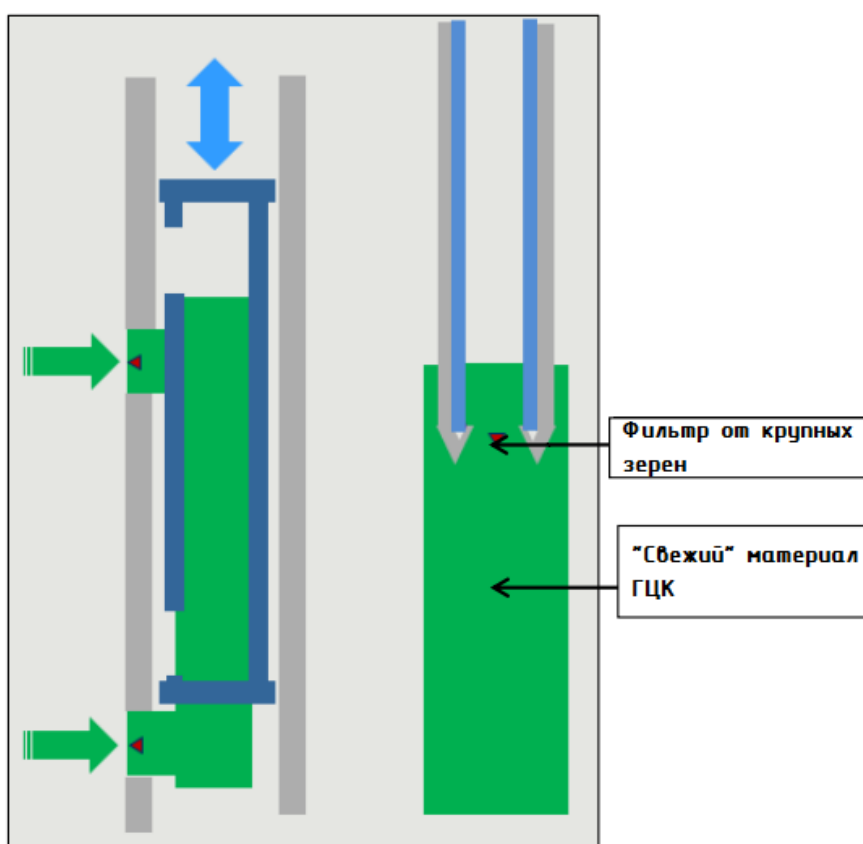


Рис. 2.17. Пробоотборник для метода влажного отбора проб [121].

### *2.3.2.2 Зондирование грунтоцементного массива*

Качество упрочнения грунтов во времени (определение плотности грунтоцемента) обычно оценивается вдавливанием или забивкой зонда в грунт и измерением силы необходимой для продвижения зонда. Существуют два основных подхода: статический (СРТ) и динамический (SPT). В статическом методе зонд опускается за счет приложения статической силы. В динамическом методе прикладывается ударный импульс известной энергии и считается количество ударов необходимых для продвижения зонда. В данном блоке будут рассмотрены методы зондирования, применяемые для оценки качества упрочнения грунтов.

#### *Статическое зондирование*

В методе статического зондирования в грунт непрерывно, с заданной скоростью, погружается устройство в виде стального цилиндра с наконечником, называемое зондом (*рис. 2.18*). Статическое зондирование выполняется с использованием передвижных небольших переносных устройств с усилием вдавливания до 20кН или установок на самоходном пневматическом или гусеничном шасси с усилием вдавливания до 100–300кН. Установка создает нагрузку путем непрерывного, плавного вдавливания конусообразного зонда в грунт. На зонде установлены датчики, благодаря которым производится регистрация таких показателей грунтов, как сопротивление, трение, поровое давление, а также отклонения погружаемого зонда от оси. Во время погружения осуществляется визуальный контроль за установкой, на предмет вертикального вхождения рабочей области в грунт.

Основанием для применения статического зондирования является устройство на площадке свайного фундамента, а также невозможность забора проб грунта и сложные условия для бурения. Статическое зондирование, как метод оценки характеристик закрепленного грунта, применимо только к тем

способам закрепления, при которых грунт не превращается в скалу, а допускает прохождение через него зонда.

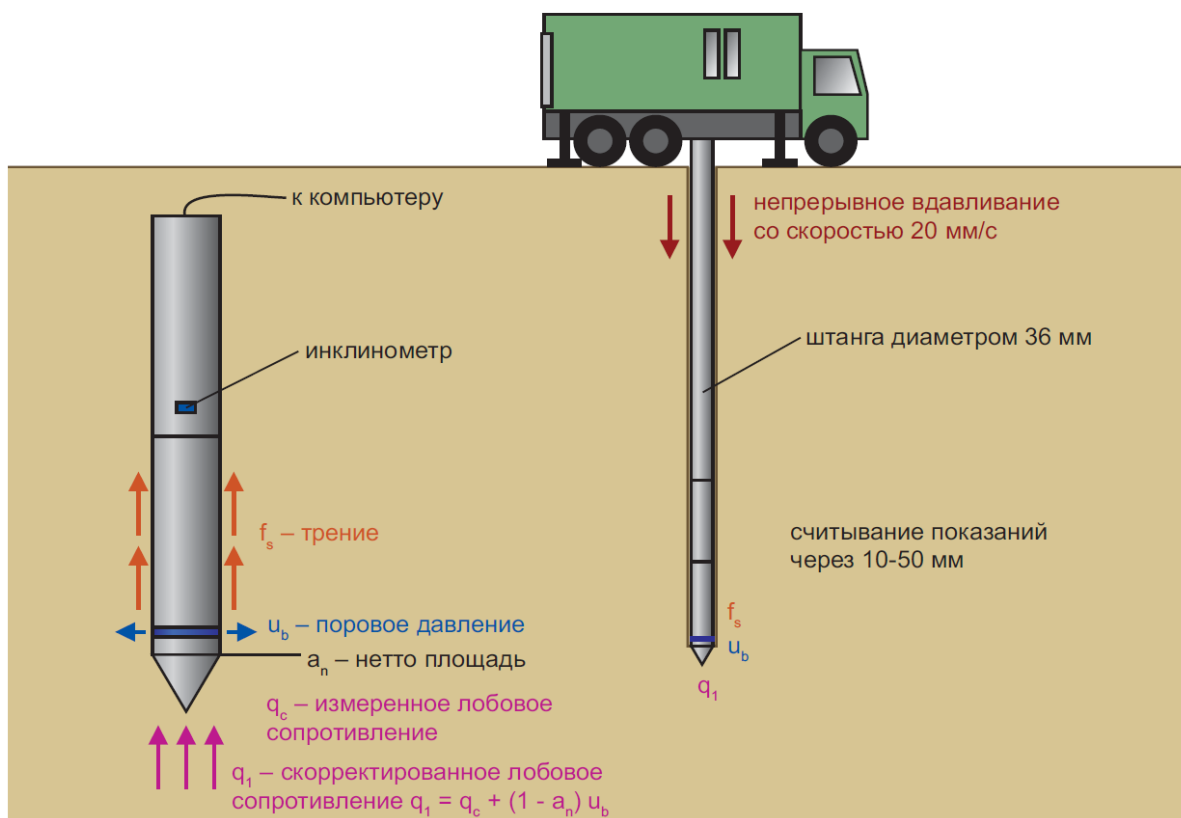


Рис. 2.18. Схема испытаний грунтов методом статического зондирования [122].

Применяя метод статического зондирования, следует иметь в виду, что модуль деформации определяемый этим методом, как и параметры прочности являются эмпирическими, так как при интерпретации данных статического зондирования используются результаты лабораторных испытаний.

Зачастую для получения наиболее полной информации об основании испытание статическим зондированием дополняется результатами других инженерных изысканий, таких как откопка шурфов, отбор кернов с последующим проведением лабораторных испытаний и др.

Метод статического зондирования трудно применить при испытании плотных песчаных и глинистых грунтов твердой консистенции, из-за больших значений усилий вдавливания, что требует применения установок большой

грузоподъемности или их анкеровки. Более эффективным методом испытания песчаных и гравелистых грунтов является динамическое зондирование.

### *Динамическое зондирование*

Динамическим зондированием называется метод испытания грунтов путем определения сопротивления грунта погружению зонда под действием последовательно возрастающего числа ударов молота определенной массы, падающего с постоянной высоты. При ударном зондировании регистрируют глубину погружения зонда от определенного числа ударов молота, а при ударно-вибрационном зондировании – скорость погружения зонда.

Динамическое зондирование с использованием тяжелых молотов выполняется обычными буровыми станками с навесным оборудованием. При этом используются два типа зондов. Один в виде полого цилиндра (SPT), а второй в виде конуса с углом у вершины в 60-90°.

Применяя зонд в виде полого цилиндра можно производить отбор образцов грунта. Данный метод получил название «зондирование грунтов пробоотборником» или «SPT-испытания».

Испытания проводятся путем внедрения в нижнюю часть пробуренной скважины зонда, весом падающей части молота. В ходе испытаний определяется количество ударов, необходимое для погружения зонда на глубину 150мм. Погружение выполняется в три этапа (*рис.2.19*). На первом этапе выполняют погружение зонда на 150мм без подсчета количества ударов. На втором и третьем этапах определяется суммарное количество ударов, необходимое для погружения зонда на 300мм [104].

SPT-испытания широко используются во многих странах мира, но практически не применяются в России.

В России наиболее распространен метод динамического зондирования грунтов конусом (*рис. 2.20*). Этот метод практически не отличается от метода зондирования пробоотборником, различия только в конструкции зонда.

Зондирование необходимо выполнять как до, так и после инъекции, так как необходимы данные для сравнения. Прикладываемая к зонду нагрузка (используемый вес и расстояние с которого роняется) должна быть одинаковой до и после проведения опытного инъекционного укрепления, так чтобы сравнение результатов было возможно. Как правило, сравниваемые данные – это количество ударов необходимых для проникновения на определенное расстояние.

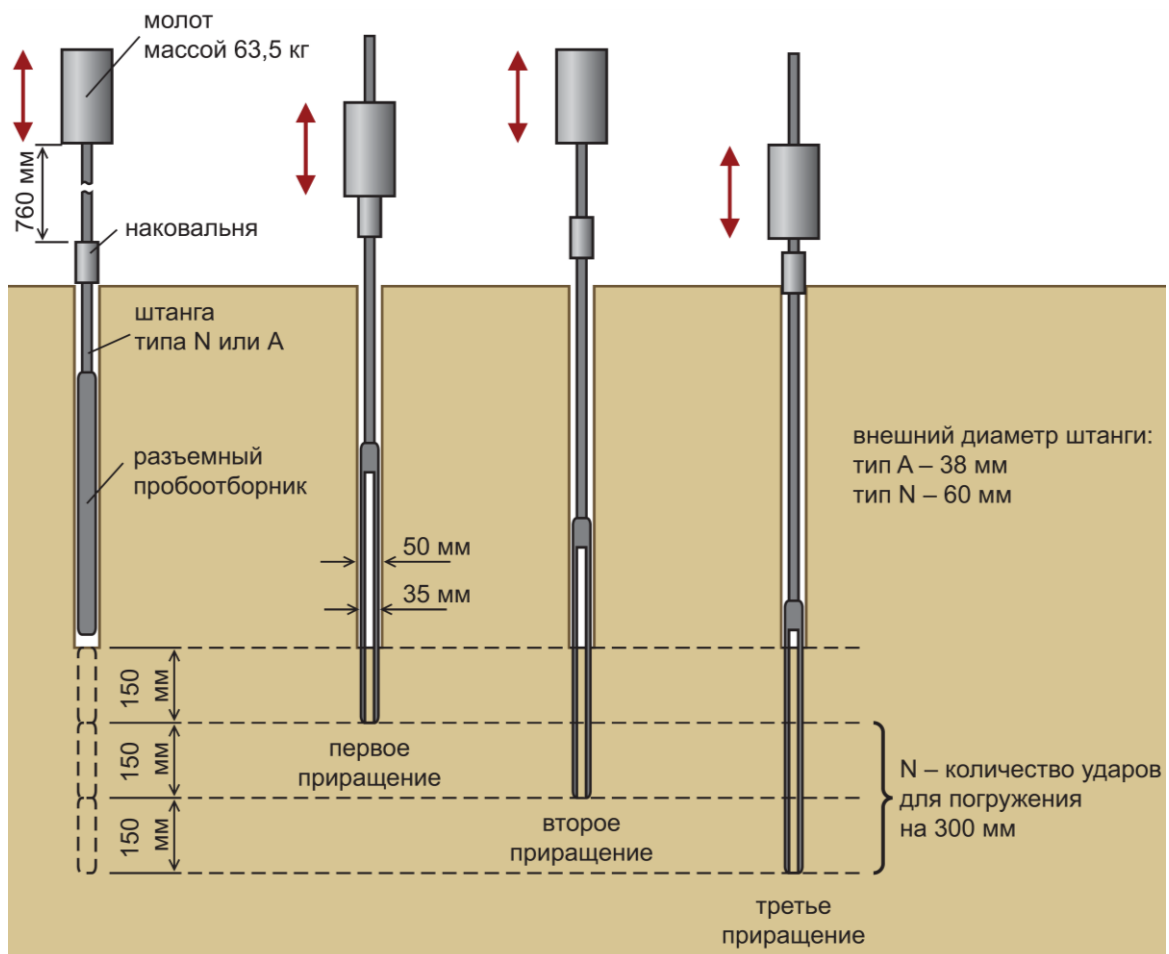


Рис. 2.19. Схема испытаний грунтов пробоотборником [122].

Метод динамического зондирования рекомендуется применять в сочетании с другими видами инженерно-геологических исследований.

Число точек зондирования определяется проектом, но оно должно составлять не менее 3% общего количества инъекционных скважин. Рекомендуют назначать не менее шести точек зондирования.



Зондирование является наиболее дешевым методом определения месторасположения закрепленного объема грунта, а также поиска незакрепленных участков.

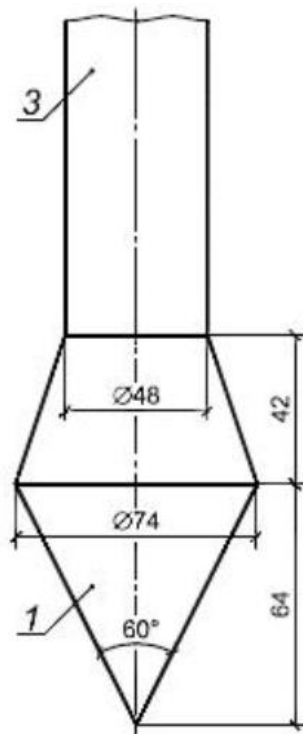


Рис. 2.20. Схема зонда для динамического зондирования, применяемого в Российской Федерации: 1 – конус; 3 – штанга [123].

### *Пенетрация*

Еще одним видом зондирования являются пенетрационные испытания. За рубежом нет явного разделения понятий «пенетрация» и «зондирование». Однако, в России принято различать данные термины. Под пенетрацией понимается процесс внедрения в грунт конического наконечника на глубину меньшую его высоты. А зондированием, соответственно, называется метод испытания грунтов при погружении наконечника на глубину, превышающую высоту наконечника.

Следовательно, для целей контроля струйной цементации данный вид испытаний целесообразно применять только при закреплении на небольших глубинах, например, в дорожном строительстве.

### 2.3.2.3 Определение модуля деформации

В данном блоке будут рассмотрены МКК, которые обычно применяются для определения характеристик прочности и деформируемости грунтоцементного массива, а именно: испытания штампом, различные виды прессиометров и плоский диламометр.

#### *Штамповые испытания (Испытания нагрузкой)*

Испытания нагрузкой – это самый обычный метод полевого определения характеристик деформируемости грунта/грунтоцемента. Нагрузка может передаваться на плиты, которые имитируют нагрузку от фундаментов, или напрямую на грунтоцементные колонны.

Суть метода штамповых испытаний заключается в измерении осадок штампа от каждой ступени нагрузки, а также в изучении характера деформации во времени. Это испытание может быть проведено как на небольшой глубине (в котлованах, шурфах), так и внутри скважины или на дне скважины.

При испытаниях в котлованах и шурфах штамп с плоской подошвой устанавливается на дно выработки и обеспечивают плотный контакт подошвы штампа с грунтом путем нескольких поворотов штампа вокруг его вертикальной оси. После установки штампа проверяют горизонтальность его положения. Перед установкой штампа необходимо тщательно зачистить участок проведения испытания. Если и после этой обработки дно участка по-прежнему неровное, устраивают «подушку» из невлажного песка мелкой или средней фракции.

Установка для испытания грунтов штампом состоит из штампа, устройства для создания и измерения нагрузки на штамп, устройства для измерения осадок штампа, устройства для замачивания и контроля влажности грунта, а также анкерного устройства (рис. 2.21). Анкерами могут быть сваи, элементы крепления или другие элементы фундаментов, которые могут выдержать нагрузку, необходимую для проведения испытаний.



*Рис. 2.21. Схема испытаний винтовым штампом в массиве [124].*

Нагружение штампа производят ступенчатой вдавливающей нагрузкой. Каждая очередная ступень нагружения прикладывается после стабилизации осадки штампа на предыдущей ступени. Общее число ступеней давления должно быть не менее четырех. Время выдержки каждой последующей ступени давления должно быть не менее времени выдержки предыдущей. Осадка штампа считается стабилизированной, если за установленный Программой испытаний интервал времени приращение осадки не превышает 0,1 мм. По результатам нагружения грунтоцемента вертикальной нагрузкой в забое горной выработки определяют характеристики грунтоцемента. Целью испытаний является выявление зависимости осадки штампа от прикладываемых нагрузок [2].

Объем штамповых испытаний грунтов в полевых условиях для определения модуля деформации принимают в количестве трех испытаний (или двух, если они отклоняются от среднего не более чем на 25%) [3].

В зависимости от состояния грунта размер штампов должен варьироваться. Следует отметить, что в Российской Федерации для испытаний грунтов

статической нагрузкой используют штампы значительно больших размеров, чем за рубежом.

Испытания плоским штампом применяется для определения степени возможной деформации участка с грунтом. Этот метод предполагает поэтапное нагружение жестких штампов, и дальнейшее измерение полученной осадки, с учетом времени воздействия.

Данный метод позволяет моделировать реальные проектные нагрузки от веса здания и спрогнозировать будущую осадку грунтоцементного основания. Но в связи с трудоемкостью проведения испытаний, необходимостью устройства системы анкеровки, а также использования сложных систем нагружения, предпочтение отдается следующим методам определения характеристик деформируемости.

#### *Плоский дилатометр и прессиометр*

Испытание грунтоцементного массива плоским дилатометром и различными модификациями прессиометра так же, как и штамповые испытания, проводят для определения модуля деформации грунтоцемента. Однако, в отличие от штамповых испытаний, данные методы не требуют сложных систем анкеровки и нагружения. Оба метода используют буровое оборудование, а плоские дилатометры могут также устанавливаться на конус для статического зондирования.

Плоский дилатометр состоит из плоской лопатки с выдвигающимся плоским круглым штампом. После установки лопатки в грунтоцемент штамп нагружается изнутри за счет пневматического давления и при этом измеряется давление необходимое для выдвижения штампа в грунтоцементе. Перемещение штампа фиксируется контактным датчиком (*рис. 2.22*).

Принцип действия прессиометров сходен с принципом действия дилатометров. Различают радиальные прессиометры, прессиометры с секторным приложением нагрузки и лопастной прессиометр. Выбор модификации прессиометра определяется типом грунтов. Радиальный прессиометр состоит из

зонда, снабженного эластичной оболочкой с каналами для передачи давления рабочей жидкости (воздуха) под оболочку, устройства для создания и измерения давления в камере зонда и устройства для измерения перемещений оболочки зонда [2]. Другие виды прессиометров отличаются от радиального модификациями погружаемого в грунт наконечника.

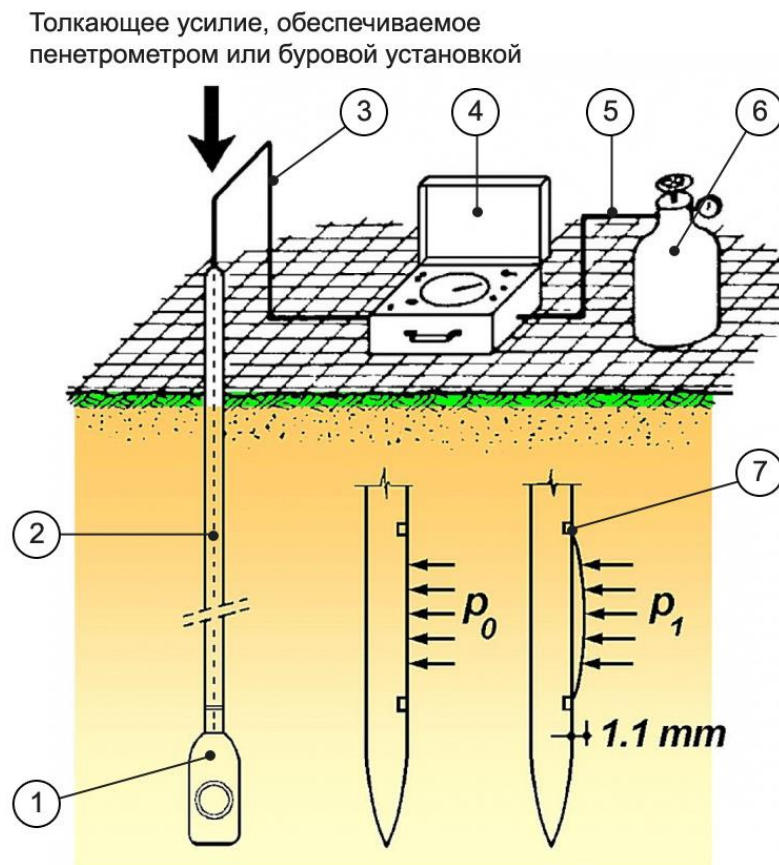


Рис. 2.22. Схема измерений с применением плоского дилатометра: 1 - лезвие дилатометра; 2 - толкающие штанги (например, штанги для статического зондирования); 3 - пневматический/электрический кабель; 4 - блок управления; 5 - воздушный шланг; 6 - газовый баллон; 7 - растяжение мембраны (показания  $p_0$  и  $p_1$  с интервалом глубины 20 см) [125].

В некоторых случаях, во влажных рыхлых песках или других случаях, где невозможно обеспечить устойчивость стенок скважины, возможно использование самозабуриваемых прессиометров для оценки геотехнических параметров. Самозабуриваемые прессиометры могут использоваться в большинстве грунтов и мягких породах и устанавливаются либо за счет вырезки

грунта, при помощи различных коронок, либо с помощью высоконапорной инъекции.

Точность замеров прессиометрических измерений превышает точность метода испытания штампом.

#### *2.3.2.4 Измерение линейных деформаций*

Для контроля линейных перемещений грунтоцементного массива применяется стандартный метод геометрического нивелирования с использованием специального геодезического прибора (нивелира, теодолита, тахеометра и т.д.) и рейки. Данный метод применим исключительно для измерения вертикальных и горизонтальных перемещений поверхности грунтоцементного массива. Для измерения линейных деформаций по глубине ГЦМ и определения послойной осадки грунтов применяют различные виды экстензометров, инклинометров, датчиков осадок и др. Эти МКК будут подробно рассмотрены в данном блоке.

#### *Экстензометр*

Экстензометры это инструменты для измерения линейных деформаций. С их помощью можно контролировать послойные осадки грунтов оснований, вертикальные перемещения земной поверхности или массива грунта по глубине. Существует несколько типов экстензометров, некоторые из которых предназначены для испытаний образцов из различных материалов, включая металлы, пластмассы, композиты и керамику.

Для целей контроля послойных осадок грунтового массива, окружающего строящиеся и реконструируемые сооружения, а также для контроля напряженно-деформированного состояния ГЦМ следует применять скважинные (стационарные или портативные) и ленточные экстензометры.

Скважинный экстензометр - это прибор, погружаемый в предварительно пробуренную скважину. Прибор состоит из анкера, фиксируемого в скважине,

соединительных трубок и контрольного оголовка, располагаемого на поверхности скважины (рис. 2.23). В контрольном оголовке располагается датчик перемещения. При вертикальном перемещении грунтов происходит изменение расстояния между анкером и контрольным оголовком. Это изменение регистрируется датчиком перемещения.

Ленточные экстензометры предназначены для измерения небольших относительных смещений между двумя точками (рис. 2.24). Прибор используется при мониторинге деформации склонов, контроле внутренних стен тоннелей, измерения величины смещения ограждающих конструкций котлована. Также может быть использован для контроля движений поверхности и определения величины деформации во время земляных работ.

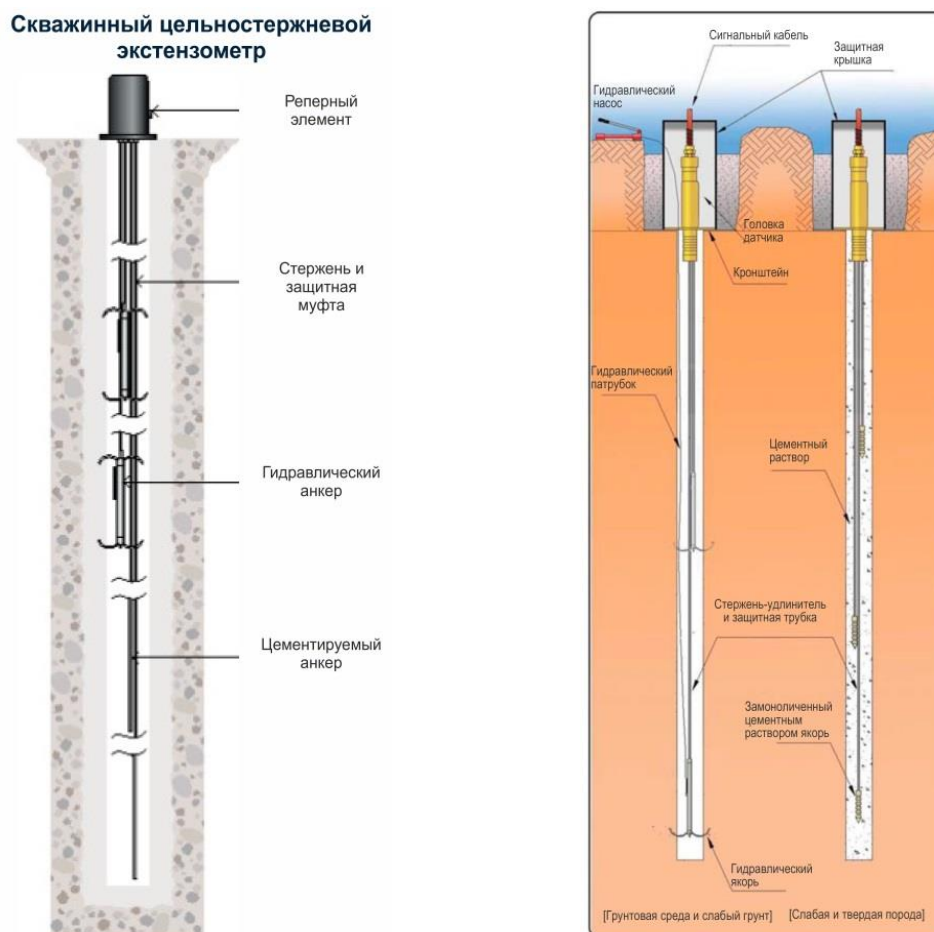


Рис. 2.23. Схема скважинного экстензометра: а) цельнотерстержневой экстензометр; б) струнный экстензометр с различными вариантами якорей [126].

Точность экстензометров широко варьируется в зависимости от их типа. Например, скважинный цельностержневой экстензометр обеспечивает точное измерение вертикальных смещений грунтового массива в одной или нескольких анкерных точках в скважине.



Рис. 2.24. Принципиальная схема ленточного экстензометра: 1 - анкерный болт (с резьбовым соединением или проушиной); 2 - измерительная стальная лента (или струна); 3 - устройство натяжения ленты (струны) и измерительное устройство; 4 - соединение (резьбовое либо проушина - крюк) [127].

На рис. 2.25 приведен пример использования экстензометров для контроля напряженно-деформированного состояния массива от контура тоннеля до дневной поверхности.

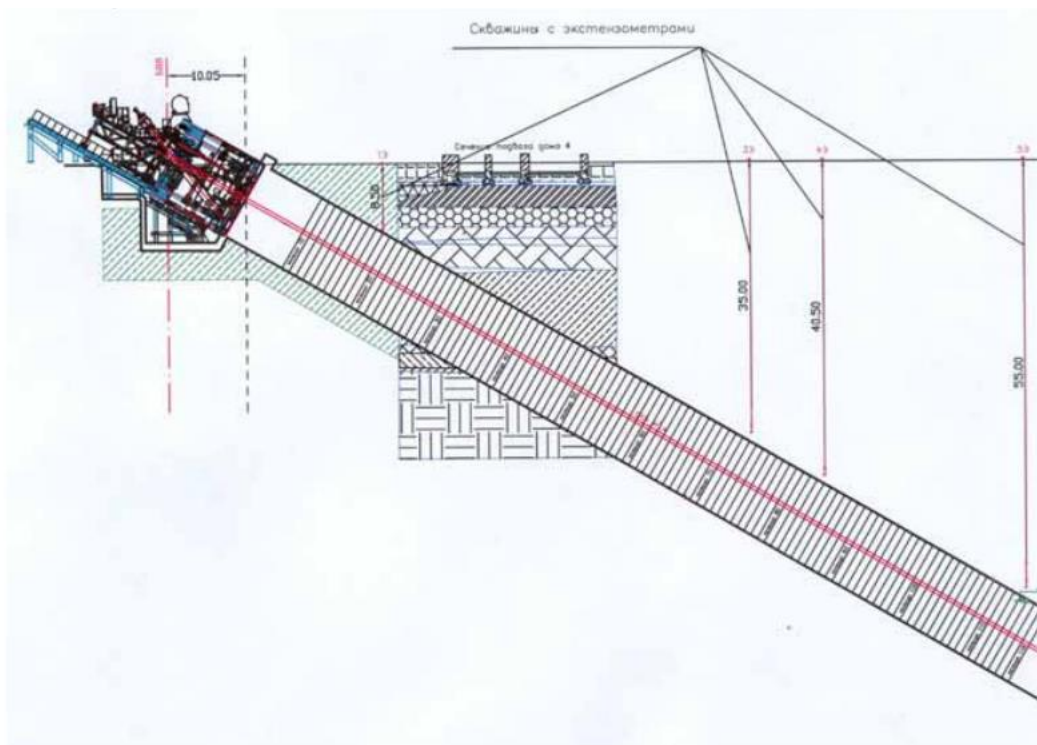


Рис. 2.25. Схема расположения скважин по оси тоннеля, оборудованных экстензометрами [128].



В последнее время за рубежом для контроля и измерения характеристик напряженно-деформированного состояния грунта стали применяться волоконно-оптические датчики. Они позволяют измерять горизонтальные и вертикальные перемещения на участках, недоступных для измерения другими методами или требующих повышенной точности.

#### *Датчики измерения осадок*

Для измерения вертикальных перемещений грунтовой или грунтоцементной поверхности также можно применять систему мониторинга осадок, которая состоит из цепочки датчиков осадок (гидростатическое нивелирование).

В процессе установки датчики системы мониторинга осадок соединяют гидравлической линией, линией компенсации воздуха и сигнальным кабелем для передачи данных (рис. 2.26). Система подсоединяется к контрольной емкости, которая расположена на стабильном основании, вне площадки контроля.

В системе между опорной емкостью и закладными датчиками по спаренной трубке циркулирует инертная к компонентам системы деаэрированная жидкость (смесь 50% глицерина (99%) и 50% воды). Эта смесь, как правило, поставляется вместе с оборудованием. Удельный вес этой смеси (1150 кг/м<sup>3</sup>) напрямую влияет на диапазон измерения прибора.

Измерения вертикальных смещений у отдельных датчиков системы определяется по изменению давления жидкости путем сравнения значения давления жидкости отдельного датчика с давлением контрольного датчика.

Система мониторинга осадок реагирует на вертикальные смещения незамедлительно, так как между датчиками отсутствует переток жидкости.

Датчик оцифровывает данные измерений в соответствии с заданным интервалом. Результаты измерений передаются на сервер, где их можно просматривать в режиме реального времени.

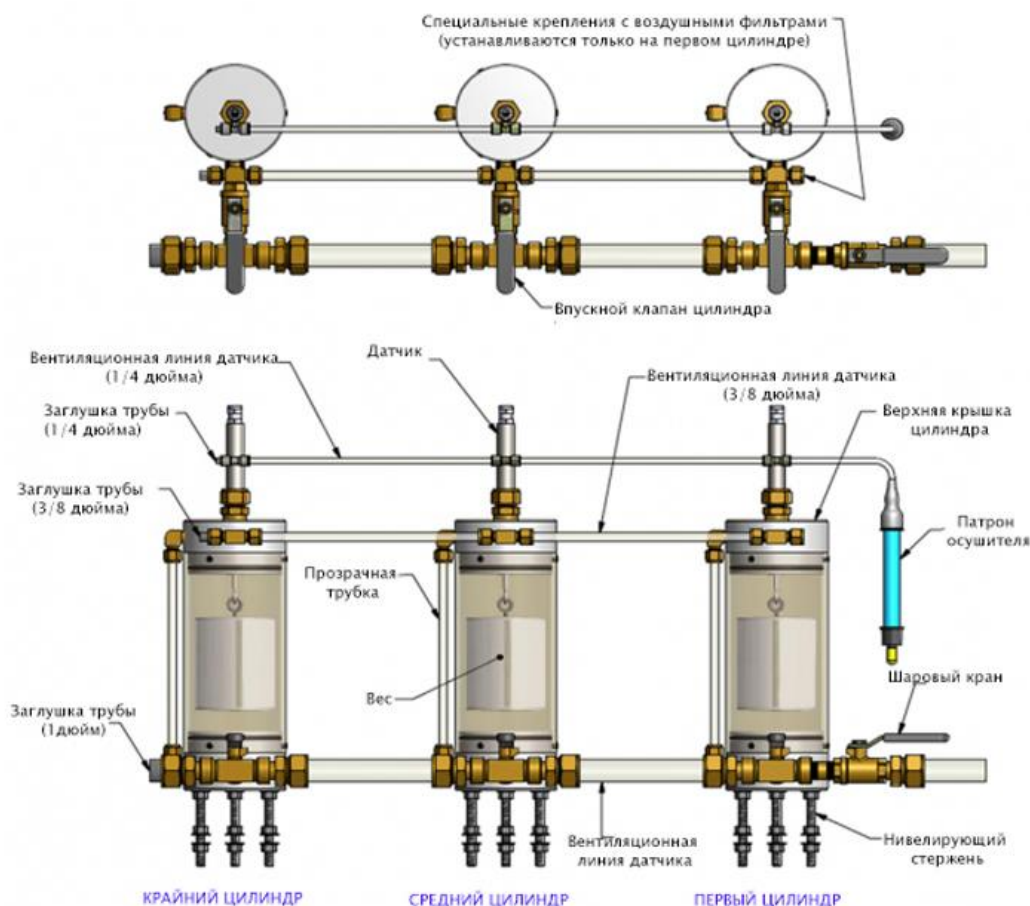


Рис. 2.26. Система мониторинга осадок, состоящая из струнных датчиков осадок [129].

### *Инклинометры*

Еще одним методом контроля линейных деформаций грунтового массива являются инклинометры. При помощи инклинометров измеряются горизонтальные перемещения грунтов. Значение и направление горизонтального смещения определяют по приращениям угла наклона скважины или трубы, помещенной в конструкцию, за промежуток времени между циклами наблюдений. Измерения можно осуществлять в ручном режиме при помощи переносных инклинометрических зондов (портативный инклинометр) либо в автоматическом режиме с использованием стационарных инклинометров.

При использовании стационарных инклинометров перемещения вдоль скважины не происходят. Измерительный комплекс такого инклинометра

состоит из одного или нескольких измерительных модулей (рис. 2.27), подвешенных на стальном тросе вдоль скважины на фиксированных отметках.

Портативный скважинный инклинометр представляет измерительный комплекс, состоящий из одно- или двухосевого инклинометрического зонда, используемого для пошаговых измерений углов наклона зонда вдоль скважины (рис. 2.28).

Инклинометры применяются для измерения горизонтальных перемещений ограждающих конструкций котлована по высоте, а также для горизонтальных перемещений массива грунта/грунтоцемента по глубине.

Измерения перемещений следует проводить в скважинах, обсаженных специальными направляющими инклинометрическими трубами (металлическими или пластиковыми) с направляющими пазами. Пазы в трубе расположены по двум взаимно перпендикулярным плоскостям, что обеспечивает проведение измерений в двух направлениях.

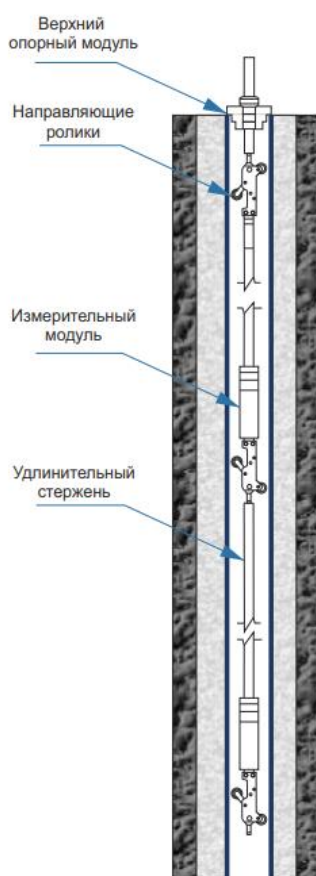


Рис. 2.27. Схема цепи стационарного скважинного инклинометра [130].

В каждом цикле инклинометрических измерений положение верха инклинометрических труб следует измерять геодезическим способом. При измерении горизонтальных перемещений конструкций ограждения котлована величину перемещения верхней точки ограждения следует контролировать с помощью тахеометра с последующей корректировкой измеренных значений по глубине инклинометрической скважины.

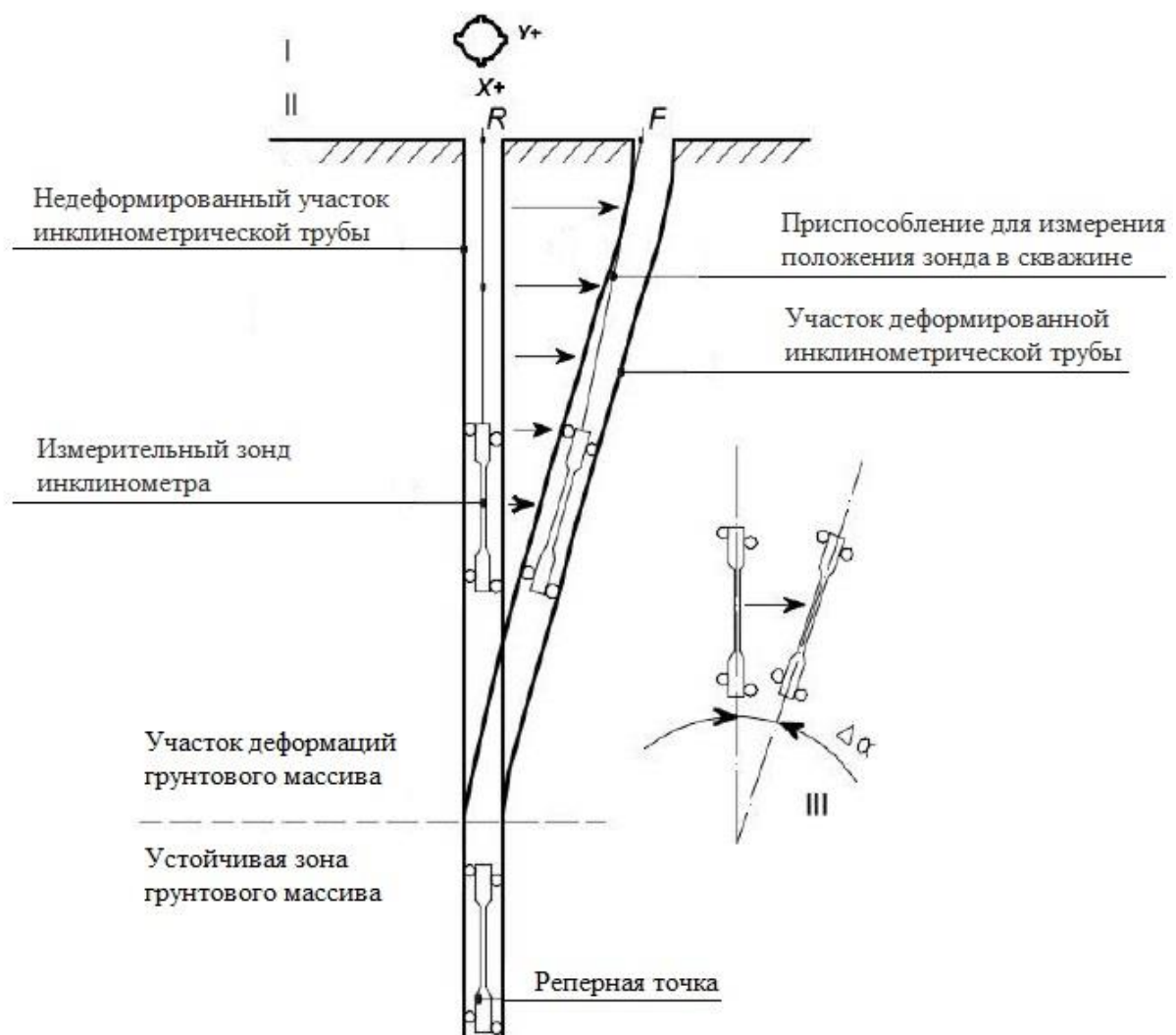


Рис. 2.28. Принципиальная схема измерений с применением портативного скважинного инклинометра: I - вид сверху на инклинометрическую скважину (ИС); II - вид сбоку; III - положение зонда инклинометра в момент  $R$  и  $F$ ;  $R$  - начальное положение ИС ("нулевое" измерение);  $F$  - положение ИС в момент измерений  $F$ ;  $\Delta\alpha$  - изменение угла наклона измерительного зонда относительно "нулевого" измерения [127].

### *2.3.2.5 Химические методы исследований*

Данный блок посвящен наиболее применяемым на практике химическим методам контроля. Химические методы могут применяться для различных целей исследования: например, для определения форм и размеров грунтоцементных колонн, для определения сплошности противодиффузионной завесы и т.д.

#### *Химические красители*

Химические красители могут использоваться для идентификации потока воды через проинъектированную зону. Красители обычно вводятся в воду выше по течению точки, где необходимо произвести измерения. Некоторые красители имеют очень насыщенный цвет, некоторые бесцветны, но светятся при ультрафиолетовом освещении. Красители могут добавляться в растворы для химической инъекции, чтобы было проще осуществлять освидетельствование. При работах по устройству ПФЗ красители могут добавляться в инъекционные растворы для оценки их распространения и рассеивания с целью подобрать оптимальное время гелеобразования.

#### *Окрашенные элементы*

Для контроля проектных форм и размеров грунтоцементной колонны, устраиваемой методом струйной цементации, существует метод окрашенных элементов. Этот метод очень практичен и часто используется за рубежом. Суть метода довольно проста: стальные стержни (например, трубы, рис. 2.30 а) окрашиваются, а затем их устанавливают с помощью буровой установки вокруг точки бурения будущей ГЦК на определенных расстояниях (рис. 2.29 б). Бурение происходит до необходимой глубины, затем стержни (трубы) устанавливаются внутрь буровых штанг, штанги удаляются и окрашенные стержни остаются на месте.

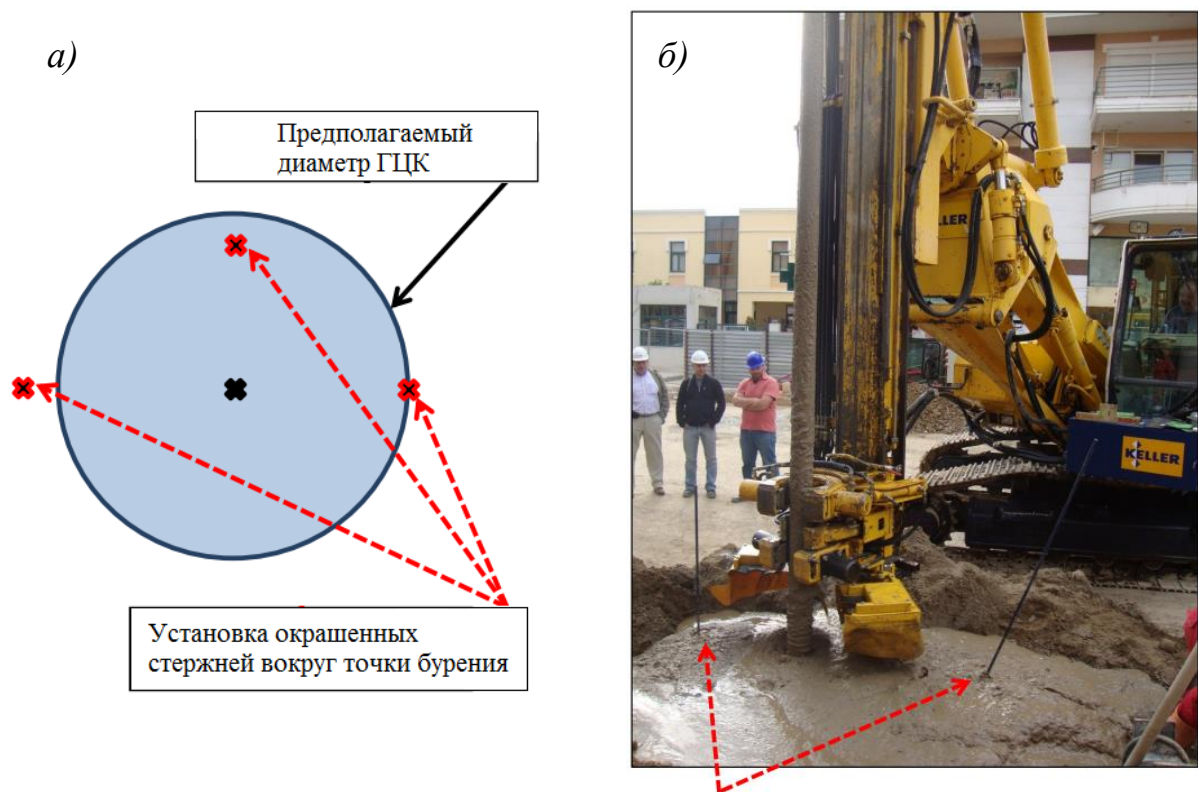


Рис. 2.29. Метод окрашенных элементов: а) схема установки окрашенных стержней вокруг точки бурения; б) практическое применение метода - установка двух окрашенных элементов на разных расстояниях от центра ГЦК [121].

Концепция метода предполагает, что эрозия окрашенных стержней показывает, была ли энергия струи достаточной для разрушения грунта на требуемом расстоянии. Например, если необходимо проверить диаметр ГЦК, равный 120 см, окрашенные стержни могут быть установлены на расстоянии 50, 60 и 70 см от центра колонны (рис. 2.29 а). После устройства ГЦК и завершения фазы цементации, стержни извлекаются и проверяется эрозия окрашенного слоя (рис. 2.30 б).

Метод рекомендуется применять для исследования диаметра ГЦК до глубины примерно 10-15 м, так как извлечение труб после закрепления грунта становится рискованной и сложной задачей. Для гравелистых грунтов, кроме исследования эрозии цветного слоя, оценить радиус закрепления можно на слух: во время струйной цементации слышно, когда гравий царапает трубы. Необходимым условием для правильного применения метода является

измерение отклонений всех выполненных скважин (центральная точка бурения ГЦК и точки погружения окрашенных элементов).

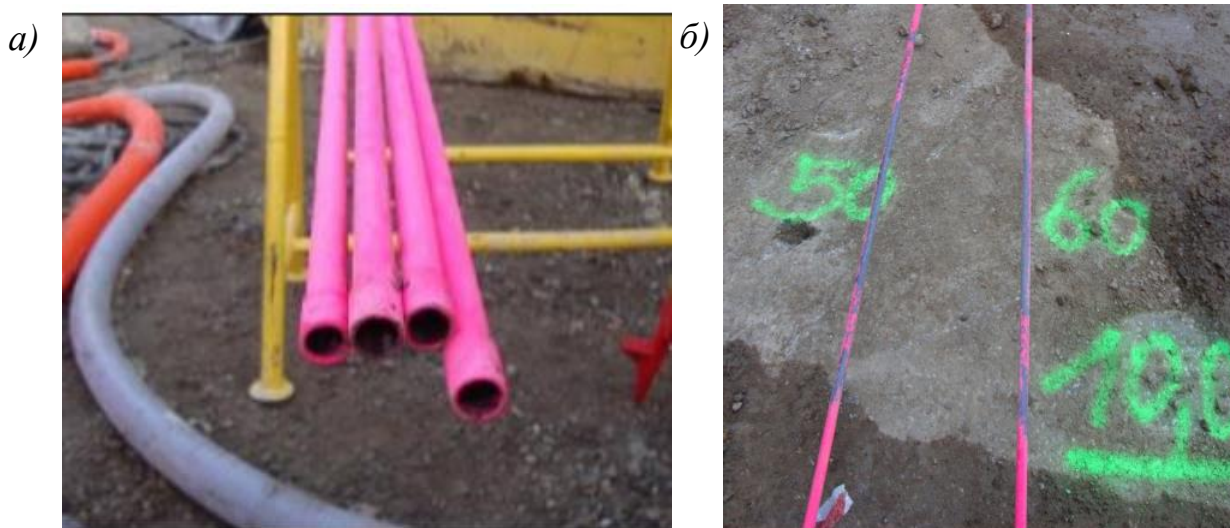


Рис. 2.30. Окрашенные трубы: а) до установки в грунт; б) изъятые из массива после струйной цементации [121].

#### 2.3.2.6 Геофизические методы

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 [4].

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 закрепленного 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 [107]. В данном блоке будут рассмотрены геофизические методы, которые наиболее часто применяются для оценки качества выполнения струйной цементации.

#### *Георадиолокационные измерения*

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. 2.31*).



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.

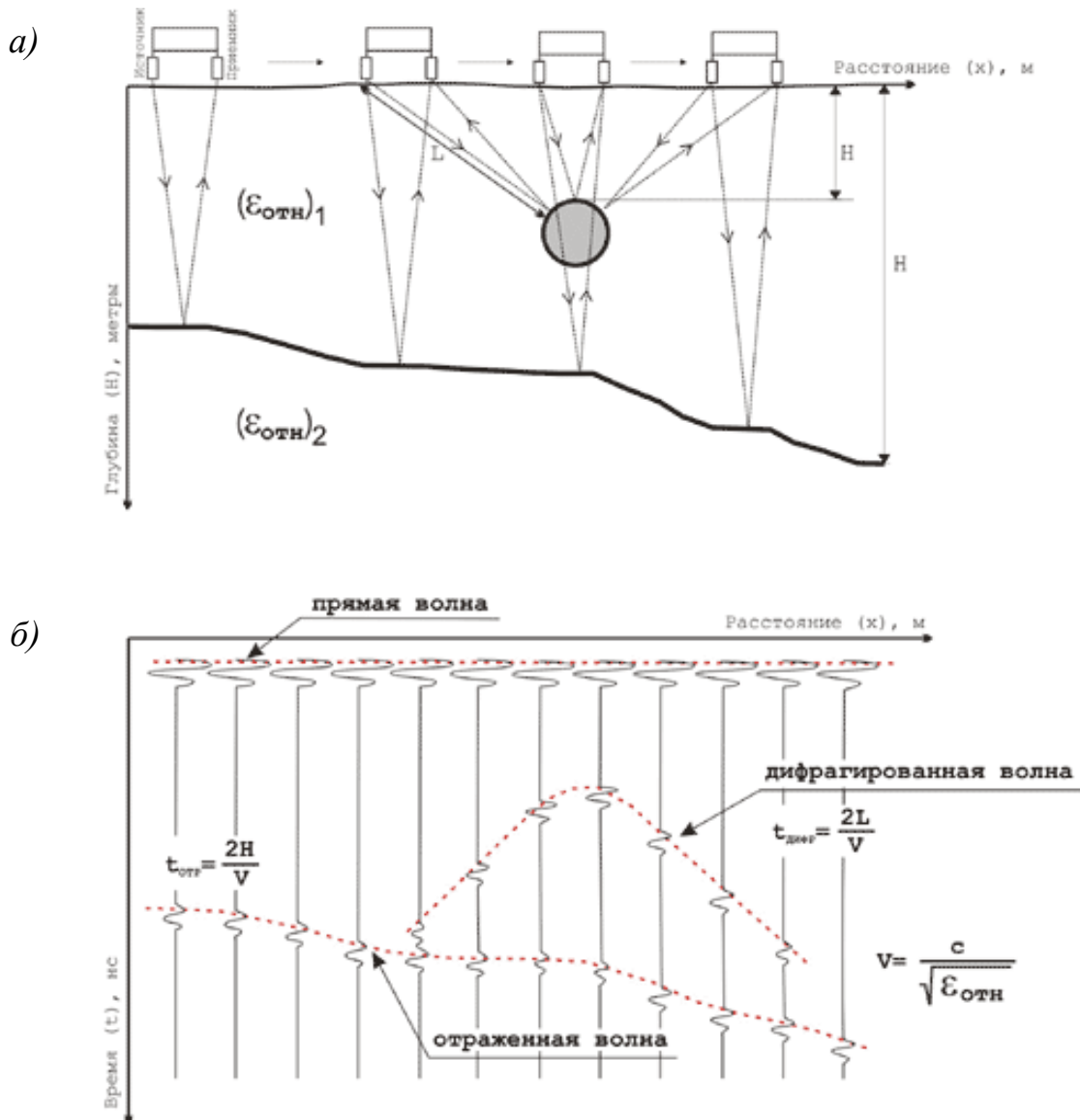


Рис. 2.31. Принципиальная схема исследования грунтов с помощью георадара. Схема образования дифрагированной электромагнитной волны от трубы, залегающей на глубине Н и волны, отраженной от границы раздела сред с разными диэлектрическими проницаемостями: а) глубинный разрез; б) временной разрез [131].

С его помощью 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 (рис. 2.32).

Однако, следует отметить, что для георадиолокационных методов важным параметром грунтового массива, определяющим применимость и возможность данного метода, является диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$ . Она определяет скорость распространения электромагнитной волны в грунтовом массиве. Известно, что для практически значимого частотного диапазона метровых волн диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  незначительно зависит от минерального состава грунтов, но очень сильно зависит от их влажности [35]. Увлажнённые, проницаемые грунты имеют высокие значения диэлектрической проницаемости. В таких грунтах наблюдаются сильное поглощение и низкие значения скорости распространения электромагнитных волн.

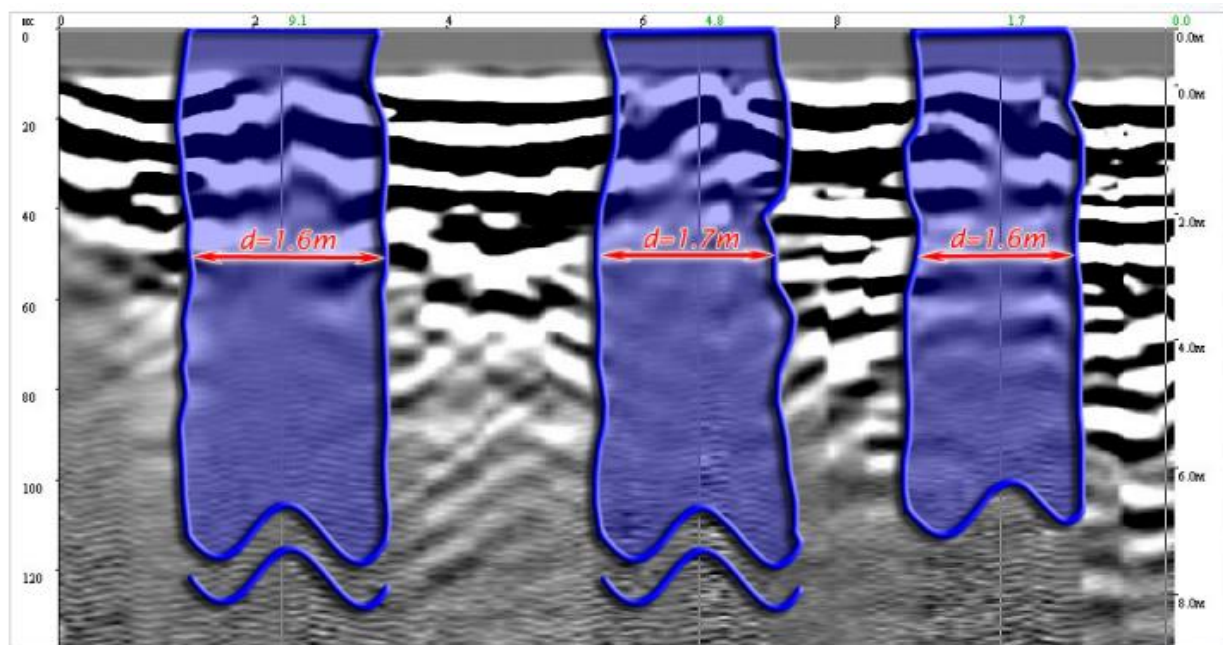


Рис. 2.32. Определение глубины и формы грунтоцементных колонн с помощью георадара путём выделения их контуров на радарограмме (по сдвигам и разрывам линий) [132].

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 (*рис. 2.33 а*). 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 (рис. 2.33 б). Анализ время прихода упругой волны и осциллограммы зарегистрированных волн, позволяет получить те или иные характеристики массива.

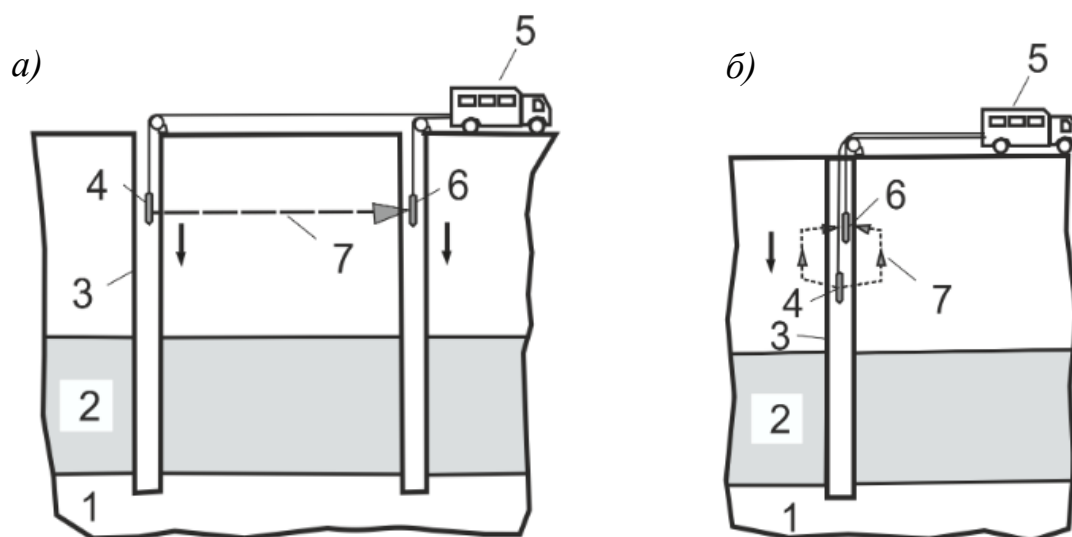


Рис. 2.33. Схемы исследования грунтоцементных массивов сейсмоакустическими методами: а) межскважинное акустическое прозвучивание; б) акустический каротаж.

1 - массив естественных грунтов; 2 – закрепленный массив, 3 - наблюдательная скважина; 4 - излучатель упругих волн; 5 - автомашина с аппаратурой; 6 - приемник упругих волн; 7 - направление распространения упругой волны [133].

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 [107].

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.

#### *2.3.2.7 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.

#### *Лабораторные испытания*

Лабораторные испытания кернов и влажных образцов всегда проводятся для определения водонепроницаемости материала, подвергнутого струйной цементации [76].

Противофильтрационные свойства грунтоцемента определяются исследованием образцов материала, отбираемых из закрепленного массива из расчета 30 образцов на 1000 м<sup>3</sup>.

Преимуществом лабораторных методов определения проницаемости является то, что они довольно просты в проведении и относительно недороги.

Кроме того, получение фактических значений водонепроницаемости до и после выполнения цементации лабораторными методами упрощает сравнение между образцами.

Однако, лабораторные испытания описывают проницаемость в одном конкретном месте, где был отобран образец, и не проверяют общую эффективность цементации. Вместе с тем, проницаемость грунта и скальных отложений может очень широко варьироваться даже внутри одного инженерно-геологического элемента. Например, маленькие линзы гравия в отложениях песка позволят протекать большему количеству воды, чем через толстую толщу песка. Также, при естественном залегании, коэффициент проницаемости в горизонтальном направлении значительно больше, чем в вертикальном. По этим причинам более предпочтительно определять проницаемость при полевых испытаниях, чем в лаборатории на образцах грунтоцемента.

#### *Испытания водопроницаемости через буровую скважину*

Существует несколько типов методов скважинного испытания, которые широко используются. Для выполнения самого простого необходима одна скважина. Более сложные испытания требуют по крайней мере одну испытательную скважину и одну или более наблюдательные скважины или пьезометры.

Как правило, плотность завесы оценивается измерениями уровня подземных вод в наблюдательных скважинах с одной стороны завесы при искусственном повышении или понижении уровня подземных вод с другой ее стороны, например, налив или откачка из скважины или из группы скважин (рис. 2.34). Опытную откачку и опытный налив следует проводить при наличии устройств измерения расхода и уровней воды в скважинах, отвода или подвода воды.

Испытания через буровые скважины являются одними из самых дешевых полевых методов. Эти испытания могут проводиться двумя способами: испытания через открытый конец обсадной трубы и испытания через пакер.

Сущность испытания через открытый конец заключается в забивании или забурировании открытого конца обсадной трубы в массив, который необходимо испытать. Обсадная труба аккуратно очищается без разрушения грунта на конце трубы. Испытание проводится за счет поддержания постоянного напора путем добавления воды в трубу через расходомер. Проницаемость рассчитывается из расчета добавляемой воды и степени инфильтрации.

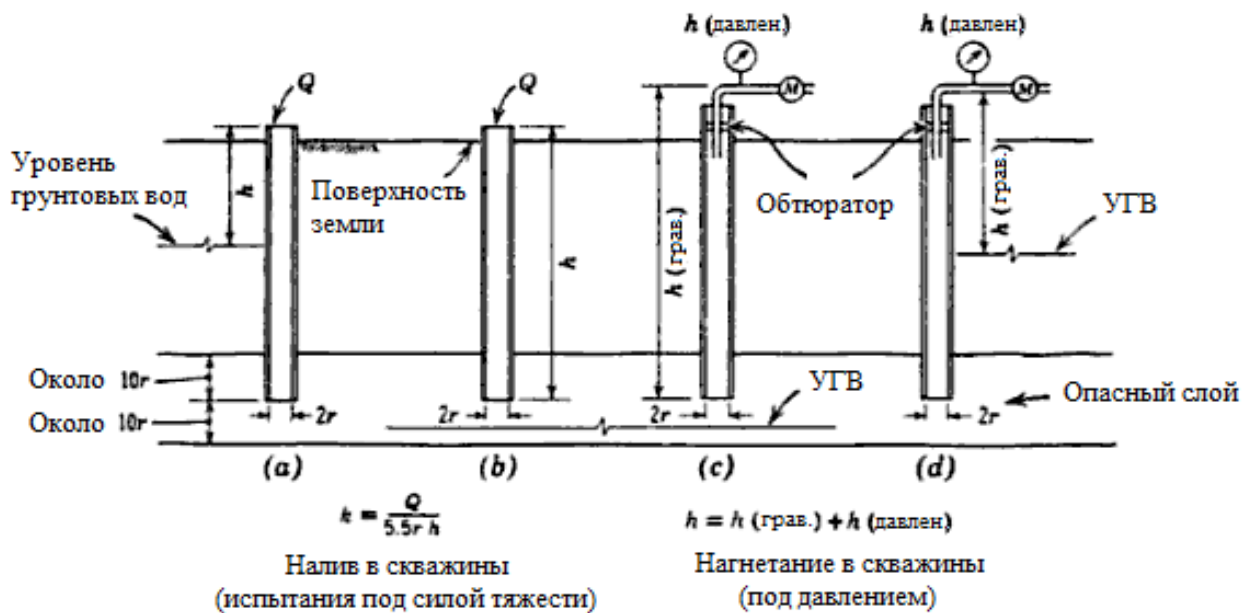


Рис. 2.34. Полевые методы определения водонепроницаемость грунтового массива путем нагнетания и откачки через испытательные скважины. Метод испытания через открытый конец обсадной трубы:  $k$  – коэффициент фильтрации;  $Q$  – расход воды, измеряемый расходомерами;  $h$  – гравитационный напор воды при наливках в скважины;  $h(\text{давл.})$  – гидравлический напор воды при нагнетаниях.

Метод испытания через пакер схож с предыдущим методом. Отличие заключается в том, что в данном методе в буровую скважину можно поместить более одного пакера. Для обсаженных скважин в грунт погружают один пакер на конце обсадной трубы. Там, где возможно устройство необсаженных устойчивых скважин, устраивают один и более пакеров вдоль тела скважины. Вода под давлением и с известной скоростью потока закачивается в скважину ниже единичного пакера или между двумя пакерами в необсаженной скважине.

Проведение данного метода испытаний может быть затруднено при устройстве скважины в грунтовой мощи из гравия или грубого материала, потому что составляющие пакера требуют относительно гладкой стенки скважины для правильного их размещения. Вокруг пакера легко могут возникнуть утечки. Вода, используемая при испытании пакера с постоянным давлением, может также привести к гидроразрыву грунтоцементного массива, что приведет к ошибочным результатам. Это особенно актуально для скважин, расположенных возле края, верха или низа закрепленного массива. Изменение (повышение или понижение) гидростатического напора позволяет устранить утечки в пакере и уменьшить вероятность гидроразрыва.

На результаты испытания водонепроницаемости в скважине могут сильно влиять процесс бурения и качество скважины. Там, где это проблематично, целесообразно провести испытания водонепроницаемости в скважине с гравийным фильтром и цементацией, выполненной в скважине. Для этого может потребоваться большая (и более дорогая) скважина. Кроме того, недостатком испытания в скважине является то, что оно предназначено только для изолированного участка ПФЗ, и соседние дефекты могут остаться незамеченными.

#### *Контрольная откачка с наблюдением пьезометрами*

Ещё один, но более дорогой метод определения проницаемости через скважины – это метод испытаний со скважинными насосами. Контрольная откачка позволяет более масштабно оценить водопроницаемость конструкции, изготовленной по технологии струйной цементации. Этот метод может применяться как при устойчивых стенках, так и при неустойчивых стенках скважин. Сущность метода заключается в опускании уровня воды в испытательной скважине с применением скважинного насоса и измерением изменения уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах, расположенных с одной и другой стороны ПФЗ. Измерения изменений уровня (напора) грунтовых вод в наблюдательных скважинах производятся с помощью



специального оборудования – пьезометров. Как только вода откачивается из скважины, уровень воды в окружающих грунтах понижается и скатывается по направлению к испытательной скважине. Скорость потока, расстояние от дневной поверхности, расстояние от напорной скважины до наблюдаемой скважины фиксируются. На основе данных результатов рассчитывается значение водопроницаемости.

Данный метод испытаний, однако, может потребовать значительного времени, дополнительных мощностей на площадке (связанных с водой на строительной площадке) и оказать существенное влияние на стоимость. Из-за относительно большой стоимости проведения данного вида испытаний, такие испытания обычно используют на больших объектах. Вместе с тем, по устроенной сети пьезометрических скважин можно впоследствии проводить контроль работы ПФЗ (наблюдать за перепадом напора) в процессе ее эксплуатации.

#### **2.4. Выводы по Главе 2.**

Анализ отечественного и зарубежного опыта контроля укрепленных массивов грунта показал существование множества МКК, применимых для оценки качества выполнения струйной цементации. Классификация данных методов, составленная на основе проведенного анализа, представлена на *схеме 2.1*.

В соответствии с целью исследования был проведен аналитический обзор целей применения струйной цементации и были определены контролируемые параметры. Рекомендации по выбору контролируемых параметров в зависимости от целей инъекции представлены в *табл. 2.1*.

Помимо этого, данные МКК были сопоставлены с параметрами закрепленного массива, контроль которых обеспечит надлежащее качество выполненной грунтоцементной конструкции. Результаты данного анализа представлены в *табл. 2.2*.

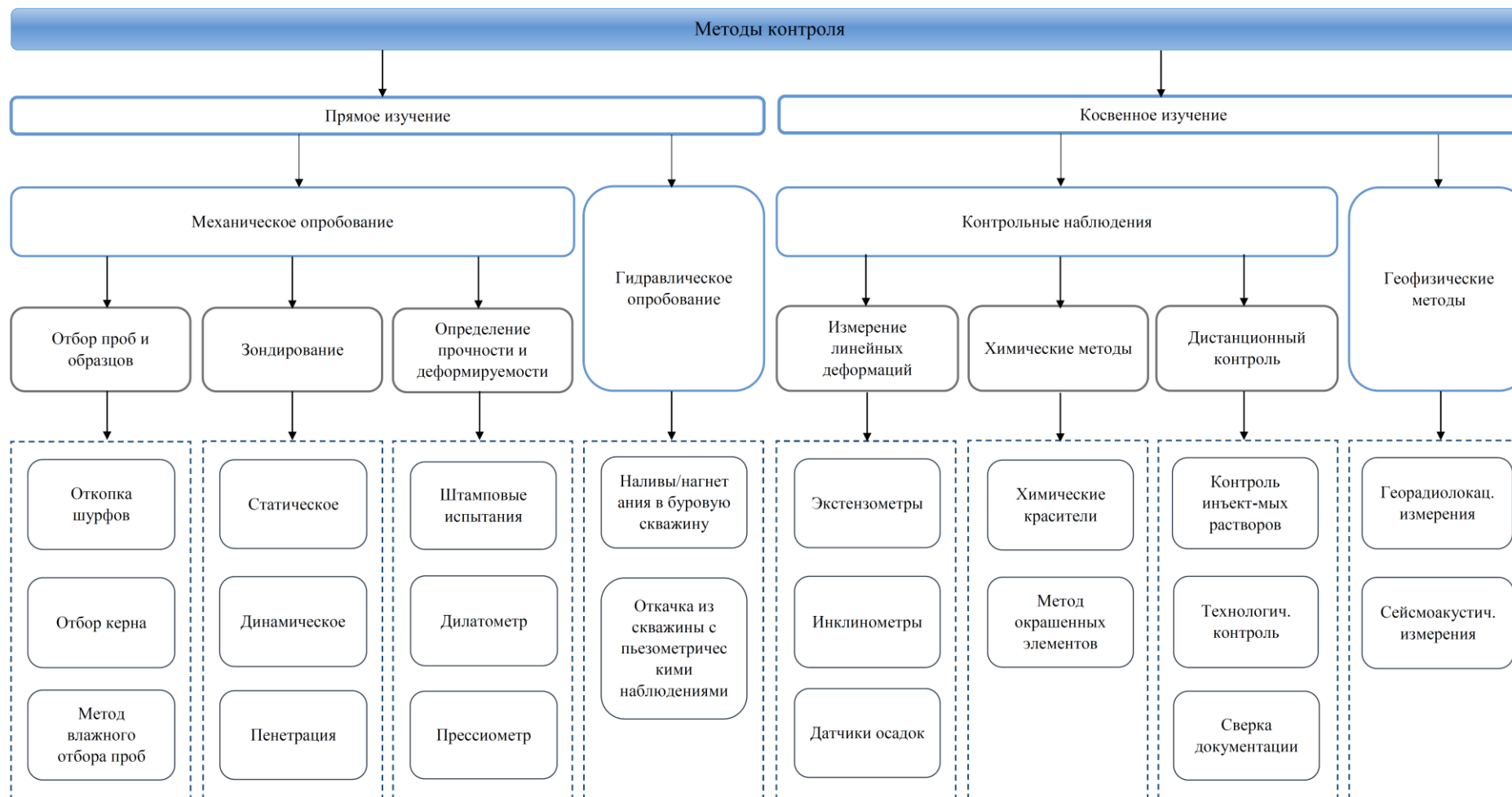
В заключение был проведен анализ применимости рассмотренных методов контроля к конкретным целям использования технологии Jet-Grouting. Результат проведенного анализа представлен в *табл. 2.3*, рекомендующей выбор методов контроля в зависимости от целей инъекции.

Вместе с тем, по ходу проведенного анализа было накоплено множество информации по оценке качества закрепления, почерпнутой из различных источников. Некоторые положения обновленных в 2017 году Сводов Правил, касающихся грунтов и их изучения, позволили закрыть несколько пробелов в нормативной литературе, посвященной струйной инъекции грунта.

Зарубежный опыт контроля качества закрепления, зарубежные рекомендации по использованию струйной технологии также позволили уточнить положения нормативной литературы нашей страны.

Поскольку данная информация содержится в различных источниках, не ссылающихся друг на друга, то для удобства её использования необходимо объединить данные положения в один документ. Документ должен содержать в себе рекомендации по назначению методов контроля и контролируемых параметров, содержать положения по объему проводимых испытаний, а также не противоречить действующим на территории Российской Федерации стандартам. Выполнение рекомендаций такого документа должно гарантировать надлежащее качество закрепления грунтового массива с помощью струйной технологии.

Методы оценки качества закрепления грунтов способом струйной цементации



Рекомендации по назначению контролируемых параметров в зависимости от целей применения струйной цементации

Технология струйной цементации											
Цели применения струйной цементации	Контролируемые параметры										
	Лабораторные испытания		Полевые испытания								
	Прочность	Водонепроницаемость	Прочность	Модуль деформации	Водонепроницаемость	Сплошность	Горизонтальные перемещения	Вертикальные перемещения в массиве	Осадка поверхности	Осадка фундаментов окружающей застройке, попадающей	Размер и форма ГЦК/ГЦМ
Устройство вертикальных и горизонтальных ПФЗ	●	●			●	●	⊗			●	●
Устройство ограждений котлованов	●	●	●		○	○	●		○	●	●
Закрепление (армирование) грунтов	●	●	●	●		○	⊗	⊗	●	●	●
Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений	●	●	○	●		○		⊗	●	●	●
Закрепление грунтов при проходке тоннелей	●	●				○		●	●	●	●

Легенда:

Обязательный контроль	Рекомендуется контролировать	Контролируются в отдельных случаях
●	○	⊗

Рекомендации по назначению методов контроля в зависимости от контролируемых параметров

Контролируемые параметры	Технология струйной цементации																		
	Откопка шурфов	Отбор кернов	Метод влажного отбора проб	Статическое зондирование	Динамическое зондирование	Пенетрация	Штамповые испытания	Прессиометр	Дилатометр	Наливы/нагнетания в буровую скважину	Откачка из скважины с пьезометрическими наблюдениями	Экстензометры	Инклинометры	Датчики осадок (месдозы)	Геодезические наблюдения	Химические красители	Метод окрашенных элементов	Георадиолокационные измерения	Сейсмоакустические измерения
Прочность	●	●	●	●	●	●	●	○										○	○
Водонепроницаемость		●	●							●	●								
Модуль деформации	●	●	●	●	●	○	●	●	●										
Сплошность				○	○	○				○						●		●	●
Горизонтальные перемещения массива													●						
Вертикальные перемещения массива												●							
Осадки поверхности												●		●	●				
Осадка фундаментов окружающей застройки, попадающей в зону влияния														⊗	●				
Размер и форма ГЦК/ГЦМ	●	○		○	○	○										●	●	●	●

Легенда:

Главное применение	Иногда применяются	Применяются в отдельных случаях
●	○	⊗

## Рекомендации по назначению методов контроля в зависимости от целей применения струйной цементации

Технология струйной цементации																				
Цели применения струйной цементации	Методы контроля качества																			
	Прямое изучение										Косвенное изучение									
	Механическое опробование									Гидравлическое опробование	Контрольные наблюдения									Геофизические методы контроля
	Отбор проб и образцов			Зондирование			Определение прочности и деформируемости				Измерение линейных деформаций			Химические методы контроля		Дистанционный контроль				
	Откопка шурфов	Отбор кернов	Метод влажного отбора проб	Статическое	Динамическое	Пенетрация	Штамповые испытания	Прессиометр	Дилятометр	Наливы/нагнетания в буровую скважину	Откачка из скважины с пьезометрическими наблюдениями	Экстензометры	Инклинометры	Датчики осадок	Химические красители	Метод окрашенных элементов	Контроль качества инъектируемых растворов	Технологический контроль	Сверка проектной, исполнительной и контрольной документации	Георадиолокационные измерения
Устройство вертикальных и горизонтальных ПФЗ	○	●		●					●	●		⊗		○	○	●	●	●	○	●
Устройство ограждений котлованов	●	●		○					⊗			●		○	○	●	●	●		●
Закрепление (армирование) грунтов, в том числе: - закрепление на глубине до 3-5 м (например, в основании дорожных одежд)	○	●	⊗	●	●	○	●	●	⊗		⊗		●	○	○	●	●	●	●	○
- закрепление на глубине более 5 м		●	⊗	●	●		○	○	⊗		●	⊗	●			●	●	●		●
Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений	●	●		○	○		○	○	○		●		⊗			●	●	●	●	○
Закрепление грунтов при проходке тоннелей		●									●		○			●	●	●		●

Легенда:

Рекомендуется к применению	Можно применить	Применяются в отдельных случаях
●	○	⊗

### **ГЛАВА 3. РАЗРАБОТАННЫЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО МАССИВА, СОЗДАННОГО МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ**

В данной главе представлен текст разработанных Рекомендаций с собственными приложениями, списком литературы и ссылками на них.

---

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО  
МАССИВА, СОЗДАННОГО МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

Санкт-Петербург

СПбГАСУ

2019

## **Предисловие**

1. РАЗРАБОТАН Инженером-проектировщиком ООО «БЭиСПР-СПб» Е.Г. Тишковой.
2. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Главным инженером проекта ООО «БЭиСПР-СПб» С.В. Татариновым 15 апреля 2019 г.
3. ИМЕЕТ РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР.
4. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ.



## Содержание

### Введение

1. Область применения
2. Нормативные ссылки
3. Термины и определения
4. Общие положения
5. Входной контроль материалов для инъекции
6. Операционный контроль при производстве инъекционных работ
7. Опытные работы
8. Контрольные испытания
9. Геотехнический мониторинг.
10. Приемка работ и документация для приемки

Приложение А Рекомендации по назначению контролируемых параметров и методов контроля

Приложение Б Журнал входного учета и контроля качества получаемых строительных конструкций, изделий и материалов

Приложение В Журнал бурения скважин и нагнетания раствора при струйной цементации грунтов

Приложение Г Журнал гидравлического опробования скважин

Приложение Д Формы отчетных документов

Приложение Е Формы журналов испытаний

Библиография

## Введение

За последние годы струйная цементация (технология Jet Grouting) все больше применяется в практике подземного и дорожного строительства в России. Это обусловлено появлением технической документации на применение технологии и усовершенствованием используемого оборудования.

Струйная цементация является одной из наиболее эффективных технологий по закреплению грунтов. Технология позволяет создавать в массиве естественных грунтов локальные грунтоцементные массивы, обладающие необходимыми характеристиками: высокой прочностью, повышенной несущей способностью, низкой водопроницаемостью и т.д. Строительные компании часто применяют данную технологию для решения задач, связанных с усилением оснований при реконструкции существующих зданий и сооружений. К настоящему времени опубликовано несколько монографий и множество научных статей, посвященных опыту использования струйной технологии на конкретных объектах.

В то же время весьма актуальным является вопрос контроля качества закрепления грунтов. К сожалению, несмотря на большой опыт применения струйной цементации, в нашей стране практически отсутствует техническая литература, посвященная контролю данной технологии.

Это послужило основанием для разработки данных Рекомендаций. Разработанные Рекомендации учитывают отечественный и зарубежный опыт контроля качества грунтов, закрепленных с помощью струйной технологии, и не противоречат действующим национальным документам в данной области.

---

# РЕКОМЕНДАЦИИ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА ГРУНТОЦЕМЕНТНОГО МАССИВА, СОЗДАННОГО МЕТОДОМ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ

---

## **1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ**

1.1 Рекомендации предназначены для использования при проектировании и проведении мероприятий по оценке качества закрепления грунтов струйной цементацией.

## **2 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ**

В настоящих Рекомендациях использованы ссылки на следующие нормативные документы:

- ГОСТ 10178-85 Портландцемент и шлакопортландцемент. Технические условия (с Изменениями N 1, 2);
- ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов;
- ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием;
- ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости;
- ГОСТ 21153.2-84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии (с Изменениями N 1, 2,);
- ГОСТ 22266-2013 Цементы сульфатостойкие. Технические условия;
- ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия;

- ГОСТ 24211-2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия (с Изменением N 1) (с Поправкой);
- ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений;
- ГОСТ 28570-90. Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобранным из конструкций;
- ГОСТ 28985-91. Породы горные. Метод определения деформационных характеристик при одноосном сжатии;
- ГОСТ 30515-2013 Цементы. Общие технические условия;
- ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия;
- СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований;
- СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменением N 1);
- СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменением N 1);
- СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений;
- СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования;
- СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве;
- СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Освоение подземного пространства. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве (с Поправкой).

### **3 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ**

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

**3.1 Грунтоцемент, ГЦ** - грунт, закрепленный путем его перемешивания с цементным раствором методом струйной цементации и имеющий механические характеристики, заданные проектом.

**3.2 Грунтоцементный элемент; ГЦЭ** - Объем грунта, закрепленный цементным вяжущим по методу струйной цементации, с приданием ему повышенной прочности и пониженной водопроницаемости, характеризуемый геометрическими параметрами и физико-механическими свойствами, назначенными при проектировании и подтвержденными опытными работами.

**3.3 Грунтоцементный массив; ГЦМ** – массив закрепленного грунта, представляющий совокупность множества ГЦЭ.

**3.1 Струйная цементация** (или технология **Jet-Grouting**) - Укрепление грунта путем его размыва под высоким давлением и перемешивания с инъекционным раствором на основе цемента. Размыв грунта может осуществляется направленными водяными, водо-воздушными или растворо-воздушными струями, подаваемыми из боковых сопел монитора, перемещаемого в предварительно пробуренной скважине.

### **4 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**4.1** При разработке настоящих Рекомендаций использованы результаты научных исследований и опыт контроля качества закрепления грунтов струйной цементацией, а также учтены требования и рекомендации стандартов, регламентирующих применение струйной технологии.

**4.2** Настоящие Рекомендации не затрагивают принципов проектирования и устройства закрепленного основания, а затрагивают только

вопросы, касающиеся оценки качества выполненных работ. Рекомендации предназначены для использования специализированными проектными и строительными организациями, применяющими в своей работе струйную технологию закрепления грунтов.

4.3 Контроль качества работ по закреплению грунтов струйной цементацией планируется на этапе проектирования закрепления основания и должен производиться систематически на всех этапах выполнения работ.

4.4 Проектирование методики обеспечения гарантированного качества закрепления грунтов должны осуществлять проектные организации, имеющие соответствующую лицензию и достаточный опыт работ в данной области.

4.5 Контроль осуществляется производителем работ, представителем авторского надзора и заказчика с привлечением по мере необходимости соответствующей специализированной организации, имеющей соответствующие лицензии.

Контроль качества работ обеспечивается:

- *входным контролем* поступающих материалов. Контроль осуществляется регистрационным методом (по сертификатам, накладным, паспортам), а при необходимости – измерительным методом;

- *операционным контролем* при производстве струйной инъекции. Обеспечивается строгим соблюдением технологии бурения, режима размыва высоконапорной струёй грунтов, замера положения забоя скважины и её вертикальности;

- *устройством опытной площадки* для проверки заложенных в проект расчетных параметров грунтоцементного массива;

- *контрольными испытаниями* на определение соответствия геометрических параметров и физико-механических характеристик грунтоцементного массива требованиям проекта.

Контрольные испытания также включают в себя инструментальные геодезические наблюдения за осадками фундаментов зданий и сооружений.

4.6 В настоящих Рекомендациях рассматриваются наиболее популярные методы контроля качества закрепленного грунта и оборудование, необходимое для его осуществления.

## **5 ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИНЪЕКЦИИ**

5.1 Входной контроль заключается в проверке соответствия качества поступающих материалов сопроводительным техническим документам и требованиям соответствующих ГОСТов и проектной документации.

При этом проверяются наличие и содержание сопроводительных документов поставщика (производителя), подтверждающих качество указанных материалов, изделий и оборудования.

5.2 Для проверки исходных и рабочих материалов на площадке производства работ должны быть организованы систематические лабораторные определения соответствующих характеристик материалов.

Лабораторные определения характеристик исходных материалов выполняются по соответствующим ГОСТам.

В случае выполнения контроля и испытаний привлеченными лабораториями следует проверить соответствие применяемых ими методов контроля и испытаний установленным национальными стандартами.

5.3 Проверка качества исходных материалов должна производиться для каждой поступающей на стройплощадку новой партии материала.

5.4 Входной контроль портландцемента осуществляется с учетом требований ГОСТ 10178, ГОСТ 30515, ГОСТ 31108 и ГОСТ 22266.

5.5 Добавки для инъекционных растворов должны соответствовать требованиям ГОСТ 24211.

5.6 Вода для затворения инъекционных растворов должна соответствовать ГОСТ 23732.

5.7 Входной контроль включает проверку соблюдения требований разгрузки и хранения поступающих материалов в соответствии с ГОСТ 30515.

5.8 Объём принимаемых материалов и соответствующие документы к ним фиксируются в Журнале входного учёта и контроля качества получаемых материалов (Приложение Б).

## **6 ОПЕРАЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ИНЪЕКЦИОННЫХ РАБОТ**

6.1 Операционный контроль при производстве инъекционных работ заключается в проверке соответствия работ карте операционного контроля.

При операционном контроле должны проверяться:

- правильность расположения скважин, очередность процессов бурения и инъекции;
- вертикальность расположения бурового снаряда, отклонения скважин от вертикали;
- глубина погружения монитора в скважину (по разметке на мачте буровой установки);
- визуальный контроль струи воды на поверхности перед забуриванием (компактность, непрерывность, дальность вылета);
- контроль параметров подачи сжатого воздуха (расхода и давления);
- соблюдение технологических режимов инъекции проектными рекомендациями (консистенция и расход цементного раствора, скорость подъёма и вращения монитора, давление нагнетания размывающего и твердеющего растворов);



– исправность бурового, смесительного и нагнетательного оборудования и приборов и соответствие их требованиям производства работ по эксплуатационной документации на применяемое оборудование;

– оформление актов на скрытые работы, полнота и достоверность записей в журналах по инъекции грунтов.

6.2 Правильность расположения скважин и очередность бурения и инъекции проверяется на соответствие принятым проектом расстояниям между скважинами и рядами скважин, углам наклона, общему количеству скважин на участке работ и порядку их бурения и инъекции.

Для определения линейных параметров технологического процесса бурения применяют поверенные измерительные приборы.

6.3 Об изменениях расхода воздуха, подаваемого в монитор, можно приблизительно судить по колебаниям давления подачи воздуха или по интенсивности его выхода из скважины вместе с пульпой.

6.4 Для контроля скорости подъема монитора предпочтительно применять приборы, фиксирующие скорость подъема; при их отсутствии контроль скорости подъема можно осуществлять по вертикальной разметке труб монитора.

6.5 При уточнении инженерно-геологических условий во время выполнения инъекционных работ производится корректировка технологических параметров бурения скважин и нагнетания растворов.

6.6 В программе контроля следует указывать требования о необходимости постоянного обеспечения выхода грунтоцементной пульпы на поверхность в ходе производства работ. Следует учитывать, что в случае отсутствия выхода пульпы на поверхности она может заполнить существующие полости в грунте (старые коммуникации или подвалы старых зданий) и привести к вертикальным или горизонтальным гидроразрывам.

При отклонениях от заданных параметров (уменьшение расхода и возрастание давления) процесс размыва должен быть остановлен, монитор следует извлечь из скважины, проверить качество струи и при необходимости очистить сопла от засорения. Косвенным признаком засорения сопел может служить уменьшение интенсивности или полное прекращение выхода пульпы из скважины.

6.7 Для контроля сплошности закрепления во время производства работ могут быть использованы геофизические методы. Применяемые в соответствии с СП 11-105 (Часть VI).

С этой целью вдоль линии направления закрепления грунта на расстоянии 30 - 50 см от нее пробуривают каротажные скважины с определенным шагом, в которых размещают градиент-зонды. Момент прохождения забоя мимо каротажной скважины фиксируется по резкому изменению измеряемого электросопротивления грунта.

6.8 Кроме указанных мер оперативного контроля, применяемых для всех целей струйной технологии, должен осуществляться контроль соответствия свойств инъекционного раствора проектным требованиям и его расхода.

6.8.1 Во время приготовления инъекционного раствора контролируется соблюдение следующих правил:

- строгое соблюдение водоцементного отношения;
- добавка вводится в смесительную установку с водой затворения;
- погрешность дозирования материалов весовыми дозаторами не должны превышать для цемента, воды и добавок  $\pm 2\%$ .

6.8.2 Консистенция (плотность) инъекционных растворов контролируется путем отбора проб после их приготовления и испытания строительной лабораторией.

6.8.3 Расход раствора и давление нагнетания контролируется производителем работ по контрольно-измерительной аппаратуре, установленной на нагнетательном оборудовании.

## **7 ОПЫТНЫЕ РАБОТЫ**

7.1 Для увязки принятых при проектировании технологических параметров и значений расчетных характеристик закрепленного грунта с конкретными грунтовыми условиями объекта рекомендуется проведение предварительных опытно-производственных работ.

7.2 Опытное закрепление грунтов осуществляют на ограниченных участках объекта, строго соблюдая при этом все проектные параметры и технические условия, при тщательном выполнении мероприятий по контролю качества исходных материалов.

7.3 Опытно-производственные работы могут выполняться в рамках изысканий или на этапе, предшествующем началу производства работ по устройству ГЦЭ. Рекомендуется для сооружений повышенного уровня ответственности, объектов 3-й геотехнической категории и при наличии специфических грунтов выполнять работы на опытном участке на этапе изысканий, в остальных случаях - на этапе строительства [1].

7.4 Опытный участок должен располагаться в границах участка проектируемых ГЦЭ или на расстоянии не более 15 - 20 м от него при условии сохранения геологического строения и залегания отдельных грунтовых элементов.

7.5 Число опытных ГЦЭ определяется в зависимости от уровня ответственности проектируемого сооружения и грунтовых условий площадки:

- для объектов 1 и 2 геотехнической категории – не менее 3 шт.;

- для объектов 3 геотехнической категории, а также для сооружений I уровня ответственности и уникальных сооружений – не менее 9 шт.

7.6 При выполнении опытно-производственных работ уточняется:

- оптимальный расход цемента, подобранный по предварительным лабораторным исследованиям;

- геометрические параметры закрепленного грунта, качество (прочность и однородность) грунтоцемента в элементе, а также их соответствие проектным требованиям;

- параметры технологического процесса (скорость подъема и число оборотов монитора, подбор кинетической энергии гидроструи).

7.7 После устройства опытных ГЦЭ должны выполняться работы по контролю качества закрепления, в т.ч.: контроль геометрических форм и размеров ГЦЭ, определение его физико-механических характеристик (прочность, деформативность, несущая способности и т.д.).

7.7.1 Контрольные работы на опытном участке должны включаться в себя виды контроля, предусмотренные пунктом 4.4 настоящих Рекомендаций.

7.7.2 Контроль качества устроенных ГЦЭ обеспечивается следующими мероприятиями:

- вскрытием контрольных шурфов для определения форм и размеров ГЦЭ;

- отбором, обследованием и испытанием кернов для определения физико-механических характеристик ГЦ;

- контрольным бурением или зондированием для определения сплошности ГЦМ;

- испытаниями ГЦЭ/ГЦМ статическими нагрузками (штампами, статическим зондированием).

7.7.3 Объемы контрольных работ должны обеспечивать возможность достоверной оценки качества ГЦ, но не менее двух контрольных участков с не менее чем тремя ГЦЭ.

7.8 По результатам опытно-производственных работ, при необходимости, выполняют корректировку значений технологических параметров изготовления ГЦЭ или назначают новые расчетные параметры ГЦЭ.

Участок ГЦЭ, выполненный в процессе опытно-производственных работ при его соответствии проектным требованиям, может быть принят в качестве элемента проектируемой конструкции.

7.9 Опытно-производственные работы должны выполняться по заданию, разработанному проектной организацией и программе опытных работ, разработанной производителем работ и согласованной с проектной организацией.

7.10 Отчетная документация по опытным работам должна содержать:

- техническое задание (проектная организация) и программу опытных работ (производитель работ или организация-разработчик ППР);
- исполнительную документацию по опытным работам, включающую в себя акты скрытых работ, исполнительные схемы, колонки контрольных скважин, акты лабораторных испытаний образцов из кернов (производитель работ);
- откорректированные значения технологических параметров изготовления ГЦЭ (производитель работ).

## **8 КОНТРОЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ**

8.1 Контрольные испытания проводятся для определения соответствия значений характеристик полученного ГЦМ требованиям проекта.

8.2 Контрольные работы выполняются после набора прочности ГЦ.

8.3 Качество закрепленных грунтов в зависимости от целей применения струйной технологии следует оценивать по следующим контролируемым показателям:

- прочность закрепленного грунта (отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10%);
- выход керна при бурении контрольных скважин в пределах от 50% до 75 % [8];
- модуль деформации (предельные отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10%);
- водонепроницаемость закрепленного грунта (отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10%);
- устойчивость стенок скважин в течение 24 ч после бурения [8];
- величина остаточного дебита контрольных скважин через 24 ч после бурения не превышающем 0,5 л/мин на погонный метр скважины в скальных грунтах и от 0,2 до 0,3 л/мин на погонный метр скважины в несвязных грунтах [8];
- удельное водопоглощение контрольных скважин, не превышающее 0,01 л/(мин·м·м·вод.ст.) в скальных грунтах и 0,05 л/(мин·м·м·вод.ст.) в несвязных грунтах [8];
- однородность и сплошность закрепления по отсутствию незакрепленных участков в плане и по глубине (определены РД, но не более 20%);
- размер и формы ГЦЭ/ГЦМ (предельные отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10%);

– линейные деформации окружающего массива грунта или ГЦМ по определению вертикальных и горизонтальных смещений, а также осадок поверхности.

8.4 Сочетание необходимых для исследования характеристик назначается в зависимости от целей закрепления. Необходимые контролируемые параметры рекомендуется назначать в соответствии с приложением A.1.

8.5 Для определения значений контролируемых параметров следует применять лабораторные и полевые методы контроля. Выбор методов контроля осуществляется в зависимости от целей применения струйной цементации и назначенных контролируемых параметров. Методы контроля рекомендуется назначать в соответствии с приложениями A.2 и A.3.

8.6 Для оценки различных характеристик ГЦ, например, прочности, деформируемости, водопроницаемости и др., необходимо отбирать пробы из тела ГЦЭ для последующего исследования их в лаборатории.

8.7 Лабораторные испытания закрепленных грунтов на прочность при одноосном сжатии и на водостойкость во всех случаях является обязательным.

#### **8.8 Отбор проб и образцов**

8.8.1 Образцы ГЦ рекомендуется отбирать из буровых скважин методом колонкового бурения (отбор керна); допускается отбирать пробы ГЦ из зачищенных участков горных выработок (шурфов, котлованов и т.п.) или при помощи грунтоносов.

Контрольное бурение осуществляется колонковым способом со сплошным отбором керна, диаметр скважины - не менее 93 мм. Номинальные размеры образцов при отборе кернов должны соответствовать ГОСТ 28570: диаметр образцов керна – 44 - 150 мм; высота керна – 0,8 - 2,0 диаметра.

Для получения качественного неразрушенного керна отбор желательно выполнять станками алмазного бурения.

8.8.2 Извлекаемые при бурении керны описываются, одновременно визуально оценивается качество закрепления (сплошность и однородность закрепления). Отобранные образцы заворачиваются во влажную марлю, герметично упаковываются в полиэтиленовый пакет и отправляются в строительную лабораторию. Отбор образцов, транспортирование и хранение выполняется в соответствии с ГОСТ 12071.

8.8.3 Количество контрольных скважин ориентировочно должно составлять 3 - 5 % общего количества инъекционных скважин, расположенных в одинаковых грунтовых условиях, но не менее 2%; а число шурфов назначается примерно из расчета один шурф на 2 - 3 тыс. м<sup>3</sup> закрепленного грунта, но не менее двух шурфов на объект.

8.8.4 Образцы из ГЦЭ следует отбирать через каждые 1 м по глубине и не менее чем в двух точках в горизонтальном сечении на расстоянии от 1/3 и 5/6 радиуса закрепления и не менее 6 шт. со скважины. Для определения значения нормативного сопротивления сжатию  $R_{stb}$  из элементов закрепленного грунта следует отбирать по три образца с каждого метра на глубину не менее 5 м.

Примечание - При отборе кернов с глубины более 5 м возможен выход бурового инструмента из тела грунтоцементного элемента в связи со статистическим отклонением скважин от вертикали на 1 % - 5 %.

8.8.5 Оценку прочности ГЦ в ГЦЭ производят путем испытания на одноосное сжатие образцов и кернов. Образцы и керны следует отбирать из тела ГЦЭ (в центре и на периферии), не ранее чем через 14 сут в песчаных грунтах и через 21 сут – в глинистых грунтах.

Испытания грунтоцемента выполняют для песчаных грунтов в возрасте 56 сут, для глин - 90. Допускается испытание образцов в более ранние сроки с перерасчетом полученных значений с учетом понижающих коэффициентов в соответствии с п.5.1.6, п.8.2.6 СП 291.1325800.



Предел прочности на сжатие  $R_{stb}$  и модуль деформации  $E_{stb}$  определяются по ГОСТ 21153.2 и ГОСТ 28985.

Прочность на сжатие  $R_{stb}$  образцов ГЦ рассчитывают для каждого метра закрепления по глубине по формуле:

$$R_{stb} = 0,11R_0 + 0,89R_t \quad (1)$$

где  $R_0$  и  $R_t$  – среднее значение сопротивления сжатию образцов, отобранных на расстояниях соответственно 1/3 и 5/6 радиуса ГЦЭ от оси скважины.

## **8.9 Определения характеристик прочности и деформируемости**

8.9.1 При проектировании искусственных оснований из элементов закрепленного грунта для зданий и сооружений геотехнических категорий 2 и 3 следует предусматривать полевые испытания статической нагрузкой как отдельных ГЦЭ, так и ГЦМ.

8.9.2 Качество упрочнения грунтов во времени (определение плотности ГЦ) обычно оценивается методом динамического зондирования или испытаниями статической нагрузкой (ГОСТ 19912);

8.9.3 Испытания ГЦМ методами зондирования следует проводить до и после выполнения инъекционных работ с последующим сравнением результатов испытания. При этом прикладываемая к зонду нагрузка должна быть одинаковой в обоих случаях.

8.9.4 Метод зондирования рекомендуется применять в сочетании с другими видами инженерно-геологических исследований.

8.9.5 Число точек зондирования определяется проектом, но оно должно составлять не менее 3% общего количества инъекционных скважин. Рекомендуют назначать не менее шести точек зондирования.

8.9.6 Полевые испытания ГЦМ статической нагрузкой могут быть выполнены с помощью штампов, испытанием плоским дилатометром и прессиометром в соответствии с ГОСТ 20276.

8.9.7 Испытания должны проводиться на отдельном ГЦЭ/ГЦМ или с включением массива грунта. Размеры штампов следует определять размерами элементов, но не менее 5000 см<sup>2</sup>.

8.9.8 Число испытаний зависит от уровня ответственности сооружения, инженерно-геологических условий площадки и ряда других факторов, но должно быть не менее двух.

## **8.10 Контроль сплошности**

8.10.1 Сплошность грунтоцементных элементов может контролироваться методом контрольного бурения и зондирования.

8.10.2 Допустимо осуществлять контроль сплошности ГЦЭ/ГЦМ геофизическими методами по СП 11-105 (Часть VI).

Наиболее рекомендуемыми методами оценки качества струйной цементации грунта являются сейсмоакустические методы просвечивания (прозвучивания), проводимые в межскважинном пространстве, и метод акустического каротажа.

Сейсмоакустические методы основаны на изучении динамических (амплитуды, частоты) и кинематических (скорости) характеристик упругих колебаний в среде, создаваемых искусственными источниками возбуждения. После закрепления упругие свойства грунтов и условия распространения упругих волн изменяются. Параметры упругой волны, прошедшей сквозь массив грунтов будут отличаться от параметров упругой волны, распространяющейся в ГЦМ, поэтому исследования ГЦЭ/ГЦМ геофизическими методами следует проводить до и после выполнения инъекционных работ для возможности сравнения результатов испытания.

Контроль сплошности ГЦМ методом просвечивания основан на фиксации резкого изменения параметров упругой волны. Резкое уменьшение скорости, амплитуды и частоты импульса упругой волны указывает на наличие в исследуемом массиве дефектов (пористости, трещиноватости).

8.10.3 Допустимо осуществлять контроль сплошности ГЦЭ в соответствии с приложением Д СП 291.1325800.

## **8.11 Определение водопроницаемости**

8.11.1 В случаях, когда струйная цементация используется для создания конструкций, служащих в целях контроля движения воды (горизонтальные и вертикальные ПФЗ), помимо лабораторных испытаний, необходимо проводить полевые испытания водопроницаемости ГЦМ.

8.11.2 Контроль качества готовых участков ПФЗ перед их приемкой в эксплуатацию может производиться следующими способами:

- измерениями уровней подземных вод в наблюдательных скважинах, располагаемых створами с верховой и низовой сторон ПФЗ, а также измерениями притока подземных вод в защищаемую выработку. Данные методы испытаний проводятся в случае восприятия завесой напора подземных вод сразу после её сооружения (например, при сооружении ПФЗ для сокращения притока в готовый котлован);

- измерениями уровня подземных вод в наблюдательных скважинах с одной стороны ПФЗ при искусственном повышении или понижении уровня подземных вод с другой ее стороны (например, налив или откачка из скважины или из группы скважин). Данные методы испытаний проводятся в случае отсутствия перепада уровней подземных вод на ПФЗ (например, при сооружении завесы до начала проходки защищаемого котлована).

8.11.3 Определение расположения неплотностей в завесе может проводиться путем запуска в скважины индикатора (красителя, солей, изотопов и т.д.) с фиксацией времени и трасс его прохождения.

8.11.4 Опытную откачку и опытный налив следует применять как теоретически и методически равно обоснованные методы. Отказ от одного в пользу другого следует производить исходя из технических условий.

Примечание - Отказ от опытной откачки определяется запретом сброса откачиваемой воды в систему водоотведения, на рельеф, в водоем, осушением ствола скважины, а также угрозой осадочных деформаций прилегающей территории; отказ от опытного налива - необеспеченностью технической водой, переливом устья опытной скважины.

8.11.5 Опытную откачку следует проводить при наличии насоса, а также водоподъемного оборудования. Опытный налив следует проводить через жесткую (металлическую или пластиковую) трубу (пакер), опускаемую в скважину под уровень воды не менее чем на 1 м.

Примечание - Проведение метода испытаний через пакер может быть затруднено при устройстве скважины в грунтовой мощи из гравия или грубого материала, потому что составляющие пакера требуют относительно гладкой стенки скважины для правильного их размещения. Вокруг пакера легко могут возникнуть утечки. Вода, используемая при испытании пакера с постоянным давлением, может также привести к гидроразрыву грунтоцементного массива, что приведет к ошибочным результатам. Это особенно актуально для скважин, расположенных возле края, верха или низа закрепленного массива. Изменение (повышение или понижение) гидростатического напора позволяет устранить утечки в пакере и уменьшить вероятность гидроразрыва.

8.11.6 Опытную откачку и опытный налив следует проводить при наличии устройств измерения расхода и уровней воды в скважинах, отвода или подвода воды.

8.11.7 Измерения уровня (напора) воды в наблюдательных скважинах рекомендуется производить с помощью пьезометров. После установки пьезометры должны быть проверены на пригодность к работе (чувствительность).

8.11.8 Полевые определения водопроницаемости ГЦМ методом опытной откачки (опытного налива) следует выполнять, руководствуясь ГОСТ 23278.

8.11.9 При проведении испытания методом опытной откачки (опытного налива) следует вести журнал кустовой откачки из скважины (журнал нагнетания воды в скважину), а также журнал расходомерии скважины (Приложение Е).

## **8.12 Контроль размеров и форм ГЦЭ/ГЦМ**

8.12.1 Контроль заданных проектом размеров и форм ГЦЭ/ГЦМ может осуществляться посредством следующих контрольных мероприятий:

- вскрытием области закрепления контрольными шурфами;
- бурением вертикальных или наклонных контрольных скважин;
- прощупыванием и фиксацией контуров закрепленных массивов способами статического или динамического зондирования, руководствуясь ГОСТ 19912;
- обследованием области закрепления геофизическими методами в соответствии с СП 11-105 (Часть VI);
- применением химических методов.

8.12.2 Бурение вертикальных или наклонных контрольных скважин выполняется для определения диаметра грунтоцементной колонны на разных глубинах по длине ГЦЭ.

8.12.3 При исследовании области закрепления геофизическими методами рекомендуется использовать сейсмоакустические методы. Допустимо осуществлять контроль длины ГЦЭ геофизическим методом в соответствии с приложением Д СП 291.1325800.

8.12.4 Контроль размеров и формы ГЦЭ/ГЦМ может выполняться при помощи добавления к инъекционному раствору химических красителей

или при помощи установки в грунтовый массив перед устройством ГЦЭ окрашенных стержней.

Добавление красителей упрощает процесс освидетельствования грунтоцементной колонны контрольными шурфами.

8.12.5 Сущность метода установки окрашенных элементов заключается в следующем: стальные стержни (например, трубы) окрашиваются, затем их устанавливают с помощью буровой установки вокруг точки бурения будущего ГЦЭ на определенных расстояниях.

Бурение происходит до необходимой глубины, затем стержни (трубы) устанавливаются внутрь буровых штанг, штанги удаляются и окрашенные стержни остаются на месте.

После завершения процесса закрепления грунта трубы извлекаются и визуально оцениваются. По эрозии окрашенных стержней определяют достаточность энергии струи для разрушения грунта на требуемом расстоянии.

Вокруг точки бурения будущего ГЦЭ рекомендуется устанавливать не менее трех окрашенных стержней: один на расстоянии равном прогнозируемому радиусу ГЦЭ, два других на расстоянии на 10 см меньше и на 10 см больше этого радиуса.

Метод установки окрашенных элементов рекомендуется применять для исследования диаметра ГЦЭ до глубины примерно 10-15 м, так как при больших глубинах трудоемко извлекать трубы после закрепления грунта.

## **9. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ**

9.1 Для осуществления геотехнического мониторинга объектов нового строительства и реконструкции, а также сооружения окружающей застройки, в т.ч. подземных инженерных коммуникаций, следует проектировать программу

мониторинга, которую разрабатывают в соответствии с СП 305.1325800 и утверждают в составе проектной документации.

9.2 К контролируемым параметрам при геотехническом мониторинге массива грунта, окружающего область закрепления, и ГЦМ относятся вертикальные и горизонтальные перемещения поверхности грунта и массива грунта по глубине; уровень, температура и химический состав подземных вод.

9.3 При закреплении грунтов с целью устройства конструкций ограждения котлована следует производить измерение горизонтальных перемещений конструкции по глубине с применением инклинометрических систем.

При этом величину перемещения верхней точки конструкции ограждения котлована следует контролировать с помощью тахеометра с последующей корректировкой измеренных значений величин перемещения по глубине инклинометрической скважины.

Выбор типа инклинометров и проектирование программы мониторинга по устройству инклинометрических систем следует выполнять, руководствуясь приложением Б СП 305.1325800.

9.4 Горизонтальные перемещения поверхности массива грунта/ГЦМ можно контролировать как при помощи инструментальных геодезических наблюдений за осадками, так и при помощи системы мониторинга осадок, которая состоит из цепочки датчиков осадок (гидростатическое нивелирование), руководствуясь ГОСТ 24846.

9.5 При контроле послойных осадок грунтового массива, окружающего область закрепления, или ГЦМ следует применять скважинные стационарные и портативные экстензометры.

Выбор типа экстензометров и проектирование программы мониторинга по их устройству следует выполнять, руководствуясь приложением В СП 305.1325800.

9.6 При закреплении грунтов с целью усиления или устройства оснований и фундаментов сооружений качество закрепления, его результат и эффективность окончательно оцениваются по результатам инструментальных геодезических наблюдений за осадками фундаментов, которые выполняются, руководствуясь ГОСТ 24846.

Для существующих сооружений эти наблюдения производятся до, во время и после инъекционных работ.

Усиление фундаментов и оснований памятников архитектуры и культуры грунтоцементными элементами должно выполняться с обязательным ведением расширенного геотехнического мониторинга. При этом программа геотехнического мониторинга должна предусматривать постоянный визуальный контроль и инструментальный мониторинг за осадками здания не реже одного раза в три дня в период устройства ГЦЭ.

## **10. ПРИЕМКА РАБОТ И ДОКУМЕНТАЦИЯ ДЛЯ ПРИЕМКИ**

10.1 Инъекционные работы по закреплению грунта считаются законченными и удовлетворительными при достижении проектных объемов закрепления грунтов и обеспечении требуемых проектом физико-механических характеристик ГЦЭ/ГЦМ.

10.2 Учитывая скрытый характер работ, установление соответствия при приемке работ осуществляется на основе сопоставления проектной, исполнительной и контрольной документации.

10.3 При сдаче и приемке законченных работ должны быть предъявлены следующие технические документы:

- проектная документация на инъекционные работы, дополнения и изменения к ней;
- копии документов о качестве на применяемые материалы;



- журнал входного учёта и контроля качества получаемых материалов (приложение Б);
- результаты определения характеристик использованных для инъекции материалов, данные испытаний инъекционных растворов, укрепленного грунта;
- журнал работ по струйному укреплению грунтов методом «Jet Grouting» (приложение В);
- исполнительные чертежи по законченному участку работ, в том числе планы, профили и сечения закрепленного грунтового массива с указанием действительного расположения инъекционных скважин и с нанесением исполнительных данных нагнетания закрепляющих реагентов, а также с указанием расположения контрольных выработок;
- акты освидетельствования скрытых работ (приложение Д.2);
- акты приемки работ по форме, приведенной в приложении Д.3;
- документация по контрольным испытаниям ГЦМ по формам, приведенным в приложении Е;

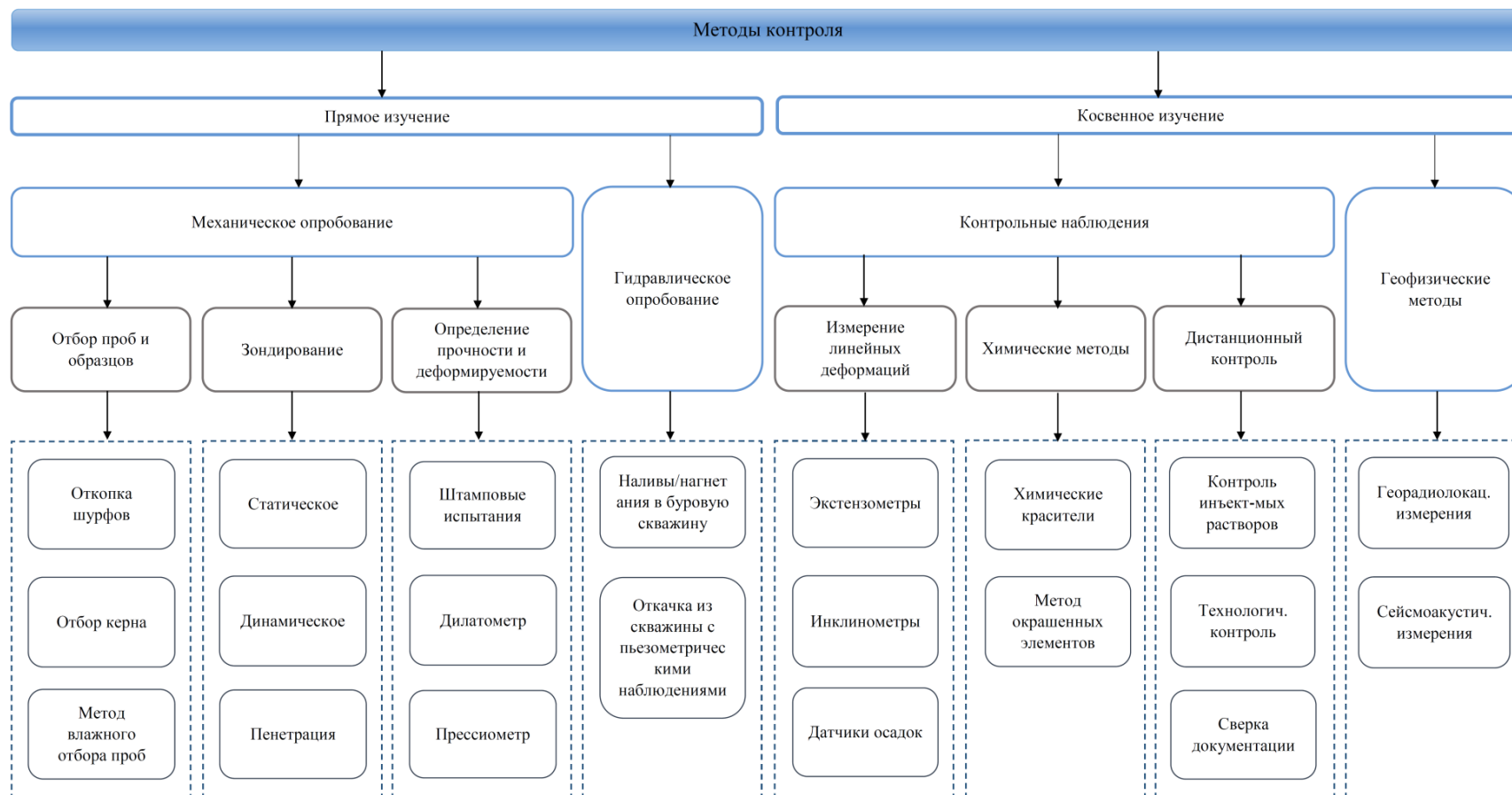
10.4 На основании анализа содержащихся в перечисленных документах данных (результатов) и сопоставления их с требованиями проекта составляется акт-заключение о качестве выполненных работ и их приемке.

10.5 При обнаружении несоответствий с требованиями проекта необходимо установить причины недостаточности результатов инъекционных работ и определить необходимость и целесообразность выполнения дополнительных инъекционных работ для обеспечения проектных требований. При необходимости авторским надзором назначаются, а производителями работ выполняются дополнительные инъекционные работы до устранения дефектов. После выполнения дополнительных инъекционных работ при соответствующих мероприятиях по контролю качества производится повторная приемка работ.

## Приложение А

### Рекомендации по назначению контролируемых параметров и методов контроля

#### А.1 Методы оценки качества закрепления грунтов способом струйной цементации



## А.2 Назначение контролируемых параметров в зависимости от целей применения струйной цементации

Технология струйной цементации											
Цели применения струйной цементации	Контролируемые параметры										
	Лабораторные испытания		Полевые испытания								
	Прочность	Водонепроницаемость	Прочность	Модуль деформации	Водонепроницаемость	Сплошность	Горизонтальные перемещения	Вертикальные перемещения в массиве	Осадка поверхности	Осадка фундаментов окружающей застройки, попадающей	Размер и форма ГЦ/ГЦМ
Устройство вертикальных и горизонтальных ПФЗ	●	●			●	●	⊗			●	●
Устройство ограждений котлованов	●	●	●		○	○	●		○	●	●
Закрепление (армирование) грунтов	●	●	●	●		○	⊗	⊗	●	●	●
Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений	●	●	○	●		○		⊗	●	●	●
Закрепление грунтов при проходке тоннелей	●	●				○		●	●	●	●

Легенда:

Обязательный контроль	Рекомендуется контролировать	Контролируются в отдельных случаях
●	○	⊗

### А.3 Назначение методов контроля в зависимости от контролируемых параметров

Технология струйной цементации																			
Контролируемые параметры	Средства измерения																		
	Откопка шурфов	Отбор кернов	Метод влажного отбора проб	Статическое зондирование	Динамическое зондирование	Пенетрация	Штамповые испытания	Прессиометр	Диалагометр	Наливы/нагнетания в буровую скважину	Откачка из скважины с пьезометрическими наблюдениями	Экстензометры	Инклинометры	Датчики осадок (мессдозы)	Геодезические наблюдения	Химические красители	Метод окрашенных элементов	Георадиолокационные измерения	Сейсмоакустические измерения
Прочность	●	●	●	●	●	●	●	○										○	○
Водонепроницаемость		●	●							●	●								
Модуль деформации	●	●	●	●	●	○	●	●	●										
Сплошность				○	○	○				○						●		●	●
Горизонтальные перемещения массива													●						
Вертикальные перемещения массива												●							
Осадки поверхности												●		●	●				
Осадка фундаментов окружающей застройки, попадающей в зону влияния														⊗	●				
Размер и форма ГЦК/ГЦМ	●	○		○	○	○										●	●	●	●

Легенда:

Главное применение ●	Иногда применяются ○	Применяются в отдельных случаях ⊗
-------------------------	-------------------------	--------------------------------------

#### А.4 Назначение методов контроля в зависимости от целей применения струйной цементации

Технология струйной цементации																				
Цели применения струйной цементации	Методы контроля качества																			
	Прямое изучение										Косвенное изучение									
	Механическое опробование									Гидравлическое опробование	Контрольные наблюдения									Геофизические методы контроля
	Отбор проб и образцов			Зондирование			Определение прочности и деформируемости				Измерение линейных деформаций			Химические методы контроля		Дистанционный контроль				
	Откопка шурфов	Отбор кернов	Метод влажного отбора проб	Статическое	Динамическое	Пенетрация	Штамповые испытания	Прессиометр	Диалометр	Наливы/нагнетания в буровую скважину	Откачка из скважины с пьезометрическими наблюдениями	Экстензометры	Инклинометры	Датчики осадок	Химические красители	Метод окрашенных элементов	Контроль качества инъектируемых растворов	Технологический контроль	Сверка проектной, исполнительной и контрольной документации	Георадиолокационные измерения
Устройство вертикальных и горизонтальных ПФЗ	○	●		●					●	●		⊗		○	○	●	●	●	○	●
Устройство ограждений котлованов	●	●		○					⊗			●		○	○	●	●	●		●
Закрепление (армирование) грунтов, в том числе: - закрепление на глубине до 3-5 м (например, в основании дорожных одежд)	○	●	⊗	●	●	○	●	●	⊗			⊗	●	○	○	●	●	●	●	○
- закрепление на глубине более 5 м		●	⊗	●	●	○	○	⊗			●	⊗	●			●	●	●		●
Усиление фундаментов и оснований зданий и сооружений	●	●		○	○	○	○	○			●		⊗			●	●	●	●	○
Закрепление грунтов при проходке тоннелей		●									●		○			●	●	●		●

Легенда:

Рекомендуется к применению	Можно применить	Применяются в отдельных случаях
●	○	⊗

## Приложение Б

### Журнал входного учета и контроля качества получаемых строительных конструкций, изделий и материалов

Наименование объекта \_\_\_\_\_

Адрес объекта \_\_\_\_\_

Наименование строительной организации \_\_\_\_\_

Начат \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Окончен \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

№№ <u>п/п</u>	Дата доставки	Наименование материалов и конструкций	Кол- во	Поставщик	Наименование сопроводительного документа, №№ накладных	Отклонения от ГОСТа, СП, ТУ. ВСН, дефекты	Подпись лица, осуществля- ющего контроль	Примечание

## Приложение В

### Журнал бурения скважин и нагнетания раствора при струйной цементации грунтов

(СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011)

Дата, смена	Участок работ (местоположение свай)	Параметры свай					Параметры технологии					Состав раствора		Расход цемента на сваю, кг	Ф.И.О. ответственного лица	Примечание
		№ скважины	Угол наклона к вертикали, °	Длина скважины, м	Длина свай, м	Диаметр свай, м	Количество форсунок, шт.	Диаметр форсунок, мм	Скорость вращения, об/мин	Скорость подъема монитора, м/мин	Давление нагнетания раствора, МПа	Марка цемента	Водоцементное отношение			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17

Строительство \_\_\_\_\_

(наименование объекта, участка)

## Приложение Г

### Журнал гидравлического опробования скважин

(СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011)

№ <u>п/п</u>	Дата, смена	Номер скважины, длина опробуемой зоны, L, м	Давление воды в зоне, P, м водного столба	Объем закачанн ой воды, V, л	Время нагнетан ия воды, T, мин	Расход воды в опробуе мой зоне, Q, л/мин (V/T)	Удельное водопоглощение, $q = Q / (P \cdot L)$ л/(мин·м·м·вод.ст .)	
							каждое на ступени гидроопр обования	средне е в зоне
1	2	3	4	5	6	7		

Строительство \_\_\_\_\_  
(наименование объекта, участка)



**Приложение Д.**  
**Формы отчетных документов**  
(СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011)

**Д.1 Форма акта гидропробования контрольной скважины**

А К Т

опробования контрольной скважины № \_\_\_\_\_  
выполненной \_\_\_\_\_ г.  
(наименование сооружения)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Комиссия в составе  
представителя строительно-монтажной организации \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., должность)

представителя заказчика \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., должность)

представителя проектной организации \_\_\_\_\_

(Ф.И.О., должность)

провела опробование контрольной скважины № \_\_\_\_\_ для проверки  
результатов и достаточности выполненных цементационных работ.  
Местоположение скважины \_\_\_\_\_

(участок, пикет, №№ соседних скважин)

Глубина скважины, зоны, установка тампона \_\_\_\_\_

**Результаты испытания**

Глубина интервала, м	Мощность зоны, м	Испытание водой		Цементация	
		Давление, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )	Удельное водопоглощение, л/(мин·мм водного столба)	Давление, Мпа (кгс/см <sup>2</sup> )	Поглощение цемента на 1 м, кг

Заключение по результатам испытания \_\_\_\_\_

Представитель строительно-монтажной организации \_\_\_\_\_  
(подпись)

Представитель заказчика \_\_\_\_\_  
(подпись)

Представитель проектной организации \_\_\_\_\_  
(подпись)

## Д.2 Форма акта освидетельствования скрытых работ

А К Т

освидетельствования скрытых работ

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

\_\_\_\_\_ (наименование работ)

\_\_\_\_\_ (наименование здания, сооружения)

по адресу \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (район застройки, квартал, улица, № дома и корпуса)

Комиссия в составе:

представителя строительно-монтажной организации \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О., должность)

представителя заказчика \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О., должность)

представителя проектной организации \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (Ф.И.О., должность)

произвела осмотр работ, выполненных \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (наименование строительно-монтажной организации)

и составила настоящий акт о нижеследующем:

1. К освидетельствованию и приёмке предъявлены следующие работы \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (наименование скрытых работ)

2. Работы выполнены по проекту \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (проект серии, наименование проектной организации, № чертежей и дата их составления)

3. При выполнении работ применены \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ (наименование материалов, конструкций, изделий с указанием марки, типа, категории качества и т.п.)

4. Дата начала работ « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

5. Дата окончания работ « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 г.

***Решение комиссии***

Работы выполнены в соответствии с проектом, стандартами, строительными нормами и отвечают требованиям их приемки.

На основании изложенного разрешается производство последующих работ по устройству (монтажу)\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
(наименование работ и конструкций)

Представитель строительно-монтажной организации \_\_\_\_\_  
(подпись)

Представитель заказчика \_\_\_\_\_  
(подпись)

Представитель проектной организации \_\_\_\_\_  
(подпись)

### Д.3 Форма акта приёмки работ

#### Акт приёмки работ

Комиссия в составе:

представителя строительно-монтажной организации \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О., должность)

представителя заказчика \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О., должность)

представителя проектной организации \_\_\_\_\_  
(Ф.И.О., должность)

ознакомилась с исполнительной документацией, произвела осмотр,  
выполненных \_\_\_\_\_  
(наименование строительно-монтажной организации)

и составила настоящий акт о нижеследующем:

1. К освидетельствованию и приёмке предъявлены работы по устройству  
грунтоцементных свай \_\_\_\_\_

на участке \_\_\_\_\_

2. Работы выполнены по проекту \_\_\_\_\_

(наименование проектной организации, № чертежей и даты их составления)

3. Для приготовления растворов использовались \_\_\_\_\_

(наименование и результаты входного контроля материалов)

4. Для нагнетания применялся \_\_\_\_\_

(вид раствора, соотношение компонентов, характеристики  
раствора)

5. Приготовление и нагнетание растворов производилось \_\_\_\_\_

(тип смесительного и нагнетательного оборудования)

(технологические параметры нагнетания растворов, давление, скорость подъёма монитора, расход и  
т.п.)

6. Работу производила бригада \_\_\_\_\_

(Ф.И.О. бригадира)

7. Результаты контрольных работ \_\_\_\_\_

(вид контроля, номера контрольных свай,  
скважин, характеристики грунтоцементного материала)

8. Дата начала работ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

9. Дата окончания работ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

***Решение комиссии***

Работы выполнены в соответствии с проектом \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_ и отвечают требованиям их приемки.

Предъявленные к приёмке работы, указанные в пункте 1 настоящего акта,  
приняты с оценкой качества \_\_\_\_\_

На основании изложенного разрешается производство \_\_\_\_\_

Представитель строительной-монтажной организации \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
(подпись)

Представитель заказчика \_\_\_\_\_

(подпись)

Представитель проектной организации \_\_\_\_\_

(подпись)

**Приложение Е**  
**Формы журналов испытаний**  
(ГОСТ 23278—2014)

**Е.1 Журнал кустовой откачки из скважины**  
(Обложка журнала. Первая страница)

Организация \_\_\_\_\_ Объект \_\_\_\_\_  
Партия (подразделение) \_\_\_\_\_ Участок \_\_\_\_\_  
Адрес организации: \_\_\_\_\_

Журнал № \_\_\_\_\_  
испытания методом кустовой откачки воды из скважины № \_\_\_\_\_

Местоположение куста скважин \_\_\_\_\_  
Элемент рельефа \_\_\_\_\_  
Расстояние до уреза воды ближайшего водоема \_\_\_\_\_ м \_\_\_\_\_  
Интервал испытания от \_\_\_\_\_ м \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_ м \_\_\_\_\_  
Испытание начато \_\_\_\_\_ окончено \_\_\_\_\_

Наблюдатели:

1	_____	4	_____
2	_____	5	_____
3	_____	6	_____

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

Техник \_\_\_\_\_  
(последующая страница журнала)

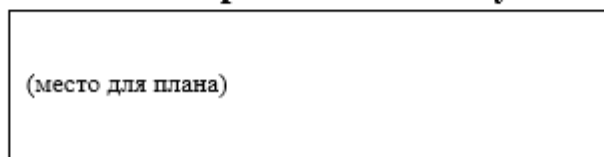
**Задание на производство испытания**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Руководитель работ \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_  
(последующая страница журнала)

**1. Ситуационный план расположения куста скважин**

(место для плана)



## 2. План расположения скважин в кусте

(место для плана)

(последующая страница журнала)

## 3. Общие сведения о водоносном горизонте

1. Стратиграфический индекс пород \_\_\_\_\_
2. Гидравлическая характеристика \_\_\_\_\_
3. Средняя глубина кровли \_\_\_\_\_ м, подошвы \_\_\_\_\_ м
4. Мощность \_\_\_\_\_ м

## 4. Сведения об оборудовании и измерительных приборах

Насос. Двигатель

1. Тип, марка \_\_\_\_\_
2. Производительность, мощность \_\_\_\_\_

Прибор для измерения расхода воды

Сосуд и его емкость \_\_\_\_\_

Цена деления рейки \_\_\_\_\_

Тип и калибр водомера \_\_\_\_\_

Цена деления водомера \_\_\_\_\_

Дата тарировки \_\_\_\_\_

Прибор для измерения уровня воды \_\_\_\_\_

Прибор для измерения времени \_\_\_\_\_

Способ отвода откачиваемой воды \_\_\_\_\_

Конструкция водовода, в который производится сброс \_\_\_\_\_

На расстояние от скважины \_\_\_\_\_ м

## 5. Сведения о скважинах

Перечень сведений	Центральная скважина	Прифильтовый пьезометр	Наблюдательная скважина						
			№	№	№	№	№	№	
Общие сведения									
Абсолютная отметка устья, м									
Глубина, м:									
до испытания;									
после испытания									
Затампонирована до глубины, м									
Диаметр скважины в интервале установки фильтра, мм									
Расстояние до центральной скважины, м									

Перечень сведений	Центральная скважина	Прифильтовый пьезометр	Наблюдательная скважина					
			№	№	№	№	№	№
<p style="text-align: center;">Фильтр</p> <p>Тип</p> <p>Диаметр рабочей части фильтра, мм; наружный; внутренний</p> <p>Глубина установки рабочей части фильтра, м: верх; низ</p> <p>Длина отстойника, м</p> <p>Длина верхней глухой части, м</p> <p>Общая длина фильтровой колонны, м</p> <p>Превышение верха фильтровой колонны над устьем, м</p> <p>Форма отверстий каркаса</p> <p>Скважность каркаса. %</p> <p>Тип сетки</p> <p>Диаметр проволоки обмотки, мм</p> <p>Расстояние между витками обмотки, мм</p> <p>Размеры зерен обсыпки, мм</p> <p>Объем обсыпки, м*</p> <p>Глубина до верха обсыпки, м</p>								
<p style="text-align: center;">Тампон</p> <p>Тип</p> <p>Диаметр труб, мм</p> <p>Диаметр уплотнителя, мм</p> <p>Длина колонны тампона, м</p> <p>Глубина упаковки уплотнителя, м. верх: низ</p> <p>Превышение верха колонны тампона над устьем скважины, м</p>								
Сведений о нулевых точках								
<p>Наименование:</p> <p>Превышение, м: до испытаний: после испытаний</p> <p>Абсолютная отметка, м: до испытаний: после испытаний</p>								
Сведений об уровнях воды в скважинах								
<p>Глубина до статического уровня, м: до испытаний: после испытаний</p> <p>Абсолютная отметка статического уровня, м: до испытаний: после испытаний</p>								

(последующая страница журнала)



## 6. Данные наблюдений

Глубина статического уровня подземных вод в центральной скважине, м \_\_\_\_\_

Дата	Время замера		Время от начала откачки(восстановления), мин	Измерение расходов			Измерение уровней воды в центральной и наблюдательных скважинах						Наблюдения за водоемом	Примечание (мутность воды, неполадки, изменение нулевой точки, отбор проб воды)		
	ч	мин		Отсчёт по прибору или время наполнения ёмкости, с	Объём наполнения емкости, л	Дебит, л/с	Скважина №__		Скважина №__		...	...			...	...
							Глубина, м	Понижение, м	Глубина, м	Понижение, м						

Примечание – Необходимо отдельной строкой в журнал наблюдений вносить записи «до откачки», «начало откачки», «начало восстановления» в соответствующие моменты времени.

(последующая страница журнала)

**7. Схематический геологический разрез и конструкция центральной скважины**

Стратиграфический индекс	Геологический разрез, уровень подземных вод	Конструкция скважины	Глубина и отметка подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Краткое литологическое описание грунтов

(последующая страница журнала)

**8. Схематические гидрогеологические разрезы по лучам куста с конструкциями скважин**

(место для графика)

**9. График изменения расхода откачиваемой воды  $Q$  во времени  $t$**

(место для графика)

**10. Графики изменения понижений уровней воды  $S$  в центральной и наблюдательных скважинах во времени  $t$  и  $lg t$  для периода откачки и периода восстановления**

(место для графика)

(последняя страница журнала)

**11. Заключение о результатах проведённого испытания**

---

---

---

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

## Е.2 Журнал нагнетания воды в скважину

(Обложка журнала. Первая страница)

Организация \_\_\_\_\_ Объект \_\_\_\_\_  
Экспедиция \_\_\_\_\_ Участок (створ.) \_\_\_\_\_  
Партия (отряд) \_\_\_\_\_ Стадия \_\_\_\_\_

Журнал № \_\_\_\_\_

испытания методом нагнетания воды в скважину № \_\_\_\_\_

Местоположение \_\_\_\_\_  
Элемент рельефа \_\_\_\_\_  
Абсолютная отметка устья \_\_\_\_\_ м, глубина \_\_\_\_\_ м  
Азимут и угол наклона скважины, градус \_\_\_\_\_  
Интервал испытания № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_ м \_\_\_\_\_  
Испытание начато \_\_\_\_\_ окончено \_\_\_\_\_  
Наблюдатели:  
1 \_\_\_\_\_  
2 \_\_\_\_\_  
3 \_\_\_\_\_

Начальник партии (отряда) \_\_\_\_\_  
Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_  
Ст. техник \_\_\_\_\_  
Адрес организации: \_\_\_\_\_

(Обратная сторона обложки журнала. Последующая страница журнала)

### Задание на производство испытания

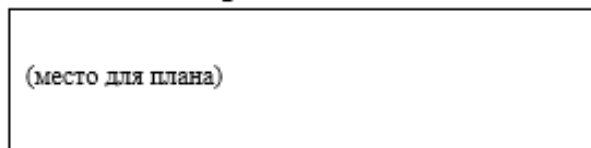
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_  
Дата \_\_\_\_\_

(последующая страница журнала)

### 1. Схематический план расположения скважины

(место для плана)



(последующая страница журнала)

## 2. Сведения об оборудовании и измерительных приборах

Насос. Двигатель

1. Тип, марка \_\_\_\_\_

2. Производительность, мощность \_\_\_\_\_

Тампон

1. Тип \_\_\_\_\_

2. Диаметр труб, мм: наружный \_\_\_\_\_ внутренний \_\_\_\_\_

3. Число колец \_\_\_\_\_

4. Диаметр колец, мм \_\_\_\_\_

5. Длина уплотнителя, м \_\_\_\_\_

Прибор для измерения расхода воды

1. Тип \_\_\_\_\_

2. Номинальный расход или объём воды \_\_\_\_\_

3. Цена деления \_\_\_\_\_

Прибор для измерения уровня воды

1. Тип \_\_\_\_\_

Манометр

1. Тип, марка \_\_\_\_\_ Предел измерений \_\_\_\_\_ кгс/см<sup>2</sup>

2. Цена деления \_\_\_\_\_ кгс/см<sup>2</sup>. Дата тарировки \_\_\_\_\_

(последующая страница журнала)

Нулевая точка

1. Описание \_\_\_\_\_

2. Превышение над устьем, ± м \_\_\_\_\_

3. Абсолютная отметка \_\_\_\_\_ м

(последующая страница журнала)

## 3. Схематический геологический разрез и конструкция скважины

Стратиграфический индекс	Геологический разрез, уровень подземных вод	Конструкция скважины	Глубина и отметка подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Краткое литологическое описание грунтов

## 4. Сведения об установке тампона

Номер труб	Длина труб, м		Номер труб наружных	Длина труб, м	
	наружных	внутренних			
1			7		
2			8		
3			9		
4			10		
5			11		
6			12		

Длина колонны от низа уплотнителя до верха рабочих труб до сжатия, м

Сжатие тампона, м \_\_\_\_\_

Длина колонны после сжатия, м \_\_\_\_\_

Превышение верха колонны над нулевой точкой, м \_\_\_\_\_

Глубина установки низа уплотнителя от нулевой точки, м \_\_\_\_\_

Дополнительные сведения \_\_\_\_\_

(последующая страница журнала)

## 5. Промывка скважины

Способ	Продолжительность, мин	Расход воды, л/мин	Результат

(последующая страница журнала)

## 6. Данные наблюдений

Превышение верха внутренней колонны труб над нулевой точкой \_\_\_\_\_ м

Превышение оси манометра над нулевой точкой \_\_\_\_\_ м

Глубина статического уровня грунтовых вод (до середины сухого интервала)

от верха внутренней колонны труб \_\_\_\_\_ м,

от нулевой точки \_\_\_\_\_ м

Дата	Время замера		Промежуток времени между отсчётами, мин	Измерение напора			Измерение расхода воды			Расход воды, л/мин	Уровень воды в стволе скважины над тампоном от нулевой точки, м	Примечание (неполадки в работе, температура воды, и пр.)
	ч	мин		Динамический уровень от верха внутренней колонны труб, м	Отсчет по манометру, кгс/см <sup>2</sup>	Действующий напор, м	Отсчет по прибору (мерной рейке), м	Разность отсчетов по прибору (мерной рейке), м	Водопоглощение за промежуток времени, л			

(последующая страница журнала)

## 7. Графики изменения расхода $Q$ и напора воды $H$ во времени $t$

(место для графика)

## 8. Результаты нагнетания

в интервале абсолютной отметки от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_ м

Интервал		Степень напора		Расход, л/мин	Удельное водопоглоще- ние, л/мин/м <sup>2</sup>	Приведённый расход при напоре 100 м	Продолжительность		Примечание
Длина, м	Диаметр, мм	Номер	Величина, м				общая	с установивши- мся	

(последняя страница журнала)

## 9. Заключение о результатах испытания

---



---



---

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

### Примечания

1. В разделе 3 следует дополнительно показывать размещение колонны тампона в стволе скважины с указанием глубины низа уплотнителя и превышения верха внутренней колонны труб или оси манометра над нулевой точкой. При глубине скважины более 15 м приводят часть ее разреза, прилегающую к устью и опробуемому интервалу.

2. Записи в разделе 6 необходимо выполнять в следующем порядке: по наблюдениям за уровнем воды до нагнетания всех измерений, проводимых при пробном нагнетании с целью проверки качества изоляции интервала и в процессе испытаний, а также по наблюдениям за восстановлением уровня воды после испытания. Перед каждым из перечисленных наблюдений необходимо строчкой указывать его наименование, а для нагнетаний - номер ступени и величину напора.

### Е.3 Журнал расходомерии скважины

(Обложка журнала. Первая страница)

Организация \_\_\_\_\_ Объект \_\_\_\_\_  
Экспедиция \_\_\_\_\_ Участок (створ.) \_\_\_\_\_  
Партия (отряд) \_\_\_\_\_ Стадия \_\_\_\_\_

Журнал № \_\_\_\_\_

испытания методом измерения расхода воды в скважине № \_\_\_\_\_

Местоположение \_\_\_\_\_

Элемент рельефа \_\_\_\_\_

Абсолютная отметка устья \_\_\_\_\_ м, глубина \_\_\_\_\_ м

Азимут и угол наклона скважины, градус \_\_\_\_\_

Интервал испытания № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ до \_\_\_\_\_ м \_\_\_\_\_

Испытание начато \_\_\_\_\_ окончено \_\_\_\_\_

Наблюдатели:

1 \_\_\_\_\_  
2 \_\_\_\_\_  
3 \_\_\_\_\_

Начальник партии (отряда) \_\_\_\_\_

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

Ст. техник \_\_\_\_\_

Адрес организации: \_\_\_\_\_

(Обратная сторона обломки журнала. Последующая страница журнала)

#### Задание на производство испытания

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

(последующая страница журнала)

#### 1. Схематический план расположения скважины

(место для плана)
-------------------



(последующая страница журнала)

## 2. Сведения об оборудовании и измерительных приборах

Насос

1. Тип, марка \_\_\_\_\_

2. Производительность, мощность \_\_\_\_\_

Расходомер тахометрический скважинный

1. Тип \_\_\_\_\_

2. Цена деления \_\_\_\_\_

3. Дата тарировки \_\_\_\_\_

Каверномер

1. Тип \_\_\_\_\_

2. Цена деления \_\_\_\_\_

3. Дата эталонирования \_\_\_\_\_

## 3. Сведения о гидродинамическом режиме скважины

1. Динамический уровень воды, м \_\_\_\_\_

2. Понижение (повышение) уровня воды, м \_\_\_\_\_

3. Расход откачки (налива) воды, л/с \_\_\_\_\_

4. Время регистрации \_\_\_\_\_

(последующая страница журнала)

## 4. Схематический разрез и конструкция скважины

Стратиграфический индекс	Геологический разрез, уровень подземных вод	Конструкция скважины	Глубина и отметка подошвы слоя, м	Мощность слоя, м	Краткое литологическое описание грунтов

(последующая страница журнала)

## 5. Данные наблюдений

Время замера, ч	Глубина замера, м	Диаметр скважины, мм	Количество оборотов крыльчатки	Длительность замера, мин	Скорость вращения, об/мин	Расход потока воды через прибор, л/с	Коэффициент пересчета расхода через сечение скважины	Расход воды по скважине, л/с	Направление потока воды	Примечание

(последующая страница журнала)

**6. График зависимости изменения понижения уровня воды  $S$  от времени  $t$  и  $lg t$ .**

(место для графика)

(последняя страница журнала)

**7. Заключение о результатах испытания**

---

---

---

Инженер-геолог (гидрогеолог) \_\_\_\_\_

## Библиография

1. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\* (с Изменением N 1);
2. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87 (с Изменением N 1);
3. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений;
4. СП 103.13330.2012 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Актуализированная редакция СНиП 2.06.14-85;
5. СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод;
6. СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования;
7. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве;
8. СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Освоение подземного пространства. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве (с Поправкой);
9. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83);
10. Рекомендации по струйной технологии сооружения противofiltrационных завес, фундаментов, подготовки оснований и разработки мерзлых грунтов;
11. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ отечественного и зарубежного опыта контроля качества закрепления грунтов с помощью струйной технологии, а также анализ положений нормативно-технической документации в области контроля качества закрепления грунтов позволили:

- выявить параметры ГЦЭ/ГЦМ, контролирование которых позволит обеспечить необходимое качество закрепления, и увязать данные параметры с целями использования струйной технологии;
- систематизировать накопленную информацию о применяемых МКК выполненных работ по закреплению грунтов с помощью струйной технологии;
- установить зависимости между МКК и контролируемыми параметрами, между МКК и целями использования струйной технологии.

На основе проведенного анализа и накопленной информации разработаны Рекомендации по оценке качества устройства грунтоцементного массива с помощью струйной технологии. Предложенные положения Рекомендаций заполняют пробелы в нормативных документах в области контроля качества закрепления грунтов методом струйной цементации, а также позволяют на стадии проектирования назначить необходимые контролируемые параметры устраиваемого ГЦМ и подобрать эффективные МКК выполненных работ по закреплению. Соблюдение положений разработанных Рекомендаций позволит обеспечить необходимое качество закрепления грунтового массива.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов.
2. ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.
3. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть I. Общие правила производства работ.
4. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть VI. Правила производства геофизических исследований.
5. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*.
6. СП 45.13330.2017 Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87.
7. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
8. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96.
9. СП 103.13330.2012 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Актуализированная редакция СНиП 2.06.14-85.
10. СП 250.1325800.2016 Здания и сооружения. Защита от подземных вод.
11. СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования.
12. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве.
13. СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве.

14. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. – М.: Стройиздат, 1979. – 271 с.
15. Абрамова Т.Т., Бочко Э.А., Голоднов В.М. Электронно-микроскопические и технологические исследования силикатного геля // Материалы к VII Всес. совещ. по закреплению и упрочнению грунтов. – Л.: Энергия, 1971.
16. Абрамова Т.Т. Силикатизация отвалов зол-уносов при использовании их в качестве оснований различных сооружений // Энергетич. стр-во. – 1987. – № 1. – С. 71-72.
17. Абрамова Т.Т., Воронкевич С.Д., Ларионова Н.А. Защита геол. среды от поражений (повреждений, загрязнений) на основе силикатизации и др. методов физ.-хим. мелиорации грунтов / В сб. Геология, 2. (Программа «Университеты России»). – М.: Изд-во МГУ, 1995. – С.136-140.
18. Абрамчук В.П., Педчик А.Ю., Малинин А.Г. и др. Укрепление зоны пластичных глин при строительстве автодорожного тоннеля в Уфе // Метро и тоннели. – 2004. – № 4. – С. 4-8.
19. Адамович А.М., Колтунов Д.В. Цементация оснований и гидросооружений. – Л.: Энергоиздат, 1964. – 514 с.
20. Адамович А.Н., Баушев В.К. Закрепление известняков с оглиненными трещинами инъекцией фурановых смол // Материалы к VI Всес. совещ. по закреплению и уплотнению грунтов («Теория и методы искусств. улучшения грунтов различных петрографич. типов»). – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 489-491.
21. Акимов А.А., Платонова Т.С. Электрохимический метод закрепления грунтов / Сб. трудов «Химия в строительстве». – Ростов, 1965.
22. Аллас Э.Э., Мещеряков А.Н. Цементация в гидротехническом строительстве. – М.: Госэнергоиздат, 1952. – 80 с.
23. Аллас Э.Э. Укрепление и уплотнение трещиноватых скальных пород цементацией // Материалы к VI Всес. совещ. по закреплению и уплотнению

грунтов («Теория и методы искусств. улучшения грунтов различных петрографич. типов»). – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 440-443.

24. Аскалонов В.В. Силикатизация лессовых грунтов. – М.: Стройиздат, 1959. – 40 с.

25. Аскалонов В.В. Закрепление доломитовой муки односоставным способом силикатизации и солевыми составами // Совещание по закреплению грунтов и горных пород. – М.-Л., 1941.

26. Аскалонов В.В. Опыт применения силикатизации лессовых грунтов // Строительная промышленность. – 1950. – № 4.

27. Аскалонов В.В. Синтетические смолы для закрепления грунтов // Совещание по закреплению грунтов. – Рига, 1959.

28. Баушев В.К. Применение фуриловых смол для противодиффузионного закрепления песчаных грунтов // Сб. докладов по гидротехнике, выпуск 4. – М.: Госэнергоиздат, 1962.

29. Безрук В.М. Теоретические основы укрепления грунтов цементами. – М.: Автостройиздат, 1956. – 241 с.

30. Богданов О.И., Корпач А.И. Применение технологии глубинного перемешивания грунта DSM для усиления грунтовых оснований // Инновационные конструкции и технологии в фундаментостроении и геотехнике: материалы науч.-техн. конф. с междунар. участием, Липецк, 27-29 октября 2013 г. – М.: Палеотип, 2013. – С. 271-276.

31. Богов С.Г., Зуев С.С. Опыт применения струйной технологии для закрепления слабых грунтов при реконструкции здания по ул. Почтамтская в г. Санкт-Петербурге // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 80-86.

32. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 448 с.

33. Бронин В.Н., Сахаров И.И., Аббуд М. Опыт инъекционного закрепления грунтов в основании зданий и сооружений / Дефекты зданий и

сооружений. Усиление строительных конструкций. Материалы III научно-метод. конф. БИТУ. – СПб., 1999.

34. Быков К. Применение технологии «jet-grouting» при строительстве многоэтажного гаража в Москве // Подземное пространство мира. – 2003. – № 3-4. – С. 31-34.

35. Варганов А.З. Физико-технический контроль и мониторинг при освоении подземного пространства городов: Учебник для вузов. – М.: Изд-во «Горная книга», 2013. – С. 162.

36. Вознесенская Е.С., Осокин А.И., Татаринов С.В., Ермолаев В.А. Моделирование напряженно-деформированного состояния грунта основания при инъецировании методом гидроразрыва на примере результатов работ, выполненных по одному из объектов ЗАО «Геострой» // Труды международной конференции по геотехнике «Геотехнические проблемы мегаполисов». – М, 2010. – т. 5. – С. 1641-1646.

37. Вознесенская Е.С., Осокин А.И., Татаринов С.В., Ермолаев В.А. Методика подбора оптимальных технологических режимов инъекционного упрочнения грунтов в режиме гидроразрыва // Инженерные изыскания. – 2014. – №8. – С.48-53.

38. Волохов Е.М., Новоженин С.Ю. Оценка эффективности струйной цементации грунта как средства снижения вредного влияния проходки эскалаторных тоннелей // Горные науки и технологии. – 2016. – № 1. – С. 67-72.

39. Воронкевич С.Д., Евдокимова Л.А. Газовая силикатизация песчаных грунтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. – 150 с.

40. Воронкевич С.Д. Геолого-минералогические основы инъекционного закрепления пород. Автореф. дис. на соиск. учен. степени д-ра геол.-минерал. наук. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1976. – 45 с.

41. Воронкевич С.Д., Ларионова Н.А., Самарин Е.Н. Метод силикатизации в связи с многообразием лессовых грунтов // В кн.: «Многообразие грунтов: морфология, причины, следствия». П/ред.



В.Т.Трофимова и В.А.Королева / Тезисы междунар. науч. конф. 27-28 мая 2003 г. Москва, МГУ. – М.: МГУ, 2003. – С. 145-146.

42. Воронкевич С.Д., Огородникова Е.Н. Исследование упрочнения песков карбамидными смолами // Сб. Вопросы инженерной геологии и грунтоведения, вып. 2, – М.: Изд-во МГУ, 1968.

43. Готман Ю.А. Определение оптимальных размеров грунтоцементного массива, снижающего перемещения ограждений глубоких котлованов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – М., 2011. – 24 с.

44. Грабарь А.В. Струйная цементация грунтов - прорыв в области подземного строительства // Технол. бетонов. – 2005. – № 4. – М.: Композит XXI век. – С. 70-72, 79.

45. Давыдов В.В. Химический способ укрепления горных пород. – М.: Недра, 1965. – 84 с.

46. Дмитриев Н.В. и др. Струйная технология сооружения противодиффузионных завес // Гидротехническое строительство. – 1980. – № 3. – С. 5-9.

47. Ермолаев В.А., Мацегора А.Г., Осокин А.И., Иванищев В.Б., Безродный К.П., Маслак В.А. Технологические особенности закрепления грунтов в геологических условиях плотно застроенной части Санкт-Петербурга // Труды междунар. конф. по геотехнике, том 5. – М.: ПИ «Геореконструкция», 2010 – С. 1825-1829.

48. Ермолаев В.А., Мацегора А.Г., Осокин А.И. Инъекционное укрепление грунтов и контроль его качества // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 164-168.

49. Жинкин Г.Н. Электрохимическое закрепление грунтов в строительстве. – Л.-М.: Стройиздат, 1966. – 176 с.

50. Жинкин Г.Н., Калганов В.Ф. Закрепление слабых грунтов в условиях Ленинграда. – Л.: Стройиздат, 1967. – 150 с.

51. Жинкин Г.Н., Сергеев К.К. Исследование методов электросиликатизации грунтов // Закрепление грунтов: Сб. тр. – М., 1962. – №50. – С. 38-45.
52. Заславский Ю.З., Лопухин Е.А., Дружко Е.Б., Качан И.В. Инъекционное упрочнение горных пород. – М.: Недра, 1984. – 176 с.
53. Ибрагимов М.Н., Семкин В.В. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов: Монография. – М.: Изд-во АСВ, 2012. – 256 с.
54. Ибрагимов М.Н. Устройство противодиффузионной завесы в песках с помощью карбамидной смолы // Закрепление грунтов. Сб. НИИ оснований, фундаментов и подземных сооружений. – М., 1962.
55. Ильичев В.А., Готман Ю.А. Расчет грунтоцементного массива для снижения перемещения ограждения методом оптимального проектирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – №4. – С. 17-25.
56. Камбефор А. Инъекция грунтов. Принципы и методы. – М.: Энергия, 1971. – 333 с.
57. Королёв В.А., Шимко Т.Г. Исследование просадочности, возникающей в процессе силикатизации лёссовых пород / В сб.: Материал. VI научн. конф. молодых ученых МГУ. Грунтоведение и инж. геология. Деп. в ВИНТИ № 2908-79, М. Основы методики лабораторных исследований по технической мелиорации (под редакцией С.С.Морозова). – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1953 г.
58. Корпач А.И., Лофицкий А.В. Возможности применения технологии глубинного перемешивания грунтов DSM для ограждения котлованов // Геотехника. – 2015. – №3. – С. 16-22.
59. Ларионова Н.А., Самарин Е.Н. Опыт применения метода силикатизации лёссовых грунтов в строительстве // Тр. Междунар. науч. конф. «Инженерная геология массивов лёссовых грунтов». – М.: МГУ, 2004. – С. 119-120.
60. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Опыт армирования слабых грунтов в основании фундаментных плит с применением струйной геотехнологии // Труды

междунар. конф. по геотехнике, том 5. – М.: ПИ «Геореконструкция», 2010 – С. 1801-1808.

61. Маковецкий О.А., Зуев С.С. Усиление фундаментов строящегося здания сваями, выполняемыми по технологии струйной цементации грунта // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 251-257.

62. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. – М.: Изд-во «Стройиздат», 2010. – 226 с.

63. Малинин А.Г. Предварительное инъекционное закрепление грунтов при строительстве автодорожных тоннелей в Перми // Подземное пространство мира. – 2001. – № 1. – С. 42-47.

64. Малинин А.Г., Ляхов С.В., Веселовский В.Н., Дозорец Ю.И., Смирнов В.А. Цементация неустойчивых грунтов в зоне пересечения подходной выработки с перегонным тоннелем метрополитена в Екатеринбурге // Метро и тоннели. – 2007. – №1. – с. 34-35.

65. Малинин А.Г., Гладков И.Л., Жемчугов А.А. Укрепление слабых грунтов в основании насыпи автодороги при помощи струйной цементации // Геотехника Беларуси. Наука и практика // Междунар. науч.-технич. конф. / Белорусский национ. технич. ун-т. – Минск, 2013. – С. 195-200.

66. Малинин П.А., Струнин П.В. Ограждение глубоких котлованов с применением технологии струйной цементации грунтов // Геотехника. Теория и практика. Общероссийская конференция молодых ученых, научных работников и специалистов // Межвуз. тематич. сб. тр. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2013. – С. 75-79.

67. Мангушев, Р.А. Примеры применения современных конструктивных и технологических методов устройства подземного пространства в Санкт-Петербурге // Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: сб. тр. науч.-техн. конф. / Санкт-Петербургский госуд. архит.-строит. ун-т. – СПб., 2010. – С. 24-33.

68. Мангушев, Р.А. Геотехнологии, применяемые для усиления оснований и фундаментов зданий и сооружений в Санкт-Петербурге // СтройПРОФИЛЬ. – 2011. - №4. – С. 13-16.
69. Мангушев Р.А. и др. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: Учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков. – М. – СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – 280 с.
70. Митраков В.И., Фабричников В.Ф. Укрепление сыпучих грунтов составами на основе синтетических смол. // Безопасность труда в промышленности. – М., 1968.
71. Михальский Т. Примерение технологии «jet grouting» с целью обеспечения устойчивости ограждений глубоких котлованов // Труды междунар. конф. по геотехнике, том 5. – М.: ПИ «Геореконструкция», 2010 – С. 1835-1842.
72. Мотузов Я.Я. Опыт закрепления слабых илистых грунтов / Мотузов Я. Я., Ибрагимов М. Н., Семкин В. В. // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 1. – С. 11-15
73. Мотузов Я.Я. Опыт устройства илцементных свай / Мотузов Я. Я., Ибрагимов М. Н., Семкин В. В. // Сборник научных трудов НИИОСП. – 2008. – С. 225-231.
74. Мустакимов В. Исследование просадочных грунтов, армированных вертикальными элементами. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016. – 94 с.
75. Парамонов В.Н., Кудрявцев С.А., Богов С.Г. Закрепление грунтов оснований фундаментов зданий по струйной технологии при увеличении нагрузок // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2006. – № 10. – С. 192-199.
76. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). – М.: Стройиздат, 1986. – 129 с.

77. Рекомендации по струйной технологии сооружения противофильтрационных завес, фундаментов, подготовки оснований и разработки мерзлых грунтов. – М.: ВНИИОСП, 1989. – 89 с.
78. Ржаницын Б.А. Силикатизация песчаных грунтов. – М.: Машстройиздат, 1949. – 143 с.
79. Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 264 с.
80. Ржаницын Б.А., Аскалонов В.В., Блескина Н.А. Указания по закреплению песчаных грунтов карбомидной смолой. – М.: Госстройиздат, 1960. – 19с.
81. Самарин Е.Н. Цементация грунтов / В кн: Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов // Колл. авторов; под ред. В.Т.Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. – 129 с.
82. Самарин Е.Н. Современные инъекционные материалы и их использование для улучшения свойств грунтов // Геотехника. – 2012. – № 4. – С. 4–10.
83. Самарин Е.Н. Силикатизация грунтов / В кн: Базовые понятия инженерной геологии и экологической геологии: 280 основных терминов // Колл. авторов; под ред. В.Т.Трофимова. – М.: ОАО «Геомаркетинг», 2012. – С. 127-128.
84. Смородинов М.И., Корольков В.Н. Струйная технология устройства противофильтрационных завес и несущих конструкций в грунте / Обзор. – М.: ВНИИИС, 1984. – 40 с.
85. Смородинов М.И., Корольков В.Н., Александровский Ю.В. Рациональные способы устройства противофильтрационных завес, опор и ячеистых конструкций с помощью водяных струй // Труды НИИОСП, вып. 80. – М., 1983. – С. 15-20.
86. Соколович В. Е. Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. – 119 с.

87. Соколович В.Е., Мотузов Я.Я., Котов А.И. Применение илоцементных свай в строительстве портовых сооружений // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1976. – № 5. – С. 23-25.
88. Сорочан Е.А, Быков В.И., Егоров А.И. Усиление грунтов основания, фундаментов и несущих конструкций аварийных зданий инъекционными методами // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2001. – № 1. – С. 20-22.
89. Тишкова Е.Г. Проблема метрологического контроля при выполнении работ по инъекционному закреплению грунта // Серия «Современное строительство»: сборник статей магистрантов и аспирантов. Вып. 2., Том 2; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – С. 351-357.
90. Тишкова Е.Г. Проблема метрологического обеспечения контроля качества выполнения работ по закреплению грунта // Вопросы проектирования и устройства надземных и подземных конструкций зданий и сооружений: межвузовский тематический сборник трудов; СПбГАСУ. – СПб., 2018. – С. 206-209.
91. Трупак Н.Г. Цементация трещиноватых пород в горном деле. – М.: Металлургиздат, 1956. – 420 с.
92. Трупак Н. Г. Цементация трещиноватых горных пород на больших глубинах // Материалы к VI Всес. совещ. по закреплению и уплотнению грунтов («Теория и методы искусств. улучшения грунтов различных петрографич. типов»). – М.: Изд-во МГУ, 1968. – С. 429-434.
93. Хасин М.Ф., Малышев Л.И., Бройд И.И. Струйная технология укрепления грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1984. – № 5. – С. 10-12.
94. Черняков А.В. Повышение эффективности струйной цементации на основе специальных добавок // Строительные материалы. – 2008. – № 5. – С. 51-55.

95. Черняков А.В. Применение струйной цементации грунтов в условиях исторической застройки // Жилищное строительство. – 2011. – № 9. – С. 24-26.
96. Черняков А.В. Струйная цементация грунтов при строительстве в условиях плотной городской застройки // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2011. – № 3. – С. 10-14.
97. Юркевич П., Чеканов П. Использование технологии «jet-grouting» на строительстве Многофункционального комплекса «Царев сад» в Москве // Подземное пространство мира. – 2001. – № 5-6. – С. 9-25.
98. Ястребова Л.Н. Укрепление переувлажненных грунтов мочевиноформальдегидными смолами. Методы укрепления переувлажненных грунтов органическими вяжущими. – М., 1962.
99. Bell A., Kirsch K. Ground improvement. – 3rd ed. – CRC Press, 2012.
100. Bell A. Jet grouting Ground Improvement (First Edition). – Blackie, 1993. – P. 149-174.
101. Jet Grouting Guideline // ASCE G-I, Geo Institute of ASCE, Grouting Committee – Jet Grouting Task Force / American Society of Civil Engineers. – 2009. – 34 p.
102. Topolnicki M. Geotechnical design and performance of road and railway viaducts supported on DSM columns – a summary of practice // International Conference on Deep Mixing. – San Francisco, 2015.
103. Манжетная инъекционная технология укрепления грунтов // Сайт компании ЗАО «Геострой» URL: <http://www.geostroy.ru/technology/mmt/> (дата обращения: 18.03.2018).
104. Методы динамического зондирования. URL: <https://docplayer.ru/56285595-Glava-2-metody-dinamicheskogo-zondirovaniya.html> (дата обращения: 02.03.2019).
105. Объекты компании ООО «Спецстрой» // Сайт компании ООО «Спецстрой». URL: <http://www.specstroj.spb.ru/objekti/> (дата обращения: 18.03.2018).

106. Опыт струйной цементации (jet grouting) НПО «Космос» // Строительный портал «StroyPuls.ru». URL: <http://stroypuls.ru/sgh/prilozheniya-sgh/dorogi-mosty-tonneli-2-2008/29179/> (дата обращения: 21.04.2018).

107. Струйная цементация грунтов и контроль сплошности грунтоцементных ограждений, массивов, противofильтрационных завес и свай сейсмоакустическими методами // Сайт компании ООО «Геодиагностика». URL: <https://geodiagnosics.ru/ControlGCM.htm> (дата обращения: 24.03.2019).

108. Устройство противofильтрационных экранов методом струйной цементации Jet-grouting // Сайт группы компаний «ГЕОИЗОЛ». URL: <https://www.geoizol.ru/services/> (дата обращения: 21.04.2018).



## СПИСОК ИЛЛЮСТРИРОВАННОГО МАТЕРИАЛА

109. Мангушев Р.А. и др. Методы подготовки и устройства искусственных оснований: Учеб. пособие / Р.А. Мангушев, Р.А. Усманов, С.В. Ланько, В.В. Конюшков. – М. – СПб.: Изд-во АСВ, 2012. – С. 170, 174, 179.
110. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие/ И.И. Бройд – М.: Изд-во АСВ, 2004. – С. 100.
111. Cutoff walls // Advanced Construction Techniques. URL: <http://www.advancedconstructiontechniques.com/Cutoff-Walls.asp> (дата обращения: 20.02.2019).
112. Струйная цементация грунтов (Jet grouting) // Сайт компании ООО «Нью Джет». URL: <https://newjet.org/tehnologii/strujnaya-cementaciya-gruntov-jet-grouting/> (дата обращения: 20.11.2018).
113. Струйная цементация грунтов (Jet grouting) // Сайт группы компаний «ГеоДжет» URL: [http://www.geojet.ru/tehnologii/tehnologii\\_10.html](http://www.geojet.ru/tehnologii/tehnologii_10.html) (дата обращения: 15.10.2018).
114. Струйная цементация грунтов (Jet grouting) // Сайт группы компаний «SEROMAX». URL: <http://seromax.ru/podzem-7.html> (дата обращения: 15.10.2018).
115. Ланько С.В. Влияние грунтоцементных конструкций на деформируемость ограждений котлованов в условиях городской застройки: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – СПб., 2013. – С. 8.
116. Ильичев В.А., Готман Ю.А. Расчет грунтоцементного массива для снижения перемещения ограждения методом оптимального проектирования // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – №4. – С. 24.
117. Струйная цементация грунтов [Видеофайл]. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=mEEedO8XEiZs> (дата обращения: 12.02.2019).
118. Парамонов В.Н., Кудрявцев С.А., Богов С.Г. Закрепление грунтов оснований фундаментов зданий по струйной технологии при увеличении

нагрузок // Развитие городов и геотехническое строительство. – 2006. – № 10. – С. 195.

119. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов. – М.: Изд-во «Стройиздат», 2010. – С. 150.

120. Kimpritis, T., Standing, J.R., Thurner, R. Estimating column diameters in jet grouting processes. URL: <https://spiral.imperial.ac.uk/bitstream/10044/1/55981/2/Kimpritis%20et%20al%20jet%20grouting%20paper%20for%20simplectic.pdf> (дата обращения: 14.11.2018).

121. Kimpritis, T. The control of column diameter and strength in Jet Grouting processes and the influence of ground conditions. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/76989730.pdf> (дата обращения: 14.11.2018).

122. Методы динамического зондирования. URL: <https://docplayer.ru/56285595-Glava-2-metody-dinamicheskogo-zondirovaniya.html> (дата обращения: 02.03.2019).

123. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101295> (дата обращения: 03.03.2019).

124. Штамповые испытания – «ИнжГеоПат» // Сайт компании ООО «ИнжГеоПат». URL: <http://1igr.ru/info/shtampovie-ispitaniya.php> (дата обращения: 05.03.2019).

125. Оборудование для испытания грунтов // Сайт компании «ПК Анкер Гео». URL: <http://www.anker-pk.ru/zond/instrument/marchetti/> (дата обращения: 05.03.2019).

126. Контрольно-измерительное оборудование для инженерно-геологической, горнодобывающей промышленностей и определения характеристик окружающей среды // Брошюра компании «ACE Instrument». URL: [https://monsol.ru/wp-content/uploads/2016/12/ace\\_ext\\_1380\\_rus\\_red-opisanie.pdf](https://monsol.ru/wp-content/uploads/2016/12/ace_ext_1380_rus_red-opisanie.pdf) (дата обращения: 06.03.2019).

127. СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве. URL: <http://docs.cntd.ru/document/556330134> (дата обращения: 03.03.2019).

128. Геотехнический мониторинг при щитовой проходке наклонного тоннеля Санкт-Петербургского метрополитена. URL: [http://rustar.ru/system/media/file/4/Bezrodniy\\_23-01-2012.pdf](http://rustar.ru/system/media/file/4/Bezrodniy_23-01-2012.pdf) (дата обращения: 06.03.2019).

129. Датчики и системы измерения осадки // Сайт компании «MONSOL». URL: <https://monsol.ru/mnogotochechnaya-sistema-izmereniya-osadki-nivolic/> (дата обращения: 06.03.2019).

130. Стационарный скважинный цифровой инклинометр // Брошюра компании ЗАО «Триада-Холдинг». URL: <http://triadaimpex.ru/d/125543/d/c12-statsionarnyyu-skvazhinnyu-tsifrovoyu-inklinometr.pdf> (дата обращения: 06.03.2019).

131. Георадиолокационное подповерхностное зондирование. URL: [http://www.prin.ru/articles/georadiolokacionnoe\\_podpoverhnochnoe\\_zondirovanie/](http://www.prin.ru/articles/georadiolokacionnoe_podpoverhnochnoe_zondirovanie/) (дата обращения: 15.03.2019).

132. Кулижников А.М. Качество дорожных работ контролирует георадар. URL: [http://rosdornii.ru/pdf/\\_3-3.pdf](http://rosdornii.ru/pdf/_3-3.pdf) (дата обращения: 15.03.2019).

133. Струйная цементация грунтов и контроль сплошности грунтоцементных ограждений, массивов, противодиффузионных завес и свай сейсмоакустическими методами // Сайт компании ООО «Геодиагностика». URL: <https://geodiagnosics.ru/ControlGCM.htm> (дата обращения: 24.03.2019).