

Н. С. Соколов



Техника и технология:
устройство и методология
расчетов буринъекционных
свай ЭРТ повышенной
несущей способности

Н. С. Соколов

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ:
УСТРОЙСТВО И МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ
БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ
ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

Монография

Чебоксары
Издательский дом «Среда»
2022

УДК 62
ББК 30.6
С59

Рецензенты:

д-р физ.-мат. наук, профессор,
заведующий кафедрой прикладной физики и нанотехнологий
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный
университет им. И.Н. Ульянова»
В. С. Аброков

канд. техн. наук, доцент
ФГБОУ ВО «Поволжский государственный
технический университет»
В. Е. Глушков

Соколов Н. С.

С59 Техника и технология: устройство и методология расчетов буроинъекционных свай ЭРТ повышенной несущей способности: монография / Н. С. Соколов. – Чебоксары: Среда, 2022. – 332 с.

ISBN 978-5-907561-27-4

В монографии приведены методы и разработаны методики расчетов несущей способности буроинъекционных свай повышенной несущей способности F_d по грунту. Разработанные алгоритмы расчета F_d апробированы в полевых условиях в течение длительного периода времени: с 1999 г. по настоящее время (2022 г.). Показано хорошее соответствие результатов теоретических расчетов и экспериментальных исследований.

Описаны технологии создания буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), технологии строительства новых зданий в условиях старой застройки, а также технологии обеспечения устойчивости склонов.

ISBN 978-5-907561-27-4
DOI 10.31483/a-10393

© Соколов Н. С., 2022
© ИД «Среда», оформление, 2022

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	5
1. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА СВАЙ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ.....	7
1.1. Подходы к увеличению несущей способности буронаблюдательных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).....	7
1.1.1. Сваи, выполняемые по электроразрядным технологиям ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)	9
1.1.1.1. Оценка эффективности применения электроразрядных технологий при проведении работ по укрепительной цементации фундаментов и контакта «фундамент-грунт» на объекте по адресу: Санкт-Петербург, ул. Якубовича.....	11
1.1.2. Изготовление буронабивных и буронаблюдательных свай ...	12
1.1.3. Изготовление буронаблюдательных свай с местными уширениями.....	14
1.2. Геотехническая технология устройства буронаблюдательных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) повышенной несущей способности....	18
2. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОНАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СВАЙ ЭРТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ...	23
2.2. Об ошибочном способе устройства буронаблюдательных свай с использованием электроразрядной технологии при строительстве фундамента многоэтажного дома в г. Нижний Новгород	36
2.3. Опыт использования «МИКРОСВАЙ» при реконструкции ..	50
2.4. Геотехнические технологии приспособления застраиваемых зданий к условиям старой застройки	59
2.5. Критерии экономической эффективности использования буровых свай	67
2.6. О буронаблюдательных сваях с регулируемой несущей способностью по грунту	73
2.7. Буронаблюдательная свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как заглубленная железобетонная конструкция.....	81
3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ УСТРОЙСТВА БУРОНАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ.....	86
3.1. Алгоритм устройства буронаблюдательных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)	86
3.2. Геотехническая технология устройства грунтовыми анкерами ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)	94

3.2.1. Использование грунтовых анкеров ЭРТ и буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) для обеспечения устойчивости стенок котлованов.....	95
4. ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ЭРТ) УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ.....	110
4.1. Один из случаев усиления основания и деформированной противооползневой удерживающей подпорной стены.....	121
4.2. Алгоритм приспособления существующей подпорной стены к возросшим нагрузкам.....	132
4.3. Опыт устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях.....	157
4.4. Влияние производства свайных работ на деформации существующих сооружений.....	171
5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, РАЗРАБОТАННЫЕ АВТОРОМ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ И БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ.....	182
5.1. Способ возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов и устройство для его осуществления (варианты).....	182
5.2. Буровая колонна для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке.....	210
5.3. Арматурный каркас для буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов.....	225
5.4. Устройство для изготовления набивной (буроинъекционной) сваи.....	233
5.5. Разрядное устройство для изготовления набивной (буроинъекционной) сваи.....	240
5.6. Генератор импульсных токов (ГИТ).....	246
5.7. Электроимпульсная установка для изготовления набивных (буроинъекционных) свай.....	250
5.8. Способ устройства набивной (буроинъекционной) сваи.....	256
Список литературы.....	261
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	304
П1 МИКРОСВАИ.....	304
П1.1. Термины и определения.....	304
П1.2. Область применения микросвай.....	307
П1.3. Технология изготовления «микросвай».....	316
П2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВАЙ ЭРТ (ФОРСТ И ЭРСТ).....	320
П2.1. Проектирование и расчет несущей способности свай ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ).....	320
П2.2. Конструирование «микросвай» и свайных фундаментов.....	322

Предисловие

В настоящее время все большую актуальность в промышленном и гражданском строительстве вызывает такая область геотехники как усиление оснований фундаментов, строительство зданий и сооружений в стесненных и особо стесненных территориях, строительство на пересеченных территориях, а также на склонах. Такие специфические геотехнические работы следует производить при:

1	Увеличении внешних нагрузок на фундаменты
2	Неравномерных осадках зданий и сооружений
3	Понижении полов подвалов существующих объектов с целью приспособления их с вновь застраиваемыми зданиями и сооружениями
4	При стесненных условиях внутриквартальной застройки в случае, если существующие здания и сооружения находятся в зоне геотехнического влияния
5	Превентивном усилении зданий и сооружений вдоль автомобильных и железнодорожных трасс и т. д.
6	При наличии в основании слабых перемеживающихся инженерно-геологических элементов
7	При наличии в пределах зоны геотехнического влияния объектов существующей застройки

Крайне интересным вариантом представляется устройство «микросвай» с повышенными значениями несущей способностью как по грунту, так и по материалу. Наиболее эффективным способом усиления оснований фундаментов зданий и сооружений считается устройство буровых (буроинъекционных) свай усиления (БСУ). Во многих случаях в настоящее время альтернативы им просто не существует. Основным видом БСУ в настоящее время являются буроинъекционные сваи. При этом при всех достоинствах буроинъекционных свай им присущи многие недостатки.

К наиболее существенным из них следует отнести:

1	Значительные технологические и эксплуатационные осадки (осадки, связанные со технологией бурения скважины)
2	Низкая несущая способность (НС) буроинъекционных свай по грунту, в связи с их малым диаметром и, соответственно, малой боковой поверхностью и площадью опирания пяты сваи

Здесь следует отметить, что рассмотрение перспектив увеличения несущей способности свай усиления, свай в свайных полях следует оценивать с точки зрения возможностей буровой техники, позволяющей изготовление таких свай в стесненных условиях (в том числе, из подвалов существующих зданий). Это накладывает жесткие ограничения на геометрические параметры буровой техники (высота в рабочем положении не более 2,0 м) и, как следствие, на их мощностные характеристики.

В настоящей монографии рассматриваются перспективы разработки и внедрения геотехнологий, позволяющих изготавливать буровые (буроинъекционные) сваи с повышенными значениями (по сравнению с буриинъекционными сваями без технологической обработки грунта стенок и устья скважин) несущей способности F_d по грунту и с минимальными значениями технологических и эксплуатационных осадок.

1. ГЕОТЕХНИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ УСТРОЙСТВА СВАЙ ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

1.1. Подходы к увеличению несущей способности буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

В настоящее время все большую потребность вызывает такая область геотехнического строительства как усиление фундаментов. Эти геотехнические работы необходимо производить при: увеличении внешних нагрузок на фундаменты; неравномерных осадках зданий и сооружений; понижении полов подвалов; внутриквартальной застройке, если существующие здания находятся в зоне риска, т.е. в зоне геотехнического влияния; превентивном усилении зданий и сооружений вдоль автомобильных и железнодорожных трасс, реконструируемых или вновь создаваемых коллекторов.

Одним из вариантов решения указанных задач являются мероприятия по повышению несущих свойств грунтов оснований фундаментов (смолизация, силикатизация и т.п.), однако применение этих технологий весьма ограничено по требованиям экологической безопасности и эффективности.

Крайне интересным вариантом представляется устройство микросвай с высокой несущей способностью.

Наиболее эффективным способом усиления оснований фундаментов зданий считается устройство буровых свай усиления (БСУ). Во многих случаях в настоящее время альтернативы им просто нет. Основным видом БСУ в настоящее время являются буроинъекционные сваи. Процесс изготовления таких свай включает в себя:

1	Бурение скважины
2	Заполнение скважины мелкозернистым бетоном
3	Установка пространственного армокаркаса
4	Опрессовка грунта стенок и забоя скважины давлением 2,0–10,0 атм (200,0–10000,0 кПа)

Следует обратить внимание на тот факт, что при всех достоинствах буровых (буроинъекционных) свай им присущи многие недостатки.

К наиболее существенным из них следует отнести:

1. Значительные технологические и эксплуатационные осадки (осадки, связанные со способом бурения скважины).

Здесь следует отметить, что основными способами бурения скважин для устройства буроинъекционных свай в настоящее время являются бурение под защитой тиксотропного глинистого раствора и шнековое бурение.

Бурение под защитой тиксотропного глинистого раствора представляется малоперспективным в связи со сложностью, а часто и невозможностью устройства зумпфов (например, в условиях подвалов), проблемами с утилизацией отработанного бурового раствора, низкой несущей способностью в связи с тем, что глинистая корка на стенках буровой скважины не позволяет обеспечить надежный контакт боковой поверхности буровых (буроинъекционных) свай с грунтом и т.п.

Недостатком шнекового бурения является извлечение большого объема бурового шлама, остающегося на забое скважины. Это в основном связано с конструкцией шнекового долота (породоразрушающие элементы находятся на расстоянии 10,0–15,0 см от породудаляющих шнеков). Кроме того, при шнековом бурении происходит существенное ослабление физико-механических характеристик грунта вдоль глубины скважины, не восстанавливающихся со временем. Необходимо отметить, что собственного веса твердеющего мелкозернистого бетона и давления опрессовки недостаточно для качественного уплотнения шлама и восстановления физико-механических характеристик грунта на забое скважины в первоначальное состояние. Это обстоятельство влечет за собой существенные технологические и эксплуатационные осадки.

2. Низкая несущая способность (НС) буроинъекционных свай, в связи с их малым диаметром (до 300,0 мм) и, соответственно, малой боковой поверхностью и площадью опирания пяты свай

Здесь следует отметить, что рассмотрение перспектив увеличения несущей способности свай усиления следует оценивать с точки зрения возможностей буровой техники, позволяющей изготовление таких свай в стесненных условиях (в том числе, из подвалов существующих зданий). Это накладывает жесткие ограничения на геометрические параметры буровой техники (высота в рабочем положении не более 2,0 м) и, как следствие, на их мощностные характеристики.

За рубежом в качестве материала свай применяют закрепляющие цементные растворы (технологии «Titan», «Soilex»). Отечественные геотехники не рекомендуют использовать в качестве конструктивного материала чистоцементные растворы. В настоящей монографии рассматриваются перспективы разработки и внедрения геотехнологий, позволяющих изготавливать БСУ повышенными значениями (по сравнению с буроинъекционными сваями без

технологической обработки грунта стенок скважин) несущей способности F_d и с минимальными значениями технологических и эксплуатационных осадок.

Наиболее перспективными в этом направлении в настоящее время являются геотехнические технологии, позволяющие увеличивать контролируемые параметры свай (диаметр, несущая способность) с одновременной минимизацией величин прогнозируемых осадок.

К указанным геотехническим технологиям устройства свай необходимо отнести:

1	Электроразрядные технологии ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ЭРГТ, ФОРСТ, НИИОСП)
2	Геотехнические технологии изготовления буронабивных (буроинъекционных) свай
3	Геотехнические технологии изготовления свай с множественными уширениями

Ниже в разделах 1–5 рассмотрены геотехнические технологии позволяющие увеличивать несущую способность буровых (буроинъекционных) свай по грунту.

1.1.1. Сваи, выполняемые по электроразрядным технологиям ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)

При изготовлении буровых (буроинъекционных) свай по электроразрядным технологиям (технология ЭРТ), создаются уширения на пяте и боковой поверхности свай. Одновременно уплотняется грунт, примыкающий к свае. Вышесказанное влечет за собой существенное увеличение несущей способности буровых (буроинъекционных) свай. Высокая несущая способность свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) объясняется контролируемым увеличением площади опирания свай и созданием зоны уплотнения грунтов под пятой свай, как у забивной свай с диаметром низа равным фактическому диаметру уширения. необходимо заметить, что использование буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) позволяет качественно уплотнить буровой шлам на забое скважины, сводя к минимуму технологические осадки.

Высказывается мнение, что технология ЭРТ неэффективна и, даже, более того, вредна с точки зрения динамического воздействия на окружающие здания и сооружения в зоне геотехнического влияния.

При этом не говорится, что на сегодняшний день изготовлены сотни тысяч свай буроинъекционных ЭРТ в России, Германии Южной Корее. В Москве и Московской области, Санкт-Петербурге и Ленинградской области, Курске и Курской области, Самара, Пенза, Саранск, Йошкар-Ола и Республике Марий Эл, Чебоксарах и Чувашской Республике, Нижнем Новгороде и Нижегородской области и др. городах и областях успешно выполнено несколько тысяч объектов геотехнического строительства. Проведенные статические испытания свай на вертикальную вдавливающую нагрузку на многих объектах геотехнического строительства показали высокую эффективность использования электроразрядной технологии устройства буровых (буроинъекционных) свай.

Что касается динамического воздействия на окружающие здания и сооружения, к сожалению, не указывается, о какой из областей применения ЭРТ говорится. Следует отметить, что электроразрядная технология применяется кроме изготовления буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) для нижеприведенных геотехнических случаев:

1	Укрепления стен и тела фундаментов зданий и сооружений (в этом случае энергия разряда электрогидравлического удара составляет 2,0–4,0 кДж)
2	Устройства грунтовых анкеров ЭРТ (энергия разряда – электрогидравлического удара в зависимости от диаметра, их длины и инженерно-геологических условий строительной площадки варьируется от 5,0 до 80,0 кДж)
3	Цементации слабых оснований, а также с перемеживающимися инженерно-геологическими элементами фундаментов, склонов
4	Устройства грунтовых нагелей
Примечания:	
A	<i>В практике использования электроразрядной технологии устройства буровых свай, цементации слабых оснований и других случаев нигде не приводится документально подтвержденных фактов чрезмерного динамического воздействия. Специалистами Московского государственного университета им. Ломоносова, научно-производственных фирм «РИТА», «Элстром РИТ» и «ФОРСТ» доказано, что электрический разряд с энергией 60,0 кДж (что значительно выше, чем фактически применяемые энергии) при заглублении излучателя более 4,0 м безопасен для окружающих зданий и сооружений. Кроме того, проведенные в Санкт-Петербурге в 2005 году исследования подтвердили абсолютную сейсмобезопасность применения рассматриваемой геотехнической технологии на конкретном объекте</i>

Б	<p><i>Достоинство электроразрядной технологии ЭРТ заключается в том, что при электрогидравлической обработке грунта стенок скважин в среде мелкозернистого бетона происходит увеличение несущей способности сваи за счет вовлечения окружающего грунта в совместную работу (от 20,0 до 50,0 %) по сравнению с другими типами буровых свай с аналогичными геометрическими параметрами. При этом анализ результатов статических испытаний свай на вертикальную вдавливающую нагрузку различных типов позволяет сделать вывод о том, что при нагружении сваи до момента ее срыва по боковой поверхности основной вклад в несущую способность сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) вносит несущая способность сваи по пяте. С учетом вышесказанного напрашивается идея устройства дополнительных промежуточных уширений (подпятников) вдоль ствола буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) изготавливаемых по электроразрядной геотехнической технологии</i></p>
----------	--

1.1.1.1. Оценка эффективности применения электроразрядных технологий при проведении работ по укрепительной цементации фундаментов и контакта «фундамент-грунт» на объекте по адресу: Санкт-Петербург, ул. Якубовича

В августе 2009 г. ООО «Циклон» (субподрядчик ООО НПФ «ФОРСТ») выполнило работы по укреплению тела фундаментов здания Арбитражного суда по адресу: Санкт-Петербург, ул. Якубовича, д. 6.

Геотехнические работы производились в следующей последовательности:

1	Бурение скважины алмазным породоразрушающим инструментом Ø 62,0 мм до проектной отметки (геометрический объем скважин – от 6,0 до 11,0 л)				
2	Заполнение скважины цементным раствором. Работы на данном этапе характеризовались значительными расходами раствора (до 200,0 л на скважину)				
3	<p>Обработка грунта стенок и устья скважины в заполненной мелкозернистым бетоном по электроразрядной технологии (технология ЭРТ):</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">А</td> <td>При цементации тела фундамента энергия разряда составляла 2,0 кДж</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: middle;">Б</td> <td>При цементации контакта «фундамент – грунт» энергия разряда составляла 4,0 кДж</td> </tr> </table>	А	При цементации тела фундамента энергия разряда составляла 2,0 кДж	Б	При цементации контакта «фундамент – грунт» энергия разряда составляла 4,0 кДж
А	При цементации тела фундамента энергия разряда составляла 2,0 кДж				
Б	При цементации контакта «фундамент – грунт» энергия разряда составляла 4,0 кДж				

Примечания:	
1	<i>По мере «ухода» (понижения уровня столба цементного раствора в скважине) мелкозернистого бетона при электрогидравлической обработке производился постоянный его долив. Объем доливаемого бетона на каждой скважине составлял от 24,0 до 36,0 л (от 3,0 до 7,0 геометрических объемов скважины)</i>
2	<i>Для проверки качества проведенных работ было пробурено две контрольные скважины. При этом отмечено, что при бурении указанных скважин отсутствовало поглощение промывочной жидкости, что свидетельствует об отсутствии пустот в фундаменте. Кроме того, по требованию заказчика, был откопан несколько шурфов. Визуальный осмотр тела фундамента (наличие выходов цементного раствора между камнями бутовой кладки) подтвердил высокое качество проведенных геотехнических работ</i>

1.1.2. Изготовление буронабивных и буроинъекционных свай

Технология устройства набивных свай малого диаметра весьма перспективна и позволяет существенно увеличивать несущую способность свай. Так, по результатам исследований Р.А. Мангушева и А.И. Осокина несущая способность набивной сваи по боковой поверхности на 30,0%, а по пяте на 70,0% больше несущей способности буроинъекционных свай, выполненных по традиционным геотехническим технологиям.

Высокая несущая способность набивных свай подтверждается результатами исследований заведующего лабораторий на просадочных грунтах к.т.н., с.н.с. Багдасарова Ю.А. (НИИ оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова).

К очевидным достоинствам набивных (буроинъекционных) свай следует отнести отсутствие технологических осадков (грунт не разрушается, а раздвигается в радиальном направлении).

Особо следует отметить, что изготовление таких свай осуществляется без выноса грунта, что крайне важно в условиях ограниченности строительной площадки и, особенно, при работе в подвалах.

Устройство набивных (буроинъекционных) свай может осуществляться раскаткой предварительно пробуренной скважины меньшего диаметра.

Для этого возможно использование раскатчиков с цилиндрическими и коническими вращающимися катками, предназначенными для работы в подземных коммуникациях. Эти раскатчики показали

свою эффективность при устройстве свай в предварительно пробуренных скважинах малого диаметра (есть успешный опыт работы по изготовлению таких свай на ряде объектов г. Санкт-Петербург и г. Москва).

Однако двойная проходка скважины делает этот процесс слишком длительным и экономически невыгодным.

Изготовление свай усиления оснований по технологии DDS (технология уплотнения с помощью раскатчиков) в ее классическом виде представляется маловероятным по следующим нижеприведенным причинам:

1. Слишком большие затраты на преодоление сил трения инвентарных труб

К тому же, спускоподъемные операции (особенно в подвалах) делает этот процесс неконкурентоспособным по сравнению с другими технологиями изготовления свай в связи с его большой многодельностью.

Снижения энергетических затрат можно добиться в случае отказа от применения обсадной колонны. Буровая колонна должна состоять из стандартных буровых штанг диаметром 89,0 мм с отдельными шнековыми секторами левой навивки. При этом, подача твердеющего материала осуществляется вслед за раскатчиком, принудительно внедряя твердеющий материал в стенки скважины, создавая избыточное давление в зонах слабых грунтов. Плотность твердеющего мелкозернистого бетона $2,2 \text{ г/см}^3$ ($22,0 \text{ кН/м}^3$) обеспечения устойчивости стенок скважины. Форма буровой штанги обеспечивает принудительное внедрение твердеющего материала в стенки скважины, создавая уширения в зонах слабого грунта и образуя массив процемментированного и уплотненного грунта вокруг ствола скважины, одновременно предотвращая преждевременную гидратацию твердеющего раствора.

2. Чрезмерные для существующих буровых станков энергетические затраты на раздвижку грунта

Существующие типы раскатчиков «Bauer», «Soilmec» и т.п. [349] предназначены для устройства набивных свай большого диаметра на открытом пространстве, для чего используется мощные буровые установки. Вышеуказанные ограничения на малогабаритные буровые станки не позволяют использовать подобные раскатывающие устройства для изготовления БСУ.

Таким образом, для реализации рассматриваемой геотехнической технологии необходима разработка специальной конструкции раскатчика, позволяющего совершать работу по раздвижке грунта при минимальных энергетических затратах.

Во время производства геотехнических работ по устройству скважин существующие раскатчики не столько разрушают породу, сколько раздвигают ее, уплотняя грунт в околоскважин

ном пространстве. Такой способ проходки скважин имеет определенные недостатки, в частности, реализация его требует высокого крутящего момента, не достижимого для существующих буровых станков. Для того, чтобы снизить крутящий момент и снизить объем шлама, остающегося на забое (максимально уменьшить технологические осадки), существует только один способ – сочетать разрушение и срезание породы на забое буровой скважины.

1.1.3. Изготовление буроинъекционных свай с многоместными уширениями

Сваи с многоместными уширениями (СМУ) применяются давно. Опыт использования таких свай есть в России, Индии, ФРГ, Великобритании, Японии, СССР. Конструкция такой сваи представляет собой буровую сваю с уширением на пяте. Выше этого уширения в зависимости от типа инженерно-геологических условий и требуемой несущей способности сваи выполняются дополнительные уширения.

Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай с одним уширением в 2,0–2,5 раза, а с двумя – в 3,0–3,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений [311–371].

Серьезные исследования (как лабораторные, так и натурные) под руководством А.Н. Тетиора проводились специалистами лаборатории оснований и фундаментов Уральского института «Промстройинвестпроект» [494]. В результате производства этих работ доказана эффективность применения таких свай (так, если несущую способность сваи без уширений принять за 100,0 %, то F_d сваи с одним уширением составляет 175,0 %, а сваи с двумя уширениями – 375,0 %) [494]. Тетиором А.Н. проанализирована совместная работа каждого промежуточного уширения совместно с окружающим массивом грунта при нагружении сваи, а также общая несущая способность сваи с различным количеством уширений.

При устройстве свай с многоместными уширениями несущая способность свай по боковой поверхности представляет собой сумму несущих способностей под каждым из уширений. При этом наиболее значимым параметром для их определения является R (расчетное сопротивление грунта под уширением).

Несущая способность грунтов под каждым из уширений R (расчетное сопротивление грунта под уширением) в десятки раз выше сопротивления тех же грунтов по боковой поверхности свай f_l (расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности свай), определяющих величину несущей способности по боковой поверхности свай без уширений.

При этом в однородных грунтах рекомендуется выполнять уширения с шагом, равным 2,5 диаметрам уширения во избежание наложения зон деформации грунтов. В условиях слабых и перемежающихся грунтов наиболее эффективно выполнять уширения на границе слабых и плотных грунтов для обеспечения опирания уширения на плотный грунт.

Следует обратить внимание на тот факт, что с точки зрения технологичности изготовления буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с многоместными уширениями использование механических уширителей неэффективно. Применение оборудования для изготовления таких свай усиления за один проход бурового става (например, свай системы ЦНИИС) невозможно вследствие ограниченных энергетических характеристик буровых станков. Устройство свай в несколько этапов (бурение скважины, устройство уширений) экономически невыгодно из-за многодельности операций и большой длительности геотехнического процесса (особенно в условиях работы в подвалах) [350; 406; 408].

Кроме того, при очевидных преимуществах указанной геотехнической технологии ее реализация при применении механических уширителей влечет собой ряд существенных недостатков:

1	Сложность устройства промежуточных уширений в неустойчивых инженерно-геологических условиях
2	Невозможность качественной очистки (даже при применении ковшовых буров) зон уширений от шлама, что влечет за собой значительные технологические осадки
3	Разуплотнение грунтов, вызывающее ухудшение их физико-механических свойств под каждым уширением в результате разуплотнения или осыпания

Самой серьезной проблемой при применении механических уширителей является неопределенность мест разработки уширений по боковой поверхности при устройстве свай в перемежающихся грунтах. Это связано с тем, что даже при проведении изысканий по самым жестким требованиям нормативных документов (здание I уровня ответственности и третьей категории грунтовых условий) сетка по бурению изыскательских скважин составляет $20,0 \times 20,0$ м. Накопленный опыт геотехнического строительства на многочисленных объектах показывает, что на расстоянии нескольких метров инженерно – геологические условия могут существенно различаться (встречаться линзы слабых грунтов, изменяться высотные отметки кровли и подошвы инженерно-геологических элементов и т.д.). При ошибке в месте устройства уширения эффективность этой технологии сводится к нулю. Геологический разрез на конкретной скважине опытный бурильщик может примерно оценить по параметрам работы бурового станка и скорости углубки. Но для принятия решения о месте положения конкретного уширения этой информации явно недостаточно. При наличии в основании плывунных песков и глинистых грунтов от мягкопластичной до текучей консистенции устройство механический уширений практически невозможно.

С учетом вышесказанного предлагается устройство буровых (буроињекционных) свай по геотехнической технологии, сочетающей достоинства свай с многоместными уширениями и буровых (буроињекционных) свай, выполненных по электроразрядным технологиям.

К достоинствам рассматриваемой геотехнической технологии можно отнести:

1	Возможность устройства свай существующими буровыми станками (в том числе и отечественными)
2	Простота выполнения (добавляется одна легковыполняемая операция – устройство уширения с помощью электрогидравлического взрыва)
3	Возможность точного определения места устройства уширения (по уходу бетонной смеси)
4	Возможность устройства необходимого количества уширений по длине свай с целью достижения расчетной несущей способности
5	Возможность минимизации технологических и эксплуатационных осадок

6	Возможность достижения максимальных значений несущей способности F_d по сравнению с другими геотехническими технологиями устройства буровых свай с аналогичными геометрическими параметрами бурения (диаметр, длина)
---	---

Предлагаемый способ устройства буровых (буриинъекционных) свай с многоступенчатыми уширениями отличается от активно применяемой в настоящее время геотехнической технологии ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).

Несущая способность буриинъекционной сваи ЭРТ по грунту СП 24.13330.2011 [452] по формуле 7.11 рассчитывается как сумма значений несущей способности под нижним концом и несущей способности по боковой поверхности буровой (буриинъекционной) сваи. Анализ рекомендаций по изготовлению свай с применением разрядно-импульсных технологий и методики их расчета позволяет сделать следующий вывод: при изготовлении свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) разрядно-импульсную обработку боковой поверхности сваи следует производить с шагом 0,3–0,5 м в песках и 0,75–1,0 м в связных грунтах независимо от физико-механических характеристик. При этом происходит увеличение периметра боковой поверхности сваи в местах разрядно-импульсной обработки и улучшаются условия работы грунта. Изготовленная буриинъекционная свая на месте уширения имеет «гантелеобразную» форму.

В случае изготовления буриинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) по предлагаемой технологии, где уширения работают как дополнительные опоры, при обеспечении заданных в таблице 2,3 ТР 50-180-06 [497], коэффициентов уширений, то, при расчете несущей способности сваи по боковой поверхности величину расчетного сопротивления грунта под уширением R следует принимать по таблице 7.2 СП 24.13330.2011 [452]. В условиях перемежающихся грунтов устройство уширений осуществляется в слабых грунтах (при этом обеспечивается максимальная площадь опирания) над кровлей плотных грунтов, что обеспечивает большую по сравнению с технологией ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) несущую способность сваи, при одновременном сокращении расхода материалов и трудозатрат.

1.2. Геотехническая технология устройства буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) повышенной несущей способности

Особую актуальность приобретает в последнее время геотехническое строительство в стесненных условиях. Такой вид строительной деятельности предполагает исполнения следующих мероприятий:

1	Расчет, проектирование, разработка и возведение типов фундаментов, обеспечивающих минимальную осадку застраиваемого здания или сооружения
2	Расчет, проектирование, разработка и устройство ограждающих конструкций, сводящих к минимуму влияние застраиваемого объекта на существующие здания и сооружения в пределах зоны влияния
3	Расчет, проектирование, разработка и осуществление конструктивных мероприятий по увеличению эксплуатационной надежности зданий и сооружений также в пределах зоны влияния

В геотехническом строительстве наиболее эффективными типами заглубленных железобетонных конструкций являются буринъекционные сваи на мелкозернистом бетоне.

Следует отметить, что основными способами бурения скважин для устройства буринъекционных свай в настоящее время являются шнековое бурение и бурение под защитой глинистого раствора.

Бурение под защитой тиксотропного глинистого раствора представляется малоперспективным в связи со сложностью, а часто и невозможностью устройства зумпфов (например, в условиях подвалов), проблемами с утилизацией отработанного бурового раствора, низкой несущей способностью в связи с тем, что глинистая корка на стенках скважины не позволяет обеспечить надежный контакт боковой поверхности сваи с грунтом и т.п.

Недостатком шнекового бурения является большой объем бурового шлама, остающегося на забое скважины. Это связано с конструкцией шнекового долота (породоразрушающие элементы находятся на расстоянии 10,0–15,0 см от породоудаляющих конструкций). Кроме того, при шнековом бурении происходит существенное ослабление несущих свойств грунта, не восстанавливающихся со временем вертикальной нагрузки от веса твердеющего раствора (при диаметре скважины 200,0 мм и длине 20,0 м вес инъецированного раствора составляет $12,0 \div 15,0$ кН) и давления опрессовки недостаточно для качественного уплотнения шлама и

возвращения свойств грунта на забое скважины в первоначальное состояние, что и влечет за собой технологические осадки.

Здесь следует отметить, что рассмотрение перспектив увеличения несущей способности следует оценивать с точки зрения возможностей буровой техники, позволяющей изготовление таких свай в стесненных условиях (в том числе, из подвалов существующих зданий). Это накладывает жесткие ограничения на геометрические параметры буровой техники и, как следствие, на их мощностные характеристики.

Наиболее перспективными являются геотехнические технологии, позволяющие увеличить площадь опирания под пятой и боковой поверхности свай с одновременным доведением величин технологических осадок до минимальных значений.

При изготовлении свай по электроразрядным технологиям ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ), создаются уширения на пяте и боковой поверхности сваи. Одновременно уплотняется грунт, примыкающий к свае. Вышесказанное влечет за собой существенное увеличение несущей способности буровых свай усиления. Высокая несущая способность сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) объясняется контролируемым увеличением площади опирания сваи и созданием зоны уплотнения грунтов под острием сваи, как у забивной сваи с диаметром пяты равным фактическому диаметру уширения. Применение ЭРТ технологии устройства буроинъекционных свай позволяет качественно уплотнить буровой шлам на забое скважины, сводя к минимуму технологические осадки.

На сегодняшний день изготовлены сотни тысяч свай ЭРТ в Германии, Южной Корее, Москве, Санкт-Петербурге, Нижнем Новгороде, Чебоксарах, Саранске, Самаре, Курске и других городах и регионах успешно выполнены сотни объектов. Проведенные статические испытания свай на конкретных объектах показали значительную эффективность ЭРТ технологии.

Сваи с множественными уширениями (СМУ) применяются давно. Опыт использования таких свай есть в Индии, ФРГ, Великобритании, Японии, СССР и в России. Конструкция такой сваи представляет собой буровую сваю с уширением на пяте. Выше этого уширения в зависимости от типа инженерно-геологических условий и требуемой несущей способности сваи выполняются дополнительные уширения.

Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай по грунту с одним уширением в 2,0–2,5 раза, а с двумя – в 3,0–3,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений.

У свай с многоместными уширениями на начальном этапе нагружения в работу вступает верхнее уширение. По мере увеличения нагрузки постепенно включаются нижележащие уширения, при этом каждое уширение выполняет функцию дополнительной опоры. Несущую способность F_d , кН, набивной и буровой свай с уширением и без уширения, а также свай-оболочки, погружаемой с выемкой грунта и заполняемой бетоном, работающих на сжимающую нагрузку, следует определять по формуле (7.11) СП 24.13330.2011 [452]:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} R A + \gamma_{cf} u \sum f_i h_i) \quad (1.1)$$

Для свай с многоместными уширениями (СМУ) формулу (1.1) следует преобразовать в следующий вид [311–371]:

$$\begin{aligned} F_d &= \gamma_c (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + \gamma_{cf} u \sum f_i h_i) = \\ &= \gamma_c (\gamma_{cR} \cdot R \cdot A + \gamma_{cR} \sum_{i=1}^n R_{\text{убок}} \cdot A_{\text{убок}} + u \sum_{i=1}^k \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i), \end{aligned} \quad (1.2)$$

Таким образом, вторую составляющую $\gamma_{cf} u \sum f_i h_i$ в формуле (1.1) заменяем на

$$\left[\gamma_{cR} \sum_{i=1}^n R_{\text{убок}} \cdot A_{\text{убок}} + u \sum_{i=1}^k \gamma_{cf} \cdot f_i \cdot h_i \right] \quad (1.3)$$

Схема, поясняющая определение несущей способности F_d по формуле (1.1) приведена на рис. 1.1.

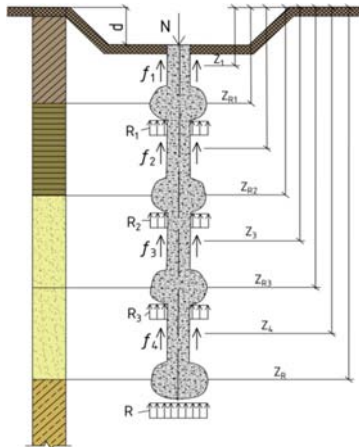


Рис. 1.1. Схема к определению несущей способности F_d буринъекционной свай с многоместными уширениями (СМУ) по грунту

При устройстве промежуточного уширения по пяте буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и вдоль ее ствола величину диаметра уширения D_{ku} следует определять по формуле:

$$D_{ku} = d_c \cdot K_u, \text{ где:} \quad (1.4)$$

d_c	Диаметр бурения по рабочему инструменту
K_u	Коэффициент уширения, равный отношению диаметра уширения d_{ku} к диаметру буровой скважины

Значения K_u приведены в таблице 2, 3 ТР 50-180-06 [497].

Площадь уширения сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) определяется по нижеприведенной формуле:

$$A = (\pi \cdot D_{ku}^2) / 4. \quad (1.5)$$

Следует заметить, что при линейном значении $d_{yи}$ площадь уширения увеличивается в квадратичном соотношении, так например, при коэффициенте уширения $K_{yи} = 1,5$, площадь уширения увеличивается в 2,25 раза, а при коэффициенте $K_{yи} = 2,0$, а площадь – в 4 раза.

Расчет несущей способности буровых (буроинъекционных) свай с многоместными уширениями (СМУ) по боковой поверхности имеет свои особенности по сравнению с расчетом несущей способности буровых (буроинъекционных) свай без уширений.

При устройстве свай с многоместными уширениями несущая способность сваи по боковой поверхности представляет собой сумму несущих способностей под каждым из уширений. При этом наиболее значимым параметром для их определения является R (расчетное сопротивление грунта под уширением).

Расчетные сопротивления грунтов под каждым из уширений R в десятки раз выше расчетного сопротивления тех же грунтов по боковой поверхности сваи f_i (расчетное сопротивление i -го слоя грунта по боковой поверхности сваи), определяющих величину несущей способности по боковой поверхности сваи без уширений (табл. 1.1).

Таблица 1.1

Глубина, <i>h</i>	$I_L=0,2$			$I_L=0,4$			$I_L=0,6$		
	f_i , кПа	R_i , кПа	R_i/f_i	f_i , кПа	R_i , кПа	R_i/f_i	f_i , кПа	R_i , кПа	R_i/f_i
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	56	750	14,40	29	500	17,24	17	350	20,59
10	65	1050	16,15	34	800	23,53	19	600	31,58
15	72	1500	20,83	38	1100	28,95	20	800	40,00
20	79	1900	24,05	41	1450	35,37	20	1050	52,50

Выводы:

1. В настоящее время крайне востребованной является разработка технологий изготовления буровых свай усиления повышенной несущей способности с одновременной минимизацией технологических осадок свай.

2. Наиболее перспективными в слабых инженерно-геологических условиях являются сваи с многоместными уширениями, при этом, уширения выполняются по электроразрядной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)).

3. Основными достоинствами этой геотехнической технологии являются:

1	Обеспечение такой степени уплотнения грунта, при котором СМУ работает как забивная свая
2	Возможность определения точного места устройства уширений каждой сваи, что необходимо при устройстве сваи в условиях перемежающихся грунтов
3	Минимизация технологических и эксплуатационных осадок

4. Указанная технология реализуется существующими мало-мощными буровыми станками, предназначенными для работы в условиях подвалов.

5. Технология устройства свай с многоместными уширениями по электроразрядным технологиям позволяет существенно снизить стоимость приведенной несущей способности сваи (несущая способность одного m^3 буроинъекционной сваи).

2. ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ И НОВОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

2.1. Опыт восстановления аварийного здания Введенского кафедрального собора в городе Чебоксары

Известно [311–395; 417; 398], что при уплотнительной застройке всегда есть вероятность отрицательного влияния на существующие здания и сооружения. При проведении строительно-монтажных работ без устройства геотехнических экранов (ограждений котлованов) возможно изменение напряженно-деформированного состояния в основаниях ранее построенных зданий и сооружений.

В данной главе рассматриваются меры, принятые для устранения аварийной ситуации, возникшей в результате строительства резиденции владыки Чувашской митрополии и Чебоксарской епархии в зоне геотехнического влияния на здание Введенского кафедрального собора – памятника истории и культуры XVII века в городе Чебоксары.

26 апреля 2004 г. на наружных поверхностях несущих стен собора появились вертикальные трещины деформационного характера. Первые такие тревожные дефекты возникли на уровне чердачных перекрытий на северной и южной несущих кирпичных стенах, т.е. здание кафедрального собора начало раскалываться на две части в направлении «запад-восток». Скорость раскрытия трещин установилась в интервале 10,0 – 15,0 мм/сут. Далее трещины перешли на чердачные цилиндрические своды и так же интенсивно развивались. Входные двери в алтарь перекошились, перестали открываться. Создалась аварийная ситуация (рис. 2.1 ÷ 2.3).

Министерством строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Чувашской Республики и Администрацией города Чебоксары была срочно создана чрезвычайная комиссия по разработке противоаварийных мероприятий для спасения памятника. В нее были включены представители Минстроя Чувашской Республики, городской администрации, Чувашской митрополии, Чебоксарской епархии, местных изыскательских, проектных и подрядных организаций, в том числе автор. Комиссия констатировала,

что причиной аварийных деформаций собора, как уже отмечалось, явилось влияние строительства резиденции владыки Чувашской митрополии и Чебоксарской епархии на расстоянии 4,0 м от храма со стороны алтаря.

Возведение двухэтажного кирпичного здания резиденции на ленточном фундаменте со сборными пустотными плитами перекрытий было начато осенью 2003 г. В апреле 2004 г. оно имело только фундамент без перекрытия цокольного этажа, т.е. его основание на протяжении всего зимнего периода 2003 – 2004 гг. находилось в замороженном состоянии. Деформация собора началась как раз в период оттаивания основания строящегося здания резиденции. Комиссия установила, что, скорее всего, здание собора пришло в движение в результате выдавливания грунта из-под подошвы фундамента.

Введенский кафедральный собор, построенный в 1651 г., представляет собой кирпичное здание размером в плане 37,4 × 35,3 м и состоит из основной части высотой 13,0 м с апсидой¹ высотой 4,5 м, ориентированной на восток, и трех приделов с апсидами высотой 4,2 – 4,5 м. Притвор высотой 3,4 м расположен с западной стороны здания и имеет толщину стен 650,0 мм. Стены и колонны собора до уровня чердачного перекрытия имеют сплошное сечение и выполнены из обожженного глиняного кирпича (размером 300,0 × 150,0 × 80,0 мм), скрепленного известковым раствором. Их толщина составляет 1000,0 – 1700,0 мм. Четыре кирпичные колонны разбивают храм на 9 ячеек. На высоте 2,0 м от уровня пола они имеют квадратное сечение со стороной 1900,0 мм выше до капителей – круглое сечение диаметром 1700,0 мм. Чердачное перекрытие (за исключением южного придела, где перекрытие идет по деревянным балкам) представляет собой систему объединенных между собой парусных цилиндрических сводов толщиной 500,0 мм. Горизонтальный распор пространственных конструкций воспринимается затяжками – металлическими полосами с сечением 52,0 × 18,0 мм и толщиной 5,0 мм. Венчающей частью храма являются цилиндрические световые барабаны большой и четырех малых глав, опирающиеся на кирпичные своды перекрытия. В восточной стене и части северной стены апсид устроены контрфорсы высотой до 2,0 м из кирпичной кладки на известковом растворе. Подземная

часть контрфорсов сложена из крупных бутовых камней с применением песчаника. Перекрытие над притвором выполнено из сборных железобетонных плит. Крыша собора – чердачная с деревянными стропильными конструкциями. Кровля – металлическая на деревянной обрешетке. Фундамент – ленточный бутовый на известковом растворе. Глубина его заложения составляет 2,0 – 2,4 м.

По решению чрезвычайной комиссии были срочно организованы инженерно-геологические изыскания на площадке храма, обследование его технического состояния и разработка противоаварийных мероприятий.



Рис. 2.1. Трещина над оконным проемом Введенского собора (видна в верхней части снимка посередине). Вид со стороны северного фасада.

Примечание к рис. 2.1:¹ Апсида – полукруглый в плане выступ, перекрытый сводом и ориентированный в христианских храмах на восток.

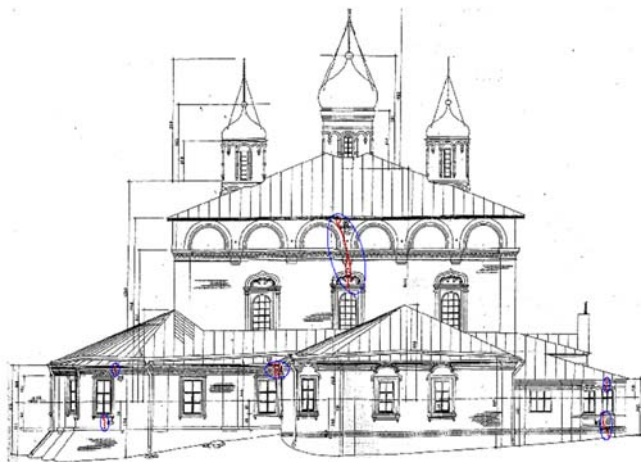


Рис. 2.2. Трещины на северном фасаде Введенского собора (показаны красным цветом и обведены синими овалами)



Рис. 2.3. Деформационные трещины на южном фасаде Введенского собора (показаны красным цветом и обведены синими овалами)

По результатам инженерно-геологических изысканий, выполненных ГУП «ЧувашГГИИЗ» в 2004 г., на территории существующего объекта объекта культурного наследия (ОКН) Республиканского значения Введенского кафедрального собора залегают следующие инженерно-геологические элементы (ИГЭ):

ИГЭ 1	Насыпной грунт (tQ_{IV}), залегающий до глубины 0,8 – 1,8 м. Распространен повсеместно вокруг здания вне основания фундамента
ИГЭ 2	Лессовый суглинок (prQ_{III}), обладающий просадочными свойствами на всю глубину, в основном тугопластичной консистенции (с числом пластичности $I_p = 9,0\%$). Распространен по всей площадке до глубины 4,0 – 6,5 м. Величина относительной просадочности ϵ_{sl} изменяется от 0,01 до 0,032 (в среднем составляет $\epsilon_{sl} = 0,0186$) при замачивании под нагрузкой 0,2 МПа (200,0 кПа), а начальное просадочное давление P_{sl} – от 0,055 до 0,2 МПа (55,0 – 200,0 кПа). Тип грунтовых условий по просадочности – первый
ИГЭ 2а	Лессовый суглинок (prQ_{III}) мягко-текучепластичный консистенции, в целом непросадочный ($\epsilon_{sl} = 0,0072$), сохраняющий слабые просадочные свойства в редких малых объемах грунта. Распространен преимущественно в восточной части площадки
ИГЭ 3	Пролувиально-делювиальный суглинок (pdQ_{III}) от полутвердой до тугопластичной консистенции, в восточной части – мягкопластичной консистенции (с числом пластичности $I_p = 14,0\%$). Залегает повсеместно, увеличиваясь по мощности до 4,5 м в северной части площадки
ИГЭ 4	Дресва и щебень (pdQ_{III}) с песчанисто-суглинистым заполнителем
ИГЭ 5	Глинистый алеврит (P_{2t}) с $I_p = 14,0\%$. Вскрыт в южной части. Имеет мощность 1,0 м
ИГЭ 6	Пылеватый песок (P_{2t}) с прослойками мелкого песка

В таблице 2.1 приведены физико-механические характеристики грунтов, слагающих исследуемую площадку.

Таблица 2.1

Физико-механические характеристики грунтов*,
слагающих исследуемую строительную площадку

С/И/Г №	Грунт	R_0 , кПа	Нормативные характеристики				Расчетные характеристики при $\alpha = 0,85(0,95)$			
			ρ , г/см ³	C , кПа	φ , град.	E , МПа	ρ , г/см ³	C , кПа	φ , град	E_0 , МПа
1	Насыпной грунт (tQ_{IV})	100	–	–	–	–	–	–	–	–
2	Суглинок лессовый тугопластичный просадочный (prQ_{III})	–	1,90	$\frac{16}{12}$	$\frac{20}{15}$	5,8	$\frac{1,89}{1,87}$	$\frac{12}{10}$	$\frac{19}{14}$	5,8
2а	Суглинок лессовый мягко-теку- чепластичный (prQ_{III})	–	1,90	10	14	2,1	$\frac{1,86}{1,83}$	$\frac{8}{7}$	$\frac{13}{12}$	2,1
3	Суглинок пролювиально- делювиальный (pdQ_{III})	–	1,96	44	19	14	$\frac{1,93}{1,91}$	$\frac{36}{31}$	$\frac{17}{16}$	14
4	Дресва и ще- бень (pdQ_{III})	400	–	–	–	–	–	–	–	–
5	Алеврит глини- стый (P_{2t})	–	1,91	51	24	17	$\frac{1,89}{1,87}$	–	–	17
6	Песок пылева- тый (P_{2t})	–	1,73	7	32	27	$\frac{1,71}{1,70}$	$\frac{0}{0}$	$\frac{30}{29}$	27

* R_0 – условное расчетное сопротивление грунта по СНиП 2.02.01.01-83* «Свайные фундаменты»; ρ – плотность; C – удельное сцепление; φ – угол внутреннего трения; E_0 – модуль общей деформации; над чертой – значения при естественной влажности, под чертой – значения для водонасыщенного состояния.

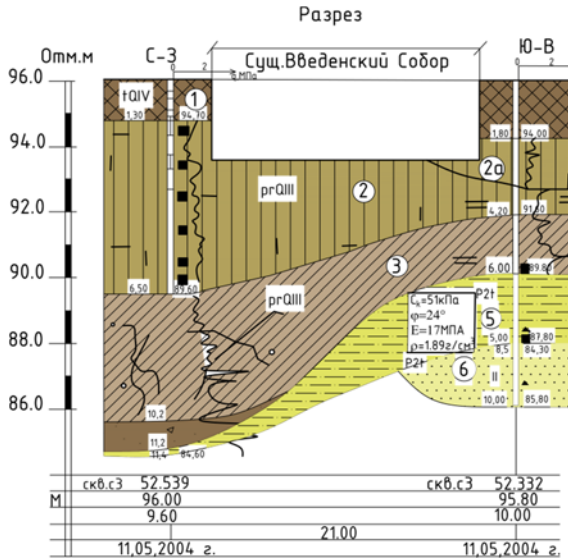


Рис. 2.4. Инженерно-геологический разрез площадки здания Чебоксарского Введенского кафедрального собора

Анализируя результаты инженерно-геологических изысканий, можно сделать вывод об ухудшении физико-механических свойств грунтов основания. Особо следует обратить внимание на низкое значение модуля общей деформации $E_o = 2,1 \text{ МПа}$ ($2100,0 \text{ кПа}$), для слоя 2а – суглинка лессового мягко-текуче-пластичной консистенции (PrQ_{III}).

Одним из противоаварийных решений чрезвычайной комиссии стало поручение ООО научно-производственная фирма «ФОРСТ» разработать рабочий проект усиления основания фундаментов и выполнения самих геотехнических работ здания кафедрального Собора, включая западный и северный приделы и алтарь. Рассматривались два типа буроинъекционных свай: это буроинъекционные сваи, изготавливаемые без уплотнения стенок скважины и буроинъекционные сваи с уплотнением грунта стенок скважины электрогидравлической обработкой – это сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Определяющим фактором принятия решения по выбору типа буроинъекционной сваи явилась их несущая способность. Так несущая способность буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) по грунту пре-

вышает ориентировочно на 65,0 % несущую способность буроинъекционной сваи. Известно, что при проведении работ по реконструкции или при необходимости устройства буроинъекционной сваи усиления вследствие недостаточности несущей способности основания руководствуются следующим алгоритмом:

1. Проверятся удовлетворение условия $P_{II_{mt}} \leq R$, где $P_{II_{mt}}$ – среднее давление под подошвой фундамента; R – расчетное сопротивление несущего слоя основания;

2. При неудовлетворении условия в п. 1 определяется внешняя нагрузка на уровне центра тяжести подошвы фундамента необходимая для передачи на буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

$$N = P_{доп} \times A = ((P_{II_{mt}} - R) / R) A, \quad (2.1)$$

здесь

A	площадь подошвы для столбчатых фундаментах $A = l \cdot b$,
	для ленточных – $A = b \cdot l$.

Исходя, из вышесказанного количество свай без уплотнения составляет в 1,6 раза больше буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ). Учитывая, что стоимость одного *п/м* вышеназванных свай незначительно отличается друг от друга, стоимость работ по усилению основания возросла бы в 1,6 раза.

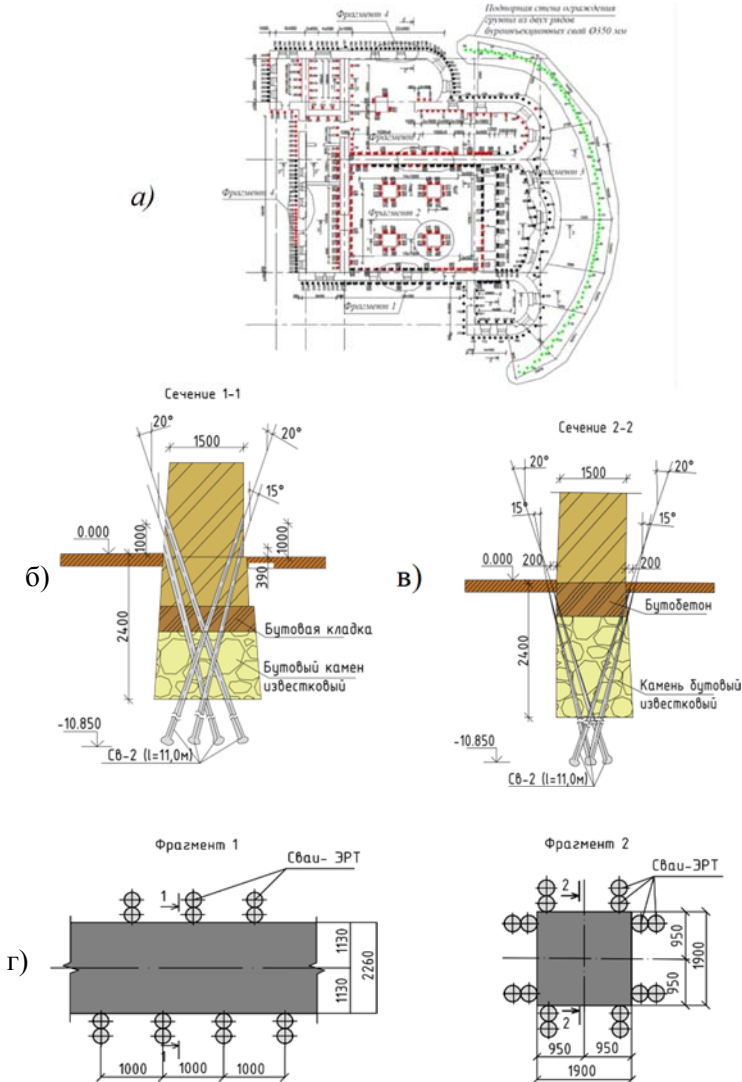
Обобщая предыдущее, в качестве варианта усиления принята буроинъекционная свая ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ), длиной 11,0 м (с учетом заделки нижних концов в коренные грунты и прохождения колонковым бурением тела фундамента глубиной 2,5 м Ø 180,0 мм. При этом количестве свай в пределах площади Кафедрального Собора различное, например:

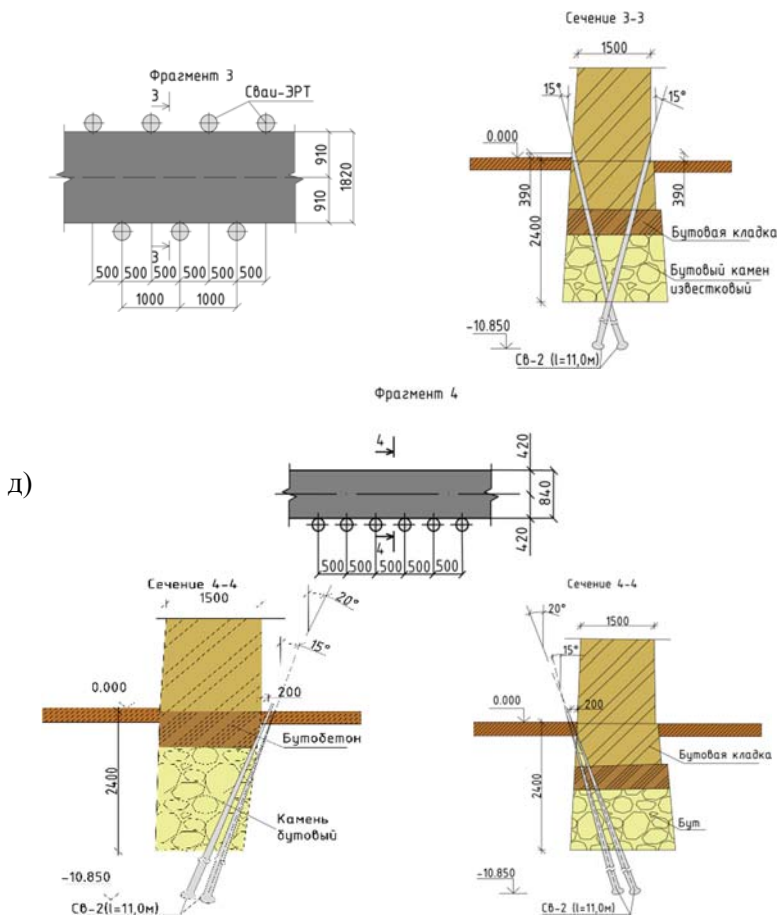
1. Под апсидой две сваи/м;
2. Под стенами храма – четыре сваи/м;
3. Под стенами сводов – шестнадцать буроинъекционных свай.

Всего запроектировано более 800,0 буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) (см. рис. 2.5).

Гипотеза, предложенная нами о том, что деформация здания Кафедрального Собора произошла в результате выдавливания грунта из-под подошвы фундамента подтвердилась в процессе производства геотехнических работ по усилению основания фундамента. Она оказалась справедливой для участка плана Собора от стены

иконостаса до алтаря включительно (см. рис. 2.5) (в сторону пристроя резиденции Владыки Чебоксарского). Вероятность выдавливания оказалась высокой, вследствие наличия под подошвой фундаментов Собора суглинка мягкотекучеplastичной консистенции с модулем общей деформации $E_{\theta}=2,1 \text{ МПа}$ (2100,0 кПа).





д)

Рис. 2.5. Схема расположения буроинъекционных свай при усилении основания и фундаментов Введенского кафедрального собора.

Условные обозначения: точки красного и черного цветов – буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) усиления основания и фундамента; точки зеленого цвета – буроинъекционные сваи подпорной стенки с восточной стороны храма: а – план размещения буроинъекционных свай усиления ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ), б, в, г, д – фрагменты с сечениями 1-1, 2-2, 3-3, 4-4

При устройстве буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) [322, 384, 402, 407, 418] вдоль стены иконостаса обнаружены сверхнормативные расходы мелкозернистого бетона. Так, например, при геометрическом объеме свай $\approx 0,3 \text{ м}^3$ расход бетона доходил до $5,0 \text{ м}^3$.

Примечательно, что до электрогидравлической обработки в скважинах, полностью заполненных бетоном, убывание уровней не наблюдалось. При электрогидравлической обработке на уровне подошвы фундаментов обнаружено резкое понижение уровней, что подтверждает наличие пустот под подошвой, тем самым происходит заполнение пустот мелкозернистым бетоном. В результате произведенных работ по устройству буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) одновременно произошло цементационное закрепление основания фундаментов стены иконостаса и алтаря (см. рис. 2.6).

Одновременно (опять же из предпосылки выдавливания грунта из под подошвы фундаментов) разработан проект ограждения грунта из двух рядов буроинъекционных свай с шагом 0,5 м между ними Ø 350,0 мм с устройством обвязочным поясом по верху свай (см. рис. 2.7).

Выполнено усиление здания с помощью предварительно напряженных затяжек из восьми рядов на уровне карниза (рис. 2.8), а также устройство пригрузов бетонными блоками и железобетонными плитами перекрытий с восточной стороны здания Введенского Собора (рис. 2.9).

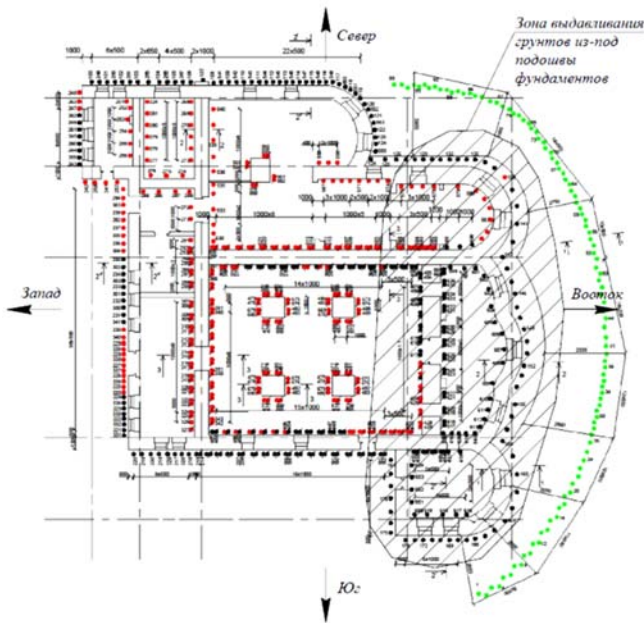


Рис. 2.6. Зона цементационного закрепления основания



Рис. 2.7. Подпорная стенка из двух рядов буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) со стороны алтаря



Рис. 2.8. Обвязки кирпичных стен храма из восьми рядов предварительно напряженных затяжек (вид с западного фасада)



Рис. 2.9. Пригрузка бетонными блоками и плитами перекрытий с восточной стороны Введенского собора (со стороны алтаря)

Анализируя график раскрытия трещины на рис. 2.10 можно сделать вывод о том, что при включении конструкций страховочных мероприятий в работу скорость раскрытия резко упала до долей мм, а после завершения работ по усилению основания она остановилась при величине раскрытия 357,0 мм.



Рис. 2.10. График раскрытия деформационной трещины на уровне карниза стены северного фасада (маяк 1)

Выводы:

1. Рассматриваемая аварийная ситуация возникла в результате строительства здания резиденции Владыки Чебоксарской и Чувашской епархии в зоне геотехнического влияния. Следствием возведения здания в апреле 2004 года на наружных поверхностях стен здания Чебоксарского Введенского кафедрального Собора появились вертикальные трещины деформационного характера. Возникшие трещины на уровне чердачных перекрытий и развившиеся далее на северных и южных фасадах раскололи здание на две части в направлении «запад-восток». Скорость развития трещин установилась в интервале 12 ÷ 16 мм/сутки.

Таким образом, возникла угроза обрушения здания Чебоксарского Введенского кафедрального Собора.

2. Министерством строительства Чувашской Республики и Чебоксарской городской администрацией была срочно создана чрезвычайная комиссия по разработке противоаварийных мероприятий по спасению памятника истории и культуры федерального значения.

Комиссия установила, что причиной деформации Собора явилось влияние строительства здания резиденции Владыки Чебоксарской и

Чувашской епархии на расстоянии 4,0 метров от алтаря (восточная часть) храма. Она поручила срочно произвести следующие работы:

- 1) инженерно-геологические изыскания;
- 2) обследование технического состояния здания Собора;
- 3) разработку противоаварийных мероприятий, включающих **усиление** основания фундаментов, **усиление** здания с помощью предварительно напряженных затяжек из 8-ми рядов высокопрочной винтовой арматуры по наружному периметру на уровне карниза.

В результате проведенных инженерно-геологических изысканий и результатов технического обследования выявлено наличие полостей под подошвой фундаментов восточной части здания (стена с царскими воротами, стены алтаря).

3. Осуществление разработанных противоаварийных мероприятий позволили предотвратить противоаварийную ситуацию. При достижении раскрытия максимальной трещины до 357,0 мм деформации Собора прекратились. Собор эксплуатируется до сих пор безаварийно.

2.2. Об ошибочном способе устройства буроинъекционных свай с использованием электроразрядной технологии при строительстве фундамента многоэтажного дома в г. Нижний Новгород

Возведение любого задания (или сооружения) предполагает поэтапный контроль качества строительства, который позволяет обеспечить его безопасную эксплуатацию в последующем.

Зачастую вызывает сильное беспокойство качество устройства буроинъекционных и буронабивных свай при строительстве нулевой части зданий и сооружений, особенно если прерывается технологическая цепочка и не обеспечивается должный контроль качества при выполнении разных этапов работ разными подрядными организациями.

Глава посвящена рассмотрению подобного случая из строительной практики. Проектом под десятиэтажное здание гостиницы в Нижнем Новгороде было предусмотрено устройство буроинъекционных свай, изготавливаемых по электроразрядной технологии (технология ЭРТ). Эта технология включает бурение, бетонирование, электрогидравлическую обработку, армирование и доливку бетона. Вследствие того, что данные работы выполняли четыре подрядные организации и отсутствовал должный контроль набора прочности бетона, был нарушен правильный технологический цикл и для более

чем 30,0 % свай не была достигнута проектная несущая способность, поэтому вынуждены были перепроектировать свайное поле.

Строительство объекта велось в сложных инженерно-геологических условиях в старом русле реки Ковалиха в городе Нижний Новгород. Инженерно-геологический разрез на этом участке представлен следующими инженерно-геологическими элементами (ИГЭ) (сверху вниз):

ИГЭ-1	Нсыпной грунт (неслежавшийся суглинок с супесью и строительным мусором)
ИГЭ-2	Непросадочный туго- и мягкопластичный лессовый суглинок
ИГЭ-3	Непросадочный текучепластичный лессовый суглинок
ИГЭ-4	Непросадочная пластичная лессовая супесь
ИГЭ-5	Туго- и мягкопластичный суглинок
ИГЭ-6	Твердая и полутвердая глина
ИГЭ-7	Глинистый полимиктовый песок

Для рассматриваемой площадки строительства объекта культурного наследия республиканского значения характерен высокий уровень грунтовых (ненапорных) вод.

На рис. 2.11 приведен характерный для рассматриваемого участка инженерно-геологический разрез, а в таблице 2.2 – нормативные характеристики слагающих его грунтов.

Таблица 2.2

Нормативные характеристики грунтов, слагающих строительную площадку*

№№ ИГЭ	Грунт	ρ , г/см ³	C , кПа	φ , град.	E_0 , МПа	I_L д.е.
1	Насыпной грунт (с расчетным сопротивлением $R_0 = 80,0$ кПа)	1,80	–	–	–	–
2	Суглинок лессовый туго- и мягкопластичный непросадочный	1,95	19	19	9	0,9
3	Суглинок лессовый текучепластичный непросадочный	1,91	13	14	8	0,6
4	Суглинок туго- и мягкопластичный	2,01	19	21	14	0,3

5	Глина пестроцветная твердая и полутвердая с алевритом и песком	1,87	72	22	25	0,2
6	Песок полимиктовый глинистый	1,89	25	29	30	–

* ρ – плотность грунта; C – удельное сцепление; ϕ – угол внутреннего трения; E_0 – модуль деформации;



Рис. 2.11. Характерный инженерно-геологический разрез площадки строительства

Строительство объекта было начато за 5,0 лет до начала основного строительства с возведения ограждения котлована (глубиной 9,0 м) из двух рядов буронагнеточных свай диаметром 450,0 мм с шагом 1,0 м. Подпорная стена котлована была устроена вдоль улиц Ковалихинская, Белинского, Максима Горького. Непосредственно со стороны улицы М. Горького к котловану примыкает десятиэтажный крупнопанельный жилой дом, возведенный на забивных сваях (рис. 2.12).

Недостатком построенного ограждения оказалось отсутствие монолитного обвязочного железобетонного пояса по верху буронагнеточных свай. Это выявилось лишь при отрыве котлована. Ряд свай ограждения со стороны примыкающего здания наклонился в сторону котлована (максимальное перемещение достигло 35,0 мм). В результате создавшейся ситуации на наружных стенах жилого дома возникли деформационные трещины. При этом установленные гипсовые маяки разорвались и продолжали рваться.

Созданная в связи с этим чрезвычайная комиссия поручила проектной организации срочно разработать противоаварийные мероприятия для стабилизации деформаций, как подпорной стены, так и примыкающего здания. В качестве таких мер была разработана схема усиления подпорной стены в виде распорных конструкций из труб диаметром 1 000,0 мм, расположенных на двух уровнях во взаимно перпендикулярных направлениях (см. рис. 2.12, 2.13, 2.14). Эти противоаварийные мероприятия позволили стабилизировать ситуацию. Гипсовые маяки на жилом доме перестали рваться, горизонтальные перемещения подпорной стены были приостановлены. При этом геотехнический мониторинг продолжался.



Рис. 2.12. Котлован и примыкающий к нему существующий десятиэтажный жилой дом

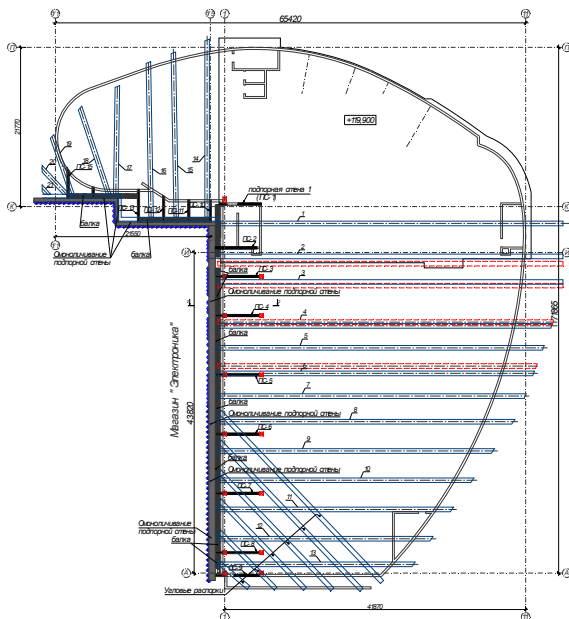


Рис. 2.13. План размещения распорных конструкций для усиления подпорной стены ограждения котлована



Рис. 2.14. Геотехнические работы на узле 1 по усилению существующей подпорной стены ограждения котлована котлована

При проектной глубине котлована 9,0 м распорные крепления были размещены на глубине 4,5 ÷ 6,5 м. Поэтому во избежание негативных последствий для примыкающего жилого дома при дальнейшей откопке котлована был разработан проект устройства

монолитных железобетонных контрфорсов на дополнительных буроинъекционных сваях ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) диаметром 0,35 м и длиной от 12,0 до 19,0 м в зависимости от инженерно-геологических условий в той или иной части строительной площадки (рис. 2.14, 2.15). Работы по устройству свай ЭРТ приходилось вести в очень сложных (в особо стесненных) условиях между трубами, а удаление грунта из котлована производилось только вручную.

Для обеспечения безопасной эксплуатации подпорной стены при строительстве нулевого цикла, а также для создания условий для демонтажа стальных труб распорных строительных конструкций был разработан алгоритм устройства монолитных железобетонных контрфорсов, который приведен на рис. 2.16.

Выполнение строительно-монтажных работ по реализации вышеуказанного алгоритма позволило поэтапно демонтировать распорные трубы. Дальнейших деформаций подпорной стены и жилого дома не было обнаружено.

На рис. 2.17 показана схема узла стыка конструкций монолитного железобетонного контрфорса с существующим свайным фундаментом десятиэтажного жилого дома, а на рис. 2.18 – фотография вновь созданных монолитных железобетонных контрфорсов.

Необходимо отметить, что устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) под фундаменты монолитных железобетонных контрфорсов производилось одной подрядной организацией, а возведение контрфорсов – другой подрядной организацией. При этом мониторинг горизонтальных перемещений подпорной стены и деформаций осадочных марок жилого дома при выполнении этих работ проводился ежедневно. Благодаря этому на данном участке не было нарушений в технологической цепочке **«бурение – бетонирование – электрогидравлическая обработка стенок и пяты скважины – монтаж армокаркасов»**.

При этом обязательными этапами, подтвердившими соответствие проекту запроектированных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) под фундаменты контрфорсов, были:

1	Лабораторные испытания на прочность заранее изготовленных бетонных кубиков мелкозернистого бетона, предназначенных для изготовления буроинъекционных свай
2	Испытания статической вертикальной вдавливающей нагрузкой опытных буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

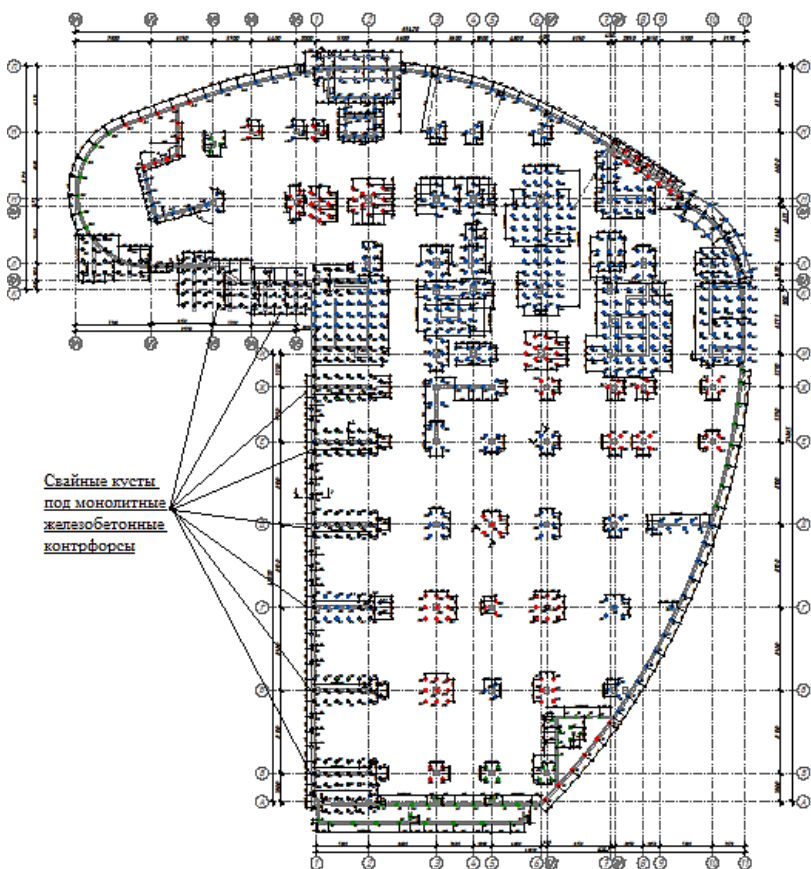


Рис. 2.15. Разработанный план расположения монолитных железобетонных контрфорсов вдоль оси «1» на буринъекционных сваях ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), изготавливаемых по электроразрядной технологии

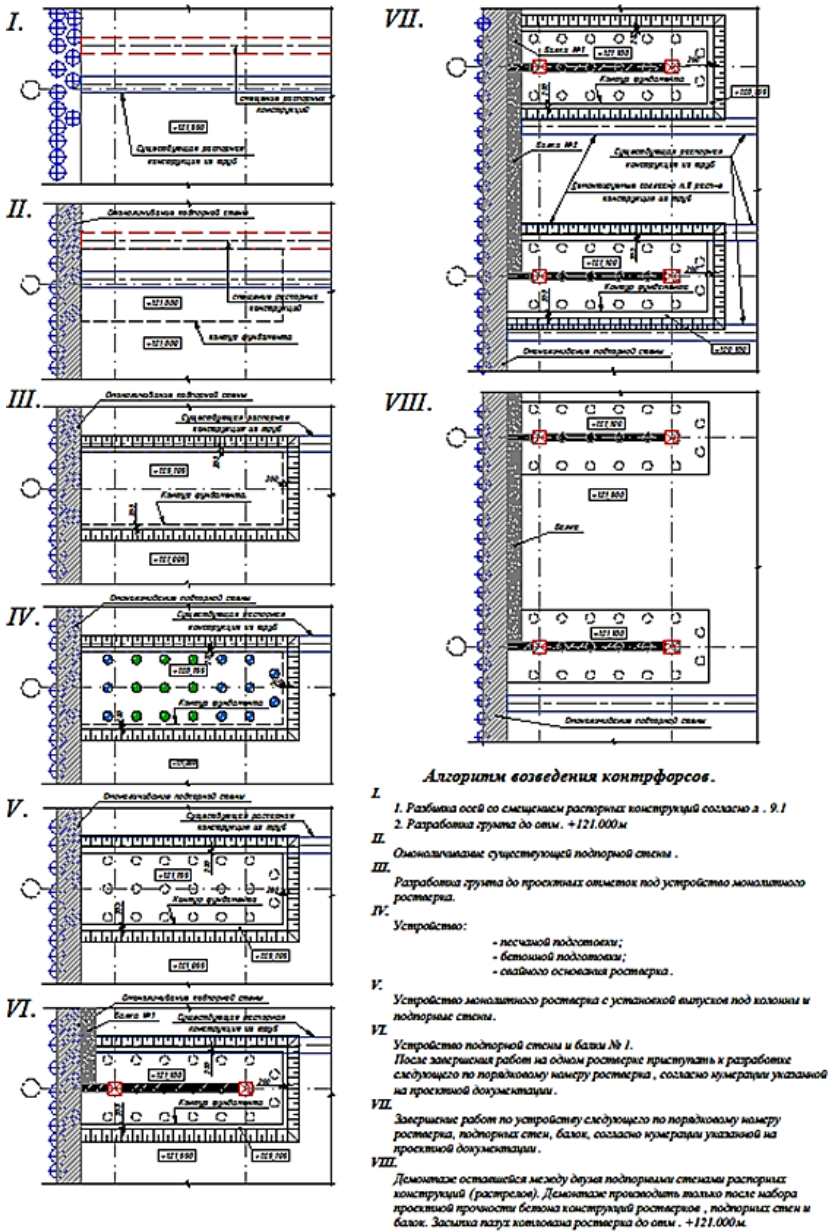


Рис. 2.16. Разработанный алгоритм создания монолитных железобетонных контрфорсов

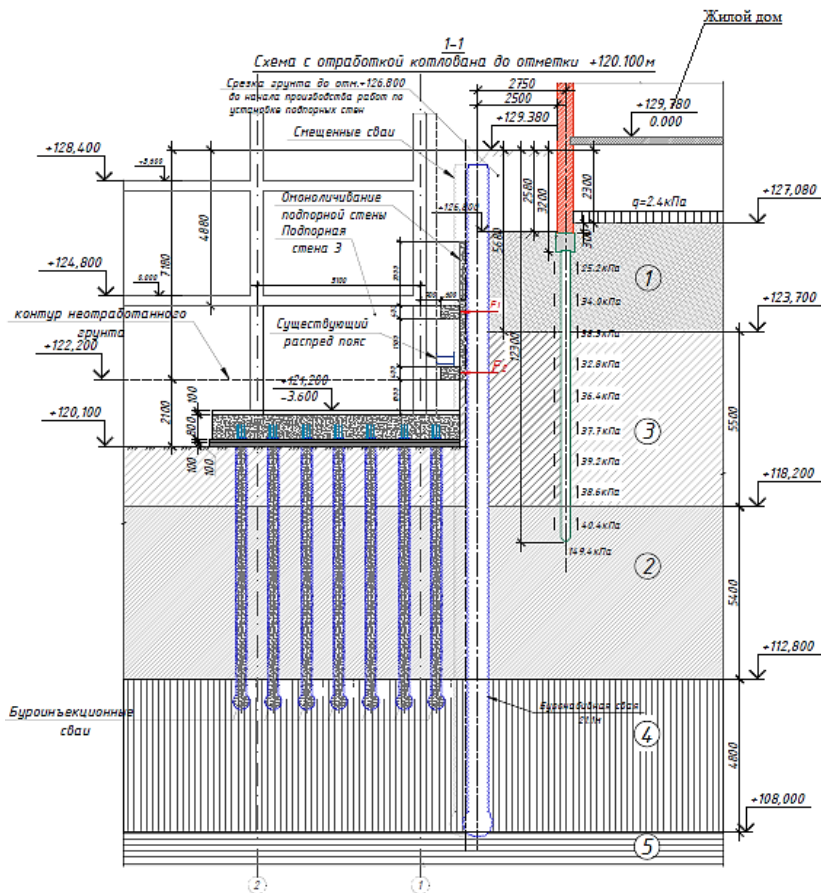


Рис. 2.17. Узел стыка конструкций монолитного железобетонного контрфорса с существующим свайным фундаментом жилого дома

На испытательном полигоне (в пределах участка изготовления контрфорсов) выполнены два свайных куста по электроразрядной технологии. В одном из них сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) были изготовлены без уширений, а в другом – с множественными уширениями. Результаты испытаний с помощью вертикальной статической вдавливающей нагрузки приведены на рис. 2.20.



Рис. 2.18. Фрагменты выполненных монолитных железобетонных контрфорсов

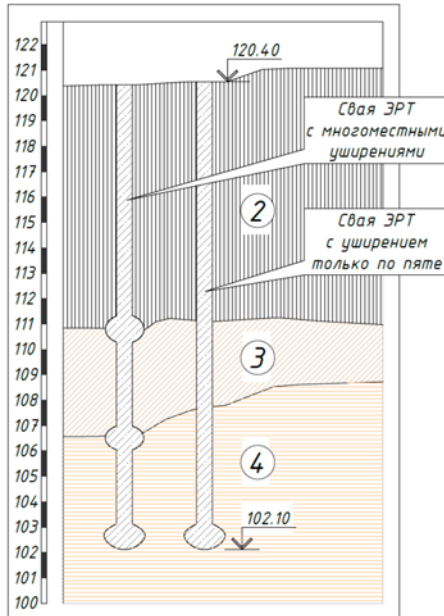


Рис. 2.19. Инженерно-геологический разрез испытательного полигона и буринъекционных свай, выполненных по электроразрядной технологии, с многоместными уширениями (слева) и только с уширенной пятой (справа). Вертикальная ось – высотная отметка, м

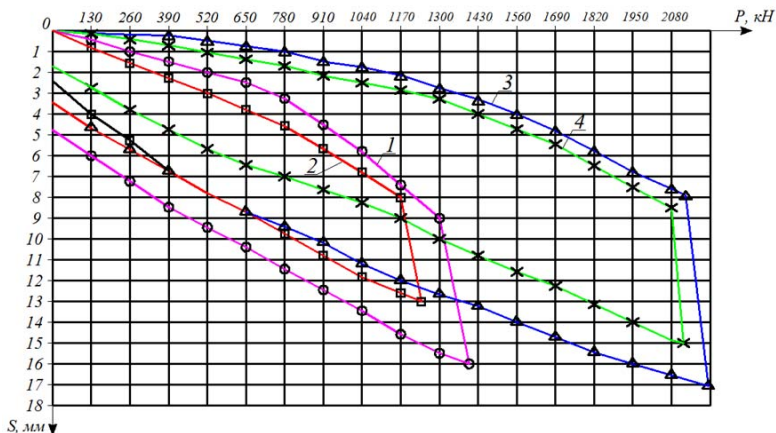


Рис. 2.20. Графики результатов испытаний статической нагрузкой буройнъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ): 1, 2 – только с уширенной пятой; 3, 4 – с множественными уширениями.
 Буквенные обозначения: P – расчетная нагрузка на сваю;
 S – вертикальные перемещения буройнъекционных свай

Расчет несущей способности буройнъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений по грунту производится по формуле 7.11. СП 24.13330.2011 [452].

Пример алгоритма расчетов несущей способности сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширенной пятой, но без множественных уширений приведен на рис. 2.21. Результаты геотехнического расчета для этого конкретного примера приведены ниже:

$$F_d = 1,0 (1,3 \cdot 2500 \cdot 0,12 + 1,1 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 707) = 1245,0 \text{ кН.}$$

При этом расчетная нагрузка:

$$N = F_d / 1,4 = 889,0 \text{ кН.}$$

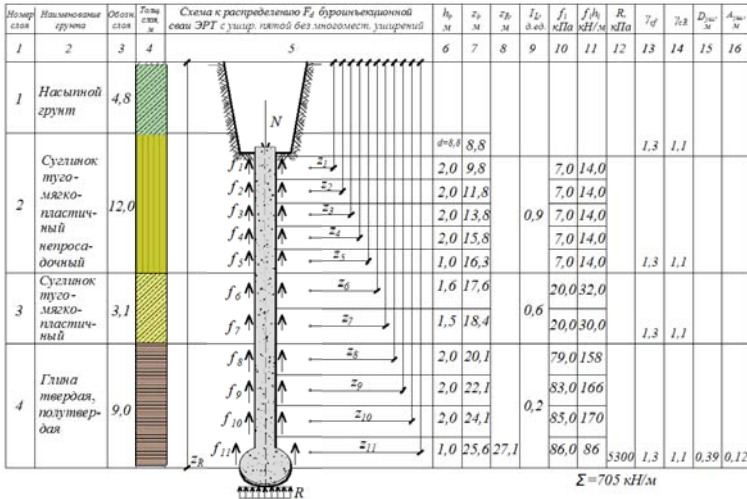


Рис. 2.21. Пример алгоритма расчетов несущей способности F_d сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширенной пятой, но без многместных уширений. Буквенные обозначения: N – вертикальная нагрузка; d – глубина котлована; z_i – средняя глубина залегания i -го слоя грунта ($i = 1; 2; \dots; 11$); z_R – глубина заложения пяты сваи; I_L – показатель текучести; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания по боковой поверхности сваи, кПа ; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м ; R – расчетное сопротивление грунта под уширенной пятой; γ_{cr} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под пятой и по боковой поверхности сваи; $A_{уш}$ – площадь опирания уширенной пяты; $D_{уш}$ – диаметр уширенной пяты по формуле 14.28 ТР 50-180-06 [497]

Геотехническая технология изготовления буровинъекционных свай ЭРТ с многместными уширениями (СМУ) позволяет значительно повысить несущую способность сваи по грунту.

Несущую способность СМУ следует рассчитывать с помощью предложенной ранее формулы 2.2:

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cr} RA + \gamma_{cr} \sum_{i_{бок}=1}^N R_{i_{бок}} A_{i_{бок}} + u \sum \gamma_{cf} f_i h_i), \quad (2.2)$$

где

$R_{i_{бок}}$	расчетное сопротивление грунта под i -м уширением
$A_{i_{бок}}$	площадь опирания i -го уширения, которая находится по нижеприведенной формуле 2.3

$$A_{i\text{бок}} = \pi (D_c \cdot k_{\text{ши}})^2 / 4 - \pi D_c^2 / 4, \tag{2.3}$$

здесь:

D_c	диаметр скважины
$k_{\text{ши}}$	коэффициент уширения, принимаемый по ТР 50-180-06 (табл. 2, 3) [497]

Пример алгоритма расчетов F_d для свай с множественными уширениями СМУ приведен на рис. 2.22. Результаты расчета для этого конкретного примера:

$$F_d = 1,0 \cdot [1,3 \cdot 5300 \cdot 0,12 + 1,3(0,130 - 0,096) \cdot (1100 + 4500) + 1,1 \cdot 3,14 \cdot 0,35 \cdot 705] = 827 + 248 + 852 = 1927,0 \text{ кН}$$

При этом расчетная нагрузка на сваю ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями: $N = F_d / 1,4 = 1376,0 \text{ кН}$.

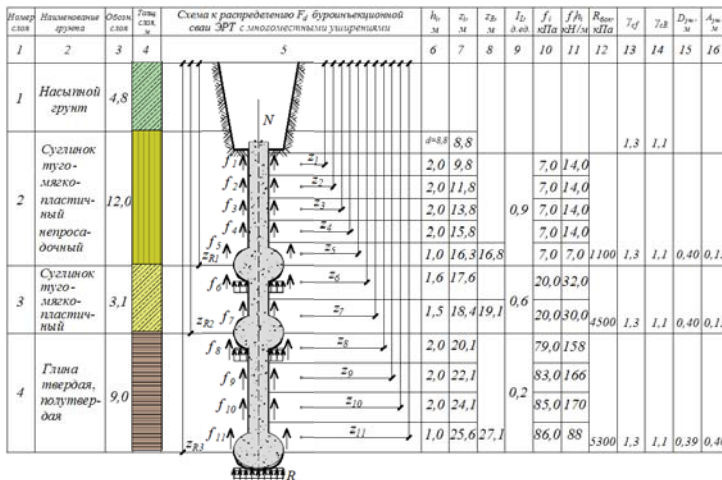


Рис. 2.22. Пример алгоритма расчетов несущей способности F_d сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями. Буквенные обозначения: N – вертикальная нагрузка; d – глубина котлована; z_{Rj} – средняя глубина залегания уширения ($j = 1; 2; 3$); z_i – средняя глубина залегания i -го слоя грунта ($i = 1; 2; \dots; 11$); I_L – показатель текучести; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, кПа; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; γ_{cR} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под уширением и по боковой поверхности сваи над ним; R – расчетное сопротивление грунта под уширением; $D_{\text{ши}}$ – диаметр уширения по формуле 14.28 ТР 50-180-06 [497]; $A_{\text{ши}}$ – площадь опирания уширения.

По мере высвобождения площади котлована от распорных конструкций освободилась значительная территория в котловане для устройства свайного поля. В связи с сокращением инвестором сроков возведения здания заказчик решил увеличить скорость возведения нулевой части, разделив устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) на этапы. При этом одна строительная организация подрядилась выполнить буровые работы, другая – бетонирование мелкозернистым бетоном, третья – электрогидравлическую обработку грунта стенок и пяты скважины, четвертая – изготовление и погружение пространственных армокаркасов в готовые скважины, заполненные мелкозернистым бетоном и обработанные по электроразрядной технологии.

Соответственно, качество выполнения работ на разных этапах контролировалось разными организациями и резко повысилась вероятность его снижения. И результаты испытаний свай на вертикальную вдавливающую статическую нагрузку подтвердили эти опасения (табл. 2.3). Для более чем 30,0 % испытанных свай не была достигнута проектная несущая способность. Основной причиной их низкой несущей способности оказалась низкая прочность мелкозернистого бетона вследствие отсутствия должного надзора за ее набором. Следует отметить, что одна из подрядных организаций, ответственная за бетонирование свай, использовала бетономесительную установку РМ-750, которая при больших оборотах насыщает мелкозернистый бетон воздухом, что приводит к его низкой прочности.

Таблица 2.3

Результаты испытаний свай на вертикальную статическую вдавливающую нагрузку

№№ свай	Несущая способность F_d , кН	Расчетная нагрузка, N , кН	Прочность бетона тела свай, кПа	Причина отрицательного результата
789	62,8	52,3	60,0	Низкая прочность бетона опытной свай
710	75,9	63,3	65,0	Низкая прочность бетона опытной свай
579	95,0	79,1	78,0	Низкая прочность бетона опытной свай
822	251,2	209,1	1200,0	Срыв анкерных свай

728	565,2	471,0	2500,0	Срыв анкерных свай
767	376,8	314,0	2600,0	Срыв анкерных свай
803	251,2	209,3	1300,0	Срыв анкерных свай

Для обеспечения проектной несущей способности ростверков с бракованными сваями было решено дополнить их сваями с многоместными уширениями. Было перепроектировано все свайное поле и все ростверки с учетом результатов испытаний опытных свай на несущую способность. Благодаря этому удалось обеспечить проектную несущую способность всего фундамента здания в целом.

В заключение хотелось бы еще раз подчеркнуть, что из-за выполнения работ по устройству свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) четырьмя подрядными организациями не был обеспечен необходимый поэтапный контроль их качества и для исправления негативных последствий этого были потрачены большие дополнительные средства. Заказчикам необходимо исключать возможность возникновения подобных ситуаций.

2.3. Опыт использования «МИКРОСВАЙ» при реконструкции

Обеспечение условий безаварийной эксплуатации зданий и сооружений является основополагающим фактором для всех видов строительства (новое строительство, реконструкция, капремонт). В настоящем разделе рассмотрены случаи из практики геотехнического строительства с участием авторов с применением буроинъекционных свай с использованием электроразрядной технологии (сваи ЭРТ). Следует обратить внимание на особенности устройства этих свай. Их изготовление представляет собой сложный технологический процесс, состоящий из 4-х технологических этапов:

- 1) бурение скважины;
- 2) бетонирование ствола мелкозернистым бетоном;
- 3) электрогидравлическая обработка грунта стенок и забоя скважины;
- 4) армирование ствола сваи.

Каждый из четырех этапов требует строгого технического контроля качества выполнения.

На каждом этапе возможны нарушения, связанные с человеческим фактором, а также с технологией производства работ. Одним из сложных этапов (**этап 1**) является **бурение скважины**. В зависимости от типа инженерно-геологических условий возможны бурение **простыми шнеками**, в **обсадных трубах** или **проходными шнеками** (технология SFA), реже **промывкой скважин**. Использование того или иного метода бурения продиктовано условиями обеспечения устойчивости стенок скважины и доведения до минимума шлама грунта на дне скважины. В геотехнической технологии устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) наиболее часто используемыми являются бурение простыми или проходными шнеками. Контролируемыми параметрами является объем извлекаемого грунта из скважины. В случае выноса грунта свыше геометрического объема пробуренной скважины следует срочно пересмотреть технологию и параметры бурения. В этом случае возникает вероятность разрыхления основания, а в случае наличия рядом существующих зданий – их неравномерная деформация вплоть до их разрушения.

Вторым этапом (этап 2) в изготовлении свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) служит бетонирование ствола скважины мелкозернистым бетоном. Этот этап можно разделить на две составляющие:

1	Приготовление мелкозернистого бетона
2	Доставка его в заранее подготовленную скважину

При приготовлении мелкозернистого бетона следует четко следить за величиной степени крупности используемого песка. Степень крупности не должна превышать $d = 2,0$ мм. Это требование связано с условием невыпадения песка в осадок. Также технология приготовления бетона не должна допускать его насыщения воздухом, приводящим к уменьшению его прочности. Если же всё-таки технология не позволит обойтись без насыщения его воздухом, то в этом случае после заполнения скважины следует вытравить весь воздух из бетона (на практике это редко удается).

Доставка свежеприготовленного бетона до скважины возможна из бетоносмесительной установки (ПРН-500, ПРН-1000, ПРН-1500, ПРН-2000. Примечание: ПРН-пневоростворонагнетатель, 500 - 2000 – объем ПРН в *литрах*) по резиновым или пожарным

шлангам. Основным правилом заполнения бетоном скважины служит правило ВПТ (вверх поднимающиеся бетонолитные трубы). Это позволяет отчистить устье скважины от шлама замещением его мелкозернистым бетоном. Оценить отчистку от грунтового шлама можно по изменению его цвета до цвета бетона.

Контролируемым показателем на этапе 2 является прочность кубиков бетона после 28,0 суток твердения.

Третьим этапом (этап №3) является электрогидравлическая обработка стенок скважины. Для этого используется генератор импульсных токов (ГИТ) [214, 287, 302, 315]. Энергия от ГИТ в заполненную бетоном скважину передается по кабелю КВИМ (кабель высоковольтный импульсный малоиндуктивный) через излучатель. Использование именно такого кабеля обусловлено малым сопротивлением его поперечного сечения. При этом энергию воздействия на стенки скважины можно регулировать в пределах $1,0 \div 80,0$ кДж (*килоджоуль*). На этом этапе **контролируются:**

1	Величина энергии импульсного воздействия
2	Вертикальные перемещения поверхности мелкозернистого бетона в скважине («уходы»)

На каждой отметке обработка стенок скважины проводится до доведения «уходов» до нулевых значений. Следует обратить внимание на оригинальность и уникальность электроразрядной технологии. С помощью технологии ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) есть возможность выявления вдоль ствола сваи участков с максимальными значениями уходов бетона. При тщательной электрогидравлической обработке одного из таких участков или всех создается возможность устройства дополнительных опор вдоль ствола сваи. То же самое не представляется возможным при использовании механических уширителей [383].

Четвертый этап (этап 4) – это армирование ствола сваи. **Контролируемым параметром** здесь является не измеряемая характеристика, а **свободное внедрение круглых пространственных каркасов** в тело мелкозернистого бетона. Колонка из круглых пространственных каркасов должна свободно опускаться в бетонную смесь. При затруднительном их опускании вероятнее всего **возможно оплывание стенок (образование шеек) скважины**

грунтом или пересыхание бетона вследствие длительной электрогидравлической обработки бетона, а также в случае **капиллярного отсасывания воды** из структуры бетона. В этом случае следует изменить рецептуру бетона с добавлением пластификаторов других ингредиентов, а также переburить скважину и заново опускать армокаркасы.

Далее приводятся **два случая** из практики геотехнического строительства: **один положительный и другой отрицательный.**

Ниже рассмотрим положительный случай №1 из геотехнической практики **усиления основания** фундаментов одноэтажного производственного корпуса по выпуску легковых автомобилей.

Реконструируемое здание представляет собой одноэтажное каркасное сооружение с монолитными железобетонными столбчатыми фундаментами, сборными железобетонными колоннами и сборными стропильными фермами пролетом 24,0 м и 18,0 м. Производственный корпус имеет размеры в плане (см. рис. 2.23) в осях «Г ÷ Ж» и 3 ÷ 23 – 66,0 × 120,0 м с двумя пролетами по 24,0 м и одним пролетом 18,0 м. Шаг колонн вдоль буквенных осей составляет 12,0 м. В каждом пролете функционируют по два мостовых крана. В пролетах «Г/Д» и «Д/Е» имеются по два крана грузоподъемностью по 500,0 кН, а в пролете «Е/Ж» – два крана по 200,0 кН.

Ниже рассмотрим случай №1 усиления основания фундаментов одноэтажного производственного корпуса по выпуску легковых автомобилей. Реконструируемое здание представляет собой одноэтажное каркасное сооружение с монолитными железобетонными столбчатыми фундаментами, сборными железобетонными колоннами и сборными стропильными фермами пролетом 24,0 м и 18,0 м. Производственный корпус имеет размеры в плане (см. рис. 2.23, а) в осях «Г ÷ Ж» и 3 ÷ 23 – 66,0 × 120,0 м с двумя пролетами по 24,0 м и одним пролетом 18,0 м. Шаг колонн вдоль буквенных осей – 12,0 м. В каждом пролете функционируют по два мостовых крана. В пролетах «Г/Д» и «Д/Е» по два крана грузоподъемностью по 500,0 кН, а в пролете «Е/Ж» работают два крана грузоподъемностью по 200,0 кН.

В 2000 г. начались проблемы с эксплуатацией корпуса. При наиболее невыгодных сочетаниях крановых нагрузок обнаружены перекосы подкрановых путей. Перепады имеют циклический характер, т.е. величины деформаций знакопеременны. Высокоточные

геодезические наблюдения за осадками фундаментов железобетонных колонн подтвердили высокие значения неравномерных деформаций, достигающих до 150,0 мм. На участках с наиболее высокими значениями неравномерных осадок эксплуатация мостовых кранов стала затруднительной.

Таким образом возникла предаварийная ситуация, при которой дальнейшая эксплуатация корпуса стала опасной.

Технической комиссией во главе с главным архитектором управления капитального строительства завода поручено срочно разработать мероприятия по предотвращению предаварийной ситуации на объекте. Она обратилась к ООО Научно-производственная фирма «ФОРСТ» с убедительной просьбой выявить причину возникших и интенсивно развивающихся деформаций и разработать мероприятия по восстановлению эксплуатационной надежности проблемного производственного корпуса.

Было принято решение укрепления основания фундаментов бурироинъекционными сваями, изготавливаемыми по разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ) с одновременным ведением геотехнического мониторинга.

Инженерно-геологический разрез представлен с поверхности насыпными грунтами мощностью до 2,0 м, ниже залегают супеси пластичной консистенции до 5,5 м толщиной. Далее залегают глина твердой консистенции мощностью до 2,0 м. Подстилающим слоем служат **мелкие пески средней плотности водонасыщенные**.

Анализ инженерно-геологических условий позволил предположить, что основная причина деформаций фундаментов – **тиксотропия** (способность грунта разжижаться от механического воздействия и увеличивать вязкость в состоянии покоя) грунтов несущего слоя. Пески подвержены этому процессу. Механические воздействия выражены в виде динамических нагрузок от мостовых кранов, как правило, они действуют неравномерно. Так, например, при воздействии кранов на основание по конкретной оси, то в этом месте возникает участок разжижения, а на других осях, где отсутствует воздействие крановых нагрузок, основание эксплуатируется в условиях отсутствия аварийной ситуации.

Тем самым фундаменты под колонны «тонут» по очереди, увеличивая крены каркаса производственного объекта, что усугубляет эксплуатацию самих кранов. После прекращения динамических воздействий деформации фундаментов прекращаются.

Согласно поручению чрезвычайной комиссии ООО НПФ «ФОРСТ» разработало проект усиления основания фундаментов с помощью буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Буроинъекционные сваи ЭРТ $\varnothing 200,0$ мм и длиной 12,0 м пронизывают нижнюю ступень столбчатых фундаментов. Несущим слоем сваи являются пески мелкие водонасыщенные. Количество свай ЭРТ под разные фундаменты отличается. Так по оси «Ж» – 6,0 шт.; по оси «Е» – 14,0 шт.; по оси «Д» – 18,0 шт.; по оси «Г» – 10,0 шт. (рис. 2.23, а), на рис. 2.23, б приведен инженерно-геологический с вертикальной привязкой фундаментов, а на рис. 2.23, в – фрагмент плана свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов.

Осуществление мероприятий по усилению оснований фундаментов с помощью буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) позволило создать условия для безаварийной работы мостовых кранов и всего железобетонного каркаса прессового корпуса в целом.



Рис. 2.23: а – план расположения буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); б – сечение фундамента в осях Д/12 с привязкой в инженерно-геологический разрез; в – план буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания в осях Б/5: 1 – насыпной грунт; 2 – суглинок полутвердый; 3 – супесь; 4 – глина твердая; 5 – пески мелкие водонасыщенные

Следующий случай успешного применения буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) при ликвидации аварийной ситуации здания кузнечно-штамповочного цеха (КШЦ) агрегатного завода в г. Чебоксары.

Благодаря воздействию динамических нагрузок от десяти кузнечных молотов каркасное здание КШЦ пришло в аварийное состояние. На всех кирпичных стенах ограждения появились деформационные трещины, имеющие тенденцию к увеличению. Появившаяся неравномерность деформаций каркаса привела к сбоям эксплуатации мостовых кранов. Кроме того, размеры площадок опираний плит покрытий, а также строительных ферм и подкрановых путей в ряде случаев уменьшились до величин близких к аварийной ситуации. Для предотвращения аварийной ситуации чрезвычайная комиссия под эгидой управления капитального строительства завода поручила **ООО НПФ «ФОРСТ»** разработать **противоаварийные мероприятия**, включающие:

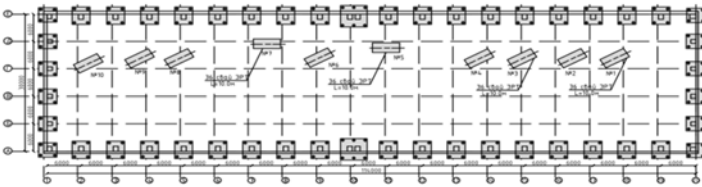
1	Обследование технического состояния аварийного здания с разработкой рекомендаций по его безопасной эксплуатации
2	Разработка мероприятий по минимизации отрицательного влияния вибраций от воздействия кузнечных молотов на здание цеха и прилегающие сооружения
3	Производство геотехнических работ по восстановлению эксплуатационной надежности здания КШЦ

Наиболее рациональной и приемлемой конструкцией усиления основания фундаментов была принята и использована буроинъекционная свая, изготавливаемая по разрядно-импульсной технологии (свая ЭРТ). Свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), обладая рядом технических и технологических преимуществ по сравнению с буроинъекционными сваями без уплотнения стенок скважин и буронабивными сваями, в том числе повышенными значениями несущей способности, примерно в $1,5 \div 1,8$ раза, как по грунту, так и по телу, что предполагает компактное размещение их в теле усиливаемого фундамента.

Проектом противоаварийных мероприятий предусмотрено усиление оснований фундаментов каркаса и кузнечных молотов №1,3 с массой ударных частей $Q = 30,0 \text{ кН}$ и №5,7 с массой ударных частей $Q = 50,0 \text{ кН}$. На рис. 2.24 приведен план усиления оснований

фундаментов каркаса здания цеха и кузнечных молотов №1,3,5,7 с помощью буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).

Здание кузнечно-штамповочного цеха Чебоксарского агрегатного завода представляет каркасное сооружение с размерами в плане в осях «(А÷Е)/(1÷20)» – 30,0 × 114,0 м. Фундаменты здания монолитные железобетонные с глубиной заложения 2,5 м. Колонны – сборные железобетонные двухветвевые. Конструкциями покрытия являются сборные железобетонные ребристые плиты покрытия типа КЖС по стальным полигональным строительным фермам. В цеху функционируют десять кузнечно-штамповочных молотов.



Инженерно-геологические условия строительной площадки представлены от поверхности насыпными грунтами мощностью до 2,0 м, ниже залегает суглинок тугопластичный мощностью 3 ÷ 3,5 м. Ниже подстилается суглинок мягкопластичный, под которым залегает глина алевролитовая тугопластичная.

В таблице 2.4 приведены физико-механические свойства грунтов, а на рис. 2.25 инженерно-геологический разрез с вертикальной привязкой фундаментов железобетонного каркаса здания и кузнечного молота №3.

Таблица 2.4
Физико-механические свойства грунтов

№№ слоев	Удельный вес, γ , кН/м ³	Показатель текучести, I_L , д. е.	Угол внутреннего трения, φ , град	Удельное сцепление, C , кПа	Модуль общей деформации, E_0 , кПа
1	$R_0 = 100$ кПа				
2	18,5	0,45	27°	40	6500
3	19,0	0,58	20°	15	5400
4	21,0	0,15	32°	45	12500

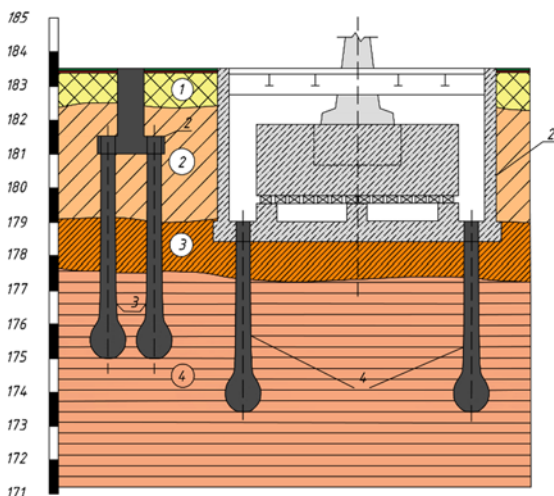


Рис. 2.25. Инженерно-геологический разрез: 1 – фундамент каркаса здания; 2 – фундамент кузнечно-штамповочного молота; 3 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов каркаса; 4 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов кузнечных молотов; 1 – насыпной слой; 2 – суглиной тугопластичный; 3 – суглинок мягкопластичный; 4 – глина алевритистая тугопластичная

Производство работ по усилению основания фундаментов каркаса и молотов производила ООО Научно-производственная фирма «ФОРСТ». Во время производства работ по реконструкции и после в течение года производился геотехнический мониторинг деформаций строительных конструкций цеха.

Кроме того были организованы исследования динамического воздействия кузнечных молотов на основание. Измерения проводились в феврале 2002 г. в молотовом отделении кузнечно-штамповочного цеха (КШЦ) Чебоксарского агрегатного завода. Регистрировались колебания при работе молотов №№ 1,3,5,7 и №6 в осях «12 – 13». Кроме того, в ряде случаев работали молота №№ 2,4,10, что не оказывало в точках измерения значительных изменений. Выбор источников воздействия и точек измерения определялся их близостью к месту установки нового кузнечно-штамповочного молота в осях «16-17».

Исследования подтвердили, что свайное поле из свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) удовлетворяет требованиям п. 1.21 СНиП 2.02.05-87

[267]. Статическое контактное давление под подошвой условного фундамента колонн составляет 240,0 *кПа*, что меньше расчетного сопротивления грунта основания 330,0 *кПа*. Это указывает на допустимость имеющихся вибраций с точки зрения образования дополнительных осадок фундаментов колонн.

Таким образом, усиление оснований фундаментов каркаса и кузнечных молотов с помощью буроинъекционных свай позволили ликвидировать аварийную ситуацию здания кузнечно-штамповочного цеха.

Выводы:

В разделе приведены два удачных примера использования буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) для предотвращения критических (предаварийных) состояний каркаса зданий. Использование этих свай в качестве свай усиления оснований позволили продлить срок службы этих зданий, приведя их в безаварийные эксплуатируемые состояния.

2.4. Геотехнические технологии приспособления застраиваемых зданий к условиям старой застройки

Возведение объектов в сложных инженерно-геологических, а также стесненных условиях предполагает разработку и внедрение нестандартных подходов и методов геотехнического строительства. Необходимо предусматривать технологические мероприятия, предотвращающие возможные аномальные процессы в основаниях существующих зданий и сооружений в зоне геотехнического влияния. Эти процессы могут проявляться в основном в виде их неравномерных деформаций. Возможные причины таких последствий:

1	Понижение уровня подземных вод вследствие отрытия котлована
2	Подъем уровня подземных вод из-за устройства водонепроницаемых ограждений котлованов («стена в грунте», стальные шпунтовые стены Ларсена, сплошная зацементированная стена по геотехнической технологии Get Grouting и т.д.)
3	Расчетные нагрузки от вновь возводимого объекта

При проектировании объектов следует учесть все эти негативные факторы.

В настоящей работе рассматриваются некоторые случаи решения вышеприведенных проблем с непосредственным участием автора.

Нижеперечисленные объекты геотехнического строительства возможно подразделить на следующие группы:

Первая группа: восстанавливаемые аварийные или ограниченно работоспособные действующие здания, планируемые к включению в единый технологический цикл с вновь застраиваемым сооружением. В рассматриваемом случае использованы геотехнические технологии, обеспечивающие устойчивость стенок котлована вновь застраиваемого восьмиэтажного торгового здания.

В геоморфологическом отношении площадка строительства приурочена ко II надпойменной террасе р. Оки. Рельеф спокойный. Отметки поверхности земли колеблются от 76,0 до 76,50 м.

В инженерно-геологическом отношении до глубины – 8,0 м площадка представлена следующими инженерно-геологическими элементами (ИГЭ):

ИГЭ 1 – tQ _{IV}	Насыпные грунты. Суглинки темно-серые от мягкопластичной до текучепластичной консистенции, с прослоями супеси и песка, с включением щебня кирпича (до 20,0 – 25,0 %), остатков древесины. Мощность слоя 2,5 – 2,7 м
ИГЭ 2 – alQ _{IV}	Суглинки тугопластичные, реже мягкопластичные. Мощность слоя 0,4 – 0,8 м
ИГЭ 3 – alQ _{III}	Пески пылеватые, средней плотности сложения, влажные, ниже уровня грунтовых вод водонасыщенные. Пески серовато-коричневые, желтовато-коричневые и светло-серые с линзами и тонкими прослойками суглинка. Вскрытая мощность составляет 4,5 – 5,0 м
ИГЭ 4 – alQ _{III}	Пески средней крупности, плотные, насыщенные водой. Водовмещающими грунтами служат пески пылеватые

Физико-механические свойства грунтов инженерно-геологических элементов основания фундаментов приведены ниже в таблице 2.5.

Таблица 2.5

Физико-механические свойства грунтов основания

№№ слоев	Наименование элемента	Плотность	Угол	Удельное	Модуль
		ρ , г/см ³	внутрен. трения φ	сцепление C , кПа	деформации E_0 , МПа
		$\alpha=0,95$ $\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$ $\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$ $\alpha=0,85$	$\alpha=0,95$ $\alpha=0,85$
1	2	3	4	5	6

Окончание таблицы 2.5

1	2	3	4	5	6
1	Насыпной грунт. Расчетное сопротивление R_0 кПа	80,0	–	–	–
2	Песок пылеватый, средней плотности, плотный, насыщенный водой	$\frac{2,01}{2,06}$	$\frac{30}{33}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{19}{25}$
3	Песок мелкий, средней плотности, плотный, насыщенный водой	$\frac{2,00}{2,05}$	$\frac{32}{34}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{27}{35}$
4	Песок средней крупности, плотный, насыщенный водой	2,07	38	2	41

Примечание: над чертой $\alpha = 0,95$; под чертой $\alpha = 0,85$

Вновь возводимый семиэтажный каркасный объект общественного назначения с подвальными помещениями, имеющий в плане четверти круга (см. рис. 2.28) запроектирован на свайно-плитном фундаменте. В качестве типа свай на основании технико-экономического сравнения выбрана буроинъекционная свая, изготавливаемая по разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ). Выбор буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) обусловлен особой стесненностью строительной площадки, а также необходимостью вовлечения существующего 3-х этажного кирпичного бескаркасного здания в единый технологический цикл. Следует отметить, что отметка заложения подошвы существующего фундамента выше подошвы ростверка свайно-плитного фундамента на 3,5 м (см. рис. 2.26). В связи с этим запроектированы: подпорная стена из буроинъекционных свай ЭРТ и сваи ЭРТ усиления (см. рис. 2.27,

2.28), по верху которых возведен монолитный обвязочный железобетонный пояс, объединяющий оголовки свай ЭРТ и одновременно являющийся опорой монолитного железобетонного перекрытия.

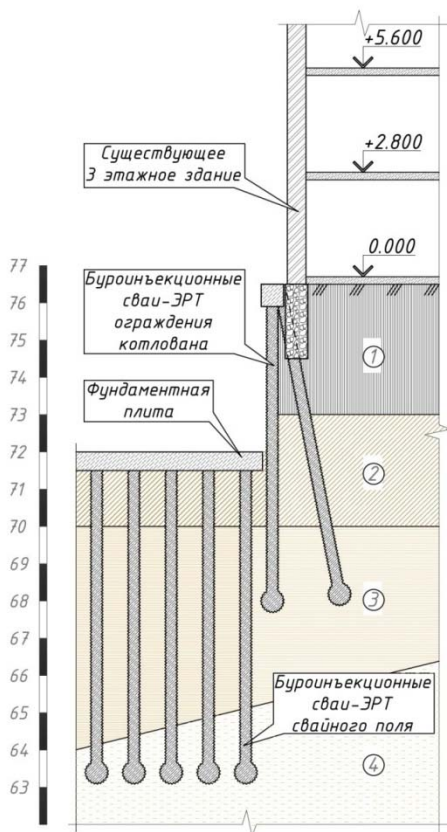


Рис. 2.26. Схема усиления основания фундаментов существующего 3х этажного здания с помощью буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ): 1 – насыпной грунт; 2 – песок пылеватый; 3 – песок мелкий; 4 – песок средней крупности



Рис. 2.27. Фрагмент узла включения существующего 3х этажного здания в единый технологический цикл с вновь застраиваемым объектом:
 1 – ограждение котлована из буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – монолитный железобетонный обвязочный пояс;
 3 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) свайного поля

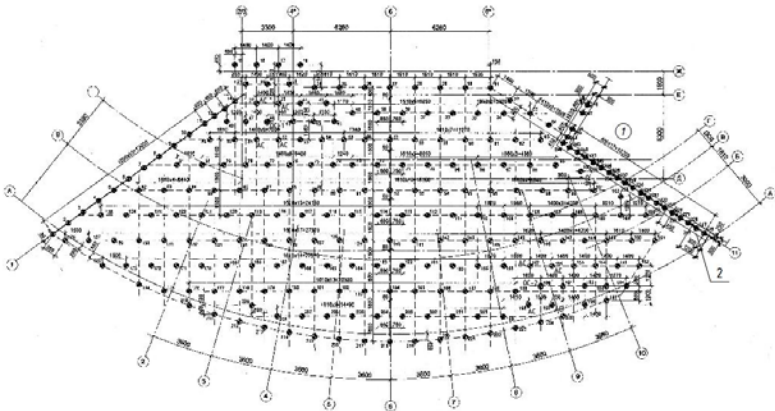


Рис. 2.28. Свайное поле из свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) застраиваемого здания рядом с существующим 3х этажным объектом:
 1 – существующее 3х этажное бескаркасное кирпичное здание;
 2 – подпорная стена ограждения котлована из свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с монолитным железобетонным обвязочным поясом

Ко второй группе относятся объекты, отнесенные к памятникам истории, культуры и архитектуры регионального и федерального значений, включенные в единый технологический цикл застраиваемыми сооружениями. В этом случае возникают геотехнические задачи, связанные:

1	С цементационными работами по закреплению тела фундаментов
2	С цементационными работами по усилению контактного (несущего) слоя основания с подошвой фундаментов
3	Работами по исследованию инженерно-геологических и гидрогеологических условий застраиваемой территории
4	С геотехническими работами, связанными с осуществлением мероприятий по защите подвальных помещений от затопления подземными водами (например «противофильтрационные завесы»)

К этой же группе относятся эксплуатируемые сооружения, запроектированные с работами, связанными с усилением оснований фундаментов одним из наиболее оптимальных для конкретных увеличению этажности, что предполагает увеличение нагрузок на основание. При вовлечении этих зданий в единую технологию дополнительно возникает задача по разработке и осуществлению работ по усилению оснований фундаментов.

Ниже рассмотрен случай из геотехнической практики реконструкции пятиэтажного кирпичного здания с неполным каркасом отнесенного к памятнику истории и архитектуры регионального значения.

Абсолютные отметки поверхности земли составляют в интервале 3,28...3,40 м. Инженерно-геологические условия площадки в зоне расположения здания представлены следующими условиями: Морские отложения, расположенные под техногенным слоем, средней мощностью до 2,0...3,2 м, простираются от абсолютных отметок + 1,89... – 1,00 м до – 1,61... – 2,56 м (балтийская система (БС)) и представлены песками среднезернистыми, частично перекрытыми мелкими песками. Несущем слоем основания являются среднезернистые пески с $E_0 = 27,0 - 31,0$ МПа (27000,0 – 31000,0 кПа), $\phi = 30,0 - 33,0^\circ$, $C = 1,0 - 2,0$ кПа. Грунтовые воды зафиксированы на глубинах 1,1...2,2 м (абс. отм. + 1,54...0,80 м). В осенней – летний период уровень подземных вод (УПВ) может

подниматься на высоту до 1,0 м. В момент проведения инженерных изысканий уровень подземных вод (УПВ) находится на отметке + 0,96 м, что практически соответствует проектной отметке понижения пола подвала.

Реконструируемое здание представляет собой сооружение размером в плане 32,0 × 15,6 м и высотой 16,0 м. Здание кирпичное, постройки начала XX века, количество этажей равно пяти.

Рабочим проектом предусмотрено заглубление пола на 500,0 ÷ 700,0 мм ниже существующей подошвы бутовых ленточных фундаментов в части подвала (оси А-Г/1-6).

Для реализации поставленной задачи, рабочим проектом предусмотрено выполнение следующего комплекса геотехнических работ в подвальных помещениях (рис. 2.29, 2.30):

1	Устройство конструктивной шпунтовой стенки из касательных буроинъекционных свай диаметром 250,0 мм и длиной 5,0 м по внутреннему периметру несущих стен и колон по оси Б. Сваи выполняются с использованием электроразрядной импульсной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)) и армируются жестко арматурой из швеллера 16 П
2	Выполнение наклонных (к вертикали 7,0°, 15,0°, 24,0°) через тело фундамента буроинъекционных несущих свай диаметром 200,0 мм и длиной 5,0 м. Сваи выполняются с использованием электроразрядно-импульсной технологии (ЭРТ) и армируются 4 Ø 18 А500. Пята свай доходит до абсолютной отметки – 0,52 м буровых свай, таким образом, сваи остаются в слое среднезернистого песка. Фактически здание пересаживается на короткие сваи с расчётной нагрузкой 210,0 кН
3	Устройство распорной системы в уровне существующего пола подвала, выполняемое в виде анкерного крепления свай шпунтовой стенки к телу бутового фундамента

Вывод:

В современном геотехническом строительстве актуальной является проблема вовлечения зданий старой застройки в единый технологический цикл с вновь вводимым объектом. В главе приведен опыт использования буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) при решении подобной проблемы на примере двух объектов.

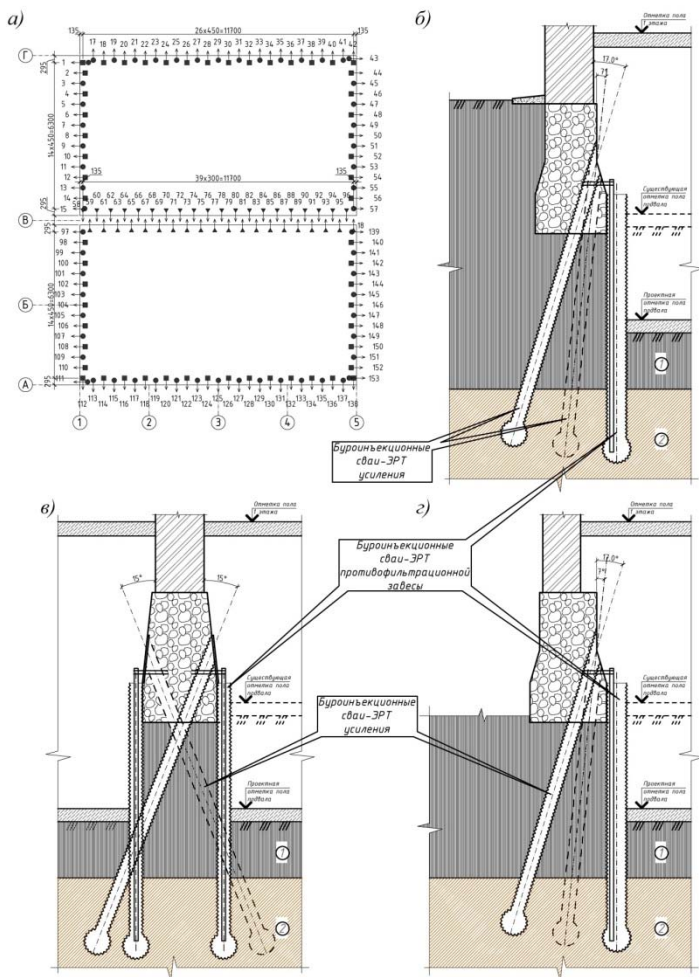


Рис. 2.29. Схемы усиления основания фундаментов при понижении полов подвала

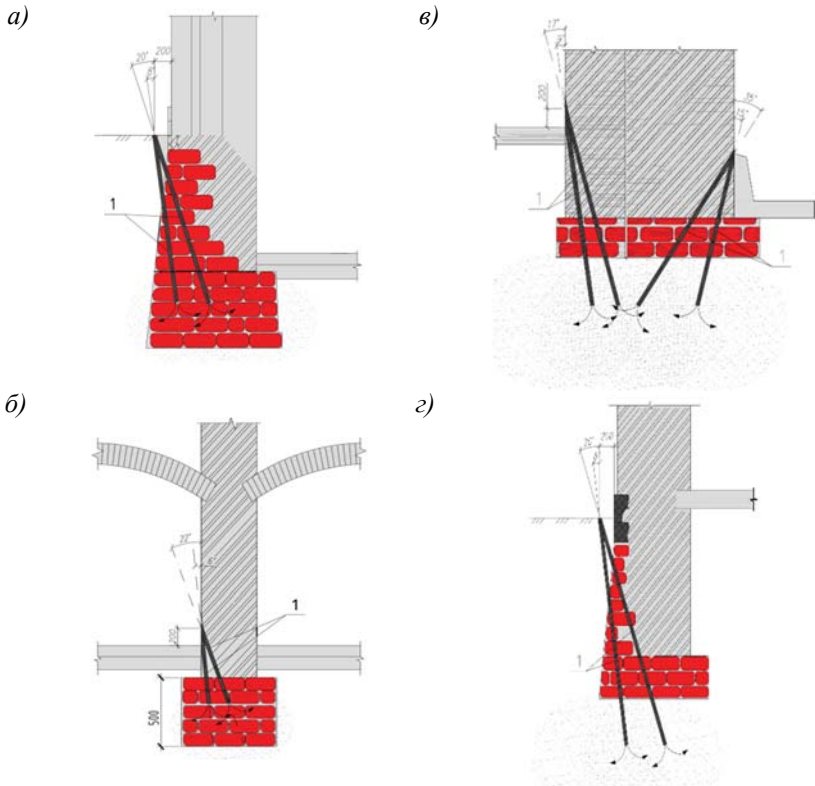


Рис. 2.30. Схемы производства цементационных работ по усилению тела фундаментов и контактного слоя: *а, б* – цементация тела фундаментов; *в, г* – цементация контактного слоя основания с фундаментом: 1 – цементационные скважины ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

2.5. Критерии экономической эффективности использования буровых свай

Современные методы расчета оснований позволяют моделировать любую геотехническую задачу. Кроме того современное технологическое оборудование позволяет выполнение большинства проблем связанных с решением вопросов усиления оснований фундаментов, цементации грунтов, устройства свайных полей и ограждений котлованов и т.д. При этом должны быть учтены вопросы экологии, экономики, а также техники безопасности производства

геотехнических работ. В современной геотехнической практике наиболее часто используют буровые сваи. По классификации СП 24.13330.2011 [452] имеется множество разновидностей от «Микросвай» до буровых свай больших диаметров. Использование того или иного типа свай наиболее оптимально для конкретной инженерно-геологической ситуации, параметров вновь возводимого сооружения, реконструируемого объекта, наличия в зоне геотехнического влияния зданий и сооружений. Поэтому для технико-экономического выбора типа свай следует пользоваться наиболее приемлемыми общедоступными критериями.

Основными техническими показателями, по которым отбирается тип буровых (буроинъекционных) свай для использования на конкретно рассматриваемом объекте, являются:

1	Несущая способность по грунту F_d
2	Технологичность – возможность геотехнической технологии и геотехнической организации производства работ в сложных инженерно-геологических условиях, а также в стесненных и особо стеснённых условиях
3	Производительность устройства буровых (буроинъекционных) свай

Одним из основополагающих технических и технологических критериев для выбора типа буровых (буроинъекционных) свай является их несущая способность по грунту F_d , определение которой производится по формуле (7.11) свода правил СП 24.13330.2011 [452].

Для сравнительных расчетов ниже рассмотрены **буроинъекционные сваи изготовленные по разрядно-импульсной технологии (ЭРТ)** без промежуточных уширений и с промежуточными уширениями, буронабивные сваи погружаемые инвентарной трубой с теряемым наконечником, буронабивные (буроинъекционные) сваи с использованием обсадных труб или проходных шнеков (SFA), а также буронабивные сваи, выполняемые под защитой тиксотропной глинистой рубашки.

Для каждого типа буровых свай должен быть использован **принцип интерактивного проектирования** предполагающий следующую схему: «базовый проект – опытная площадка – корректировка базового проекта». Обычно в качестве опытной площадки

принимается участок свайного поля включенного в состав базового проекта. В этом случае возможно избежание дополнительных затрат. Результаты натурных испытаний должны являться основой проектирования подземных сооружений с применением типа буровых свай.

Несущая способность свай, изготавливаемых по применяемым в настоящее время технологиям, определяется как сумма величин несущих способностей по пяте и боковой поверхности. Последние зависят от геометрических параметров сваи (площади опирания и боковой поверхности) и инженерно-геологических характеристик грунтов, примыкающих к свае (расчетных сопротивлений грунта под пятой и по боковой поверхности буроинъекционной сваи).

Существенное повышение несущей способности достигается в случае, если буроинъекционная свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) представляет собой заглубленную железобетонную стро-ительную конструкцию из нескольких промежуточных уширений, при этом нижнее уширение выполняется на пяте сваи увеличивая ее площадь, а верхние (по боковой поверхности) работают как дополнительные опоры, а несущая способность грунтов при опирании на них этими опорами значительно выше несущей способности этих же грунтов при трении о них боковой поверхности сваи. Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с двумя уширениями в 1,5 – 2,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений.

В качестве примера ниже приведены сравнительные расчеты несущей способности буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширенной пятой и двумя уширениями вдоль ствола и буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений. Оба типа сваи имеют диаметр ствола 0,35 м и изготовлены в одних и тех же грунтовых условиях. С поверхности основания залегают суглинки с показателем текучести $I_L=0,6$, под ними – суглинки с $I_L=0,3$. Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) заделаны в мелкие пески средней плотности.

Несущая способность буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений, рассчитанная по формуле (7.11) СП 24.13330.2011 [452]), составила $F_d = 1\,170,0$ кН. Для сваи ЭРТ с множественными уширениями при расчете по той же формуле она получилась равной $F_d = 2\,100,0$ кН. Алгоритмы расчетов приведены в рис. 2.31 и 2.32 (п. 1*). Нетрудно посчитать, что несущая

способность при создании уширений в данном случае увеличилась в 1,79 раза.

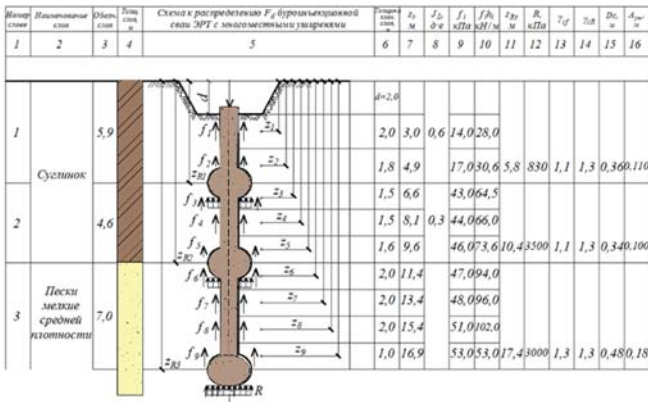


Рис. 2.31. Схема к определению несущей способности F_d буровьинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с многоступенчатыми уширениями

Ниже на рис. 2.32 приведены алгоритмы расчетов несущей способности F_d свай поз.: **2*** – для буронабивных свай при погружении инвентарной трубы с теряемым наконечником; **3*** – для буронабивных свай с использованием обсадных труб или проходных шнеков; **4*** – для буронабивных свай, выполняемых под защитой тиксотропной глинистой рубашки.

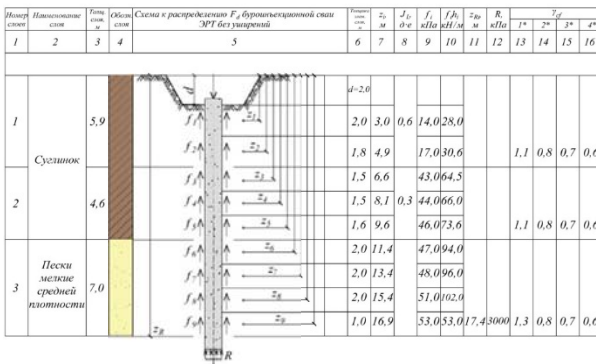


Рис. 2.32. Схема к определению несущей способности F_d буровых (буровьинъекционных) свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Коэффициенты γ_{cf} взяты из таблицы 7.6 свода правил СП 24.13330.2011 [452].

Таким образом, несущая способность F_d буровых свай $\varnothing 500,0$ по грунту составляет:

- поз. 2*: – поз. 2*: $F_d=1,0 \times [1,0 \cdot 3000 \cdot 0,20 + 3,14 \cdot 0,5 \cdot 0,8(28,0 + 30,6 + 64,5 + 66,0 + 73,6 + 94,0 + 96,0 + 102,0 + 53,0)] = 1352,0 \text{ кН}$;
- поз. 3*: $F_d= 1258,0 \text{ кН}$;
- поз. 4*: $F_d= 1160,0 \text{ кН}$.

Ниже в таблице 2.6 сведены результаты расчетов F_d .

Таблица 2.6

Результаты расчетов несущей способности буровых свай по грунту, F_d , кН

№№ п/п	Типы буровых свай	Диаметр свай, мм	Несущая способность, F_d , кН
1	Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с промежуточными уширениями	350	2110
2	1* – Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без промежуточных уширений	350	1170
3	2* – Бурунабивные сваи погружаемые инвентарной трубой с теряемым наконечником	500	1352
4	3* – Бурунабивные сваи с использованием обсадных труб или проходных шнеков	500	1258
5	4* – Бурунабивные сваи, выполняемые под защитой глинистой рубашки	500	1160

Анализируя результаты расчетов в таблице 2.6 можно сделать вывод о том, что свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с двумя промежуточными уширениями вдоль ствола и одним уширением у пяты превосходит все остальные рассмотренные выше сваи в $1,6 \div 1,8$ раза. Таким образом, количество свай в свайном поле из свай ЭРТ с многоступенчатыми уширениями в $1,6 \div 1,8$ раза меньше других типов свай. Учитывая, что в среднем стоимость $1,0 \text{ м}^3$ бурунабивной

сваи колеблется в интервале 25,0 ÷ 40,0 тыс. руб., то стоимость 17,0 метровой сваи (см. табл. 2.7) равна 85,0 ÷ 136,0 тыс. руб. Пересчитывая ее на 1,0 *п/м* буровой сваи сметная стоимость колеблется в пределах 5000,0 ÷ 8000,0 руб.

Ниже в таблице 2.7 приведены ориентировочные сметные стоимости вышеприведенных типов буронабивных и буринъекционных свай.

Таблица 2.7

**Ориентировочные сметные стоимости буронабивных
и буринъекционных свай**

№№ п/п	Типы буровых свай	Количество свай в свайно- плитном фунда- менте, шт.	Длина свай, <i>п/м</i>	Общий погонаж, <i>м</i>	Стоимость <i>п/м</i> свай, руб.	Общая стоимость объекта, млн. руб.
1	2* – Буронабивные сваи погружаемые инвентарной трубой с теряемым наконечником	125	17,0	2125	5000÷8000	10,6÷17,0
2	3* – Буронабивные сваи с использованием обсадных труб или проходных шнеков	134	17,0	2278	5000÷8000	11,4÷18,2
3	4* – Буронабивные сваи, выполняемые под защитой глинистой рубашки	146	17,0	2482	5000÷8000	12,4÷19,9
4	1* – Сваи ЭРТ без промежуточных уширений	144	17,0	2448	3500÷6000	8,6÷14,7
5	Сваи ЭРТ с многоместными уширениями	80	17,0	1360	3500÷6000	4,8÷8,2

Анализируя результаты расчетов в таблице 2.7 можно подытожить, что поз. 4 и 5 наиболее конкурентоспособны по сравнению с другими типами буровых свай.

Вывод:

Таким образом, буроинъекционные сваи с многоместными уширениями изготавливаемые с использованием разрядно-импульсной технологии, имеют большое преимущество по сравнению с буронабивными и буроинъекционными сваями без уширений. За счет устройства уширений вдоль ствола и на пяте создается возможность увеличения несущей способности сваи в несколько раз в зависимости от типа грунтовых условий.

2.6. О буроинъекционных сваях с регулируемой несущей способностью по грунту

Фундаменты с использованием буроинъекционных свай по разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)) обладают рядом конкурентных технических преимуществ по сравнению с другими типами фундаментов с применением буровых свай. Одним из отличительных параметров одних буровых свай от других является технология включения их в совместную работу с грунтом. **Так, например, у большинства буронабивных и буроинъекционных свай (1 группа)** заполнение ствола производится тяжелым или мелкозернистым бетоном методом «В.П.Т.» (вверх поднимающиеся заливочные бетонолитные трубы) при нагрузке от воздействия под собственным весом свежееукладываемого бетона. При этом разуплотненные грунты стенок скважин не восстанавливают естественную природную структуру. С учетом этого коэффициенты условий работы γ_{cR} и γ_{cF} в формуле 7.11 СП 24.13330.2011, приняты соответственно $\gamma_{cR} = 1$ и $\gamma_{cF} = 0,5 \div 0,8$ (см. табл. 7.6 свода правил СП 24.13330.2011 [452]). К этой же группе относятся буроинъекционные сваи изготавливаемые опрессовкой давлением $200,0 \div 400,0 \text{ кПа}$ ($2,0 \div 4,0 \text{ атм}$) с теми же коэффициентами.

К следующей группе относятся буровые сваи (2 группа), опрессовка стенок скважины которых производится с помощью камфлетных уширений. Это буроинъекционные сваи, устраиваемые с использованием разрядно-импульсной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)). У этих свай повышенные значения γ_{cR} и γ_{cF} ,

а именно $\gamma_{cR} = 1,3$, а $\gamma_{cf} = 1,1 \div 1,3$ благодаря восстановлению структуры грунта стенок скважин, а в большинстве случаев – уплотнению его сверх природных величин.

Тем самым увеличение несущей способности под нижним концом свай у **второй группы свай** составляет в 1,3 раза, а по боковой поверхности – в $1,1/0,5 \div 1,3/0,5 = 2,2 \div 2,6$ раза.

При определении несущей способности F_d по формуле (7.11) СП 24.13330.2011 [452] значения расчетных сопротивлений R и f определяются по таблицам 7.2 и 7.3 СП 24.13330.2011. В таблице 7.3 СП 24.13330.2011 приведены значения f для различных значений I_L и f , а в таблице 7.8 СП 24.13330.2011 – то же для R . Для наглядности величины $R/f = f(h)$ для различных значений I_L приведены ниже в таблице 2.8 и на рис. 2.33.

Таблица 2.8

Зависимости $R/f = f(h)$ для различных значений I_L

1	$I_L=0,2$			$I_L=0,3$			$I_L=0,4$			$I_L=0,5$			$I_L=0,6$		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$h, м$	$R, кПа$	$f, кПа$	R/f	$R, кПа$	$f, кПа$	R/f	$R, кПа$	$f, кПа$	R/f	$R, кПа$	$f, кПа$	R/f	$R, кПа$	$f, кПа$	R/f
3	650	48	13,5	500	35	14,2	400	25	16,0	300	20	15,0	250	14	17,9
5	750	56	13,7	650	40	16,3	500	29	17,2	400	24	16,7	350	17	20,6
7	850	60	14,2	750	43	17,4	600	32	18,8	500	25	20,0	450	19	23,7
10	1050	65	16,2	950	46	20,7	800	34	23,5	700	27	25,9	600	19	31,6
12	1250	68	18,4	1100	48	22,9	950	36	26,4	800	28	28,6	700	19	36,5
15	1500	72	20,8	1300	51	25,5	1100	38	28,9	1000	28	35,7	800	20	40
18	1700	76	22,4	1500	53	28,3	1300	40	32,5	1150	29	39,7	950	20	47,5
20	1900	79	24,1	1650	56	29,5	1450	41	25,4	1250	30	41,7	1050	20	52,5
30	2600	81	32,0	2300	61	37,7	2000	44	44,0	–	–	–	–	–	–
≥ 40	3500	93	37,6	3000	66	45,4	2500	47	53,2	–	–	–	–	–	–

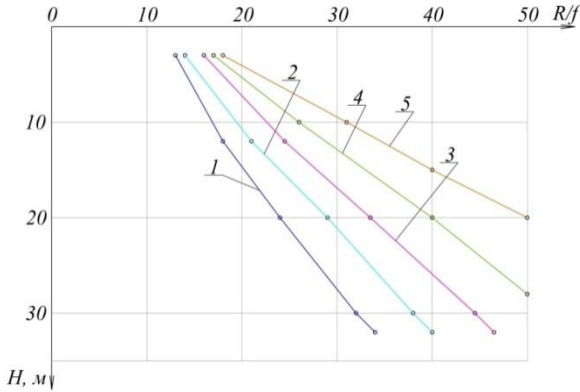


Рис. 2.33. Графики зависимости $R/f = f(h)$ при различных значениях показателя текучести I_L : 1 – для $I_L = 0,2$; 2 – для $I_L = 0,3$; 3 – для $I_L = 0,4$; 4 – для $I_L = 0,5$; 5 – для $I_L = 0,6$

У буровых свай второй группы – буроинъекционных свай изготавливаемых по электроразрядной технологии в отличие от **буровых свай первой группы** имеется главное преимущество. Это возможность уплотнения разуплотненных стенок буровых скважин посредством электрогидравлической обработки в среде мелкозернистого бетона сверх природного. В результате этого процесса в поперечном сечении свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) дополнительно к железобетонному сечению свай (позиция 1) образуются (см. рис. 2.34):

- 1) зона цементации (позиция 2);
- 2) зона уплотнения (позиция 3).

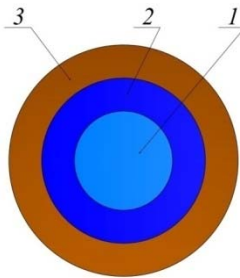


Рис. 2.34. Поперечное сечение буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ): 1 – железобетонное сечение свай ЭРТ; 2 – зона цементации; 3 – зона уплотнения

Для сложных инженерно-геологических условий строительной площадки с перемеживающимися грунтами проблематичных происхождений к определению несущей способности буровых свай следует подходить обдуманно. Не всегда удается добиться необходимой расчетной несущей способности сваи по грунту. Для **буровых свай первой группы** требуемые значения F_d возможно добиться только за счёт увеличения диаметра сваи. В случае возникновения отрицательного трения для его минимизации приходится увеличить кроме диаметра буровой скважины также дополнительно глубину их заделки в несущие более плотные грунты.

Бурионъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) относятся к «микросваям». В отличие от буровых свай первой группы несущую способность такой сваи по грунту можно регулировать, не меняя диаметра бурового инструмента.

При весьма актуальности проблемы увеличения несущей способности бурионъекционных свай для оснований, сложенных проблемными грунтами, она особенно важна при уплотнительной застройке. Для этих целей наиболее оптимально подходят бурионъекционные сваи, изготавливаемые с использованием электроразрядных технологий (сваи ЭРТ). Благодаря электрогидравлическому воздействию на стенки скважин происходит проникновение мелкозернистого бетона в грунт, увеличивая тем самым несущую способность свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).

При этом имеются большие резервы в плане существенного увеличения несущей способности свай [158, 295, 300, 314, 318, 324–326, 328, 347–349, 361–364, 382, 405, 407–410, 415, 422, 423]. В результате создания уширений вдоль ствола и под пятой сваи ЭРТ происходит многократное увеличение ее несущей способности по грунту. Практика проектирования, изготовления и эксплуатации таких свай показала их высокую эффективность.

Автор настоящей монографии в течение длительного времени занимается проектированием и устройством свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Было доказано, что сваи ЭРТ с множественными уширениями (СМУ) обладают повышенной несущей способностью по сравнению со сваями без уширений. В качестве подтверждения этого утверждения на рис. 2.35 приведены графики статических испытаний двух бурионъекционных свай ЭРТ без промежуточных уширений, несущая способность которых составила $F_d =$

910,0 и $F_d = 1010,0$ кН, а также двух таких же свай, но с промежуточным уширением и уширением по пяте, несущая способность которых оказалась равной $F_d = 1\,720,0$ кН и $F_d = 1\,850,0$ кН соответственно. Таким образом, наущая способность сваи увеличилась в 1,8 – 2,0 раза. Тем самым сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с двумя уширениями имеют почти удвоенную несущую способность.

Статические испытания свидетельствуют о том, что несущую способность F_d сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) можно регулировать. Для этой цели как раз следует использовать уширения вдоль ствола сваи, так и под пятой.

Несущая способность висячей буровой сваи по грунту в частности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) определяется как сумма ее несущих способностей по пяте и по боковой поверхности. При вертикальном нагружении сначала вступает в работу боковая поверхность. После преодоления сил трения (срыве сваи по боковой поверхности) нагрузку на себя принимает пята (хотя, например, в СП 24.13330.2011 [452] при определении несущей способности висячих свай принимается, что включение в работу грунта под нижним концом и по боковой поверхности сваи происходит одновременно). Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями при нагружении работают иначе. На начальном этапе нагружения в работу вступает верхнее уширение. По мере увеличения нагрузки последовательно включаются нижележащие уширения, при этом каждое из них выполняет функцию дополнительной опоры. При этом несущая способность получается значительно выше, чем при трении о грунт боковой поверхности сваи без уширений. Это подтверждается анализом формул расчета несущей способности указанных свай.

Несущую способность сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями следует определить по формуле.

$$F_d = \gamma_c (\gamma_{cR} RA + \gamma_{cR} \sum_{i=1}^n R_{i\text{бок}} A_{i\text{бок}} + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} f_i h_i) \quad (2.4)$$

где:

$\gamma_c;$ $\gamma_{cR}; \gamma_{cf}$	коэффициенты условий работы
A	площадь поперечного сечения под пятой [м ²]
$A_{i\text{бок}}$	площадь i -го промежуточного уширения [м ²]

u	периметр сваи [м]
h_i	мощность i -го слоя грунта [м]
$R_{iбок}$	расчётное сопротивление основания под i -м промежуточным уширением [кПа]
f_i	расчетное сопротивление по боковой поверхности i -го слоя грунта [кПа]

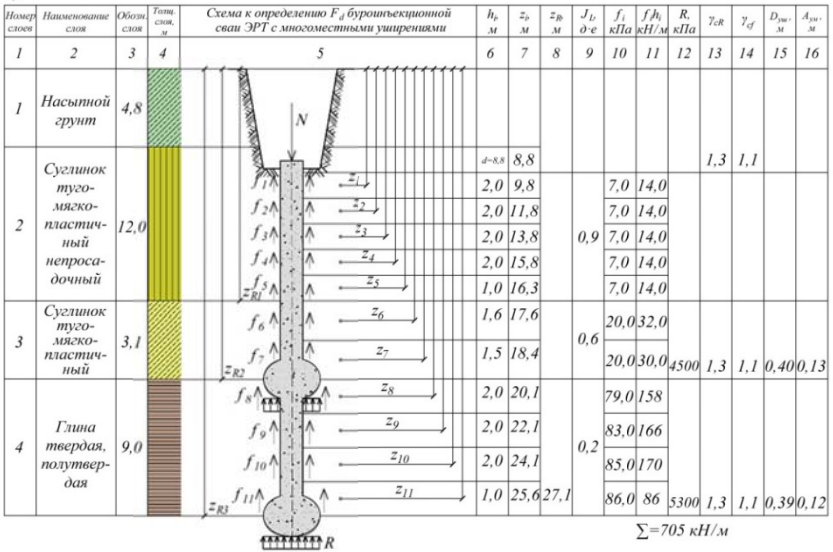
а)

Номер слоя	Наименование слоя	Обол. слой	Толщ. слой, м	Схема к определению F_d буровьекционной сваи ЭРТ без многост. уширений	h_p , м	z_p , м	z_{pB} , м	$J_{D, \phi-e}$	f_i , кПа	f_{f_i} , кН/м	R , кПа	γ_{pR}	γ_{of}	D_{max} , м	$A_{пр}$, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Насытой грунт	4,8														
2	Суглинок туго-мягко-пластичный непросадочный	12,0			$d=8,8$	8,8				7,0	14,0		1,3	1,1		
					$f_1 \wedge$	2,0	9,8			7,0	14,0					
					$f_2 \wedge$	2,0	11,8		0,9	7,0	14,0					
					$f_3 \wedge$	2,0	13,8			7,0	14,0					
					$f_4 \wedge$	2,0	15,8			7,0	14,0					
					$f_5 \wedge$	1,0	16,3			7,0	14,0		1,3	1,1		
3	Суглинок туго-мягко-пластичный	3,1			$f_6 \wedge$	1,6	17,6		0,6	20,0	32,0					
					$f_7 \wedge$	1,5	18,4			20,0	30,0		1,3	1,1		
4	Глина твердая, полутвердая	9,0			$f_8 \wedge$	2,0	20,1			79,0	158					
					$f_9 \wedge$	2,0	22,1		0,2	83,0	166					
				$f_{10} \wedge$	2,0	24,1			85,0	170						
				$f_{11} \wedge$	1,0	25,6	27,1		86,0	86	5300	1,3	1,1	0,35	0,096	
$\Sigma=705 \text{ кН/м}$																

б)

Номер слоя	Наименование слоя	Обол. слой	Толщ. слой, м	Схема к определению F_d буровьекционной сваи ЭРТ с ушир. пилкой без многост. уширений	h_p , м	z_p , м	z_{pB} , м	$J_{D, \phi-e}$	f_i , кПа	f_{f_i} , кН/м	R , кПа	γ_{pR}	γ_{of}	D_{max} , м	$A_{пр}$, м	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
1	Насытой грунт	4,8														
2	Суглинок туго-мягко-пластичный непросадочный	12,0			$d=8,8$	8,8				7,0	14,0		1,3	1,1		
					$f_1 \wedge$	2,0	9,8			7,0	14,0					
					$f_2 \wedge$	2,0	11,8		0,9	7,0	14,0					
					$f_3 \wedge$	2,0	13,8			7,0	14,0					
					$f_4 \wedge$	2,0	15,8			7,0	14,0					
					$f_5 \wedge$	1,0	16,3			7,0	14,0		1,3	1,1		
3	Суглинок туго-мягко-пластичный	3,1			$f_6 \wedge$	1,6	17,6		0,6	20,0	32,0					
					$f_7 \wedge$	1,5	18,4			20,0	30,0		1,3	1,1		
4	Глина твердая, полутвердая	9,0			$f_8 \wedge$	2,0	20,1			79,0	158					
					$f_9 \wedge$	2,0	22,1		0,2	83,0	166					
				$f_{10} \wedge$	2,0	24,1			85,0	170						
				$f_{11} \wedge$	1,0	25,6	27,1		86,0	86	5300	1,3	1,1	0,39	0,12	
$\Sigma=705 \text{ кН/м}$																

6)



2)

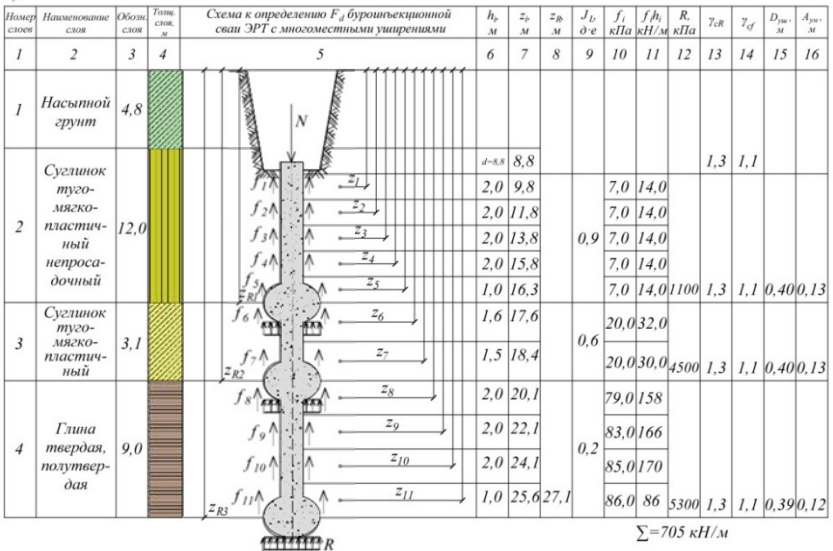


Рис. 2.35. Пример алгоритма расчетов несущей способности F_d сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ): Буквенные обозначения: N – вертикальная нагрузка; d – глубина котлована [м]; z_{Rj} – средняя глубина залегания уширения ($j = 1; 2; 3$); z_i – средняя глубина залегания i -го слоя грунта [м]

($i = 1; 2; \dots; 11$); I_L – показатель текучести; f_i – расчетное сопротивление i -го слоя грунта основания на боковой поверхности сваи, $kПа$; h_i – толщина i -го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, m ; γ_{cR} , γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта соответственно под уширением и по боковой поверхности сваи над ним; R – расчетное сопротивление грунта под уширением; $D_{уш}$ – диаметр уширения [m] по формуле 14.28 ТР 50-180-06 [497]; $A_{уш}$ – площадь опирания уширения, [m^2] a – для свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширения; b – для свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширением под пятой; $в$ – для свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширением под пятой и вдоль ствола; $г$ – для свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширением под пятой и двумя уширениями вдоль ствола.

В качестве примера на рис. 2.35 приведены сравнительные расчеты несущей способности буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширения (рис. 2.35, *a*), с одним уширением под пятой (рис. 2.35, *б*), с уширением под пятой и вдоль ствола (рис. 2.35, *в*), с уширением под пятой и двумя уширениями вдоль ствола (рис. 2.35, *г*).

Результаты расчетов F_d по формуле (2.4) и на рис. 2.35 составляют:

1. Для схемы на рисунке 2.35, *a* – $F_d = 1513,0$ кН;
2. Для схемы на рисунке 2.35, *б* – $F_d = 1679,0$ кН;
3. Для схемы на рисунке 2.35, *в* – $F_d = 1877,0$ кН;
4. Для схемы на рисунке 2.35, *г* – $F_d = 1927,0$ кН.

Выводы:

Использование буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с регулируемыми величинами несущей способности F_d открывает новое направление в геотехническом строительстве. Эти сваи обладая уникальными качествами перераспределения нагрузок и выравнивания расчетных неравномерных деформаций объектов будут широко востребованы как в новом строительстве, так и при реконструкции.

2.7. Буроинъекционная свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как заглубленная железобетонная конструкция

Современные геотехнические технологии позволяют изготавливать буроинъекционные сваи с повышенными значениями несущей способности. Разрядно-импульсная технология устройства свай (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)) является наиболее приспособленной для достижения этих целей.

Наиболее интересным представляется устройство свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями. Благодаря устройству уширений вдоль ствола сваи и под ее пятой создается возможность устройства заглубленной железобетонной конструкции с возможностью регулирования несущей способности, как по грунту, так и по телу.

Технология устройства свай с множественными уширениями известна с 60-х годов прошлого века. Опыт использования таких свай есть в Индии ФРГ, Великобритании, Японии, СССР, России. Конструкция такой сваи представляет собой буровую сваю с уширением на пяте. Кроме того в зависимости от типа инженерно-геологических условий и требуемой несущей способности сваи выше пяты вдоль ствола устраиваются дополнительные уширения.

Свая с множественными уширениями работает как железобетонная заглубленная конструкция имеющая количество опор соответствующих числу уширений. На начальном этапе нагружения в работу вступает верхнее уширение. По мере увеличения нагрузки постепенно включаются нижележащие уширения, при этом каждое уширение выполняет функцию дополнительной опоры.

Практика изготовления таких свай показала их высокую эффективность. Несущая способность свай по грунту с одним уширением в 2,0 – 2,5 раза, а с двумя – в 3,0 – 3,5 раза выше, чем у свай, выполненных без уширений [350, 359, 362, 363, 388].

Достоинствами буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями являются:

1	Простота выполнения (добавляется одна легковыполняемая операция)
2	Возможность точного определения места устройства уширения (определяются по уходу мелкозернистой бетонной смеси)
3	Возможность устройства необходимого количества уширений по расчету несущей способности вдоль длины сваи
4	Минимизация технологических осадок

5	Максимальная по сравнению с любыми другими геотехническими технологиями устройства буровых свай несущая способность сваи, как по грунту, так и по материалу
---	---

Расчет несущей способности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с многоместными уширениями пяте аналогичен расчету буровых свай по формуле 7.11 СП 24.13330.2011 [452], при этом диаметр уширения определяется согласно таблице 2,3 ТР 50-180-06 [497], а величина минимально допустимого интервала между уширениями составляет 3,5 диаметра уширения. Для слоистого напластования оснований устройство уширений наиболее предпочтительны на контактных поверхностях инженерно-геологических элементов.

При конструировании вновь сооружаемых фундаментов из свай ЭРТ следует руководствоваться правилами и требованиями, предъявляемыми к конструированию фундаментов из буровых и набивных свай и изложенными в СНиП 2.02.03-85 [272] и СП 50-102-2003 [468], а также СП 24.13330.2011 [452].

Армирование микросвай производится из расчета несущей способности поперечного сечения сваи (по формуле 14.6 ТР 50-180-06 [497]). В качестве расчетной арматуры используются одиночные стержни, сварные каркасы, жесткая арматура в виде проката из черных металлов или стальные трубы.

Пространственный рабочий арматурный каркас сваи может быть как однородной на всю длину, так и комбинированной (например, труба или стальной прокат в зоне действия изгибающего момента и каркас на всю остальную длину).

Она должна иметь фиксирующие элементы, центрирующие ее в скважине и обеспечивающие требуемую толщину защитного слоя бетона. Фиксирующие элементы могут выполняться из металла или пластика и крепиться с трех или четырех сторон арматурного стержня или каркаса на расстоянии 8,0 – 10,0 диаметров скважины друг от друга.

В качестве продольной арматуры свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) используется горячекатаная арматурная сталь класса АIII и AIV диаметром от 10,0 мм до 40,0 мм включительно. Продольная арматура располагается равномерно по контуру сваи с расстоянием в свету между отдельными стержнями не менее диаметра стерж-

нями и не менее 50,0 мм. Общая площадь сечения продольной арматуры должна составлять не менее 0,5 % и не более 10,0 % от площади сечения бетона, в том числе в зоне стыкования секций.

В грунтовых условиях, исключающих потерю продольной устойчивости ствола сваи, рекомендуется выполнять центральное армирование. Оно выполняется из отдельного стержня, пучка стержней, трубы, прокатного или сварного профиля или их сочетаний, например трубой, усиленной по периметру арматурными стержнями или проволокой.

Поперечная арматура пространственных арматурных каркасов свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) изготавливается в виде спи-ралей или круглых вязаных или сварных хомутов из арматуры класса В-500 диаметром не менее 5,0 мм или класса А-240 диаметром 6,0 – 10,0 мм с шагом не более 10,0 диаметров стержней продольной арматуры и не более 150,0 мм.

При установке поперечной арматуры, требуемой по расчету на действие поперечных сил, шаг хомутов принимается не более 1/2 диаметра сваи.

Зона стыкования секций армокаркасов дополнительно усиливается спиральной арматурой с шагом не более 100,0 мм. Диаметр поперечной арматуры в вязаных каркасах принимается не менее 1/4 диаметра стержней продольной арматуры, а в сварных каркасах устанавливается из условия сварки сваи [454, 465, 469, 471].

Пространственные арматурные каркасы изготавливают, как правило, в заводских условиях на приводных станках контактной сваркой. При наличии сварочных полуавтоматов геотехнические организации изготавливают их на своих производственных базах.

Допускается использование электродуговой сварки для случая использования поперечной арматуры класса А-240 диаметром более 10,0 мм.

Соединение арматурных каркасов по длине сваи осуществляется стыковкой отдельных секций с помощью вязальной проволоки или с помощью сварных стыков. Сварные стыки должны обеспечивать равнопрочность арматуры и удобство производства работ по инъецированию бетонной смеси. Сварное соединение арматурных каркасов рекомендуется выполнять с помощью стыковочного трубчатого элемента, к которому дугowymi фланговыми швами привариваются стыкуемые арматурные стержни (нахлесточное сварное соединение).

Сжатые одиночные стержни и каркасы рекомендуется соединять запрессовкой несварным стыком, обеспечивающим расчетное сопротивление на сжатие. Допускаются неравнопрочные стыки, например шарнирные.

Толщина защитного слоя арматурного каркаса микросвай должна быть не менее 80,0 мм. Допускается уменьшение толщины защитного слоя до 20,0 мм в случае применения специальных мероприятий (защитные антикоррозийные покрытия арматуры, защита арматурного каркаса рукавом из полимерной ткани или специальной гофрированной полимерной трубкой и т.д.).

На рис. 2.36 приведен пример армирования буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) СР 15-30 длиной 15,0 м и диаметром 30,0 см с двумя уширениями вдоль ствола и уширением по пяте. Диаметры уширений составляют: верхнее – 415,0 мм; нижнее – 395,0 мм, а по пяте – 410,0 мм. Продольное армирование запроектировано из пространственных каркасов КП-1 и КП-2. Соединение каркасов состоящих из 6,0 стержней Ø 18,0 А 500 производится вязальной проволокой с нахлестом не менее 40,0 диаметров – 800,0 мм (узел 1 на рис. 2.36). Возможен вариант сварного соединения. При этом размер нахлеста составляет не менее 20,0 диаметров – 400,0 мм. Для создания защитного слоя бетона использована стальная полоса (фиксатор каркаса – узел 3 на рис. 2.36) шириной $b = 20,0$ мм и толщиной $t = 4,0$ мм.



Рис. 2.36. Пример схемы армирования буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) Ср 15-30 (15,0 – длина сваи в м., 30,0 – диаметрв см.):
 1 – продольная арматура класса А500с;
 2 – поперечная арматура класса А240; 3 – фиксатор каркаса сваи (из стальной пластины $b = 20,0\text{ мм}$, $t = 4,0\text{ мм}$; 4 – труба диаметром 159,0 мм обеспечивает жесткость каркаса при транспортировке и складировании;
 5 – уширения вдоль стволаи пяты сваи

3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ УСТРОЙСТВА БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) С МНОГОМЕСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ

3.1. Алгоритм устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

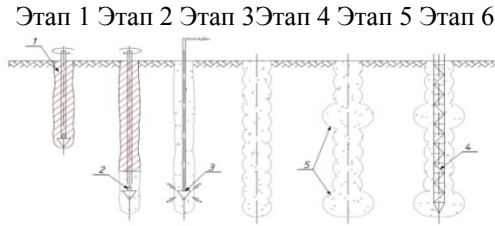
Проблема повышения несущей способности буроинъекционных и буронабивных свай F_d является в настоящее время весьма актуальной задачей в области геотехнического строительства. Особенно это актуально при строительстве в стесненных и особо стесненных условиях, а также для случаев оснований, сложенных проблемными грунтами. Одним из направлений увеличения несущей способности по грунту F_d является создание уширений (подпятников) вдоль ствола свай с конкретным шагом или в зависимости от напластования инженерно-геологических элементов (*ИГЭ*) основания, а также на уровне пяты буроинъекционной или буронабивной сваи. Для достижения этой цели наиболее приемлемыми можно считать следующие геотехнические технологии, приведенные ниже в таблице.

Таблица 3.1

Геотехнические технологии увеличения несущей способности по грунту буроинъекционных свай ЭРТ

№№ поз.	Геотехнические технологии увеличения несущей способности по грунту буроинъекционных свай, основанные на электроразрядной технологии
1. Разрядно-импульсная технология устройства буроинъекционных свай (свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ))	
Технологическая последовательность представляет собой ряд этапов:	
Этап 1	Бурение скважины
Этап 2	Заполнение скважины мелкозернистым бетоном
Этап 3	Электрогидравлическая обработка грунта стенок ствола и устья скважины
Этап 4,5	Определение абсолютных отметок возможных уширений вдоль длины скважины по результатам электрогидравлической обработки
Этап 6	Армирование буровой скважины, заполненной мелкозернистым бетоном и электрогидравлически обработанной пространственными армокаркасами

Рис. 3.1.
Технологическая
схема
устройства свай
ЭРТ



Условные обозначения:

1	Проходной шнек
2	Клапан шнека
3	Электрический излучатель
4	Пространственный армокаркас
5	Уширения (подпятники)

Примечание:

Следует обратить особое внимание на этап 4. Электрогидравлической обработкой, заполненной мелкозернистым бетоном, вдоль ствола сваи с помощью излучателя прощупываются слабые слои грунта (этап 3). Абсолютные отметки со слабыми слоями заносятся в журналы производства работ. Необходимо помнить, что слабыми слоями (конкретно для технологии ЭРТ считаются слои (ИГЭ), у которых имеются повышенные значения уходов (опусканий) мелкозернистого бетона, наблюдаемых визуально или инструментально с помощью геодезических инструментов. Как правило, уширения создаются именно на отметках с повышенными значениями уходов бетона. Электрогидравлическая обработка на этих отметках производится до величин нулевых значений уходов (этап 5). Окончательным этапом (этап 6) является армирование буроналивной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) пространственными армокаркасами

Для обоснования эффективности использования разных технологических схем приводятся расчеты несущей способности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ):

№№ поз.	Технологии ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)
1	По электроразрядной технологии (СП 24.13330.2011) [452]
2	Электроразрядной технологии с устройством уширений (подпятников)

По формуле (7.11) СП.24.13330.2011 [452] определяется несущая способность F_d свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) без уширений. Расчет несущей способности буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) по указаниям свода правил СП 24.13330.2011 [452] приведен ниже в табл. 3.2.

Таблица 3.2
Расчет несущей способности буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

№ сл.	Наименование слоя	Толщ. сл., м	Обозн. сл.	Схема к определению несущей способности свай ЭРТ	Толщ. i-го слоя, м	Z_i , м	f_i , кПа	$f_i^*h_i$, кН/м	Z_{R2} , м	$R_{ср}$, кПа	γ_{cf}	γ_{cR} , М	D_c , м	A_c , м ²	
1	Насыпн. грунт	1,0													
2	Суглинок лесосовый	6,0			f_1	2,0	6,0	53	106			1,1			
3	Глина	4,0			f_2	2,0	8,0	31	62	0,4			1,1	1,3	
					f_3	2,0	10,0	33	66						
					f_4	2,0	12,0	34	68						
4	Супесь пластическая	6,0			f_5	2,0	14,0	36	72	0,4			1,3	1,3	
				f_6	2,0	16,0	37	74							
				f_7	2,0	18,0	53	106							
5	Суглинок	6,0		f_8	2,0	20,0	55	110	0,3			1,1			
				f_9	2,0	22,0	56	112							
6	Суглинок	2,0		f_{10}	2,0	24,0	81	162	25,0	2000	1,1	1,3	0,35	0,096	

Несущая способность свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с уширениями определяется по формуле:

$$F_d = \gamma_c \left(\gamma_{cR} R A + \gamma_{cR} \sum_{j=1}^n R_{j,бок} A_{j,бок} + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} f_i h_i \right), \text{ где: (3.1)}$$

n	Количество уширений
$R_{j,бок}$	Расчетное сопротивление грунта под j -м уширением
$A_{j,бок}$	Площадь опирания j -го уширения, рассчитываемая по формуле: $A_{j,бок} = \pi(D_c \cdot k_{уш})^2 / 4 - \pi D_c^2 / 4, \text{ здесь: (3.2)}$
	D_c Диаметр скважины
	$k_{уш}$ Коэффициент уширения, принимаемый по табл. 2 ТР 50-180-06 [497]
Примечания:	
1	При устройстве уширения на пята сваи площадь ее опирания составит: $A = \pi D_c^2 \times k_{уш} / 4$

2	Диаметры уширений $D_{уш}$ определены с учетом опытных опусканий $\Delta h_i = 0,6 - 0,7$ м.
3	Расчет несущей способности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с тремя уширениями приведен ниже в табл. 3.3

Таблица 3.3
Расчет несущей способности свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) стремя уширениями

№ сл.	Наименование слоя	Толщ. сл., м	Обозн. сл.	Схема к определению несущей способности свай ЭРТ с двумя уширениями (электрогравитационная обработка)	Толщ. n-го слоя, м	Z _n , м	L, м	f ₁ , кПа	f ₁ ^н h ₁ , кН/м	Z _{Rn1} , м	R _{2n1} , кПа	γ _{ср} , кПа	γ _{ср} , кПа	D _{уш} , м	A _{уш} , м ²	
																f ₂ , кПа
1	Насыпн. грунт	1,0			d=5.0											
2	Суглинок лессовый	6,0			2,0	6,0		0,2	53	106			1,1			
3	Глина	4,0			2,0	8,0		0,4	31	62						
					2,0	10,0			33	66	11,0	8,50	1,1	1,3	0,49	0,19
4	Сугл. пластическая	6,0			2,0	12,0			34	68						
					2,0	14,0		0,4	36	72						
				2,0	16,0			37	74	17,0	14,00	1,3	1,3	0,38	0,12	
5	Суглинок	6,0		2,0	18,0			53	106							
				2,0	20,0		0,3	55	110							
				2,0	22,0			56	112			1,1				
6	Суглинок	2,0		2,0	24,0		0,2	81	162	25,0	20,00	1,1	1,3	0,48	0,18	

2. Электрохимический способ устройства буринъекционных свай ЭРТ с уширениями (ЭХУ)

При этом методе [359; 336; 388] используется недетонирующая экзотермическая смесь, она подается в скважину в капсуле, прикрепленной к электрическому разряднику генератора импульсных токов. Внутрь капсулы заложена смесь, состоящая из неводных дибензоилпероксида (БП) и его смеси с дитретбутилпероксидом (ДТБП) и третбутилпербензоатом (ТБПБ), при различном соотношении. Затем производится электрический разряд в объеме, имеющем взрывной характер с большими электродинамическими усилиями, действующими во всех направлениях. При этом часть твердеющего материала внедряется в дно и боковые стенки скважины, упрочняя их, а уровень твердеющего материала занимает положение ниже первоначального. Следует отметить, что смесь срабатывает при энергии на плюсе излучателя более 30 кДж. На рис. 3.2 приведена схема устройства электрохимического уширения (ЭХУ) в скважине, заполненной мелкозернистым бетоном.

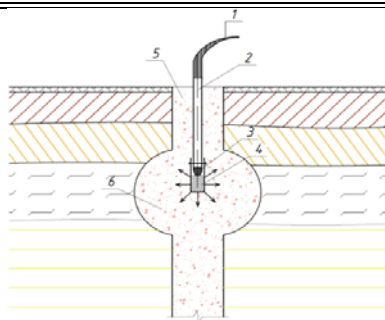


Рис. 3.2. Схема к электрохимическому уплотнению грунта:
 1 – кабель КВИМ; 2 – защита кабеля; 3 – излучатель электрической энергии; 4 – капсула с недетонирующей смесью; 5 – мелкозернистый бетон; 6 – уширение (подпятник)

Для устройства уширений использовались заполненные смесями контейнеры БП и ТБПБ в соотношении 1:1, ПБ и ТБПБ в соотношении 3:1, а также смеси ПБ и ДТБП в соотношении 1:1 и 3:1. Результаты исследований приведены в табл. 3.4. Эффективность используемых недетонирующих смесей определялась по объему бетона, расходуемого для заполнения пустот, которые образуются в результате сгорания недетонирующих смесей, приведенных в табл. 3.4.

Таблица 3.4

Составы недетонирующих смесей для заполнения контейнера

№№ поз.	Недетонирующая смесь	Масса смеси, кг	Температура воспламенения, °С	Объем бетона, расходуемого для заполнения скважины, л
1.	Дибензоилпероксид (БП)	0,4	91	40
2.	Смесь ПБ + третбутилпербензоатом ТБПБ (1:1)	0,4	190	28
3.	Смесь ПБ + третбутилпербензоатом ТБПБ (3:1)	0,5	210	25
4.	Смесь ПБ + дитретбутилпероксидом ДТБП (1:1)	0,4	100	20
5.	Смесь ПБ + ДТБП (3:1)	0,6	120	25

Далее в табл. 3.5 приведен расчет несущей способности F_d свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с тремя уширениями, образованными электрогидравлической обработкой, их и дополнительно электрохимическим уширением.

Таблица 3.5

Расчет несущей способности буронагнеточных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с тремя уширениями

№ сл.	Наименование слоя	Толщ. сл., м	Обоз. м. сл.	Схема к определению несущей способности свай ЭРТ с двумя уширениями (электрогидравлическое и электрохимическое уплотнение)	Толщ. оголовка, м	z_1 , м	h_1 , м	f_1 , кПа	$f_1 \cdot h_1$, кН/м	z_{R1} , м	R_{z1} , кПа	γ_{cf}	γ_{cr}	$D_{1м}$, м	$A_{1м}^*$, м ²	
																z_2 , м
1	Насыпн. грунт	1.0														
2	Суглинок лессовый	6.0			2.0	6.0	0.2	53	106				1.1			
					2.0	8.0	0.4	31	62							
3	Глина	4.0			2.0	10.0	0.4	33	66	11.0	850	1.1	1.3	0.58	0.24	
					2.0	12.0		34	68							
4	Супесь пластичная	6.0			2.0	14.0	0.4	36	72							
					2.0	16.0		37	74	17.0	1400	1.3	1.3	0.58	0.26	
5	Суглинок	6.0			2.0	18.0		53	106							
					2.0	20.0	0.3	55	110							
6	Суглинок	2.0			2.0	22.0		56	112				1.1			
				2.0	24.0	0.2	81	162	25.0	2000	1.1	1.3	0.59	0.27		

$$\begin{aligned}
 F_d &= \gamma_c \left(\gamma_{cR} RA + \gamma_{cR} \sum_{j=1}^3 R_{i,бок} A_{i,бок} + u \sum_{i=1}^n \gamma_{cf} f_i h_i \right) = \\
 &= 1 [1,3 \cdot 2000(0,27 - 0,090) + 1,3 \cdot 850 \cdot (0,24 - 0,090) + \\
 &+ 1,3 \cdot 1400(0,26 - 0,090) + 1,3 \cdot 3,14 \cdot 0,35(106 + 62 + 66 + \\
 &+ 106 + 110 + 112) + 1,3 \cdot 3,14 \cdot 0,35(68 + 72 + 74)] = \\
 &= 452 + 159 + 298 + 1180 = 2090 \text{ кН.}
 \end{aligned}$$

Расчеты несущей способности трех типов буронагнеточных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и расчет несущей способности F_d свай сведены в табл. 3.6.

Таблица 3.6

№№ поз.	Технологические приемы устройства буронагнеточных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)	Несущая способность F_d , кН
1.	Электроразрядная технология по СП.24.13330.2011 [452]	1430,0
2.	Электроразрядная технология устройства 3 уширений (подпятников)	1690,0

3.	Электрохимическая технология с устройством уширений (подпятников) (ЭХУ) [359, 388]	2090,0
----	--	--------

Из приведенных расчетов в табл. 3.6 видно преимущество электрохимической технологии устройства буринъекционных свай с помощью уширений (подпятников). Электрохимическая технология обладает дополнительными преимуществами, по сравнению с электрогидравлическим способом устройства уширений. В технологии ЭХУ за счет недетонирующего взрыва создается дополнительное уширение. Тем самым F_d этих свай выше несущей способности буринъекционных свай, приведенных в поз. 1 и 2 табл. 3.6

3. Буринъекционные или буронабивные сваи с уширениями, устраиваемые механическим способом

Подобные сваи впервые стали применять на Урале и Тюменской области трестом «Свердловскпромстрой». А.Н. Тетиор [494] приводит опыт использования буронабивных свай с одним, двумя и тремя уширениями.

Технология устройства таких свай предполагает выбуривание скважины глубиной 5,5 – 6,0 м буровой установкой БКГМ – 63. Затем при помощи уширителя, расположенного на одной оси с буром, устраиваются уширения. Осыпавшийся грунт удаляется буровым инструментом. Армирование сваи производится пространственными каркасами в свежеложенную бетонную смесь. На рис. 3.3 приведена технологическая схема производства геотехнических работ при устройстве набивных свай с уширениями.

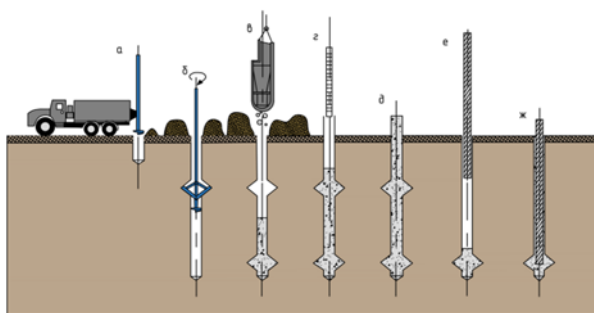


Рис. 3.3. Технологическая схема производства геотехнических работ при устройстве набивных свай с многоместными механическими уширениями:

а	Выбуривание скважины
б	Разбуривание уширений и удаление грунта
в	Осмотр готовой скважины и бетонирование
г	Монтаж армокаркаса

<i>д</i>	Бетонирование верха свай
<i>е</i>	Монтаж сборной свай
<i>ж</i>	Сборно-моноклитная свая

Примечание:

Серьезной проблемой при применении механических уширителей является неопределенность мест разработки уширений по боковой поверхности при устройстве свай в перемежающихся грунтах. Это связано с тем, что даже при проведении изысканий по самым жестким требованиям нормативных документов (здание I уровня ответственности и третьей категории грунтовых условий) сетка по бурению изыскательских скважин составляет 20,0 × 20,0 м.

Опыт гетехнических работ по устройству свай показывает, что на расстоянии нескольких метров инженерно-геологические условия могут существенно отличаться (встречаться линзы слабых грунтов, изменяться высотные отметки кровли и подошвы инженерно-геологических элементов и т.д.). При ошибке в месте устройства уширения эффективность этой технологии сводится к нулю. Инженерно-геологический разрез на конкретной скважине опытный бурильщик может примерно оценить по параметрам работы бурового станка и скорости бурения. Но для принятия решения о месте положения конкретного уширения этой информации недостаточно. Кроме того, в неустойчивых грунтовых условиях (пески водонасыщенные, глинистые грунты с показателем текучести $I_L \geq 0,5$) устройство уширений в принципе невыполнимо. Таким образом, технология с применением механических уширителей ограничена в применении.

3.2. Геотехническая технология устройства грунтовых анкеров ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Электроразрядная технология (технология ЭРТ), обладая рядом технических и технологических преимуществ [285, 296, 311, 313, 314, 350, 366, 367, 380, 381, 384, 390, 392, 398, 406, 411, 418, 422, 423, 431, 432, 434] широко используется в геотехнической практике устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) в свайных полях, свай усиления оснований и фундаментов, закрепления оснований фундаментов, склонов, при устройстве нагелей и т.д. Технологическим преимуществом ее является взрывообразное преобразование электрической энергии в механическую при достижении ударной волны с шириной переднего фронта порядка 10^{-9} м со скоростью подъема давления до 10^{18} Па/с. Электрогидравлический удар на грунт стенок буровой скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, намного превышает статическую нагрузку на него. В результате воздействия таких высоких давлений и температур в грунте зарождается полость и за счет сил гравитации мгновенно заполняется мелкозернистым бетоном. Тем самым возникает уширение на конкретном участке по высоте сваи ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ). Это уширение далее назовем «подпятником». Таким образом, возникшая дополнительная опора начинает статически работать совместно со свайю нижней поверхности уширения, увеличивая ее несущую способность по грунту. Геометрические параметры формы уширения в первом приближении можно принять за сферу. Параметры сферы такие, например, как диаметр d и ее высота h зависят от энергии электрогидравлического удара, пористости, влажности и вида обрабатываемого грунта. Диаметр уширения d возможно определить по величине максимального понижения уровня мелкозернистого бетона в скважине, как говорят геотехники по «уходам». Следует, конечно, отметить, что величины «уходов» во время электрогидравлической обработки (именно поэтому при устройстве грунтовых анкеров и свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) уровень мелкозернистого бетона всегда следует держать на отметке поверхности земли) и с течением времени существенно разнятся. «Уходы» во времени от начала бетонирования до начала твердения бетона могут составить от нескольких сантиметров до нескольких метров. Прежде всего, такие большие понижения связаны со спецификой грунта как пористого материала.

Эти вертикальные перемещения мелкозернистого бетона дополнительно увеличиваются за счет электроосмотического всасывания цементного молока в структуру грунта.

Следует предположить, что при максимальных объемах всасывания цементного молока в поры грунта, несущая способность грунтовых анкерных свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ) повысилась бы многократно благодаря задействованию прочностных характеристик массива грунта, таких как удельное сцепление и угол внутреннего трения, в совместную работу со свайей. Но этому процессу препятствует, то обстоятельство, что при замешивании мелкозернистого бетона и электрогидравлической обработке происходит его намагничивание, что способствует образованию цементных коллоидов. В то же время их размеры многократно превосходят размеры пор грунта. К сожалению, пока нет технологии, воспрепятствующей комкованию цементного молока. Это возможно на мой субъективный взгляд только при размагничивании биполей воды в бетоне.

3.2.1. Использование грунтовых анкеров ЭРТ и буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) для обеспечения устойчивости стенок котлованов

При строительстве зданий и сооружений на неустойчивых склонах возникает необходимость разработки геотехнических технологий обеспечивающих их устойчивость. Кроме того должны быть разработаны геотехнические приемы обеспечения безопасной эксплуатации существующих объектов возведенных на них. Как правило, открытие любого котлована влечет возникновение дополнительных усилий, существенно уменьшающих устойчивость склонов. Задача обеспечения устойчивости стенок котлована совместно с нагрузками на его бровках, а также общей устойчивости склона в целом является актуальной задачей современного геотехнического строительства. В разделе рассматривается одна из геотехнических технологий укрепления склона с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и грунтовых анкеров ЭРТ.

Освоение подземного пространства требует разработки геотехнических мероприятий предусматривающих безаварийность эксплуатации зданий и сооружений, дислоцированных в зоне геотех-

нического влияния [243; 398; 417–420; 424]. С учетом этого в абсолютном большинстве случаев возникает необходимость создания и освоения специальных геотехнических технологий, расчеты проектирование которых основаны на использовании современных компьютерных программ.

Ниже рассматривается случай из геотехнической практики строительства объекта на оползневом склоне. В административном отношении участок строительства расположен в центральной части города Чебоксары. В геоморфологическом отношении – это пологий денудационно-аккумулятивный склон долины реки Кайбулка, осложненный погребенными балками и сильновыветвляющейся овражно-балочной системой с постоянными безымянными водотоками. Абсолютные отметки поверхности земли в пределах участка изменяются от 129,1 до 137,5 м.

Геолого-литологический разрез участка строительства представлен семью инженерно-геологическими элементами (**ИГЭ**): С поверхности залегают современные техногенные отложения (*tQIV*);

ИГЭ №1 – техногенный грунт неоднородный по составу и представлен суглинком оттуго домягкопластичной консистенции (*tQIV*);

ИГЭ №2 – суглинок тугопластичный (*dIII-IV, pdII*);

ИГЭ №3 а – глина легкая, преимущественно тугопластичной консистенции (*P2t*);

ИГЭ №3 б – глина легкая, алевритистая и мергелистая, твердой консистенции (*P3t*);

ИГЭ №4 – алеврит песчанистый и глинистый твердой консистенции (*P3t*);

ИГЭ №5 – мергель глинистый известковый, слабообводненный (*P2t*);

ИГЭ №6 – Песок пылеватый, средней плотности, с тонкими прослойками глины, алеврита, песчаника, маловлажный и насыщенный водой (*P3t*).

Гидрогеологические условия участка до глубины 23,0 м на момент проведения изысканий характеризуются наличием нескольких водоносных горизонтов (**ВГ**) подземных вод.

Первый водоносный горизонт – безнапорный, приурочен к техногенным образованиям, вскрыт всеми скважинами.

Второй водоносный горизонт приурочен к коренным верхнепермским образованиям. Подземные воды распространены в осадочной толще переслаивающихся глин, трещиноватых мергелей и алевроитов с прослоями песчаника, залегающих с уклоном в юго-восточном и южном направлении и отличающихся невыдержанностью мощности и строения водоносных горизонтов, неоднородностью фильтрационных свойств водовмещающих пород. Общий уклон подземного фильтрационного потока наблюдается к северу и северо-западу, в направлении р. Кайбулка. В таблице 3.7 приводятся нормативные физико-механические характеристики ИГЭ.

Таблица 3.7

Нормативные физико-механические характеристики грунтов

ИГЭ	Тип грунта	$h, м$	$\gamma_b, кН/м^3$	$c_b, кПа$	$\varphi_b, град$	$k_s, кН/м^3$	λ	$E, МПа$	ν
1	Суглинок мягкопластичный	8.6	19.6	16.0	11.0	2000	0.60	13.0	0.36
2	Суглинок тугопластичный	4.0	19.6	11.0	12.0	4000	0.57	15.0	0.36
3	Глина тугопластичная	2.2	19.9	29.0	20.0	4000	0.40	18.0	0.25
4	Глина твердая	1.3	20.1	25.0	23.0	6000	0.52	22.0	0.34
3	Глина тугопластичная	2.5	19.9	29.0	20.0	4000	0.40	18.0	0.25
5	Глина полутвердая	20.0	21.3	26.0	24.0	6000	0.34	27.0	0.25

Конструктивные решения заглубленных железобетонных конструкций (см. рис. 3.4 – 3.6) представляют собой:

1	<i>Специальное вспомогательное</i> удерживающее сооружение представляет собой подпорную стенку, состоящую из конструкций ограждения и анкерных конструкций
2	<i>Конструкции ограждения</i> котлована на рассматриваемом участке представляют «микросваи» – буроинъекционные сваи \varnothing 350 изготавливаемые по электроразрядной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)) [104, 336, 341, 383]. Они закреплены от горизонтального смещения грунтовыми анкерами ЭРТ длиной

	18,0 м и 17,0 м в два уровня по ЭРТ технологии, выполненных под углом 30°. Шаг грунтовых анкеров, а также расстояние от дна котлована до соответствующего яруса анкеров приняты согласно разработанным планам
3	Грунтовые анкеры (анкера ЭРТ) устраиваются после первого этапа разработки котлована и представляют собой преднапряженные заглубленные конструкции с монолитным железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки грунта его стенок (рис. 3.4 – 3.6)

Расчеты по прочности элементов подпорных стен выполнены в программном комплексе *GeoWaLL*, основанного на методе Блюма-Ламейера (способ «упругой линии»).

Технологическая последовательность возведения и эксплуатации заглубленных конструкций грунтовых анкеров ЭРТ представляет следующий алгоритм (см. рис. 3.4 – 3.6), приведенный ниже в таблице 3.8.

Таблица 3.8

Технологическая последовательность возведения и эксплуатации заглубленных конструкций грунтовых анкеров ЭРТ

№№ п/п	Наименование этапа
1	1-й этап разработки грунта предусматривает удаление грунта до отметок, указанных на соответствующих инженерно-геологических разрезах
2	Грунтовые анкеры первого яруса выполняются после 1 этапа разработки грунта на отметке + 132.350 м
3	Второй этап разработки предусматривает выемку грунта до абсолютной отметки (+ 130.850 м)
4	Третий этап выемки грунта производится до проектной отметки + 129.150 м
5	К разработке грунта следует приступить только при соответствии прочности мелкозернистого бетона грунтового анкера требованиям рабочего проекта;
6	Во время устройства работ по устройству ограждения вплоть до засыпки пазух фундаментов грунтов производится геотехнический мониторинг технического состояния и деформаций окружающей застройкой в зоне геотехнического влияния;

7	В процессе эксплуатации грунтовых анкеров не допускаются динамические, вибрационные воздействия на них до засыпки пазух котлована
8	Не допускаются превышения равномерно распределенных нагрузок на бровке котлована более указанного в рабочем проекте

Таблица 3.9

Технологическая последовательность устройства
грунтовых анкеров ЭРТ

Наименование	
1. Конструирование анкерного крепления	
1.1	<i>Относительной отметке 0.000</i> соответствует абсолютная отметка + 138.550 м
1.2	<i>Конструкции</i> анкерного крепления включают:
	а) грунтовые анкера ЭРТ
	б) распределительный пояс
г)	детали для крепления опоры грунтового анкера ЭРТ
1.3	<i>Расчетная нагрузка</i> на анкер P_w ;
1.4	<i>Свободная длина</i> грунтового анкера обусловлена призмой обрушения стенки котлована, форма которой определена расчетом общей устойчивости конструкции методом логарифмических спиралей;
1.5	<i>Принятая маркировка</i> грунтовых анкеров ЭРТ: АГ-18/11 (полная длина анкера 18,0 м, длина корня 11,0 м), АГ-17/10 (полная длина анкера 17,0 м, длина корня 10 м);
1.6	<i>Буровой диаметр</i> для грунтовых анкеров – 150,0 мм, выполнены под углом 30 град. к горизонту;
1.7	<i>Корень грунтового анкера заделан</i> в ИГЭ №3 (в глину твердую и тугопластичную)
2. Конструкции анкерного крепления	
2.1	<i>Для грунтовых</i> анкеров применяются цементные растворы с водоцементным отношением (по массе) В:Ц=0,5:1.
2.2	<i>Для цементных</i> растворов использован портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500.

Продолжение таблицы 3.9

2.3	<i>Не допускается</i> применение пуццолановых, глиноземистых и шлаковых портландцементов.
2.4	<i>Вода для</i> цементных растворов водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10 мг/л, нефтепродуктов и жиров, водородный показатель (рН) от 4,0 до 12,5.
2.5	В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 40,0 мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 63,0 мм) и немецкая высокопрочная винтовая арматура диаметром 26,5 мм класса St950/1050.
2.6	<i>Для центрирования</i> в скважине по всей длине анкерной тяги предусмотрены фиксаторы (шаг не более 2,0 м) из отрезков пластиковых труб с продольными разрезами по периметру.
2.7	<i>Для изготовления</i> сборных каркасов использовать арматуру из стали марки 35ГС запрещается.
2.8	<i>Ручная электродуговая сборка</i> элементов анкерного каркаса осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А.
2.9	<i>Распределительный пояс</i> предусмотрен из двух швеллеров №24.
2.10	<i>Детали для крепления</i> опоры грунтового анкера за опорную пластину (плиту): сферическая, коническая и косая шайбы (Ст45), гайка стопорная (Ст3)
3. Изготовление грунтового анкера	
3.1	<i>Формирование</i> скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением.
3.2	<i>Заполнение до устья</i> скважины цементным раствором.
3.3	<i>Электроразрядная обработка</i> стенок грунта скважины вдоль корня.
3.4	<i>Установка анкерного</i> каркаса в проектное положение.
3.5	<i>Несущая способность</i> каждого анкера проверяется до включения его в работу совместно с закрепляемой конструкцией путем проведения контрольных или приемочных испытаний, на максимальную испытательную нагрузку.

Продолжение таблицы 3.9

3.6	До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранной зоны, устанавливаемой в соответствии с п.3.22 СНиП 3.02.01-87 «Земельные сооружения, основания и фундаменты» [276].
3.7	В случае обнаружения подземных сооружений, коммуникаций или обозначающих их знаков, не указанных в проекте, геотехнические работы должны приостанавливаться. Вызываются представители заказчика и организаций, эксплуатирующих обнаруженные коммуникации, и принимаются меры по предохранению обнаруженных подземных устройств от повреждения. Допускается вынос заказчиком существующих коммуникаций из зоны производства работ при наличии письменного разрешения эксплуатирующих организаций
4. Формирование скважины бурением	
4.1	Бурение <i>шнековое</i> , выполняется в соответствии с проектом производства работ с помощью буровой установки УБГ-СГ «БЕР-КУТ» или аналога.
4.2	Бурение <i>скважин</i> выполняется с рабочих отметок, указанных в проекте.
4.3	Для <i>разворота</i> буровых машин и возможности установки анкерных каркасов ширина грунтовой бермы должна составлять не менее 18,0 м.
4.4	В процессе бурения контролируются параметры грунта по глубине:
	4.4.1 Установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента и зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Устанавливаются соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины проектным значениям на уровне корня анкера.
	4.4.2 При несоответствии глубины заделки бурового инструмента в этот ИГЭ, а также при наличии по длине скважины неустойчивых грунтов, приостанавливаются работы и приглашаются представители проектной организации для принятия решения (корректировка длины, изменение количества анкеров и т.д.).

Продолжение таблицы 3.9

	Геотехнические работы следует продолжить только после получения разрешения представителя авторского надзора, подтвержденное в виде оформления в журнале авторского надзора.
4.5	<i>Подъем бурового</i> инструмента проводится только после установления факта, что в забое скважины не будет создаваться пониженного давления в сравнении с природным давлением грунта.
4.6	<i>Цементация скважин</i> производится с момента окончания бурения.
5. Цементация скважины грунтового анкера	
5.1	<i>Заполнение скважины</i> производится до его устья через бетонолитную колонну диаметром не менее 40,0 мм, опускаемую до забоя методом ВПТ (верх поднимающиеся бетонолитные трубы). После достижения забоя, скважина должна быть промыта цементным раствором до прекращения всплытия выпавшего в осадок частиц грунта.
5.2	<i>Приготовление цементного раствора</i> производится на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи цементного раствора применяется пневморастворагнетатель ПРН-500 (ПРН-300).
5.3	<i>Контролируется объем</i> закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным значением, и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта.
6. Программа электроразрядной обработки скважины, заполненной цементным раствором, включает	
6.1	<i>Необходимая мощность</i> накапливаемой энергии генератора импульсных токов (ГИТ) должна быть не менее 50,0 кДж.
6.2	<i>Длина коаксиального кабеля</i> от ГИТ до электродной системы составляет не более 80,0 м, включая длину грунтового анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50,0 м, кабель высоковольтный импульсивный малоиндуктивный (КВИМ) – 30,0 м).
6.3	<i>Обработка высоковольтными</i> электрическими разрядами производится по длине корня грунтового анкера сериями не менее 15 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней составляет от 1,0 м.

Продолжение таблицы 3.9

6.4	<i>Расчетное увеличение</i> бурового диаметра (150,0 мм) корня анкера необходимо довести до 200,0 мм, для этого контролируется уровень цементного раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения обработки. При этом уровень цементного раствора в скважине при обработке одного уровня должен понижаться на величину не менее 15,0 см. При условии, если за последние пять электрических разрядов уровень раствора понизится более чем на 1,0 см, электрогидравлическую обработку стенок корня анкера необходимо продолжить до достижения полного «отказа». За «отказ» принимается понижение уровня раствора в скважине за последние пять электрических разрядов не более 10,0 мм. Для установления факта «отказа» осуществляется контроль изменения уровня раствора в скважине после каждого разряда или серии из пяти разрядов.
6.5	<i>Осуществляется контроль</i> за достижение общего объема поданного в скважину раствора, включая доливку уровня, превышающего объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины).
6.6	<i>По результатам</i> контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого цементного раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента корректируется программа обработки корня анкеров электрическими разрядами
7. Монтаж анкерного каркаса	
7.1	<i>Пространственный анкерный каркас</i> опускается плавно, без рывков.
7.2	<i>Контролируется положение</i> постраничного арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепляется от случайного погружения и смещения в плане.
7.3	<i>Каркас перед установкой</i> очищается от случайно налипшего на него грунта.
8. Производство бетонных работ при отрицательной температуре воздуха	
8.1	<i>За три дня до производства</i> бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже +5°C или минимальная суточная температура ниже 0°C, предусматриваются включения в цементные растворы противоморозных добавок.

Продолжение таблицы 3.9

8.2	<i>Цементный раствор</i> с противоморозными добавками при укладке должен иметь наружную температуру воздуха не ниже + 10 °С.
8.3	<i>При температуре грунта</i> ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок производится из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения раствором необходимой прочности.
8.4	<i>Для снижения теплопотерь</i> в процессе его твердения после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса утепляется.
8.5	Не допускается перегрев цементного раствора (нагрев более 70 °С).
8.6	<i>Допускается</i> не применять противоморозные добавки в цементных растворах, заполняемых в скважины ниже глубины сезонного промерзания грунта.
8.7	<i>После окончания работ</i> и перерывах в работе более 50 мин. шланги для подачи раствора (мелкозернистого бетона) следует промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ по бетонированию скважин шланги необходимо развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой.
8.8	<i>Для исключения</i> промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха.
8.9	<i>При температуре</i> ниже – 20 °С работы по изготовлению грунтовых анкеров не допускается
9. Порядок натяжения грунтовых анкеров включает следующую последовательность	
9.1	<i>До начала работ</i> устанавливаются все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке;
9.2	<i>Косые шайбы</i> привариваются к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса;
9.3	<i>Прочность цементного</i> камня корня анкера должна быть не менее 20 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров отбираются 9 кубиков 10 × 10 × 10 см, которые испытываются в возрасте 3,7 (для внутреннего пользования) и 10 суток (для технического отчета);

Продолжение таблицы 3.9

9.4	<p><i>Испытательная нагрузка</i> назначается согласно ВСН 506-88 «Проектирование и устройство грунтовых анкеров» равной $P_u = 1,2 * P_w$. Контрольные испытания проводятся на каждом десятом анкере, начиная с нагрузки $P_o = 0,2 * P_u$. Анкер нагружается ступенями. Порядок нагружения: 1 ступень – $P1$; 2 ступень – $P2$; 3 ступень – $P3$; 4 ступень – $P4$; 5 ступень – $P5$; 6 ступень – $P6$; 7 ступень – испытательная нагрузка P_u. Каждую ступень выдерживают не менее 15 мин до наступления стабилизации деформаций анкеров ЭРТ. Далее производят разгрузку до величины P_o, при которой измеряют упругие и остаточные перемещения. Фиксацию величин перемещений производят на каждой ступени через каждые 3 мин. За критерий условной стабилизации деформаций при испытании анкеров принимается скорость перемещения на данной ступени погружения, не превышающую 0,1 мм за последние 15 мин. Последнюю ступень нагрузки выдерживают до наступления стабилизации анкеров в течение 30 мин, затем снижают до величины P_o, замеряют упругие и остаточные перемещения анкеров и доводят нагрузку до значения P_b (блокировочная нагрузка), потом закрепляют анкер на опорной конструкции;</p>
9.5	<p><i>В случае не достижения</i> испытательной нагрузки в процессе проведения контрольных испытаний, за испытательную нагрузку принимается нагрузка последней стабилизировавшейся ступени (несущая способность грунтового анкера), с последующим вычислением расчетной нагрузки на анкера с учетом коэффициента надежности, равным 1,2. С учетом этого автором проекта корректируется блокировочная нагрузка и корректируется проектное решение;</p>
9.6	<p><i>При малых значениях</i> абсолютных перемещений грунтового анкера (менее 20,0 мм) после достижения стабилизации деформаций при контрольных испытаниях производится догружение анкера ступенями равными $P_o = 0,2 * P_u$ с выдерживанием на каждой новой ступени условной стабилизации деформаций. При этом должна обеспечиваться прочность материала и узлов анкерного крепления на сверхпроектные нагрузки;</p>
9.7	<p><i>Приемочным испытаниям</i> подвергается каждый рабочий анкер, за исключением анкеров, повергнутых контрольным испытаниям. Приемочные испытания начинаются с нагрузки P_o, при которой фиксируются начальные отчеты перемещения анкера и доводятся до величины P_u, выдерживая её в течение 15 мин, и замеряя перемещение анкера через 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин, далее уменьшают нагрузку до величины P_o, замеряя упругое перемещение анкеров, увеличивают нагрузку до блокировочной P_b и закрепляют грунтовой анкер до конструкции;</p>

9.8	<i>Несущая способность</i> и испытательные нагрузки приемочных анкеров определяются как минимальное значение результатов испытаний из не менее чем двух ближайших контрольных грунтовых анкеров
10. Обеспечение качества изготовления грунтовых анкеров включает	
10.1	<i>Изготовление грунтовых анкеров</i> должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее 5 лет, в которых организовано система обеспечения качество (ИСО 9001-2001 «Система менеджмента качества. Требования»), что должно быть подтверждено сертификатом соответствия;
<i>При изготовлении следует освидетельствовать:</i>	
	а) плано-высотную привязку свай;
	б) диаметр и глубину скважин на соответствие проекту;
	в) вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проекту (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании);
	г) уплотнение грунта в основании свои, разрушенного буровым инструментом;
10.2	д) соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину;
	е) качество приготовляемого цементного раствора (расход материалов);
	ж) затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня);
	з) погружение электродной системы;
	е) расход цементного раствора, используемого при производстве анкеров ЭРТ:
	1) при заполнении скважины;
	2) при обработке корня на каждом горизонте;
	3) суммарный расход цементного раствора на каждую скважину;

Продолжение таблицы 3.9

10.3	<i>Контроль прочности</i> цементного раствора осуществляется по ГОСТ 18105-2018 «Бетоны. Правила контроля и оценки прочности» [62] и ГОСТ 10180-2012 «Бетоны методы определения прочности по контрольным образцам» [54] путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п. 2.3.2 ГОСТ 10180-2012 [54];
10.4	<i>Акты освидетельствования</i> скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в своде правил СП 48.13330.2019 актуализированном СНиП 12-01-2004 «Организация строительства. Актуализированная редакция» [466], должны составляться на завершённый процесс (анкер), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены;
10.5	<i>Не допускается</i> выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению анкеров ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика;
10.6	<i>Работы производятся</i> в соответствии с требованиями СНиП 3.02.01-87 «Земляные сооружения, основания и фундаменты» [276], СНиП 3.04.03-85 «Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии» [278], СНиП 3.03.01-87 «Несущие и ограждающие конструкции» [277], СП 48.13330.2019 пересмотр СНиП 12-01-2004 «Организация строительства» [466], СНиП 12-03-2001 «Безопасность труда в строительстве. Часть 1», СНиП 12-04-2002 «Безопасность труда в строительстве. Часть 2» [281, 282], ТР 50-180-06 «Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности (сваи РИТ)» [497], проекта производства работ (ППР);
10.7	<i>Качество основных</i> строительных материалов определяется требованиями градостроительного кодекса и Закона о техническом регулировании, что должно быть подтверждено сертификатами соответствия, государственным стандартом РФ. На расходные и вспомогательные материалы (вязальная проволока, долота, шнеки, пакля, электроды, монтажные детали, фиксаторы) сертификаты или паспорта качество не представляются

11. Мероприятия по обеспечению нормальной эксплуатации конструкций, функционирования окружающей среды и безопасности на период производства работ включают	
11.1	<i>Работы производиться с выполнением требований техники безопасности, пожарной безопасности и охраны окружающей среды</i>
11.2	<i>На период производства работ запрещается доступ посторонних лиц к строительным машинам, механизмам, оборудованию и конструкциям</i>

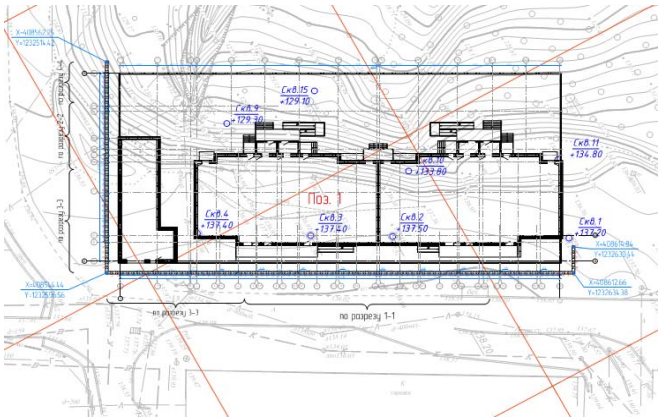


Рис. 3.4. Схема устройства подпорной стены из буройнъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) $\varnothing 350,0$ мм

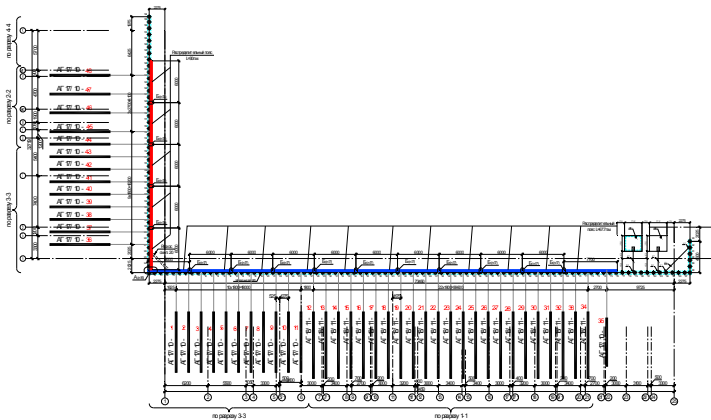


Рис. 3.5. Схема устройства грунтовых анкеров 1 и 2 ярусов

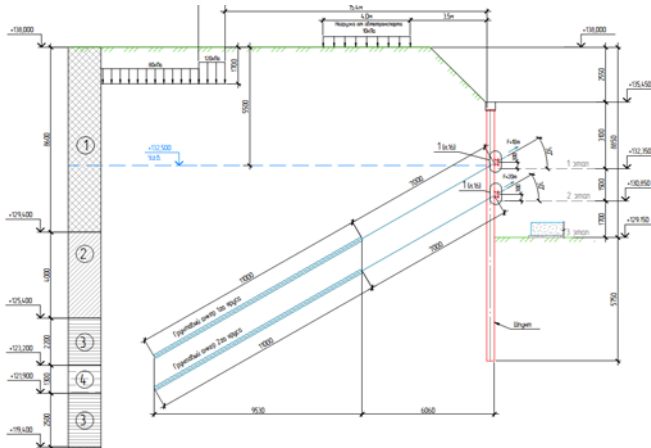


Рис. 3.6. Устройство ограждения котлована с применением грунтовых анкеров

Заключение.

1. Строительное освоение территорий, сложенных сложными инженерно-геологическими условиями, требует разработки специальных геотехнических технологий и внедрение их в реальную практику.

2. Рассмотренный случай из конкретной геотехнической практики с использованием ограждающих конструкций из буроинъекционных свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ подтверждает, что для обеспечения устойчивости оползневого склона создана возможность безаварийного производства строительно-монтажных работ по возведению объекта.

4. ВОЗМОЖНОСТИ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ТЕХНОЛОГИИ (ЭРТ) УСИЛЕНИЯ ОСНОВАНИЙ

Проблема повышения несущей способности основания всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. При существенных внешних нагрузках, передаваемых на основание использование традиционных технологий не всегда оправданно. Часто возникает настоятельная необходимость применения нестандартных способов усиления оснований. Во многих случаях геотехническая ситуация усугубляется наличием в инженерно-геологических разрезах слабых подстилающих слоев с неустойчивыми физико-механическими характеристиками. При усилении таких оснований с помощью традиционных свай последние могут получить негативное трение, существенно уменьшающее их несущую способность по грунту, достигающие иногда до нулевых значений. Это может привести к дополнительным осадкам возводимого и возведенных в зоне геотехнического влияния объектов. Использование свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в большинстве случаев успешно решает многие сложные геотехнические проблемы.

Электроразрядная технология, обладая рядом технических и технологических преимуществ [285; 296; 311; 313; 314; 350; 366; 367; 380; 381; 384; 390; 392; 398; 406; 411; 418; 422; 423; 431; 432; 434] широко используется в геотехнической практике устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в свайных полях, свай усиления оснований и фундаментов, закрепления оснований фундаментов, склонов, при устройстве нагелей и т.д. Технологическим преимуществом ее является взрывообразное преобразование электрической энергии в механическую при достижении ударной волны с шириной переднего фронта порядка 10^{-9} м со скоростью подъема давления до 10^{18} Па/с. Электрогидравлический удар на грунт стенок буровой скважины, заполненной мелкозернистым бетоном, намного превышает статическую нагрузку на него. В результате воздействия таких высоких давлений и температур в грунте зарождается полость и за счет сил гравитации мгновенно заполняется мелкозернистым бетоном. Тем самым возникает уширение на конкретном участке по высоте сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Это уширение далее назовем «подпятником» [206; 224; 318; 328; 350; 359; 362; 363; 388; 406; 408]. Таким образом, возникшая

дополнительная опора начинает статически работать совместно со свай по нижней поверхности уширения, увеличивая ее несущую способность по грунту. Геометрические параметры формы уширения в первом приближении можно принять за сферу. Параметры сферы такие, например, как диаметр d и ее высота h зависят от энергии электрогидравлического удара, пористости, влажности и вида обрабатываемого грунта. Диаметр уширения d возможно определить по величине максимального понижения уровня мелкозернистого бетона в скважине, как говорят геотехники по «уходам». Следует, конечно, отметить, что величины «уходов» во время электрогидравлической обработки (именно поэтому при устройстве свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) уровень мелкозернистого бетона всегда следует держать на отметке поверхности земли) и с течением времени существенно разнятся. «Уходы» во времени от начала бетонирования до начала твердения бетона могут составить от нескольких сантиметров до нескольких метров. Прежде всего, такие большие понижения связаны со спецификой грунта как пористого материала. Эти вертикальные перемещения мелкозернистого бетона дополнительно увеличиваются за счет электроосмотического всасывания цементного молока в структуру грунта.

Следует предположить, что при максимальных объемах всасывания цементного молока в поры грунта, несущая способность свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) повысилась бы многократно благодаря задействованию прочностных характеристик массива грунта, таких как удельное сцепление и угол внутреннего трения, в совместную работу со свайей. Но этому процессу препятствует, то обстоятельство, что при замешивании мелкозернистого бетона и электрогидравлической обработке происходит его намагничивание, что способствует образованию цементных коллоидов. В то же время их размеры многократно превосходят размеры пор грунта. К сожалению, пока нет технологии, воспрепятствующей комкованию цементного молока. Это возможно на мой субъективный взгляд только при размагничивании биполей воды в бетоне.

Необходимо обратить внимание еще на один аспект, связанный с возможным увеличением несущей способности оснований, усиленных буровыми сваями. В среде проектировщиков устоялась мнение том, что чем больше диаметр буровой свай, тем больше ее несущая способность по грунту. Да это так. Но критерием оценки несущей способности F_d по грунту на наш взгляд должны служить

не диаметр и длина свай, а «удельная несущая способность по грунту», т.е. несущая способность одного кубического метра буровой сваи, а также «удельная расчетная нагрузка», т.е. расчетная нагрузка одного кубического метра буровой сваи. При таком подходе, анализируя результаты расчетов несущей способности для свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и буронабивных свай разных диаметров можно, сделать вывод о том, что с увеличением диаметра буровых свай удельная несущая способность снижается, приближаясь к некоторой асимптоте. В то же время наиболее оптимальным по удельным характеристикам являются «микросваи», т.е. буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) диаметром до 300,0 мм, изготавливаемые по электроразрядным технологиям. На рис. 4.1 графики 1 – 4 наглядно демонстрируют это.

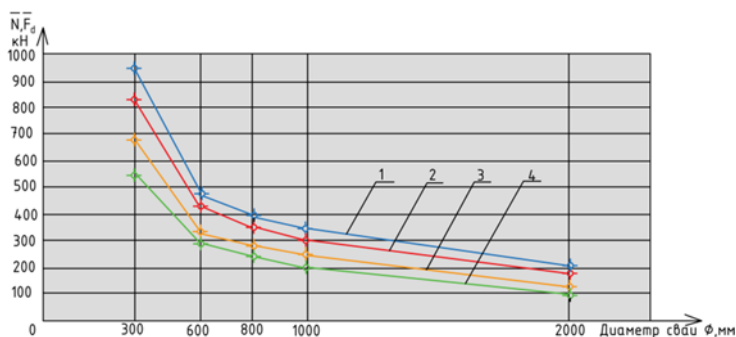


Рис. 4.1. Графики зависимости $f(\Phi \bar{N})$ и $f(\Phi \bar{F}_d)$, где \bar{F}_d – удельная несущая способность (кН), \bar{N} – удельная расчётная нагрузка(кН), 1 и 2 – графики $f(\Phi \bar{F}_d)$; 3 и 4 – графики $f(\Phi \bar{N})$.

Примечания: 300,0 – диаметр свай ЭРТ; 600,0; 800,0; 1000,0; 2000,0 – диаметры буронабивных свай (мм).

Необходимо обратить внимание на широкий диапазон использования электроразрядной технологии усиления оснований с использованием «микросвай». Область использования ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) технологии существенно расширяется, комбинируя ее с технологией устройства грунтоцементных свай, т.е. GET технологией. Ниже в таблице 4.1 приведены апробированные геотехнические технологии с использованием этих двух.

Таблица 4.1

1. Электроразрядная геотехническая технология усиления основания фундаментов с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Технология с использованием буроинъекционных свай ЭРТ актуальна для усиления оснований фундаментов аварийных, реконструируемых зданий и сооружений. Она востребована в стесненных и особо стесненных условиях, а также в перемежающихся слабых подстилающих слоях

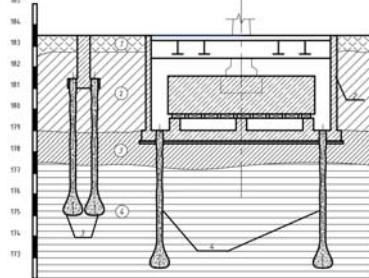


Схема усиления основания:
 1 – фундамент каркаса здания;
 2 – фундамент кузнечного молота;
 3 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания фундаментов каркаса;
 4 – буроинъекционные сваи ЭРТ усиления основания фундаментов молотов

2. Электроразрядная геотехническая технология устройства буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в свайных полях

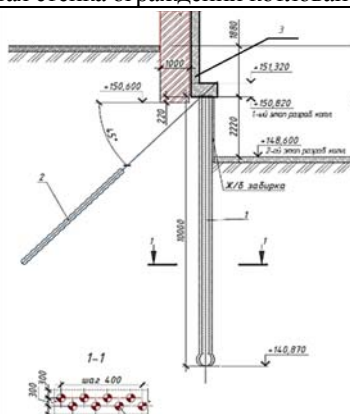
Эта технология наиболее эффективна для применения в стесненных условиях и под большие внешние нагрузки, а также как усиленное свайное основание высотных зданий и сооружений



Свайное поле их буроинъекционных свай ЭРТ:
 1 – бетонная подготовка;
 2 – выпуски армокаркаса свай ЭРТ

3. Электроразрядная технология устройства буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как шпунтовая стенка ограждений котлованов

Эта технология устройства буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как конструктив является консольной шпунтовой стенкой. Она в основном служит для обеспечения устойчивости стенок грунта неглубоких котлованов. В зависимости от количества рядов из свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) стенка может обеспечить устойчивость стенок грунта котлованов разных глубин



Шпунтовая стена ограждения котлована из буринъекционных свай и грунтовых анкеров ЭРТ:
 1 – буринъекционные сваи ЭРТ;
 2 – грунтовые анкера ЭРТ;
 3 – угловая монолитная ж/б подпорная стена

4. Комплексная электро-разрядная технология устройства свай повышенной несущей способности с использованием грунтобетонных свай ГЕТ

Комплексная технология устройства свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с использованием грунтобетонных свай ГЕТ позволяет получить заглубленную железобетонную конструкцию повышенной несущей способности

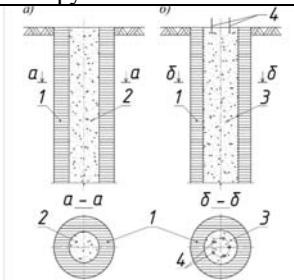
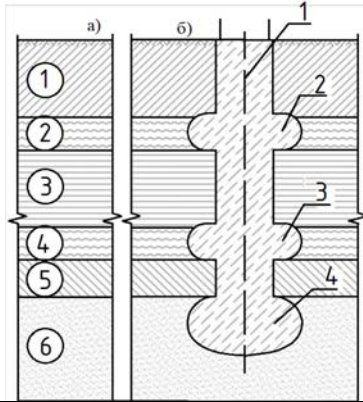


Схема устройства грунтобетонной сваи (ГБС):
 1 – грунтоцементный массив;
 2 – свежееуложенный мелкозернистый бетон;

	<p><i>3 – электрогидравлически обработанный и армированный мелкозернистый бетон;</i> <i>4 – выпуски пространственного армокаркаса</i></p>
--	--

5. Геотехническая технология устройства комбинированной грунтобетонной сваи повышенной несущей способности с использованием электроразрядной и GET технологий

Технология востребована для устройства буроналивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) повышенной несущей способности в случае наличия в основании слабых перемежающихся грунтов. Предполагает использование технологии GET для устройства уширений (подпятников) на глубинах наличия слабых ИГЭ вдоль их толщин. Конструкция является вариантом грунтобетонной железобетонной сваи (ГБС)



Врезка в инженерно-геологический разрез буровой грунтобетонной сваи ГБС с многместными уширениями: (1) – (6) – инженерно-геологические элементы (ИГЭ); (2),(4) – слабые ИГЭ; 1 – железобетонный ствол сваи; 2,3,4 – промежуточные уширения (подпятники)

6. Геотехническая технология устройства ограждения склонов и берегов водоемов и рек из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электро-разрядной и ГЕТ технологий и монолитной железобетонной подпорной стены

Технология из комбинированной грунтобетонной сваи с использованием электро-разрядной и ГЕТ технологий и монолитной железобетонной подпорной стены как противофильтрационная завеса и упор массива грунта

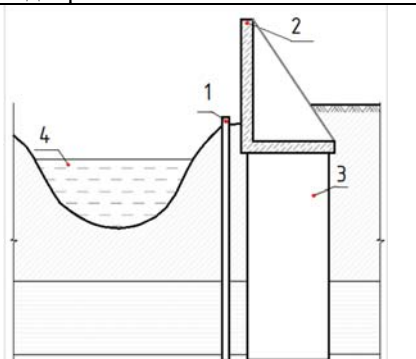
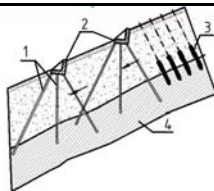


Схема укрепления берегов разливающихся рек:

- 1 – сплошной шпунт,*
- 2 – уголковая подпорная стена,*
- 3 – свайное основание из ГБС как противофильтрационная завеса,*
- 4 – русло реки*

7. Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как грунтовые железобетонные нагеля укрепления оползневого склона

Технология служит для укрепления оползневого и нагруженного склона с помощью свай ЭРТ, закрепляющих поверхность призмы обрушения. Часто используется совместно с монолитной железобетонной уголковой подпорной стеной с усиленным сваями ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) основанием



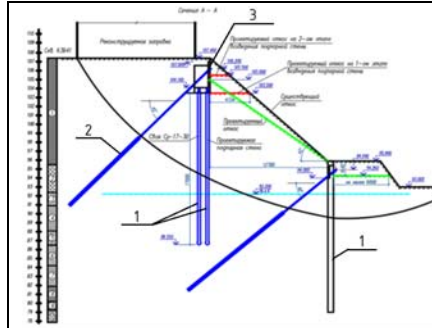
Противооползневая защита склонов из буроинъекционных свай ЭРТ и нагелей (шпонок):

- 1 – сваи в составе подпорной сетчатой стены;*
- 2 – уголковая сетчатая подпорная стена;*
- 3 – нагели (шпонки) в плоскости сдвига;*
- 4 – плоскость сдвига*

Продолжение таблицы 4.1

8. Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) как свайное основание под монолитной железобетонной уголково-подпорной стеной

Технология наиболее востребована как упор массива грунта от оползневого и нагруженного склона. Эта конструкция работает как консольная железобетонная конструкция. Для ее оптимизации в конструктивную схему возможно включение грунтовых анкеров ЭРТ в один или несколько рядов



Сечение прислоненного откоса с противооползневыми заглубленными ЖБК:

**1 – буроинъекционная свая ЭРТ;
2 – грунтовые анкера; 3 – уголково-монолитная ж/б подпорная стена**

9. Устройство грунтовых анкеров ЭРТ, устраиваемые по электроразрядной технологии как заглубленные железобетонные конструкции совместно со шпунтовой стенкой

Технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ в составе шпунтовой стенки из свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) наиболее экономична по сравнению с консольными подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов



Схема устройства ограждения котлована:

**1 – буроинъекционные сваи ЭРТ;
2 – монолитный ж/б обвязочный пояс;
3 – анкерный пояс;
4 – грунтовые анкера ЭРТ**

10. Комбинированные грунтовые анкера, устраиваемые по электроразрядной и ГЕТ технологиям как заглубленные железобетонные конструкции для обеспечения устойчивости стенок котлованов и оползневых склонов

Технология с использованием грунтовых анкеров ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в составе шпунтовой стенки наиболее экономична по сравнению с консольными подпорными стенами. Она оптимально подходит для обеспечения устойчивости грунта стенок котлованов, а также оползневых и нагруженных склонов

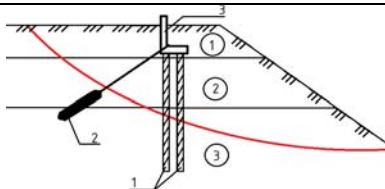


Схема усиления оползневого склона с помощью свай ЭРТ и грунтобетона: 1 – сваи ЭРТ; 2 – грунтобетонный анкер; 3 – уголковая монолитная ж/б подпорная стена; (1) – (3) – инженерно-геологические элементы

11. Геотехническая технология усиления оползневого склона с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и монолитной железобетонной уголковой подпорной стены (как вариант, монолитный железобетонный обвязочный пояс)

Технология востребована для устройства буроинъекционных свай ЭРТ укрепления основания оползневого склона с возведением монолитной железобетонной подпорной стены. Сваи ЭРТ могут размещаться в несколько рядов.



Схема устройства усиления оползневого склона: 1 – буроинъекционные сваи ЭРТ в три ряда; 2 – выпуски арматурного каркаса свай

12. Геотехническая технология устройства ограждения котлована при наличии в основании ИГЭ повышенной прочности с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Технология с использованием буроинъекционных свай ЭРТ в случае наличия в основании инженерно-геологических элементов с высокими прочностными характеристиками (аргиллит, алевролит), заземляющих их, в качестве ограждения котлованов в один или несколько рядов. По оголовкам свай ЭРТ устраивается монолитный железобетонный обвязочный пояс



Схема устройства ограждения котлована:
1 – буроинъекционные сваи ЭРТ;
2 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

13. Геотехническая технология усиления тела бутовых фундаментов

Геотехническая технология усиления тела бутовых фундаментов методом цементации. Она особенно востребована при недостаточной несущей способности на возросшие внешние нагрузки и в случае понижения полов подвалов при возможном оголении наружных поверхностей самих фундаментов

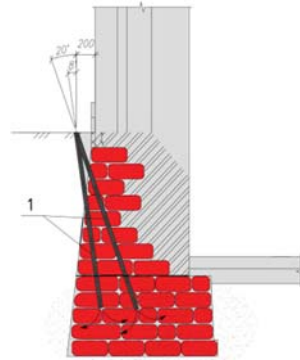


Схема цементации тела бутовых фундаментов: 1 – цементационные скважины

14. Геотехническая технология усиления контактного слоя грунта

Геотехническая технология усиления несущего контактного слоя грунта наиболее востребована при реконструкции оснований фундаментов зданий и сооружений существующей застройки. Как правило, несущий слой в результате длительного времени суффозионных процессов всегда ослаблен. Цементация контактного слоя существенно повысит его несущую способность

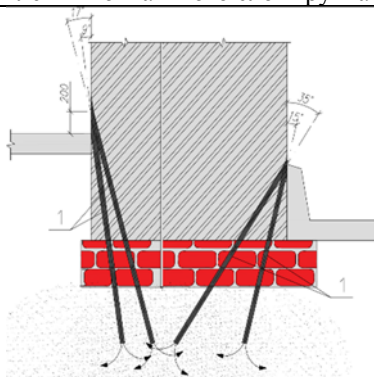


Схема цементации контактного слоя с фундаментом: 1 – цементационные скважины

Выводы и рекомендации:

С учетом вышесказанного результаты длительных исследований и использование электроразрядной геотехнической технологии (технология ЭРТ) устройства заглубленных железобетонных конструкций с использованием электроразряда и *апробации* в реальном подземном строительстве в течение длительного периода времени позволили рекомендовать ее для решения следующих строительных геотехнических задач, приведенных в таблице 4.2 ниже.

Таблица 4.2

Геотехнические задачи, решаемые при использовании технологии ЭРТ

№№ поз.	Геотехническая задача
1	При усилении перегруженных оснований фундаментов, включая цементацию слабых инженерно-геологических элементов
2	При усилении оснований фундаментов существующих зданий и сооружений в связи с планируемым повышением или изменением характера эксплуатационных нагрузок при изменении конструктивной схемы

3	При усилении оснований фундаментов существующих зданий и сооружений в связи с планируемым повышением или изменением характера эксплуатационных нагрузок при изменении конструктивной схемы
4	Для исправления сверхнормативных кренов зданий и сооружений или отдельных фундаментов
5	Для противооползневой защиты склонов, берегов рек и морей
6	Для усиления оснований железнодорожных насыпей с нестабильным балластным шлейфом
7	Для решения сложных геотехнических задач при реконструкции зданий и фундаментов, а также в случае капитального ремонта
8	При строительстве новых объектов в сложных инженерно-геологических условиях, а также при наличии перемеживающихся слабых грунтов оснований
9	При устройстве подземных этажей в бесподвальных зданиях, углубления полов подвалов, влекущих за собой усиления тела существующих фундаментов, устройства протвofильтрационной завесы, а также цементации контактного слоя подошвы фундаментов с несущим слоем
10	Для устройства железобетонных шпонок (нагелей) по границе призмы обрушения при усилении оползневых склонов с целью стабилизации их деформаций

4.1. Один из случаев усиления основания и деформированной противооползневой удерживающей подпорной стены

Проблема повышения несущей способности оснований всегда является актуальной проблемой в современном геотехническом строительстве. При дополнительных увеличенных внешних нагрузках на существующие удерживающие конструкции использование традиционных технологий обеспечения их устойчивости не всегда оправдано. Часто возникает настоятельная необходимость применения нестандартных способов усиления оснований. Часты случаи использования существующих удерживающих железобетонных конструкций под новые дополнительные нагрузки от вновь возводимых объектов. В таких случаях использование буро-

инъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и грунтовых анкеров ЭРТ в большинстве случаев успешно решает многие сложные геотехнические проблемы усиления перегруженных оснований.

Обеспечение безопасной эксплуатации вновь возводимых объектов на площадках со сложным рельефом и слабыми физико-механическими характеристиками требует особого подхода [20; 38; 109; 110; 116; 146; 167; 233; 246; 285; 288; 298; 303; 312; 334; 390; 399; 404; 412; 428; 435; 449]. Часто при новом строительстве приходится сталкиваться с усиленными ранее склонами. Чаще всего они укреплялись с помощью заглубленных железобетонных конструкций, используемых как удерживающие конструкции. В большинстве случаев они по расчетной схеме относятся к строительным конструкциям консольного типа. Отличительной особенностью таких стен от раскрепленных является то, что при даже небольших дополнительных внешних нагрузках они могут деформироваться. Говорить о том, что они могут воспринять существенные возросшие нагрузки от вновь возводимого объекта, не приходится. В таких случаях необходим нестандартный подход в вопросах их использования для целей обеспечения устойчивости, как склона, так и самой удерживающей подпорной стены.

Далее рассматривается случай приспособления существующей консольной уголковой железобетонной подпорной стены в качестве удерживающей железобетонной конструкции при существенных возросших внешних нагрузках строящегося полотна автомобильной дороги. Следует отметить, что существующая уголковая стена уже была деформирована. Отклонение от вертикали доходило до 950,0 мм при ее высоте 5,0 метров. Эту стену было решено усилить с помощью дополнительных буроинъекционных свай свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и превратить из консольной в раскрепленную с помощью грунтовых анкеров ЭРТ. Ниже в таблице 4.3 приведен один из подходов в использовании деформированной железобетонной подпорной стены на свайном основании из призматических забивных свай.

Таблица 4.3

№№ п/п	Заглубленные железобетонные конструкции, используемые в проекте приспособления
1	Удерживающие железобетонные конструкции представляют комплекс, состоящий из анкерных конструкций из грунтовых анкеров ЭРТ, подпорной стенки из призматических забивных свай и железобетонных контрфорсов на свайном основании из буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

2	Подпорная стенка из свай – буроинъекционные сваи по электро-разрядной свайной технологии (сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)), объединенные по верху монолитными железобетонными ростверками. Железобетонные контрфорсы подпирают и связывают существующие с возводимыми конструкциями
3	Грунтовые анкера, изготавливаемые по электроразрядной технологии (грунтовые анкера ЭРТ) устраиваются на начальном этапе производства работ и обеспечивают устойчивость уголкового железобетонной подпорной стены ПС1 на время производства работ и на период эксплуатации. Они представляют собой преднапряженные элементы с железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки грунта по длине буровой скважины

На рис. 4.2 приведен план заглубленных железобетонных конструкций усиленной буроинъекционными сваями ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), грунтовыми анкерами ЭРТ и монолитными железобетонными контрфорсами, а на рис. 4.3 – армирование сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). На рис. 4.4 приводится конструкция армирования грунтового анкера ЭРТ.

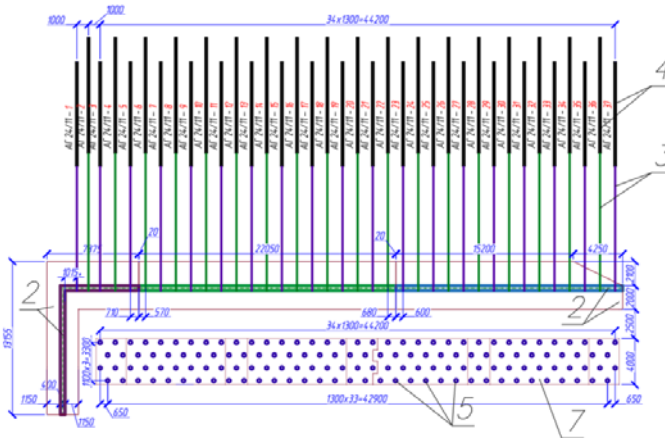
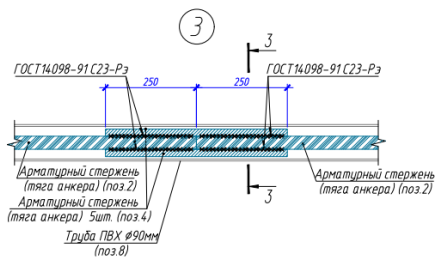
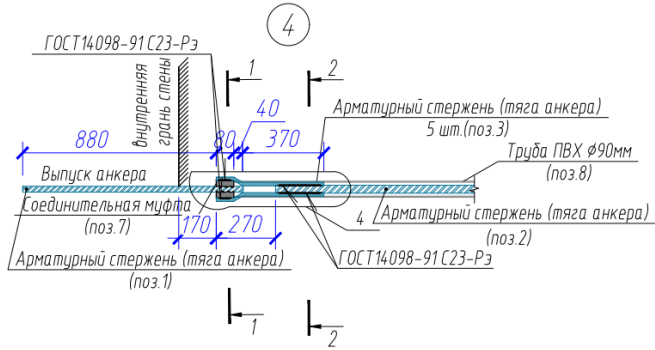
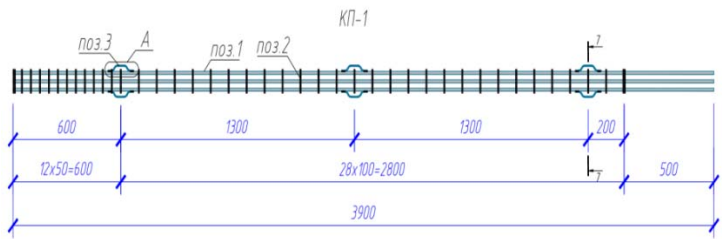
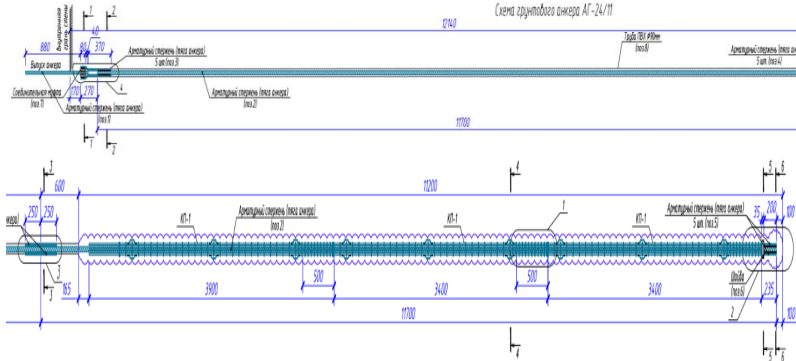


Рис. 4.2. Схема устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм на завершающем этапе:

1	Призматические железобетонные сваи
2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк



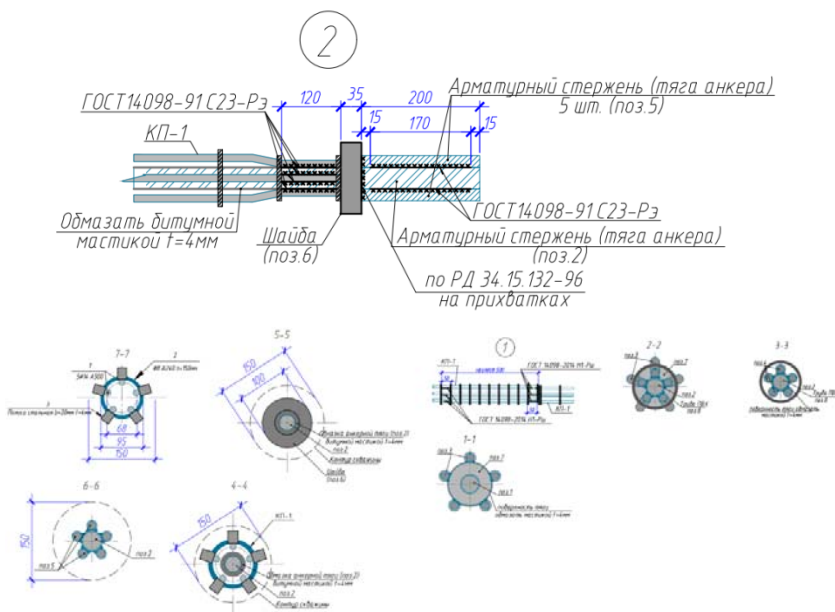


Рис. 4.4. Арматурный каркас грунтового анкера ЭРТ

Согласно результатам инженерно-геологических изысканий площадка строительства расположена в юго-восточной части жилого микрорайона «Радужный» Московского района г. Чебоксары.

В геоморфологическом отношении район изысканий занимает левый склон долины р. Чебоксарка, в подошве и средней части склона расчлененной густой сетью засыпаемых и засыпанных оврагов, с абсолютными отметками от 71,2 м в пойме р. Чебоксарка до 112 – 116,0 м в северо-западной части площадки изысканий (юго-восточной части спланированной территории мкр. «Радужный»). Перепад высот составляет около 45,0 м. Общий уклон территории наблюдается в южном направлении – в сторону долины р. Чебоксарка. Инженерно-геологическое строение площадки до исследованной глубины (40,0 м) представлено толщей коренных пород северодвинского и вятского ярусов верхнепермского отдела ($P3s+v$), перекрытых с поверхности четвертичными отложениями различного возраста и генезиса. Вся толща сверху перекрыта насыпными грунтами большой мощности ($tQIV$).

Гидрогеологические условия площадки строительства до исследованной глубины (40,0 м) на период изысканий в августе 2018 г.

характеризуются наличием одного безнапорного горизонта подземных вод. Подземные воды вскрыты во всех скважинах на глубинах 0,2 – 23,8 м (абс. отметки 71,1 – 100,6 м) и приурочены к насыпным грунтам $tQIV$, оползневым отложениям $dpQ(P3s+v)$, аллювиальным отложениям ($aQIII$), верхне-пермским пескам мелким, пылеватым, средней крупности, водонасыщенным, песчаным прослоям в верхнепермских глинах и суглинках (алевритах) песчанистых и мергелям известковистым ($P3s+v$). Водоупором служат более плотные нижележащие верхнепермские глины ($P3s+v$). Инженерно-геологический разрез с указанием вертикальной привязки, существующей и вновь возводимой стенок приведен на рис. 4.5.

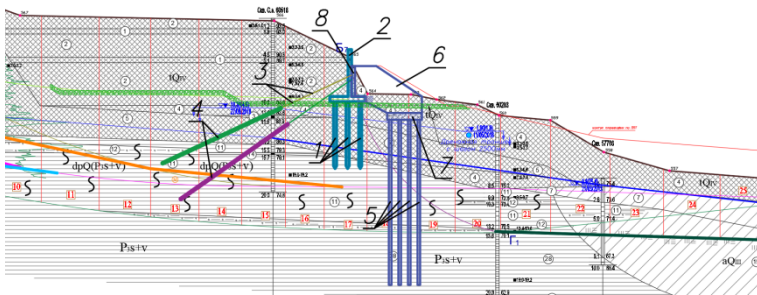


Рис. 4.5. Вертикальная привязка свайных фундаментов (заглубленных железобетонных конструкций) в инженерно-геологический разрез:

1	Свайное основание 1 из призматических железобетонных свай под существующий 2 монолитный железобетонный уголкоый ростверк	
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ усиления существующей стены:	
	3	Анкерная тяга
	4	Корень грунтового анкера
5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания	
6	Монолитные железобетонные контрфорсы	
7	Монолитный железобетонный ростверк	
8	Пристенный линейный дренаж	

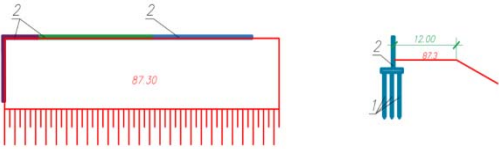
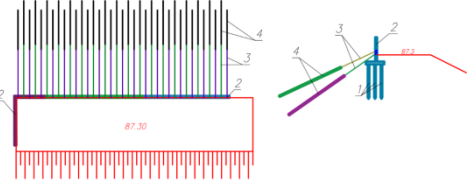
Примечание:

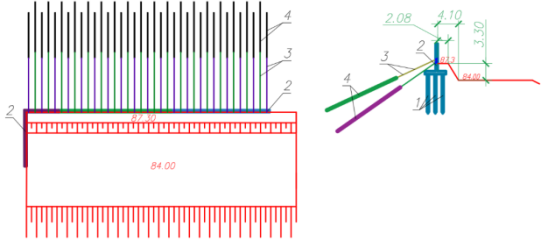
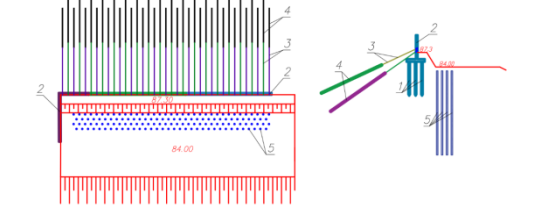
Для использования существующей подпорной стены с целью восприятия ею дополнительных возросших внешних нагрузок был разработан проект приспособления с устройством дополнительных заглубленных железобетонных конструкций с использованием буронабивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), грунтовых анкеров ЭРТ, монолитных железобетонных контрфорсов и превращения ее расчетной схемы из консольной в раскрепленную

Ниже в таблице 4.4 приводится алгоритм производства геотехнических работ, разделенный на этапы. Следует отметить, что их разделение на этапы связано с необходимостью обеспечения устойчивости склона при строительстве и создания безопасных условий производства работ.

Таблица 4.4

Алгоритм производства геотехнических работ

№№ п/п	Наименование геотехнического этапа	Схема геотехнического этапа				
1	Устройство бермы до отм. 87,3 м	 <p>Схема устройства грунтовой бермы до отм. 87,3 м:</p> <table border="1" data-bbox="407 986 955 1086"> <tr> <td>1</td> <td>Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Существующий монолитный уголковоый железобетонный ростверк</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный уголковоый железобетонный ростверк
1	Призматические железобетонные сваи					
2	Существующий монолитный уголковоый железобетонный ростверк					
2	Алмазное сверление отверстий, устройство и натяжение грунтовых анкеров ЭРТ	 <p>Схема сверления отверстий в ростверке для устройства и натяжения грунтовых анкеров ЭРТ:</p>				

		<table border="1"> <tr> <td data-bbox="461 151 539 188">1</td> <td data-bbox="539 151 1023 188">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 188 539 252">2</td> <td data-bbox="539 188 1023 252">Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 252 539 290">3,4</td> <td data-bbox="539 252 1023 290">Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ
1	Призматические железобетонные сваи							
2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк							
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ							
3	<p>Разработка грунта до отм. 84,0 м</p>	 <p>Схема разработка грунта до отм. 84,0 м:</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="461 603 539 639">1</td> <td data-bbox="539 603 1023 639">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 639 539 703">2</td> <td data-bbox="539 639 1023 703">Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 703 539 742">3,4</td> <td data-bbox="539 703 1023 742">Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ
1	Призматические железобетонные сваи							
2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк							
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ							
4	<p>Устройство буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)</p>	 <p>Схема устройства грунтовых анкеров ЭРТ усиления существующих ростверков (3,4) и свай ЭРТ (5) усиления основания:</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="461 1082 539 1136">1</td> <td data-bbox="539 1082 1023 1136">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 1136 539 1225">2</td> <td data-bbox="539 1136 1023 1225">Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td data-bbox="461 1225 539 1257">3,4</td> <td data-bbox="539 1225 1023 1257">Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ
1	Призматические железобетонные сваи							
2	Существующий монолитный уголкового железобетонный ростверк							
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ							

<p>5</p>	<p>Локальная разработка грунта в траншеях под ростверки до отм. 83,0 м</p>	 <p>Схема к локальной разработке грунта в траншеях под ростверки до отм. 83,0 м:</p> <table border="1" data-bbox="407 440 960 616"> <tr> <td>1</td> <td>Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td>3,4</td> <td>Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ	5	Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания				
1	Призматические железобетонные сваи													
2	Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк													
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ													
5	Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания													
<p>6</p>	<p>Первый этап устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм</p>	 <p>Схема первого этапа устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм:</p> <table border="1" data-bbox="407 914 960 1209"> <tr> <td>1</td> <td>Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td>3,4</td> <td>Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>Монолитные железобетонные контрфорсы</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>Монолитный железобетонный ростверк</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ	5	Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов	6	Монолитные железобетонные контрфорсы	7	Монолитный железобетонный ростверк
1	Призматические железобетонные сваи													
2	Существующий монолитный угловой железобетонный ростверк													
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ													
5	Сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания фундаментов													
6	Монолитные железобетонные контрфорсы													
7	Монолитный железобетонный ростверк													
<p>7</p>	<p>Разработка грунта до отм. 83,0 м</p>													

		<p>Схема разработки грунта до отметки 83,0:</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="456 177 538 209">1</td> <td data-bbox="538 177 1016 209">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 209 538 264">2</td> <td data-bbox="538 209 1016 264">Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 264 538 296">3,4</td> <td data-bbox="538 264 1016 296">Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 296 538 352">5</td> <td data-bbox="538 296 1016 352">Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 352 538 408">6</td> <td data-bbox="538 352 1016 408">Монолитные железобетонные контрфорсы</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 408 538 464">7</td> <td data-bbox="538 408 1016 464">Монолитный железобетонный ростверк</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ	5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания	6	Монолитные железобетонные контрфорсы	7	Монолитный железобетонный ростверк
1	Призматические железобетонные сваи													
2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк													
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ													
5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания													
6	Монолитные железобетонные контрфорсы													
7	Монолитный железобетонный ростверк													
8	<p>Завершение устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм</p>	 <p>Схема устройства монолитных железобетонных ростверков и диафрагм на завершающем этапе:</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="456 783 538 815">1</td> <td data-bbox="538 783 1016 815">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 815 538 871">2</td> <td data-bbox="538 815 1016 871">Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 871 538 903">3,4</td> <td data-bbox="538 871 1016 903">Грунтовые анкера ЭРТ</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 903 538 959">5</td> <td data-bbox="538 903 1016 959">Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 959 538 1015">6</td> <td data-bbox="538 959 1016 1015">Монолитные железобетонные контрфорсы</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 1015 538 1070">7</td> <td data-bbox="538 1015 1016 1070">Монолитный железобетонный ростверк</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк	3,4	Грунтовые анкера ЭРТ	5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания	6	Монолитные железобетонные контрфорсы	7	Монолитный железобетонный ростверк
1	Призматические железобетонные сваи													
2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк													
3,4	Грунтовые анкера ЭРТ													
5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания													
6	Монолитные железобетонные контрфорсы													
7	Монолитный железобетонный ростверк													
9	<p>Устройство дренажа, засыпка пазух монолитной железобетонной угловой подпорной стенки, планировка участка</p>	 <p>Схема устройства пристенного линейного дренажа, засыпки пазух подпорной стены и планировки участка:</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="456 1350 538 1382">1</td> <td data-bbox="538 1350 1016 1382">Призматические железобетонные сваи</td> </tr> <tr> <td data-bbox="456 1382 538 1437">2</td> <td data-bbox="538 1382 1016 1437">Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк</td> </tr> </table>	1	Призматические железобетонные сваи	2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк								
1	Призматические железобетонные сваи													
2	Существующий монолитный угловый железобетонный ростверк													

		3,4	Грунтовые анкера ЭРТ
		5	Буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления основания
		6	Монолитные железобетонные контрфорсы
		7	Монолитный железобетонный ростверк
		8	Пристенный линейный дренаж

4.2 Алгоритм приспособления существующей подпорной стены к возросшим нагрузкам

Ниже в таблице 4.5 приведен алгоритм приспособления существующей подпорной стены к возросшим нагрузкам.

Таблица 4.5

№№ поз.	Наименование	
1	КОНСТРУКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ЗАГЛУБЛЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	
	№№ п.п.	Наименование позиции
	1.1	Поддерживающие конструкции представляют комплекс, состоящий из анкерных конструкций, подпорной стенки из свай и железобетонных контрфорсов на свайном основании
	1.2	Подпорная стенка из свай – буроинъекционные сваи по электроразрядной свайной технологии, объединенные по верху монолитными плитными ростверками. Железобетонные контрфорсы подпирают и связывают существующие с возводимыми конструкциями
	1.3	Грунтовые анкеры устраиваются на начальном этапе производства работ и обеспечивают устойчивость ПС1 на время производства работ и на период эксплуатации представляют собой преднапряженные элементы с железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки по длине скважины
2	УСЛОВИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ	
	2.1	В ходе устройства подпорной стенки строго соблюдать этапность согласно листу «Порядок производства работ»

	2.2	Приступать к разработке грунта следует только при соответствии прочности возведенной конструкции требованиям настоящего проекта
	2.3	В ходе производства работ выполнять геотехнический мониторинг существующей подпорной стенки ПС1
	2.4	После выполнения контрфорсов предусмотреть шурфовку в 2 – 3-х точках для оценки степени повреждения существующих свай и плитного железобетонного ростверка
	КОНСТРУИРОВАНИЕ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)	
3	3.1	Сваи вертикальные сплошного сечения диаметром бурения 300 мм, армированы на всю высоту арматурными каркасами
	3.2	Принятая маркировка свай: Ср-19-30 (длина 19,0 м, буровой диаметр 300,0 мм)
	3.3	Анкеровка (арматурный выпуск из головы сваи) в железобетонный ростверк (плиту) 850,0 мм
	3.4	Заделка головы (железобетонный оголовок) сваи в железобетонный ростверк (плиту) 50,0 мм
	МАТЕРИАЛЫ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)	
3.1	3.1.1	Для свай использовать самоуплотняющиеся мелкозернистые бетонные смеси класса по прочности В25, марка по водонепроницаемости не ниже W4 в соответствии с ГОСТ 26633-2015 [84], приготовленным на строительной площадке или на специализированных бетонных заводах
	3.1.2	Бетонная смесь должна соответствовать требованиям ГОСТ 7473-10 [96]
	3.1.3	Удобоукладываемость бетонной смеси П4...П5, проверяется по конусу АЗНИИ
	3.1.4	Водоотделение бетонной смеси не более 2 %
	3.1.5	Бетонная смесь не должна иметь включений щебня и гравия размером более 10,0 мм
	3.1.6	Для бетонных смесей использовать портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500

3.1.7	Заполнителем для бетона служит кварцевый песок. Допускается применение чистых мелких песков с модулем крупности не менее 1,7.
3.1.8	При изготовлении свай допускается использовать следующие добавки: суперпластификаторы, ускорители твердения, замедлители схватывания, ингибиторы коррозии и противоморозные добавки.
3.1.9	Вода для бетонной смеси водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10,0 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) от 4,0 до 12,5
3.1.10	Запрещается добавлять в бетонную смесь воду для увеличения ее подвижности
3.1.11	Подбор состава бетонной смеси с определением состава и количества добавок выполняется строительной лабораторией
3.1.12	Армирование свай предусмотрено на всю длину и выполняется отдельными секциями из пространственных сварных каркасов. Соединение каркасов между собой выполнять внахлестку с помощью вязальной проволоки
3.1.13	В качестве продольных стержней пространственного каркаса принята: – арматура диаметром 18,0 мм класса А500С. Поперечное армирование из арматуры диаметром 10,0 мм класса А240. Защитный слой бетона не менее 30,0 мм
3.1.14	Жесткость пространственного каркаса обеспечивается стальными кольцами из труб диаметрами по 159,0 мм с толщиной стенки не менее 4,0 мм
3.1.15	Для обеспечения защитного слоя бетона предусмотрены центраторы из стальных полос шириной по 20,0 мм толщиной 4,0 мм в количестве не менее 3-х в одном поперечном сечении арматурного каркаса с шагом по длине каркаса не более 2,0 м
3.1.16	Ручная дуговая сварка элементов пространственного каркаса между собой осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А
3.1.17	Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)	
3.2.1	Технологическая последовательность изготовления свай в неустойчивых грунтах включает следующие операции:
	3.2.1.1 Формирование скважины требуемой глубины и диаметра бурением проходными полыми шнеками
	3.2.1.2 Нагнетание (инъекция) мелкозернистой бетонной смеси с одновременным медленным подъемом шнека и контролем подачи бетонной смеси в буровую скважину
	3.2.1.3 Электроразрядная обработка скважины, заполненной бетонной смесью
	3.2.1.4 Установка пространственных каркасов с одновременной их стыковкой между собой
3.2.1.5 Уход за бетоном оголовка	
3.2	Технологическая последовательность изготовления свай в устойчивых грунтах включает следующие операции:
	3.2.2.1 Формирование скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением
	3.2.2.2 Нагнетание (инъекция) в скважину мелкозернистой бетонной смеси
	3.2.2.3 Электроразрядная обработка скважины, заполненной бетонной смесью
	3.2.2.4 Установка пространственных каркасов с одновременной их стыковкой между собой
3.2.2.5 Уход за бетоном оголовка	
3.2.3	Допускается выполнять электроразрядную обработку скважины после установки пространственных арматурных каркасов
3.2.4	При устройстве свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 2,5 м от предыдущей. Бурение скважин рядом с ранее изготовленными сваями допускается лишь по прошествии не менее 48 часов после окончания бетонирования последних

	3.2.5	До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранной зоны, устанавливаемой в соответствии с указаниями позиции 3.22 СНиП 3.02.01-87 [276]
	3.2.6	В случае обнаружения не указанных в проекте подземных сооружений, коммуникаций или обозначающих их знаков работы должны быть приостановлены, на место работы вызваны представители заказчика и организаций, эксплуатирующих обнаруженные коммуникации, и приняты меры по предохранению обнаруженных подземных устройств от повреждения. Допускается вынос заказчиком существующих коммуникаций из зоны производства работ при наличии письменного разрешения эксплуатирующих организаций
	ФОРМИРОВАНИЕ СКВАЖИНЫ БУРЕНИЕМ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ	
	3.2.1.1	Бурение проходными шнеками в соответствии с проектом производства работ. По мере извлечения шнека полость скважины синхронно заполняется бетонной смесью с плотностью большей, чем у грунта, что обеспечивает устойчивость стенок скважины
	3.2.1.2	Установка для бурения УБГ-СГ «БЕРКУТ» или его аналог
3.2.1	3.2.1.3	В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине: установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента, зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Установить соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины с проектом в основании свай. При несоответствии глубины заделки бурового инструмента в этот грунт приостановить работы и пригласить представителей проектной организации для принятия решения (корректировка длины, изменение количества свай и т.д.). Работы можно продолжить только после получения разрешения представителя авторского надзора, которое должно быть оформлено в Журнале авторского надзора
	3.2.1.4	Подъем бурового инструмента следует проводить медленно после того, как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта

НАГНЕТАНИЕ (ИНЪЕКЦИЯ) СКВАЖИНЫ МЕЛКОЗЕРНИСТОЙ БЕТОННОЙ СМЕСЬЮ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ		
3.2.2	3.2.2.1	После бурения скважины до заданной глубины проходным шнеком в полость шнека следует подать 40,0 – 50,0 л цементного молока с В:Ц = 1:1. Затем полость шнека заполнить бетонной смесью, открыть клапан, совмещенный с буровой колонкой, и через полость в шнеке нагнетать в скважину бетонную смесь. После заполнения свободного пространства под долотом шнек поднять с одновременной непрерывной подачей в скважину бетонной смеси. Скорость подъема синхронизировать со скоростью подачи бетонной смеси в скважину, для чего следует контролировать движение бетонной смеси для предотвращения образования пониженного давления в скважине под шнеком
	3.2.2.2	Приготовление мелкозернистого бетона производить на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи бетона применяется пневморастворонагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). Давление нагнетания – 0,5 – 5,0 МПа
	3.2.2.3	Следует контролировать объем закачиваемой в скважину бетонной смеси, сопоставляя его с проектным, и объемом выбуренного грунта, смеси должен превышать объем выбуренного грунта
	3.2.2.4	После извлечения бурового инструмента из скважины до устья скважины заполнить бетонной смесью
	3.2.2.5	Перерывы в подаче отдельных порций бетонной смеси не должны превышать срока схватывания, установленного лабораторией
ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНАЯ ОБРАБОТКА СКВАЖИНЫ, ЗАПОЛНЕННОЙ БЕТОННОЙ СМЕСЬЮ		
3.2.3	3.2.3.1	Мощность накапливаемой энергии составляет не менее 40,0 кДж.
	3.2.3.2	Обработка забоя:
		3.2.3.2.1
3.2.3.2.2	Производится серия из 15 электро-взрывов и до падения уровня бетонной смеси («уходы») в скважине не менее 20,0 см	

	3.2.3.3	Формирование тела сваи по длине ствола выполнять ярусами с шагом ярусов электроразрядной обработки 1,0 м и количестве электровзрывов на каждом горизонте не менее пяти
	3.2.3.4	Верхняя часть ствола сваи на глубину 2,0 м электроразрядной обработке не подвергается
	3.2.3.5	В процессе формирования тела сваи необходимо периодически доливать бетонную смесь до устья скважины. Долив смеси производить после перемещения излучателя вверх на новый горизонт и снижения уровня бетонной смеси
	3.2.3.6	По результатам контроля падения уровня бетонной смеси в опытной скважине или объема добавляемой бетонной смеси и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента, при необходимости, откорректировать программу обработки свай электрическими разрядами
	МОНТАЖ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КАРКАСОВ	
3.2.4	3.2.4.1	Нижнюю секцию арматурного каркаса погружают в скважину и вывешивают для соединения со второй секцией. Верхнюю секцию устанавливают соосно нижней, и секции стыкуют между собой, закрепив их вязальной проволокой
	3.2.4.2	Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане
	3.2.4.3	При погружении арматурного каркаса в скважину допускается:
		3.2.4.3.1
3.2.4.3.2		Использование вибраторов, вибропогружателей общей мощностью до 5,0 кВт
3.2.4.3.3	Поднятие на высоту до 4,0 м и опускание каркаса: погружение «в расходку»	

Продолжение таблицы 4.5

3.2.4.4	Если при погружении арматурного каркаса в скважину, встретится препятствие и каркас не будет погружаться, следует:	
	3.2.4.4.1	Арматурный каркас извлечь из скважины
	3.2.4.4.2	Установить заливочную колонну на забой скважины
	3.2.4.4.3	Промыть скважину бетонной смесью, до выхода на поверхность комков разуплотненного грунта
	3.2.4.4.4	Убрать заливочную колонну
	3.2.4.4.5	Опустить арматурный каркас в скважину
3.2.4.5	Секции каркасов перед установкой следует очистить от случайно налипшего не него грунта	
3.2.5	УХОД ЗА БЕТОНОМ	
	3.2.5.1	В течение первых двух суток после изготовления сваи следует контролировать уровень бетонной смеси в скважине и периодически через трубуинъектор доливать бетонную смесь до устья скважины
	3.2.5.2	При формировании оголовков свай каждый слой бетонной смеси следует укладывать до начала схватывания бетона предыдущего слоя
	3.2.5.3	Сразу после окончания бетонирования, выступающие над поверхностью земли оголовки свай, включая выпуски арматуры, следует укрывать паро-теплоизоляционными материалами
	3.2.5.4	В процессе работ выпуски арматурного каркаса необходимо защищать от загрязнения
	3.2.5.5	В начальный период ухода свежестеленная бетонная смесь в оголовках свай должна быть защищена от обезвоживания укрытием влагонепроницаемым материалом
	3.2.5.6	Непосредственно перед устройством обвязочной балки бетон выше уровня проектной отметки оголовка сваи отбивается после набора не менее 70 % прочности

ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА		
3.2.6	3.2.6.1	За три дня до производства бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже +5 °С или минимальная суточная температура ниже 0 °С, предусматривать в бетонные смеси противоморозные добавки
	3.2.6.2	Бетонная смесь с противоморозными добавками при укладке должна иметь температуру не ниже +10 °С
	3.2.6.3	При температуре грунта ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок должно вводиться из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения бетоном необходимой прочности
	3.2.6.4	Для снижения теплотерь в процессе твердения бетона после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса должна быть утеплена
	3.2.6.5	Не допускается перегрев бетона свай (нагрев более 70 °С)
	3.2.6.6	В течение 4 часов после установки арматурного каркаса в скважину следует доливать бетонную смесь
	3.2.6.7	Для исключения промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха
	3.2.6.8	После окончания работ и перерывах в работе более 50 мин. шланги для подачи бетона промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ шланги развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой
	3.2.6.9	При температуре ниже – 20 °С работы по изготовлению свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) должны быть остановлены
3.2.7	ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ТЕМПЕРАТУРЕ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА + 25°С	
	3.2.7.1	Температура бетонной смеси не должна превышать + 35 °С

Продолжение таблицы 4.5

	3.2.7.2	Доливка бетонной смеси после установки арматурного каркаса должна осуществляться через каждый час	
	3.2.7.3	После стабилизации усадки бетонной смеси оголовки свай должны быть покрыты влажным песком слоем 50 мм, и периодически по мере высыхания поливаться водой	
	3.2.7.4	При температуре выше + 35 °С работы по изготовлению свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) должны быть остановлены	
	ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)		
3.3	3.3.1	При изготовлении буроналивочных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) следует освидетельствовать:	
		3.3.1.1	Планово-высотную их привязку
		3.3.1.2	Диаметр и глубину скважин на соответствие проекту
		3.3.1.3	Вид грунта в основании сваи и его соответствие учтенному проектом (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ))
		3.3.1.4	Уплотнение грунта в основании сваи, разрушенного буровым инструментом
		3.3.1.5	Соответствие арматурного каркаса проекту (число секций, длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узел соединения секций) и глубину погружения каркаса в скважину
		3.3.1.6	Качество приготавливаемой бетонной смеси (расход материалов, подвижность)
		3.3.1.7	Глубину погружения заливочной колонны в скважину и качество заполнения скважин бетоном
		3.3.1.8	Затруднения при погружении арматурного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки – свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ))
		3.3.1.9	Погружение электродной системы

		3.3.1.10	Расход бетонной смеси, используемой при производстве свай ЭРТ (РИТ, ЭРСТ, ФОРСТ)
		3.3.1.11	При заполнении скважины
		3.3.1.12	При промывке
		3.3.1.13	При обработке нижнего конца и на каждом горизонте
		3.3.1.14	Суммарный расход бетона на скважину
	3.3.2	Контроль прочности бетона осуществлять по ГОСТ 18105-2018 [62] и ГОСТ 10180-2012 [54] путем отбора проб бетонной смеси на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п. 4.3.2 ГОСТ 10180-2012 [54]	
	3.3.3	Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в СП 48.13330.2019 [466], должны составляться на завершённый процесс (сваю ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены	
	3.3.4	Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) не освидетельствованные техническим надзором заказчика	
	3.3.5	Работы производить в соответствии с указаниями СНиП 3.02.01-87 [276], СНиП 3.04.03-85 [278], СНиП 3.03.01-87 [277], СП 48.13330.2019 [466], СНиП 12-03-2001 [281], СНиП 12-04-2002 [282], ТР 50-180-06 [497], проектов производства работ (ППР)	
	3.3.6	Качество основных материалов определяется требованиями Градостроительного кодекса и Закона о техническом регулировании, что должно быть подтверждено сертификатами соответствия, государственным стандартом РФ. На расходные и вспомогательные материалы (вязальная проволока, долота, шнеки, пакля, электроды, катанка, монтажные детали, фиксаторы) сертификаты или паспорта качества не представляются	

3.4	МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕРИОД ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ	
	3.4.1	Работы должны производиться с выполнением требований техники безопасности при производстве работ, пожарной безопасности и охраны окружающей среды
	3.4.2	На период производства работ не должно быть доступа посторонних лиц к строительным машинам, механизмам, оборудованию и конструкциям
	3.4.3	После окончания работ по объекту категорически запрещается вскрытие свай, как по длине участка, так и по глубине до набора бетоном проектной прочности
4	КОНСТРУИРОВАНИЕ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ	
	4.1	Конструкции анкерного крепления: грунтовые анкера, детали для крепления опоры грунтового анкера
	4.2	Расчетная нагрузка на анкер R_w .
	4.3	Свободная длина грунтового анкера обусловлена призмой обрушения стенки котлована, форма которой определена расчетом общей устойчивости конструкции методом логарифмических спиралей
	4.4	Принятая маркировка грунтовых анкеров: АГ 24/11 (полная длина анкера 24,0 м, длина корня 11,0 м)
	4.5	Буровой диаметр для грунтовых анкеров – 150,0 мм, выполняются под углом 25 – 35 град. к горизонту (согласно проекту)
4.1	КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ	
	4.1.1	Для грунтовых анкеров применять цементные растворы с водоцементным отношением (по массе) В:Ц = 0,5:1
	4.1.2	Для цементных растворов использовать портландцемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500
	4.1.3	Не допускается применение пуццолановых, глиноземистых и шлаковых портландцементов

	4.1.4	Вода для цементных растворов водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) от 4,0 до 12,5	
	4.1.5	В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 36 мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 90,0 мм) и винтовая арматура 25 Ат 800	
	4.1.6	Для центрирования в скважине по всей длине тяги предусмотрены фиксаторы (шаг не более 2,0м) из отрезков пластиковых труб с продольными разрезами по периметру	
	4.1.7	Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается	
	4.1.8	Ручная дуговая сварка элементов анкерного каркаса осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А	
	4.1.9	Детали для крепления опоры грунтового анкера за распределительную пластину (плиту): сферическая, коническая и косая шайбы (Ст45), гайка стопорная (Ст3)	
4.2	ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО АНКЕРА		
	4.2.1	Технологическая последовательность изготовления свай в неустойчивых грунтах включает следующие операции:	
		4.2.1.1	Формирование скважины требуемой глубины и диаметра бурением проходными полыми шнеками
		4.2.1.2	Цементация скважины цементным раствором с одновременным медленным подъемом шнека и контролем подачи раствора в скважину
		4.2.1.3	Электроразрядная обработка скважины на уровне корня
	4.2.1.4	Установка анкерного каркаса в проектное положение	
4.2.2.	Технологическая последовательность изготовления анкеров в устойчивых грунтах включает следующие операции:		

Продолжение таблицы 4.5

		4.2.2.1	Формирование скважины требуемой глубины и диаметра шнековым бурением
		4.2.2.2	Заполнение до устья скважины цементным раствором
		4.2.2.3	Электроразрядная обработка скважины на уровне корня
		4.2.2.4	Установка пространственного анкерного каркаса в проектное положение
	4.2.3	При устройстве анкеров последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 1,5 м от предыдущей. Бурение скважин рядом с ранее изготовленными анкерами допускается лишь по прошествии не менее 48 часов после окончания бетонирования последних	
	4.2.4	Несущая способность каждого анкера должна проверяться до включения его в работу совместно с закрепляемой конструкцией путем проведения контрольных или приемочных испытаний на максимальную испытательную нагрузку	
	4.2.5	До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранной зоны, устанавливаемой в соответствии с позицией 3.22 СНиП 3.02.01-87 [276]	
	4.2.6	В случае обнаружения не указанных в проекте подземных сооружений, коммуникаций или обозначающих их знаков работы должны быть приостановлены, на место работы вызваны представители заказчика и организаций, эксплуатирующих обнаруженные коммуникации, и приняты меры по предохранению обнаруженных подземных устройств от повреждения. Допускается вынос заказчиком существующих коммуникаций из зоны производства работ при наличии письменного разрешения эксплуатирующих организаций.	
	ФОРМИРОВАНИЕ СКВАЖИНЫ БУРЕНИЕМ В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ		
4.2.1	4.2.1.1	Бурение следует выполнять проходными шнеками в соответствии с проектом производства работ. По мере извлечения шнека полость скважины синхронно заполняется бетонной смесью с плотностью большей, чем у грунта, что обеспечивает устойчивость стенок скважины	

	4.2.1.2	Установка для бурения скважин УБГ-СГ «БЕРКУТ» или его аналог
	4.2.1.3	Бурение выполняется с рабочих отметок, указанных в проекте
	4.2.1.4	Для разворота буровых машин и возможности установки анкерных каркасов ширина грунтовой бермы должна составлять не менее 15 м
	4.2.1.5	В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине: установить характеристики грунта основания по остаткам грунта на элементах бурового инструмента, зафиксировать этот факт соответствующей записью в журнале свайных работ. Установить соответствие грунта, обнаруженного в забое скважины и учтенного в проекте на уровне корня анкера. При несоответствии глубины заделки бурового инструмента в этот грунт пристановить работы и пригласить представителей проектной организации для принятия решения (корректировка длины, изменение количества анкеров и т.д.). Работы можно продолжить только после получения разрешения представителя авторского надзора, которое должно быть оформлено в журнале авторского надзора.
	4.2.1.6	Подъем бурового инструмента следует проводить медленно после того, как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта
	ЦЕМЕНТАЦИЯ СКВАЖИНЫ ГРУНТОВОГО АНКЕРА В НЕУСТОЙЧИВЫХ ГРУНТАХ	
4.2.2	4.2.2.1	После бурения скважины до заданной глубины проходным шнеком полость шнека заполнить цементным раствором В:Ц = 0,5:1, открыть клапан, совмещенный с буровой колонкой, и через полость в шнеке нагнать в скважину раствор. После заполнения свободного пространства под долотом шнек поднять с одновременной непрерывной подачей в скважину цементного раствора. Скорость подъема синхронизировать со скоростью подачи раствора в скважину, для чего следует контролировать движение цементного раствора для предотвращения образования пониженного давления в скважине под шнеком
	4.2.2.2	Цементный раствор заполняется до устья скважины

Продолжение таблицы 4.5

	4.2.2.3	Приготовление цементного раствора производить на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи раствора применяется пневморастворонагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). Давление нагнетания 0,5 – 5,0 МПа
	4.2.2.4	Следует контролировать объем закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным, и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта
	ПРОГРАММА ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ СКВАЖИНЫ, ЗАПОЛНЕННОЙ ЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ	
	4.2.3.1	Мощность накапливаемой высоковольтной энергии не менее 50,0 кДж
	4.2.3.2	Длина кабеля от генератора импульсных токов (ГИТ) до электродной системы не более 80,0 м, включая длину анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50,0 м, высоковольтный кабель КВИМ – 30,0 м)
4.2.3	4.2.3.3	Обработка электрическими разрядами производится на длине корня анкера сериями не менее 13 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней от 0,8 – 0,9 м. Расчетное увеличение бурового диаметра (150,0 мм) довести до 200,0 мм, для этого следует контролировать уровень раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения обработки. При этом уровень раствора в скважине при обработке одного уровня должен понижаться на величину не менее 15,0 см. При чем, если за последние пять электрических разрядов уровень раствора понизится более чем на 1,0 см, продолжить обработку уровня до достижения «отказа». За «отказ» принимается понижение уровня раствора в скважине за последние пять разрядов не более 10,0 мм. Для установления факта «отказа» осуществлять контроль изменения уровня раствора в скважине после каждого разряда или серии из не менее пяти разрядов
	4.2.3.4	Осуществлять контроль за тем, чтобы общий объем поданного в скважину раствора, включая доливку, превышал объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины)

	4.2.3.5	По результатам контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента откорректировать программу обработки корня анкеров электрическими разрядами
4.2.4	МОНТАЖ АНКЕРНОГО КАРКАСА	
	4.2.4.1	Опускать анкерный каркас в скважину следует плавно, без рывков
	4.2.4.2	Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане
	4.2.4.3	Каркас перед установкой следует очистить от случайно налипшего на него грунта
4.2.5	ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА	
	4.2.5.1	За три дня до производства бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже + 5 °С или минимальная суточная температура ниже 0 °С, предусматривать в цементные растворы противоморозные добавки
	4.2.5.2	Цементный раствор с противоморозными добавками при укладке должен иметь температуру не ниже + 10°С
	4.2.5.3	При температуре грунта ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок должно вводиться из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения раствором необходимой прочности
	4.2.5.4	Для снижения теплотерь в процессе твердения бетона после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса должна быть утеплена
	4.2.5.5	Не допускается перегрев цементного раствора (нагрев более 70 °С)
	4.2.5.6	Допускается не применять противоморозные добавки в цементных растворах, заполняемых в скважины ниже глубины сезонного промерзания грунта

Продолжение таблицы 4.5

	4.2.5.7	После окончания работ и перерывах в работе более 50 мин. шланги для подачи раствора промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ шланги развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой	
	4.2.5.8	Для исключения промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха	
	4.2.5.9	При температуре ниже -20°C работы по изготовлению грунтовых анкеров должны быть остановлены	
	ПОРЯДОК НАТЯЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ		
	4.3.1	До начала работ должны быть установлены все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке	
	4.3.2	Косые шайбы должны быть приварены к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса	
	4.3.3	Прочность цементного камня корня анкера должна быть не менее 20 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров должны быть отобраны 9 кубиков $10 \times 10 \times 10$ см, которые испытываются в возрасте 3,7 (для внутреннего пользования) и 10 суток (для отчета)	
4.3	4.3.4	Контрольные испытания проводят, если они не назначены, на каждом десятом анкере, начиная с нагрузки $P_0=0,2*P_{и}$. Испытательная нагрузка $P_{и}=1,5*P_w$ (согласно ВСН 506-88 [26])	
	4.3.4.1	Анкер нагружается ступенями. Порядок нагружения	
		4.3.4.1.1	1 ступень – P1
		4.3.4.1.2	2 ступень – P2
		4.3.4.1.3	3 ступень – P3
4.3.4.1.4		4 ступень – P4	
4.3.4.1.5		5 ступень – P5	
4.3.4.1.6		6 ступень – P6	
4.3.4.1.7	7 ступень – испытательная нагрузка $P_{и}$		
4.3.4.2	Каждую ступень выдерживают не менее 15 мин. до наступления стабилизации анкера. Затем производят разгрузку до величины P_0 , при которой измеряют упругие и остаточные перемещения. Фиксацию величин перемещений производят на каждой ступени через каждые 3 мин		

4.3.4.3	За критерий условной стабилизации деформаций при испытании анкеров принимать скорость перемещения на данной ступени нагружения, не превышающую 0,1 мм за последние 15 мин
4.3.4.4	Последнюю ступень нагрузки выдерживают до наступления стабилизации анкера в течение 30 мин., затем снижают до величины P_0 , замеряют упругие и остаточные перемещения грунтового анкера и доводят нагрузку до значения P_6 (блокировочная нагрузка), потом закрепляют анкер на опорной конструкции
4.3.5	В случае недостижения испытательной нагрузки в процессе проведения контрольных испытаний, за испытательную нагрузку принять – нагрузку последней стабилизировавшейся ступени (несущая способность грунтового анкера), с последующим вычислением расчетной нагрузки на анкера с учетом коэффициента надежности, равным 1,2. С учетом этого автором проекта корректируется блокировочная нагрузка и корректируется проектное решение
4.3.6	При малых значениях абсолютных перемещений анкера (менее 20,0 мм) после достижения стабилизации деформаций при контрольных испытаниях произвести догружение грунтового анкера ступенями равными $P_0 = 0,2 \cdot P_i$ с выдерживанием на каждой новой ступени стабилизации деформаций. За критерий стабилизации деформаций принять величину согласно позиции 4.3. При этом должна обеспечиваться прочность материала и узлов анкерного крепления на сверхпроектные нагрузки
4.3.7	Приемочным испытаниям подвергается каждый рабочий грунтовой анкер, за исключением анкеров, подвергнутых контрольным испытаниям. Испытательная нагрузка для анкера назначается по формуле $P_i = 1,5 \cdot P_w$. Приемочные испытания начинают с нагрузки P_0 , при которой фиксируют начальные отчеты перемещения анкера. И доводят до величины P_i , выдерживая её в течение 15 мин., и замеряя перемещение анкера через 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин., далее уменьшают нагрузку до величины P_0 , замеряя упругое перемещение анкера, увеличивают нагрузку до блокировочной P_6 и закрепляют анкер на конструкции

Продолжение таблицы 4.5

	4.3.8	Несущая способность и испытательные нагрузки приемочных анкеров определяются как минимальное значение результатов испытаний из не менее чем двух ближайших контрольных анкеров	
	4.3.9	Загрузка приемочных грунтовых анкеров свехпроектными нагрузками допускается только после контрольных статических испытаний	
4.4.	4.4.1	4.4.1.1	Планово-высотную привязку свай
		4.4.1.2	Диаметр и глубину скважин на соответствие проекту
		4.4.1.3	Вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проектом (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании)
		4.4.1.4	Уплотнение грунта в основании свай, разрушенного буровым инструментом
		4.4.1.5	Соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину
		4.4.1.6	Затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня)
		4.4.1.7	Погружение электродной системы
		4.4.1.8	Расход цементного раствора, используемого при производстве грунтовых анкеров ЭРТ
		4.4.1.9	При заполнении скважины
		4.4.1.10	При обработке корня на каждом горизонте
		4.4.1.11	Суммарный расход раствора на скважину
		При изготовлении следует освидетельствовать:	
	4.4.2	Контроль прочности осуществлять по требованиям ГОСТ 18105-2018 [62] и ГОСТ 10180-2012 [41] путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п.4.3.2 ГОСТ 10180-2012 [54].	

	4.4.3	Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в своде правил СП 48.13330.2019 [466], должны составляться на завершённый процесс (грунтовый анкер), выполненный самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены
	4.4.4	Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению грунтовых анкеров ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика
	4.4.5	Работы производить в соответствии со СНиП 3.02.01-87 [276], СНиП 3.04.03-85 [278], СНиП 3.03.01-87 [277], СП 48.13330.2019 [466], СНиП 12-03-2001 [281], СНиП 12-04-2002 [282], ТР 50-180-06 [497], проектов производства работ (ППР)
	4.4.6	Качество основных материалов определяется требованиями Градостроительного кодекса и Закона о техническом регулировании, что должно быть подтверждено сертификатами соответствия, государственным стандартом РФ. На расходные и вспомогательные материалы (вязальная проволока, долота, шнеки, пакля, электроды, монтажные детали, фиксаторы) сертификаты или паспорта качества не представляются.
4.5	МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕРИОД ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ	
	4.5.1	Работы должны производиться с выполнением требований техники безопасности при производстве работ, пожарной безопасности и охраны окружающей среды
	4.5.2	На период производства работ не должно быть доступа посторонних лиц к строительным машинам, механизмам, оборудованию и конструкциям
5	КОНСТРУИРОВАНИЕ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ	
	5.1	Элементы подпорной стенки: монолитная фундаментная плита, контрфорс, стеновая часть
	5.2	Анкеровка (арматурный выпуск из головы сваи) в железобетонную плиту 850,0 мм

Продолжение таблицы 4.5

	5.3	Заделка головы (железобетонный оголовок) сваи в железобетонную плиту 50,0 мм
	5.4	Поверхности подпорной стены, заглубленные в грунт, обмазать битумной мастикой за два раза по праймированному основанию
	МАТЕРИАЛЫ ПОДПОРНОЙ СТЕНКИ	
5.1	5.1.1	Бетон тяжелый класса по прочности В25, марка по водонепроницаемости не ниже W6, морозостойкость F150, удобоукладываемость мелкозернистой бетонной смеси П4-П5, проверяется осадкой конуса АЗНИИ
	5.1.2	Осадка конуса бетонной смеси не менее 21,0 см, крупность заполнителя (гранитный щебень) – не более 40,0 мм
	5.1.3	Устройство монолитной плиты выполнять на подготовке из бетона класса В7,5 толщиной 100,0 мм
	5.1.4	Армирование конструкций производится отдельными стержнями с шагом 200,0 мм. Продольная и поперечная арматура класса А500С. В местах стыковки арматурных стержней выполнить нахлест величиной, равной 50 диаметрам арматуры. Защитный слой бетона для рабочей арматуры не менее 40,0 мм
	5.1.5	На всех остальных пересечениях соединения осуществлять с помощью вязальной проволоки
	5.1.6	Ручная дуговая сварка арматуры между собой осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А
	УКАЗАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТ	
5.2	5.2.1	При разработке котлована под монолитные конструкции для исключения возможности попадания в него поверхностных вод на основании требований п.1.3 СНиП 3.01.01-85 [275] в составе подготовительных работ выполнить временный водоотвод со строительной площадки посредством планировки территории площадки, обеспечивающий их быстрый отток с помощью постоянных или временных устройств в соответствии с требованиями СНиП 3.02.01-87 [276]
	5.2.2	Перед бетонированием конструкций горизонтальные поверхности должны быть очищены от мусора, грязи, масел, снега и льда, цементной пленки и др. Непосредственно перед укладкой бетонной смеси очищенные поверхности должны быть промыты водой и просушены струей воздуха

5.2.3	Бетонную смесь укладывать горизонтальными слоями без технологических разрывов с направлением укладки в одну сторону. После укладки и распределения бетонной смеси по всей площадке укладываемого слоя уплотнение начать с опережающего участка
5.2.4	При невозможности непрерывного бетонирования допускается устройство рабочих швов с местоположением их по согласованию с авторами проекта. Контактные поверхности следует очистить от цементной пленки. Цементную пленку следует удалять, как правило, сразу после окончания схватывания цемента (в жаркую погоду через 6 – 8 часов после окончания укладки, в прохладную – через 12 – 24 часа). Очистка бетонной поверхности от цементной пленки должна производиться без повреждения поверхности бетона, прочность бетона должна быть в пределах 2 – 3 кгс/см ² при обработке воздушной струей и 15 – 25 кгс/см ² при механической обработке металлической щеткой. Для удаления цементной пленки с поверхности бетона запрещается пользоваться ударными инструментами (отбойными молотками, перфораторами, бетоноломами и т.д.). Подготовленную к укладке бетонной смеси поверхность затвердевших рабочих швов непосредственно перед продолжением бетонирования следует обмазать коллоидным клеем М400 (водоцементное отношение не более 0,35) толщиной не более 5,0 мм
5.2.5	Бетонную смесь уплотнять вибраторами до прекращения оседания и появления на поверхности блеска цементного теста
5.2.6	Запрещается использовать бетонную смесь, потерявшую удобоукладываемость. Добавление воды для повышения подвижности не допускается
5.2.7	При уплотнении бетонной смеси не допускается опирание вибраторов на арматуру и закладные изделия, тяжи и другие элементы крепления опалубки. Глубина погружения глубинного вибратора в бетонную смесь должна обеспечивать углубление его в ранее уложенный слой на 5,0 – 10,0 см. Шаг перестановки глубинных вибраторов не должен превышать полуторного радиуса их действия, для поверхностных вибраторов должен обеспечивать перекрытие на 100,0 мм площадкой вибратора границы уже провибрированного участка

Продолжение таблицы 4.5

	5.2.8	В начальный период твердения бетон необходимо защищать от попадания атмосферных осадков или потерь влаги, в последующем поддерживать температурновлажностный режим с созданием условий, обеспечивающих нарастание его прочности
	5.2.9	Мероприятия по уходу за бетоном, порядок и сроки их твердения, контроль за их выполнением и сроки распалубки конструкций должны устанавливаться проектом производства работ (ППР)
	5.2.10	Движение людей по забетонированным конструкциям и установка опалубки вышележащих конструкций допускается после достижения бетоном прочности не менее 1,5 МПа
	5.2.11	Засыпку пазух изготовленных конструкций мерзлым грунтом выполнять не допускается
	УКАЗАНИЯ ПО ПРОИЗВОДСТВУ РАБОТ В ЗИМНЕЕ ВРЕМЯ	
5.3	5.3.1	При разработке котлована и возведении монолитных конструкций в зимних условиях грунты основания должны быть предохранены от промерзания путем недобора грунта или путем укрытия торфом, опилками, шлаком, соломой, стружкой или другим местным материалом в соответствии с ППР. Не допускается выполнять конструкции на замороженном основании
	5.3.2	Бетонные работы должны производиться с соблюдением требований СНиП 3.03.01-87 [277]
	5.3.3	Способы и средства транспортирования должны обеспечивать предотвращение снижения температуры бетонной смеси ниже требуемой по расчету
	5.3.4	Опалубка и арматура перед бетонированием должны быть очищены от снега и наледи
	5.3.5	Монолитные конструкции выполнять способом обогрева. Прочность бетона к моменту замерзания должна быть не менее 70% проектной прочности
	5.3.6	В бетон для монолитных бетонных конструкций должны вводиться противоморозные добавки
	5.3.7	Для предотвращения прилипания и замерзания бетонной смеси в опалубке необходимо обеспечить предварительный прогрев рабочих палуб опалубки до + 5 °С

	5.3.8	При отрицательных температурах необходимо обеспечить обогрев бетона до достижения им 50 % прочности
	5.3.9	Укладываемая бетонная смесь должна иметь температуру не менее 5 °С
	5.3.10	Скорость подъема температуры бетонной смеси не должна превышать 10 °С/час. Оптимальная температура бетонной смеси в режиме изотермического выдерживания 65 °С
	5.3.11	Величина требуемой мощности обогревательных приборов 0,8 – 1,0 кВт на 1 кв.м опалубливаемой поверхности бетона
	5.3.12	Для обеспечения контроля за набором прочности бетона по существующим графикам необходимо замерять температуру бетонной смеси в контрольных скважинах через каждые два часа с записью в температурных листах. Местонахождения контрольных скважин определяется, в основном, наиболее опасными для прогрева точками
	5.3.13	Загружение конструкций расчетной нагрузкой допускается после достижения бетоном 100 % проектной прочности
	5.3.14	Не допускается укладка бетонной смеси монолитных конструкций при температуре воздуха ниже – 15 °С
5.4	МЕРОПРИЯТИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НОРМАЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ, ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БЕЗОПАСНОСТИ НА ПЕРИОД ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ И ЭКСПЛУАТАЦИИ	
	5.4.1	Работы должны производиться с выполнением требований техники безопасности при производстве работ, пожарной безопасности и охраны окружающей среды
	5.4.2	На период производства работ не должно быть доступа посторонних лиц к строительным машинам, механизмам, оборудованию и конструкциям
	5.4.3	После возведения монолитной подпорной и стены, во время ее эксплуатации, исключить влияние на нее динамических воздействий при производстве строительно-монтажных работ (СМР) от стрелочного оборудования: погружения сборных железобетонных свай, уплотнения грунтовых подушек тяжелыми трамбовками и других источников колебаний

4.3. Опыт устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях

Строительство объектов в стесненных условиях всегда является сложной геотехнической проблемой, связанной с обеспечением безаварийной эксплуатации зданий и сооружений окружающей застройки. В арсенале геотехников накоплен большой потенциал геотехнических технологий устройства ограждений котлованов. Зачастую не все подходят для условий их использования в стесненных условиях. Наиболее приспособлены для таких случаев технологии, используемые пробуренные скважины ((скважины под буровые (буроинъекционные) сваи и грунтовые анкера)) с последующим заполнением их бетоном и при этом не нарушающие напряженно-деформированного состояния окружающего их грунта. Использование буроинъекционных свай и грунтовых анкеров, устраиваемых по электро-разрядной технологии (технология ЭРТ) во многих случаях успешно разрешает проблему строительства в стесненных условиях. В главе приводится один из геотехнических случаев устройства ограждения котлована в особо стесненных условиях.

Строительство зданий и сооружения в стесненных условиях требует от строителей и геотехников пристального внимания [166; 243; 245; 286; 327; 389; 341; 344; 345; 358; 424], связанного с необходимостью сохранения объектов окружающей застройки. В рассматриваемой главе приведен удачный пример устройства ограждения котлована строящегося здания, размещенного в окружении существующих сооружений.

В административном отношении участок строительства шестиэтажного жилого расположен в г. Нижний Новгород в стесненных условиях городской застройки. Он возведен на свободной от застройки территории. В окружении строящего дома в зоне геотехнического влияния имеются шесть объектов существующей застройки (см. рис. 4.6), в том числе два объекта ОКН (объекты культурного наследия).

В геоморфологическом отношении участок изысканий расположен на водораздельном плато рек Оки и Волги. Отметки поверхности земли в пределах участка изменяются от 135,9 м до 136,3 м Б.С. (по устьям инженерно-геологических выработок). Рельеф спланированный.

Инженерно-геологическое строение участка до глубины 20,0 м представлено нерасчлененными верхне-средне-четвертичными лессовыми супесями (**prQII-III**), вскрытой мощностью 1,7 – 2,5 м, нерасчлененными верхне-средне-четвертичными лессовыми суглинками (**prQII-III**), мощностью 14,5 – 16,6 м, с поверхности отложения перекрыты насыпным грунтом (**tQIV**), мощностью 1,7 – 3,0 м.

Все инженерно-геологические выработки нанесены на план расположения инженерно-геологических выработок. Геолого-литологическое строение участка характеризуется колонками скважин и инженерно-геологическими разрезами. **Гидрогеологические условия** участка до глубины 20,0 м на момент проведения изысканий (июль-август 2017 г.) характеризуются наличием водоносного горизонта, приуроченного к четвертичным отложениям. Уровень подземных вод зафиксирован на глубинах 4,5 – 6,4 м. Водоносный горизонт безнапорный, водовмещающими грунтами являются лессовые суглинки. Водоупор скважинами не вскрыт. Питание водоносного горизонта осуществляется за счет инфильтрации атмосферных осадков и утечек из водонесущих коммуникация.

Геолого-литологическое строение участка представлено в таблице 4.6.

Таблица 4.6

Геолого-литологическое строение участка

№ слоя	Возраст, генезис, описание грунтов, площадное распространение	Мощность, м
Современные пролювиально-делювиальные отложения (pdQIV)		
1	tQIV – насыпной грунт: песок коричневый пылеватый, с включением щебня, строительного мусора, арматуры; кирпич; суглинок с включением песка, кирпича, щебня, строительного мусора; супесь темно коричневая, с включением строительного мусора с примесью торфа. Вскрыт всеми скважинами с поверхности.	1,7 – 3,0
Нерасчлененные средне-верхнечетвертичные отложения (prQII- III)		
2	prQII-III – суглинок лессовый коричневый, темно-коричневый, с прослоями супеси. Вскрыт всеми скважинами в средней части разреза	14,5 – 16,6
3	prQII-III – супесь лессовая коричневая, с прослоями суглинка. Вскрыт всеми скважинами	Вскрытая 1,7 – 2,5

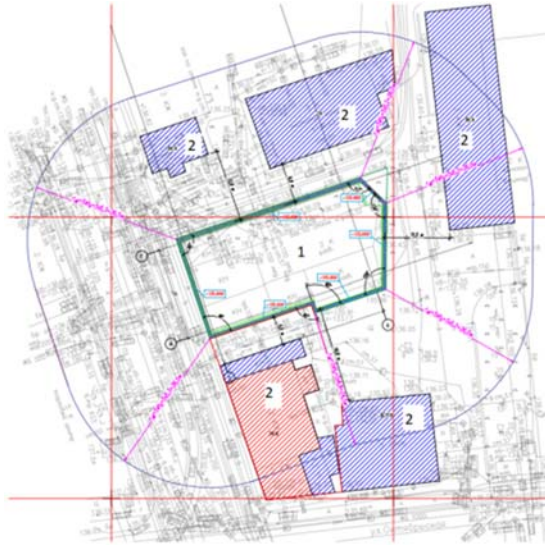


Рис. 4.6. Границы зоны геотехнического влияния

На основании геотехнических расчетов влияния нового строительства на деформации зданий окружающей застройки (геотехнический прогноз влияния) был разработан рабочий проект ограждения котлована с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (фотографии готового ограждения котлована на рис. 4.11, *а* и 4.11, *б*).

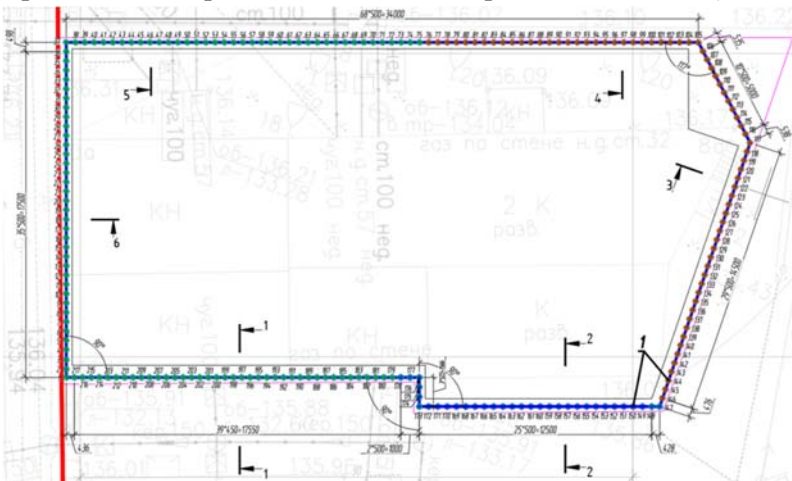


Рис. 4.7. План расположения буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) ограждения котлована

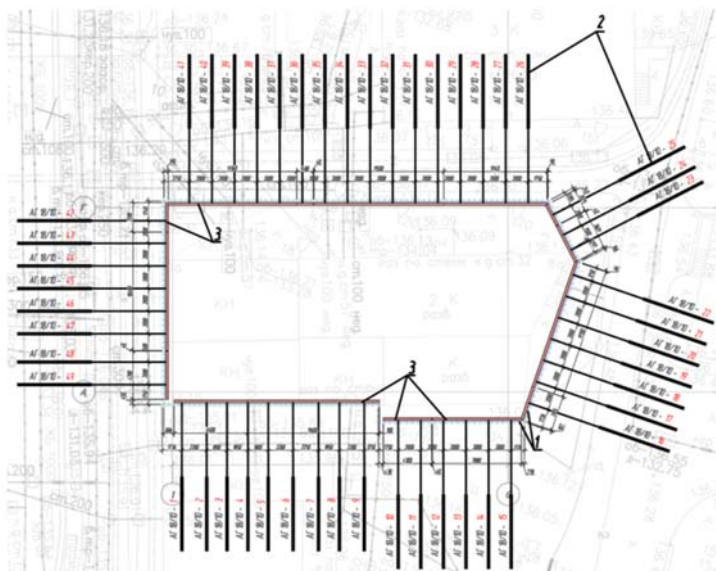


Рис. 4.8. Схема размещения грунтовых анкеров ЭРТ ограждения котлована: 1 – буриинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ);
 2 – грунтовые анкера ЭРТ первого уровня;
 3 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

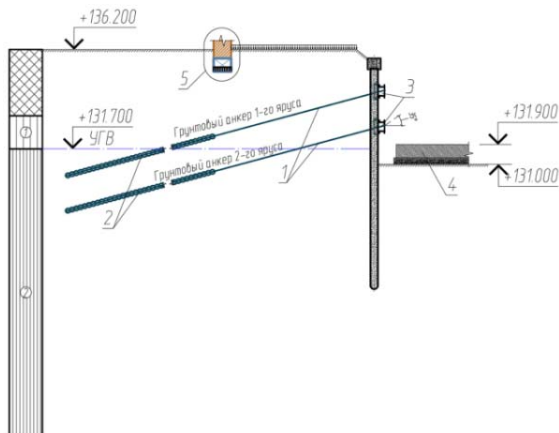


Рис. 4.9. Характерный разрез ограждения котлована: 1, 2 – грунтовые анкера ЭРТ первого и второго уровня; 3 – стальные анкерные пояса;
 4 – монолитный плитный железобетонный фундамент строящегося 6 этажного объекта;
 5 – фундамент одного из зданий существующей застройки

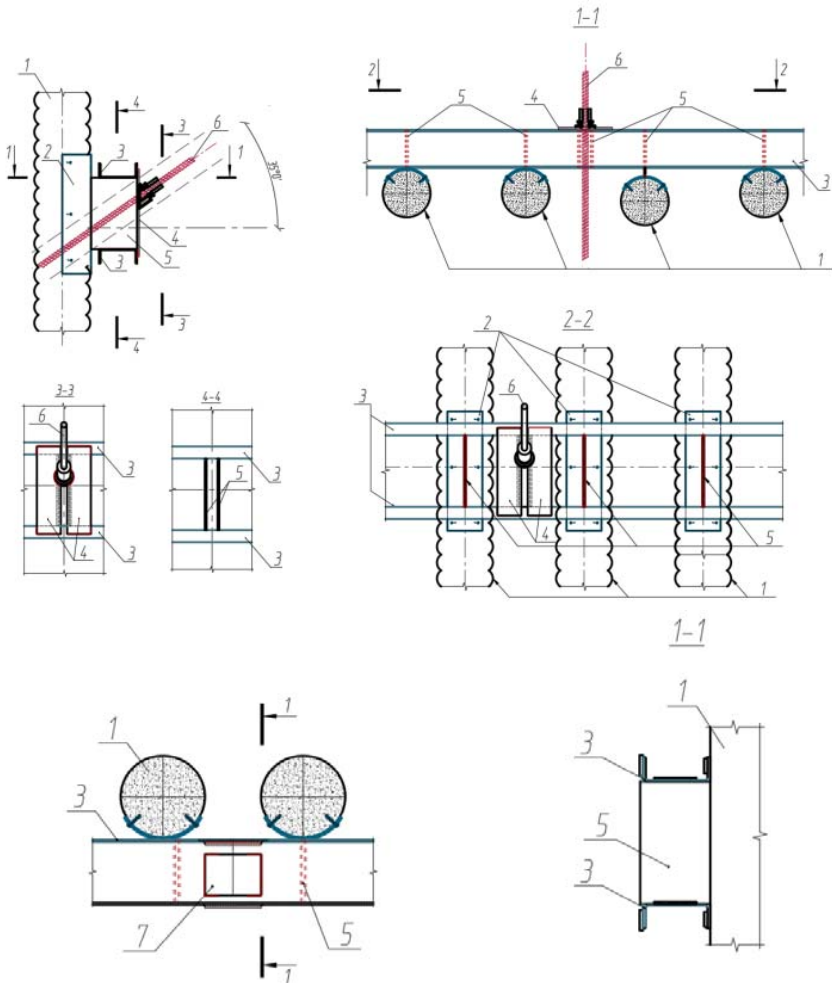


Рис. 4.10. Схема узла крепления грунтовых анкеров к обвязочному поясу: 1 – буринъекционная свая ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – упор анкерного пояса; 3 – анкерный пояс из стальных профилей; 4 – стальная пластина; 5 – ребра жесткости анкерного пояса; 6 – стержень из высокопрочной арматуры анкерного пояса; 7 – узел крепления стыка стального анкерного пояса



Рис. 4.11. а. Фрагмент плана ограждения котлована: 1 – буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – грунтовые анкера ЭРТ; 3 – анкерный обвязочный пояс; 4 – монолитный железобетонный обвязочный пояс

Ниже в таблице 4.7 приводится алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ

Таблица 4.7

Алгоритм устройства буроинъекционных анкеров ЭРТ

1. УСЛОВИЯ ВОЗВЕДЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ	
В ходе устройства подпорной стенки строго соблюдать этапность разработки грунта:	
1	Выполнить установку шпунтового ограждения из буроинъекционных свай ЭРТ в проектное положение.
2	Грунтовые анкера выполняются после 1 этапа разработки грунта.
3	Преднатяжение грунтовых анкеров производится в соответствии с ВСН 506-88.

4	Параллельно с устройством грунтовых анкеров и их преднатяжению производится монтаж деревянной забирки.
5	Второй этап разработки предусматривает выемку грунта до отметки дна котлована.
6	Приступать к разработке грунта следует только при соответствии прочности возведенной конструкции требованиям настоящего проекта.
7	В процессе эксплуатации грунтовых анкеров не допускается динамических, вибрационных воздействий на них до засыпки пазух котлована.
8	После разработки котлована выполнить устройство дренажной канавы, заполненной фильтрующим материалом (щебнем, гравием) в соответствии с требованиями СП 45.13330.2017. Подземные воды отводят в зумпфы, оборудованные погружными насосами.

2. КОНСТРУИРОВАНИЕ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

1	Конструкции анкерного крепления:	
	1.1	Грунтовые анкера ЭРТ
	1.2	Детали для крепления опоры грунтового анкера
2	Расчетная нагрузка на анкер P_w .	
3	Свободная длина грунтового анкера обусловлена призмой обрушения стенки котлована, форма которой определена расчетом общей устойчивости конструкции методом логарифмических спиралей.	
4	Принятая маркировка грунтовых анкеров: АГ 15/8 (полная длина анкера 15,0 м, длина корня 8,0 м).	
5	Буровой диаметр для грунтовых анкеров – 150,0 мм, выполняются под углом 30 град. к горизонту.	
6	Срок эксплуатации временного анкерного крепления в соответствии с принятой расчетной схемой составляет не более двух лет.	

3. КОНСТРУКЦИИ АНКЕРНОГО КРЕПЛЕНИЯ

1	Для грунтовых анкеров следует применять цементные растворы с водоцементным отношением В:Ц = 0,5:1
2	Для цементных растворов необходимо использовать портланд-цемент без минеральных добавок марки по прочности не ниже М500.

3	Не допускается применение пуццолановых, глиноземистых и шлаковых портландцементов.	
4	Вода для цементных растворов водопроводная и техническая, не содержащая сахаров и фенолов более 10 мг/л, нефтепродуктов и жиров. Водородный показатель (рН) колеблется от 4,0 до 12,5.	
5	В качестве анкерной тяги используется стержневая арматура диаметром 36,0 мм класса А500С (в пластмассовой оболочке диаметром не менее 63,0 мм) и винтовая арматура диаметром 25,0 мм класса Ат800.	
6	Для центрирования в скважине по всей длине тяги предусмотрены фиксаторы (шаг должен составлять не более 2,0 м) из отрезков пластиковых труб с продольными разрезами по периметру.	
7	Для изготовления сварных каркасов применять арматуру из стали марки 35ГС запрещается.	
8	Ручная дуговая сварка элементов анкерного каркаса осуществляется электродами типа Э42А, Э46А, Э50А.	
9	Распределительный пояс предусмотрен из двух швеллеров №27 С245.	
10	Детали для крепления опоры грунтового анкера за опорную пластину (плиту):	
	10.1	Сферическая
	10.2	Коническая
	10.3	Косая шайбы
	10.4	Гайка стопорная (Ст45).

4. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ГРУНТОВОГО АНКЕРА

1	Технологическая последовательность изготовления анкеров включает следующие операции:	
	1.1	Грунтовые анкеры (анкера ЭРТ) устраиваются после первого этапа разработки котлована и представляют собой преднапряженные заглубленные конструкции с монолитным железобетонным корнем, получаемым путем электроразрядной обработки грунта его стенок и устья
	1.2	Заполнение до устья скважины цементным раствором
	1.3	Электроразрядная обработка скважины на уровне корня
	1.4	Установка анкерного каркаса в проектное положение

2	При устройстве грунтовых анкеров последующая скважина должна устраиваться не менее чем за 3,5 м от предыдущей. Бурение скважин рядом с ранее изготовленными анкерами допускается лишь по прошествии не менее 48 часов после окончания бетонирования последних.
3	Несущая способность каждого грунтового анкера должна проверяться до включения его в работу совместно с закрепляемой конструкцией путем проведения контрольных или приемочных испытаний на максимальную испытательную нагрузку.
4	До начала работ должны быть обозначены охранные зоны существующих подземных и воздушных коммуникаций, а также подземных сооружений с указанием охранной зоны, устанавливаемой в соответствии с требованиями позиции 6.1.21 СП 45.13330.2017.

5. ФОРМИРОВАНИЕ СКВАЖИНЫ БУРЕНИЕМ

1	Бурение шнековое, выполнять в соответствии с проектом производства работ.
2	Установка для бурения УБГ-СГ «БЕРКУТ».
3	Бурение скважин выполняется с рабочих отметок, указанных в рабочем проекте.
4	Для разворота буровых машин и возможности установки пространственных анкерных каркасов ширина грунтовой бермы должна составлять не менее 15,0 м.
5	В процессе бурения следует контролировать параметры грунта на глубине.
6	Подъем бурового инструмента следует проводить медленно после того, как будет установлено, что в забое скважины не создается пониженное давление относительно бытового давления грунта.
7	Цементация скважин должна производиться сразу после окончания бурения. При невозможности цементации в указанный срок бурение скважин начинать не следует.

6. ЦЕМЕНТАЦИЯ СКВАЖИНЫ ГРУНТОВОГО АНКЕРА

1	Заполнение скважины производится до устья через бетонолитную колонну диаметром не менее 40 мм, опускаемую до забоя. После достижения забоя, скважина должна быть промыта цементным раствором. Промывка цементным раствором продолжается процесс заполнения до полного прекращения всплытия частиц грунта.
---	---

2	Приготовление цементного раствора производить на строительной площадке непосредственно перед его нагнетанием в скважину. Для приготовления и подачи цементного раствора применяется пневмо-растворонагнетатель ПРН-500 (ПРН-300). Давление нагнетания 0,5 – 5,0 МПа.
3	Следует контролировать объем закачиваемого в скважину цементного раствора, сопоставляя его с проектным, и объемом выбуренного грунта, причем объем закачанного в скважину раствора должен превышать объем выбуренного грунта.

**7. ПРОГРАММА ЭЛЕКТРО-РАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ
СКВАЖИНЫ, ЗАПОЛНЕННОЙ ЗАКРЕПЛЯЮЩИМ
ЦЕМЕНТНЫМ РАСТВОРОМ**

1	Мощность накапливаемой энергии не менее 50,0 кДж.
2	Длина кабеля от ГИТ до электродной системы должна быть не более 8,0 м, включая длину грунтового анкера (высоковольтный кабель ТИП-2 – 50,0 м, высоковольтный кабель КВИМ – 30,0 м).
3	Обработка электрическими разрядами производится на длине корня грунтового анкера сериями не менее 13 разрядов на каждом уровне. Шаг уровней от 0,8 – 0,9 м. Расчетное увеличение бурового диаметра (150,0 мм) довести до 200,0 мм, для этого следует контролировать уровень цементного раствора в скважине до начала обработки одного уровня и после завершения электрогидравлической обработки.
4	Осуществлять контроль за тем, чтобы общий объем поданного в скважину раствора, включая доливку, превышал объем пройденной скважины (объем грунта, извлеченного из данной скважины).
5	По результатам контроля падения уровня цементного раствора в опытной скважине или объема добавляемого раствора и сейсмических возмущений в зоне формирования геотехнического элемента откорректировать программу обработки корня анкеров электрическими разрядами.

8. МОНТАЖ АНКЕРНОГО КАРКАСА

1	Опускать анкерный каркас в скважину следует плавно, без рывков.
2	Необходимо контролировать положение арматурного каркаса после установки его в проектное положение. Каркас закрепить от погружения и смещения в плане.
3	Каркас перед установкой следует очистить от случайно налипшего на него грунта.

**9. ПРОИЗВОДСТВО БЕТОННЫХ РАБОТ
ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ ВОЗДУХА**

1	За три дня до производства бетонных работ, когда ожидается среднесуточная температура воздуха ниже + 5 °С или минимальная суточная температура ниже 0 °С, предусматривать в цементные растворы противоморозные добавки.
2	Цементный раствор с противоморозными добавками при укладке должен иметь температуру не ниже + 10 °С.
3	При температуре грунта ниже температуры воздуха количество противоморозных добавок должно вводиться из расчета минимальной прогнозируемой температуры воздуха или грунта к моменту достижения раствором необходимой прочности.
4	Для снижения теплопотерь в процессе твердения бетона после погружения в скважину выходящая на поверхность часть арматурного каркаса должна быть утеплена.
5	Не допускается перегрев цементного раствора (нагрев более 70 °С).
6	Допускается не применять противоморозные добавки в цементных растворах, заполняемых в скважины ниже глубины сезонного промерзания грунта.
7	После окончания работ и перерывах в работе более 50 мин. шланги для подачи раствора промыть горячей водой, продуть сжатым воздухом и убрать в теплое помещение. До начала производства работ шланги развернуть, продуть сжатым воздухом и промыть горячей водой.
8	Для исключения промораживания грунтов при перерывах в работе открытые скважины должны быть изолированы от атмосферного воздуха.
9	При температуре ниже – 20 °С работы по изготовлению грунтовых анкеров должны быть остановлены.

10. ПОРЯДОК НАТЯЖЕНИЯ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ

1	До начала геотехнических работ должны быть установлены все элементы анкерного крепления на планируемой для натяжения захватке.
2	Косые шайбы должны быть приварены к опорным пластинам (плитам) стального распределительного пояса.
3	Прочность цементного камня корня анкера должна быть не менее 20,0 МПа. Для контроля набора прочности в процессе изготовления анкеров должны быть отобраны 9 кубиков 10 × 10 × 10 см, которые испытываются в возрасте 3,7 (для внутреннего пользования) и 10 суток (для отчета).

4	Контрольные статические испытания проводят, если они не назначены, на каждом десятом анкере, начиная с нагрузки $P_o = 0,2 * P_u$. Испытательная нагрузка $P_u = 1,2 * P_w$ (согласно ВСН 506-88)	
11. ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ГРУНТОВЫХ АНКЕРОВ		
1	Изготовление грунтовых анкеров должны проводить организации, имеющие опыт геотехнических работ не менее пяти лет.	
2	При изготовлении следует освидетельствовать:	
	2.1	Плано-высотную привязку свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) ограждения котлована
	2.2	Диаметр и глубину скважин на соответствие проекту
	2.3	Вид грунта в основании анкера и его соответствие учтенному проектом (по остаткам на элементах бурового инструмента в основании)
	2.4	Уплотнение грунта в основании сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), разрушенного буровым инструментом
	2.5	Соответствие анкерного каркаса проекту (длина, диаметр и класс арматуры рабочих стержней, узлы соединения стержней) и глубину погружения каркаса в скважину
	2.6	Качество приготавливаемого цементного раствора (расход материалов)
	2.7	Затруднения при погружении анкерного каркаса под собственным весом в скважину (свободное погружение арматурного каркаса до проектной отметки – свидетельствует об отсутствии в скважине пережимов грунта и гарантирует сплошность ствола корня)
	2.8	Погружение электродной системы
	2.9	Расход цементного раствора, используемого при производстве анкеров ЭРТ
3	Контроль прочности мелкозернистого бетона осуществлять по ГОСТ 18105-2018 [62] и ГОСТ 10180-2012 [54] путем отбора проб цементного раствора на месте ее изготовления и последующего твердения в нормальных условиях, отвечающих требованиям п.4.3.2 ГОСТ 10180-2012.	
4	Акты освидетельствования скрытых работ оформляются по форме, оговоренной в СП 48.13330.2019 [466], должны составляться на завершённый процесс (анкер), выполненный	

	самостоятельным подразделением исполнителей (комплексной бригадой) в течение смены.
5	Не допускается выполнение последующих работ при отсутствии оформленных актов на скрытые работы на завершённые технологические процессы по изготовлению анкеров ЭРТ, не освидетельствованные техническим надзором заказчика.
6	Геотехнические работы производить в соответствии с указаниями СП 45.13330.2017 [462], СП 72.13330.2016 [474], СП 70.13330.2012 [472], СП 48.13330.2019 [466], СП 49.13330.2010 [467], СНиП 12-04-2002 [282], ТР 50-180-06 [497], проекта производства работ (ППР).

Выводы:

1. Буроинъекционные сваи и грунтовые анкера ЭРТ, являясь заглубленными железобетонными конструкциями ограждения котлована при строительстве шестиэтажного жилого дома позволили возвести объект без негативного последствия для зданий окружающей застройки.

2. Алгоритм устройства грунтовых анкеров ЭРТ апробирован на множестве объектах геотехнического строительства. Он является обязательным при изготовлении буроинъекционных анкеров ЭРТ.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ

1. В настоящее время крайне востребованной является разработка новых геотехнических технологий изготовления буровых свай усиления повышенной несущей способности с одновременной минимизацией технологических и эксплуатационных осадков свай.

2. Наиболее перспективными в сложных инженерно-геологических, а также в стесненных условиях являются сваи с многоместными уширениями, при этом, уширения выполняются по электро-разрядной технологии (ЭРТ).

3. Основными достоинствами геотехнической ЭРТ технологии являются:

3.1	Обеспечение такого уплотнения, при котором свая с многоместными уширениями (СМУ) работает как забивная свая
3.2	Определения точного места устройства уширений каждой сваи, что необходимо при устройстве сваи в условиях перемежающихся грунтов
3.3	Минимизация технологических и эксплуатационных осадков

4. Технология устройства свай с многоместными уширениями (СМУ) по ЭРТ позволяет существенно снизить себестоимость изготовления и существенно увеличить их несущую способность.

5. Область использования электроразрядной технологии ЭРТ широко внедрена в геотехническую практику при осуществлении следующих работ нулевого цикла:

5.1	Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в свайных полях. Разработан алгоритм и весь технологический процесс возведения свай	
5.2	Устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) при усилении оснований фундаментов	
5.3	Разработаны алгоритм и весь технологический цикл устройства свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления:	
	5.3.1	Устройство ограждений котлованов с использованием буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) и грунтовых анкеров ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Разработаны алгоритмы и весь технологический цикл устройства раскрепленных ограждений котлованов

6. Разработаны методика и алгоритм расчета несущей способности буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) с промежуточными уширениями (подпятниками). При этом каждый подпятник создает дополнительное приращение F_d несущей способности $\approx 30,0$ %. Тем самым без увеличения диаметра бурения возможно достижение любых значений несущей способности F_d свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).

Методика расчетов несущей способности F_d апробирована многочисленными в течение длительного времени с 1999 г. по настоящее время (2019 г.) статическими испытаниями на вертикальную вдавливающую нагрузку.

7. Результаты исследований защищены 11 патентами и опубликованы в рецензируемых изданиях (РИНЦ, ВАК, Skopys, Web of Skience).

4.4. Влияние производства свайных работ на деформации существующих сооружений

Усиление оснований и фундаментов и другие геотехнические работы, выполняемые с применением буроинъекционных свай («микросвай»), являются одним из наиболее экологически чистых и щадящих способов в современном геотехническом строительстве. Между тем непрофессиональное применение свай может привести к серьезным деформациям и разрушению усиливаемых или рядом расположенных зданий.

Основная проблема возникает при бурении скважины в грунтовом основании, нагруженном весом существующего здания. В этом случае необходимо выбрать метод бурения, обеспечивающий минимальное вмешательство в состояние грунтового массива, а также исключаящий утечку плавунного или сыпучего грунта в скважину, уплотнение его от вибрации и ударного воздействия, выдувания грунта струей сжатого воздуха и др.

Запрещается выполнять бурение скважины в водонасыщенных песчаных грунтах в основаниях существующих фундаментов без применения обсадных труб или бурового раствора, полностью замещающего объем выбуренного грунта. Не рекомендуется выполнять бурение скважины сжатым воздухом в песчаном грунте пневмоударниками.

Запрещается применять полые многосекционные шнеки для устройства свай на базе не приспособленных для этого буровых станков.

В большинстве проектных случаев усиление основания сваи проектируется для восприятия части нагрузки от сооружения, значительная ее часть остается на грунтовом основании существующего фундамента.

В связи с этим вскрытие (откапывание) стволов «микросвай» на участках большей протяженности в плане приводит к весьма печальным последствиям для сооружения.

В рабочих чертежах и другой технической документации, в том числе оставляемой заказчику, после окончания работ по объекту должно быть четко указано о возможности вскрытия свай как по длине участка, так и по глубине отрывки, или о недопустимости подкопки.

Возведение любого сооружения предполагает пооперационный технический контроль качества строительства, позволяющий обеспечить безопасную эксплуатацию возводимого объекта. Особое беспокойство вызывает качество изготовления буровых свай. Известно, что технология изготовления буровых свай представляет сложную технологическую цепь, состоящую из бурения, бетонирования и армирования ствола. Если рассмотреть буроинъекционную сваю ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), то к технологии ее изготовления добавляется еще один этап – электрогидравлическая обработка грунта стенок скважины в теле свежееуложенного мелкозернистого бетона. Для буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) технологическая цепь выглядит так: «бурение скважины – бетонирование скважины методом ВПТ – электрогидравлическая обработка грунта стенок и устья скважины – армирование ствола, заполненного мелкозернистым бетоном и электрогидравлически обработанным».

Далее приводится пример алгоритма подбора состава мелкозернистой бетонной смеси (БСМ) для изготовления свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ).

Одной из стадий строительного проектирования конструкций железобетонного ствола буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) является подбор состава мелкозернистой бетонной смеси (БСМ) по ГОСТ 7473-2010 [96].

Подбор состава БСМ происходит в следующей последовательности (алгоритма), приведенной ниже в таблице 4.8.

Таблица 4.8

№№ поз.	Алгоритм подбора состава мелкозернистой бетонной смеси (БСМ) для изготовления буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)
1	По величинам проектной несущей способности буроинъекционной сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) F_d по грунту назначается класс (марка) бетона по прочности на сжатие. При этом согласно ГОСТ 26633-2015 [84] средняя прочность бетона закладывается при коэффициенте вариации $V = 13,5 \%$, обеспеченности не менее 95 % от назначенного значения. Например, при проектной марке мелкозернистого бетона М400 величина кубиковой прочности должна составлять $R = 38,5 \text{ МПа}$ ($392,5 \text{ кг/см}^2$)

Продолжение таблицы 4.9

2	По ГОСТ 7473-2010 [96] подбирается марка удобоукладываемости бетонной смеси П и показатель подвижности (осадка конуса). Например, символ П4 означает осадку конуса 20,0 см											
3	Назначаются условия твердения. В основании ниже глубины промерзания условия твердения – естественные. При осуществлении геотехнических работ в условиях отрицательных температур применяются или химическое твердение с применением формиата натрия, или электрический метод прогрева с помощью греющих проводов. Следует отметить, что электропрогрев из опыта производства работ нежелателен. Возможно, возникновение усадочных трещин в теле бетона в результате быстрого набора прочности и как результат отрыв части сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) прогреваемой от части, твердеющей естественным путем											
4	Подбираются компоненты к мелкозернистому бетону – цемент, мелкий заполнитель, добавки к бетону и вода:											
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="255 683 311 1018" rowspan="4">А</td> <td data-bbox="311 683 1002 834">Портландцемент, как правило, на объект поставляется из ближайшего цементного завода. В средневолжском регионе используется цемент производства ОАО «Мордовцемент». Согласно ГОСТ 31108-2003 [91], контролируемые параметры являются:</td> </tr> <tr> <td data-bbox="311 834 1002 898"> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="322 834 378 898">А.1</td> <td data-bbox="378 834 1002 898">Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 898 378 930">А.2</td> <td data-bbox="378 898 1002 930">Нормальная плотность цементного теста 27 %</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 930 378 986">А.3</td> <td data-bbox="378 930 1002 986">Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 986 378 1018">А.4</td> <td data-bbox="378 986 1002 1018">Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$</td> </tr> </table> </td> </tr> </table>	А	Портландцемент, как правило, на объект поставляется из ближайшего цементного завода. В средневолжском регионе используется цемент производства ОАО «Мордовцемент». Согласно ГОСТ 31108-2003 [91], контролируемые параметры являются:	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="322 834 378 898">А.1</td> <td data-bbox="378 834 1002 898">Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 898 378 930">А.2</td> <td data-bbox="378 898 1002 930">Нормальная плотность цементного теста 27 %</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 930 378 986">А.3</td> <td data-bbox="378 930 1002 986">Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 986 378 1018">А.4</td> <td data-bbox="378 986 1002 1018">Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$</td> </tr> </table>	А.1	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$	А.2	Нормальная плотность цементного теста 27 %	А.3	Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин	А.4	Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$
	А		Портландцемент, как правило, на объект поставляется из ближайшего цементного завода. В средневолжском регионе используется цемент производства ОАО «Мордовцемент». Согласно ГОСТ 31108-2003 [91], контролируемые параметры являются:									
			<table border="1"> <tr> <td data-bbox="322 834 378 898">А.1</td> <td data-bbox="378 834 1002 898">Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 898 378 930">А.2</td> <td data-bbox="378 898 1002 930">Нормальная плотность цементного теста 27 %</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 930 378 986">А.3</td> <td data-bbox="378 930 1002 986">Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин</td> </tr> <tr> <td data-bbox="322 986 378 1018">А.4</td> <td data-bbox="378 986 1002 1018">Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$</td> </tr> </table>	А.1	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$	А.2	Нормальная плотность цементного теста 27 %	А.3	Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин	А.4	Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$	
			А.1	Прочность на сжатие в возрасте 28 суток $R = 50 \text{ МПа} (50000,0 \text{ кПа})$								
А.2		Нормальная плотность цементного теста 27 %										
А.3	Сроки схватывания: начало 2 ч 35 мин, конец 4 ч 25 мин											
А.4	Истинная плотность $\rho = 2,63 \text{ г/см}^3$											
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="255 1018 311 1177">Б</td> <td data-bbox="311 1018 1002 1177">В качестве мелкого заполнителя принимается природный мелкозернистый речной песок по ГОСТ 8736-2014 [100] с моделью крупности не более $M_k = 2$. Определяется процентное содержание фракций крупнее $M_k \geq 2,0 \text{ мм}$ и плотность минеральных частиц ρ_s</td> </tr> </table>	Б	В качестве мелкого заполнителя принимается природный мелкозернистый речной песок по ГОСТ 8736-2014 [100] с моделью крупности не более $M_k = 2$. Определяется процентное содержание фракций крупнее $M_k \geq 2,0 \text{ мм}$ и плотность минеральных частиц ρ_s										
Б	В качестве мелкого заполнителя принимается природный мелкозернистый речной песок по ГОСТ 8736-2014 [100] с моделью крупности не более $M_k = 2$. Определяется процентное содержание фракций крупнее $M_k \geq 2,0 \text{ мм}$ и плотность минеральных частиц ρ_s											
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="255 1177 311 1361">В</td> <td data-bbox="311 1177 1002 1361">Для увеличения прочности бетона и подвижности используются добавки. Например, добавка ЭМБЭЛИТ 8-100 – модификатор бетона по ТУ 5870-176-46854090-04, изготавливаемая ООО «Предприятие Мастер Бетон» г. Москва одновременно является пластификатором и модификатором</td> </tr> </table>	В	Для увеличения прочности бетона и подвижности используются добавки. Например, добавка ЭМБЭЛИТ 8-100 – модификатор бетона по ТУ 5870-176-46854090-04, изготавливаемая ООО «Предприятие Мастер Бетон» г. Москва одновременно является пластификатором и модификатором										
В	Для увеличения прочности бетона и подвижности используются добавки. Например, добавка ЭМБЭЛИТ 8-100 – модификатор бетона по ТУ 5870-176-46854090-04, изготавливаемая ООО «Предприятие Мастер Бетон» г. Москва одновременно является пластификатором и модификатором											
<table border="1"> <tr> <td data-bbox="255 1361 311 1433">Г</td> <td data-bbox="311 1361 1002 1433">К воде также предъявляются особые требования согласно ГОСТ 23732-2011 [74]</td> </tr> </table>	Г	К воде также предъявляются особые требования согласно ГОСТ 23732-2011 [74]										
Г	К воде также предъявляются особые требования согласно ГОСТ 23732-2011 [74]											

5	В строительной лаборатории под назначенные прочность, подвижность, удобоукладываемость, условия твердения согласно ГОСТ 27006-2019 [85] проектируются:				
	А	Водоцементное отношение, например $B/C = 0,51$, где B – масса воды			
	Б	Соотношение материалов по массе, например $C:P = 1:2,1$, где:			
		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">C</td> <td style="text-align: center;">Масса цемента</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">P</td> <td style="text-align: center;">Масса мелкозернистого песка</td> </tr> </table>	C	Масса цемента	P
	C	Масса цемента			
P	Масса мелкозернистого песка				
В	Содержание добавок в % от массы цемента, например содержание ЭМБЭЛИТ 8–100 = 10 %				
Г	Расход материалов на $1,0 \text{ м}^3$ бетонной смеси				
Примечание.					
<i>Физико-механические свойства бетона, обязательные для подтверждения правильности подбора состава на объекте – это средняя плотность бетона в серии образцов размером $10 \times 10 \times 10 \text{ см}$, ρ [г/см^3] и предел прочности на сжатие в возрасте 7 и 28 сут</i>					

Ниже приведен пример из геотехнической практики несоблюдения алгоритма устройства свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ), приведший к потере качества изготовленных заглубленных железобетонных конструкций (прочности бетона буроинъекционных свай).

Проектом под десятиэтажное здание гостиницы было предусмотрено устройство буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Рассматриваемая технология включает позиции, приведенные ниже в таблице 4.9.

Таблица 4.9

№№ поз.	Технологическая последовательность изготовления буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)
1	Бурение скважины
2	Бетонирование ствола скважины мелкозернистым бетоном (БСМ)
3	Электрогидравлическую обработку грунта стенок и устья скважины
4	Армирование заполненной мелкозернистым бетоном скважины
5	Заполнение (доливка) скважины мелкозернистым бетоном после электрогидравлической обработки

Вследствие того, что данные стадии работ выполняли четыре разные подрядные организации и отсутствовал должный поэтапный контроль набора прочности бетона, был нарушен технологический цикл и более чем в 50 % сваями не была достигнута проектная несущая способность. Поэтому возникла острая необходимость в перепроектировании свайного поля.

Строительство объекта велось в сложных инженерно-геологических условиях в старом русле реки Волга в г. Нижний Новгород. Инженерно-геологический разрез на этом участке представлен следующими ИГЭ (сверху вниз):

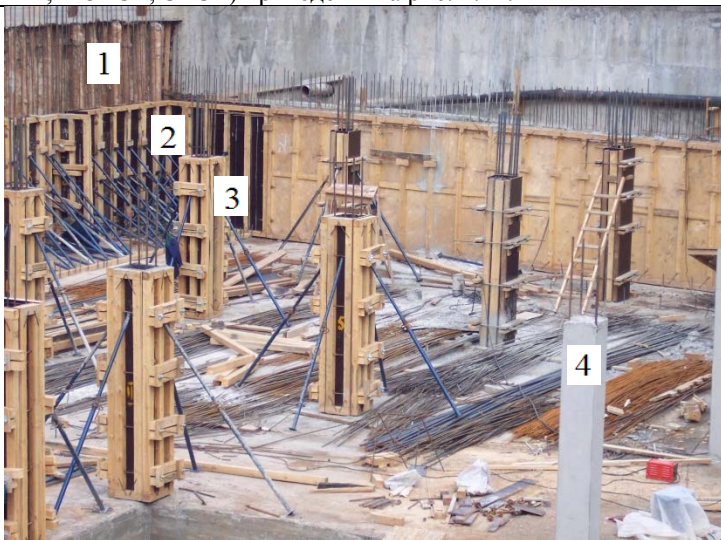
ИГЭ-1	Насыпной грунт (неслежавшийся суглинок с супесью и строительным мусором)
ИГЭ-2	Непросадочный туго- и мягкопластичный лессовый суглинок
ИГЭ-3	Непросадочный текучепластичный лессовый суглинок
ИГЭ-4	Туго- и мягкопластичный суглинок
ИГЭ-5	Твердая и полутвердая глина
ИГЭ-6	Глинистый полимиктовый песок
Пояснения к предыдущему тексту:	
1	<i>Для площадки строительства характерен высокий уровень грунтовых (ненапорных) вод</i>
2	<i>Строительство объекта было начато за пять лет до начала основного строительства с возведения ограждения котлована (глубиной 9,0 м) из двух рядов буроинъекционных свай диаметром 450,0 мм с шагом 1,0 м. Подпорная стена котлована была устроена вдоль улиц. Непосредственно к котловану примыкает десятиэтажный крупнопанельный жилой дом, возведенный на забивных сваях</i>
3	<i>Недостатком построенного ограждения оказалось отсутствие монолитного обвязочного железобетонного пояса по верху буроинъекционных свай ЭРТ. Это выявилось лишь при отрывке котлована. Ряд свай ограждения со стороны примыкающего здания наклонился в сторону котлована (максимальное горизонтальное перемещение достигло 55,0 мм). В результате создавшейся ситуации на наружных стенах жилого дома возникли деформационные трещины. При этом установленные гипсовые маяки разорвались и продолжали рваться</i>

4	<p>Созданная в связи с этим чрезвычайная комиссия поручила головной проектной организации срочно разработать противоаварийные мероприятия для стабилизации деформаций как возведенной подпорной стены, так и примыкающего здания. В качестве таких мер была разработана схема усиления подпорной стены в виде распорных конструкций из труб диаметром 1 000,0 мм, расположенных на двух уровнях во взаимно перпендикулярных направлениях. Эти мероприятия позволили стабилизировать ситуацию на строящемся объекте. Гипсовые маяки на жилом доме перестали рваться, горизонтальные перемещения подпорной стены были приостановлены. При этом геотехнический мониторинг продолжался</p>
5	<p>При проектной глубине котлована 9,0 м распорные крепления были размещены на глубине 4,5 – 6,5 м. Поэтому во избежание негативных последствий для примыкающего жилого дома при дальнейшей откопке котлована был разработан проект устройства монолитных железобетонных контрфорсов на дополнительных буринъекционных сваях ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) диаметром 0,35 м и длиной от 12,0 до 19,0 м в зависимости от инженерно-геологических условий в той или иной части строительной площадки. Работы по устройству свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) приходилось вести в очень сложных условиях между трубами, а удаление грунта из котлована производилось только вручную</p>
6	<p>Для обеспечения безопасной эксплуатации подпорной стены при строительстве нулевого цикла, а также для создания условий для демонтажа стальных труб распорных конструкций был разработан алгоритм устройства контрфорсов</p>
7	<p>Выполнение работ по реализации вышеуказанного алгоритма позволило поэтапно демонтировать распорные трубы. Дальнейших деформаций подпорной стены и жилого дома не было обнаружено</p>
8	<p>Устройство буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) под фундаментами контрфорсов, контрфорсы, а также сами монолитные железобетонные ростверки производились одной подрядной организацией. При этом мониторинг горизонтальных перемещений подпорной стены и деформаций осадочных марок жилого дома проводился ежедневно, благодаря чему на данном участке не было нарушений в технологической цепочке:</p> <p>«бурение – бетонирование ствола скважины мелкозернистым бетоном–электродрагическая обработка грунта стенок и пяты скважины – монтаж пространственных армокаркасов»</p>

9	<i>Обязательными этапами, подтверждающими соответствие проекту запроектированных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) под фундаменты контрфорсов, были:</i>	
	<i>а</i>	<i>Испытания на прочность заранее изготовленных кубиков мелкозернистого бетона, предназначенного для изготовления свай, согласно алгоритму приведенному выше</i>
	<i>б</i>	<i>Испытания статической нагрузкой на вертикальную сжимающую нагрузку опытных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)</i>
10	<i>На испытательном полигоне (в пределах участка изготовления контрфорсов) были выполнены два куста свай, изготовленных по электроразрядной технологии. В одном из них сваи были изготовлены без уширений, а в другом – с местными уширениями. По мере удаления распорных конструкций высвобождалась значительная часть площади котлована для устройства свайного поля</i>	
11	<i>В связи с сокращением инвестором сроков возведения здания заказчик решил увеличить скорость возведения нулевой части, разделив устройство буронагнетательных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) на этапы. При этом:</i>	
	<i>а</i>	<i>Одна строительная организация подрядилась выполнить буровые работы</i>
	<i>б</i>	<i>Другая – бетонирование мелкозернистым бетоном</i>
	<i>в</i>	<i>Третья – электрогидравлическую обработку стенок и пяты скважины</i>
	<i>г</i>	<i>Четвертая – изготовление и погружение армокаркасов в готовые скважины, заполненные мелкозернистым бетоном и обработанные по электроразрядной технологии</i>
12	<i>Соответственно, качество выполнения работ на разных этапах контролировалось разными подрядными организациями и как результат резко повысилась вероятность его снижения. Результаты испытаний свай на статическую нагрузку подтвердили эти опасения. Для более чем 50 % испытанных свай не была достигнута проектная несущая способность. Основной причиной этого оказалась низкая прочность мелкозернистого бетона вследствие отсутствия должного надзора за ее набором. Следует отметить, что одна из подрядных организаций, ответственная за бетонирование свай, использовала бетонно-смесительную установку РМ-750, которая при больших оборотах насыщает бетон воздухом, что и привело к недобору проектных значений прочности. В то же время подбор состава БСМ был произведен правильно</i>	

Устроенные свайные поля с использованием буронабивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) приведены на рис. 4.12.

а

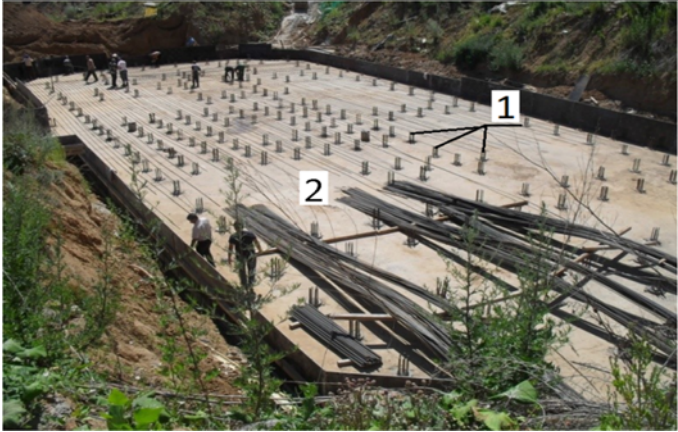
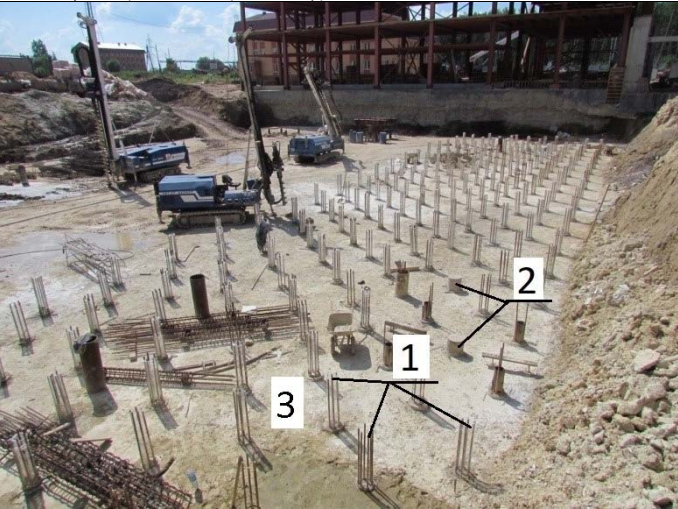


Ограждение котлована г. Н.Новгород: 1 – буронабивные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – опалубка для обетонирования стен подвала; 3 – опалубка колонны; 4 – готовая железобетонная колонна

б



Ленточный свайный фундамент как укрепление склона:
1 – арматурные выпуски буронабивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – оголовок сваи ЭРТ

<p>6</p>	 <p>Свайно-плитный фундамент под многоэтажный жилой дом: 1 – арматурные выпуски буроналивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – бетонная подготовка</p>
<p>2</p>	 <p>Объект строительства: «Корпус окомкования горно-обогатительного комбината»: 1 – выпуски буроналивных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – оголовки опытных свай – ЭРТ; 3 – бетонная подготовка</p>

д

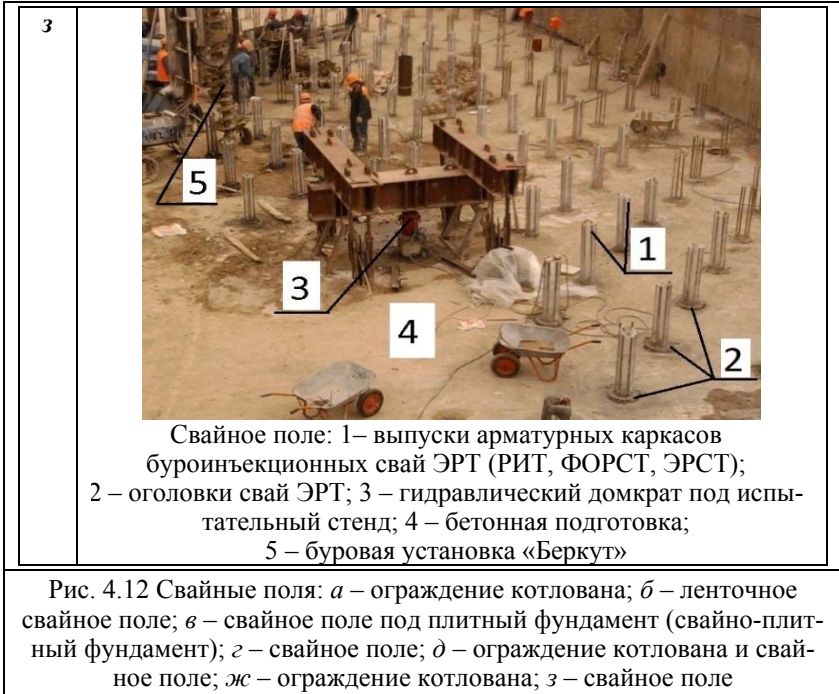


Ограждение котлована с применением буройнъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ): 1 – сваи ЭРТ; 2 – арматурные выпуски свай ЭРТ; 3 – монолитный железобетонный обвязочный пояс; 4 – бетонная подготовка

жс



Устройство ограждения котлована: 1 – буройнъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ); 2 – грунтовые анкера ЭРТ; 3 – монолитный железобетонный обвязочный пояс; 4 – анкерный пояс



5. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА, РАЗРАБОТАННЫЕ АВТОРОМ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ И БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ

5.1. Способ возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов и устройство для его осуществления (варианты)

Геотехническая технология устройства буронабивной (буроинъекционной) сваи относится к области строительства, а именно к способам закрепления грунтов оснований зданий и сооружений, и может быть использовано при формировании свайных фундаментов сооружений различного назначения в слабых водонасыщенных грунтах.

Наиболее близким по технической сущности к предложенной конструкции (прототипом) сваи – как устройства является буроинъекционная реверсивная компенсационная свая, выполненная в пробуренной полым герметичным шнеком скважине, заполненной под давлением мелкозернистым бетоном через полость полого герметичного шнека и отверстие сдвижного золотника, расположенного в его нижней части, и снабженная арматурным каркасом, в которой скважина заполнена мелкозернистым бетоном под давлением не менее 0,5 МПа в несколько этапов, определяемых количеством утечек мелкозернистого бетона в зазор между ребордой полого герметичного шнека и стенкой скважины, при этом на месте каждой из утечек мелкозернистого бетона, снаружи в зазоре между ребордой полого герметичного шнека и стенкой скважины выполнены грунтопесчано-цементные сальники из сухой смеси песка и цемента в соотношении 1:1 и расположены последовательно снизу вверх на теле сваи по мере подъема полого герметичного шнека вверх, при этом объем каждого из грунтопесчано-цементного сальника составляет не менее 5 – 10 % от объема скважины (патент на полезную модель RU 142255) [205].

Таким образом, известная конструкция буроинъекционной реверсивной компенсационной сваи позволяет устранить технологическую осадку и повысит несущую способность и качество буроинъекционной сваи.

Однако известная конструкция буроинъекционной реверсивной компенсационной сваи [205] выполняется без контроля и оценки

формы и размеров полостей, заполняемых грунтопесчано-цементной смесью и мелкозернистым бетоном с образованием грунтопесчано-цементных сальников, что не позволяет сделать обоснованный прогноз и дать оценку несущей способности возводимой сваи. Кроме того, при армировании известной сваи не учитывается наличие грунтопесчано-цементных сальников, что снижает несущую способность возводимой сваи.

Техническим результатом заявленных технических решений является устранение технологической осадки и повышение несущей способности и качества буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями (подпятниками) в зоне слабых грунтов.

Сущность предлагаемого способа возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов, в том, что проходку скважины производят полым шнеком с буровым инструментом, оснащенных магистралями подвода высоконапорного водоцементного раствора от насосного блока к раздаточному элементу со струеформирующими соплами, который размещают внутри полого шнека, имеющего боковые окна для струеформирующих сопел раздаточного элемента, а также системой регистрации изменения механических свойств грунтов, составляющих пробуриваемый массив с последующим формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов создают в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов посредством подачи высоконапорного цементирующего раствора через раздаточный элемент со струеформирующими соплами. После достижения грунтоцементной оболочки проектной глубины из пробуренной скважины извлекают раздаточный элемент и буровой инструмент, в полость шнека опускают арматурный каркас и заполняют скважину мелкозернистым бетоном текучей консистенции до устья, после чего производят постепенное поднятие полого шнека с его вывинчиванием и одновременно подают бетонную смесь (мелкозернистый бетон) в буровую скважину (в полость полого шнека) с уплотнением импульсными разрядами до полного заполнения образовавшегося пространства. В соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов и формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов изготавливают ар-

матурный каркас с боковыми вставками, содержащими арматурные стержни с шарнирами первого рода и пружинами, позволяющие арматурным стержням боковых вставок, заполнять боковые уширения, а также с торцевой вставкой содержащей приварное и упорные кольца с шарнирами первого рода и арматурные стержни, которые под воздействия действием веса арматурного каркаса и вдавливания заполняют торцевое уширение. После изготовления опускают пространственный армирующий каркас в полый шнек, который постепенно с вывинчиванием поднимают, и по мере раскрытия и заполнения арматурными стержнями с шарнирами первого рода боковых и торцевой вставок уширений грунтоцементной оболочки в зоне слабых грунтов подают бетонную смесь в скважину (в полость полого шнека) до полного заполнения образовавшегося пространства.

Формирование тела сваи могут выполнять путем инъекции в свободные полости скважины мелкозернистого бетона и воздействия высокоэнергетических электрических импульсов для возбуждения в твердеющем материале электрических разрядов для уплотнения мелкозернистого бетона буронабивной сваи, после чего в освободившуюся полость сваи под большим давлением (не менее $0,5 \text{ МПа}$) подают бетон повышенного качества для формирования сваи необходимой прочности, и далее повторяют описанные выше операции по армированию тела сваи по мере поднятия полого шнека на определенную высоту, учитывая места сформированных уширений.

Сущность заявленного устройства состоит в том, что буронабивная свая с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов, выполнена в скважине, пробуренной в грунте полым шнеком с буровым инструментом и в которой создана раздаточным элементом со струеформирующими соплами грунтоцементная оболочка с уширениями в зоне слабых грунтов в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов. Свая выполнена опусканием в полый шнек, находящийся в скважине арматурного каркаса и заполнением скважины бетоном литой консистенции до устья, с последующим постепенным поднятием полого шнека с его вывинчиванием и одновременной подачей бетонной смеси в скважину (в полость полого шнека) с уплотнением импульсными разрядами до полного заполнения образовавшегося про-

странства. Пространственный арматурный каркас сваи в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов и формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов содержит боковые вставки с арматурными стержнями и с шарнирами первого рода и пружинами, позволяющие арматурным стержням боковых вставок, заполнять боковые уширения, а также арматурный каркас содержит торцевую вставку с приварным и упорным кольцами, шарнирами первого рода и арматурными стержнями, которые под воздействия действием веса арматурного каркаса и вдавливания заполняют торцевое уширение.

В графических материалах схематично представлены чертежи с разрезами, которые поясняют сущность заявленного устройства для осуществления способа возведения буронабивной сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов (и их варианты).

На рис. 5.1 представлен общий вид заявленного устройства в процессе возведения буронабивной сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов.

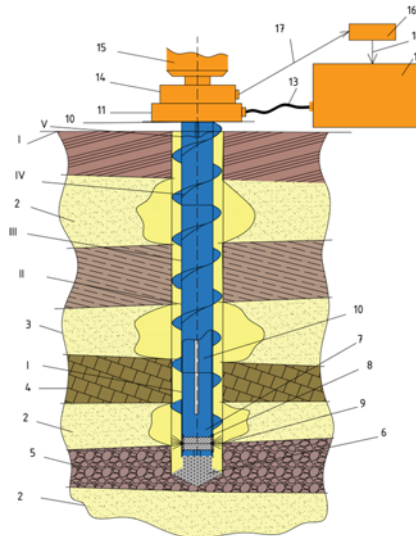


Рис. 5.1. Общий вид заявленного устройства в процессе возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов

На рис. 5.2 приводится вид возведенной грунтоцементной оболочки буронабивной (буроинъекционной) сваи с находящимися в ней колонной из полых шнеков.

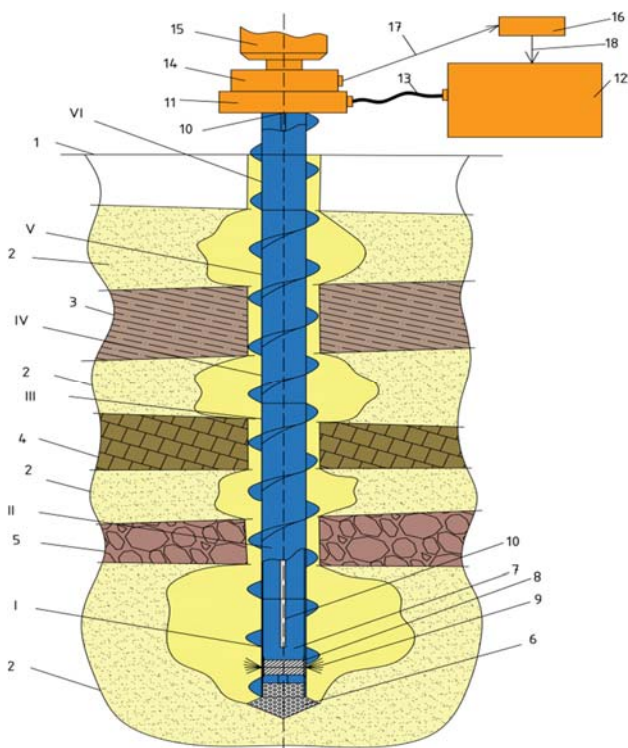


Рис. 5.2. Вид возведенной грунтоцементной оболочки буронабивной (буроинъекционной) сваи с находящимися в ней колонной из полых шнеков

На 5.3 приведен вид грунтоцементной оболочки буронабивной (буроинъекционной) сваи с находящимися в ней колонной из полых шнеков, в которые опущен арматурный каркас с боковыми вставками, содержащими стержни с шарнирами первого рода и пружинами, позволяющие пространственному арматурному каркасу под действием пружин, заполнять уширения в зоне слабых грунтов, сформированные грунтоцементной оболочкой после постепенного поднятия шнека с его вывинчиванием, а внизу пространственный арматурный каркас содержит торцевую вставку с

стержнями и шарнирами первого рода и без пружин, которые под действием собственного веса и/или под действием вдавливания позволяют заполнять уширения в зоне слабых грунтов внизу сваи.

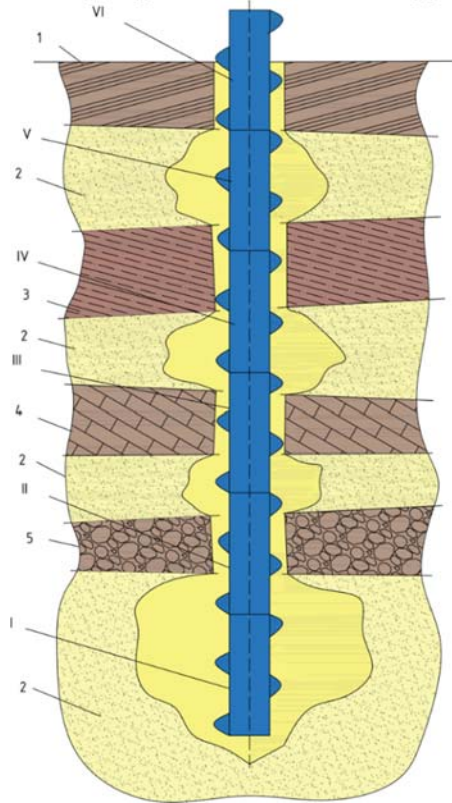


Рис. 5.3. Вид грунтоцементной оболочки буронабивной (буроинъекционной) сваи с находящимися в ней колонной из полых шнеков, в которые опущен арматурный каркас с боковыми вставками

На рис. 5.4 приводится вид начала поднятия колонны из полых шнеков и опускания пространственного арматурного каркаса, с раскрытием стержней с шарнирами первого рода (без пружин) торцевой вставки (первого варианта), под действием собственного веса и/или под действием вдавливания с заполнением уширения в зоне слабых перемеживающихся грунтов внизу (забое) буровой (буроинъекционной) сваи.

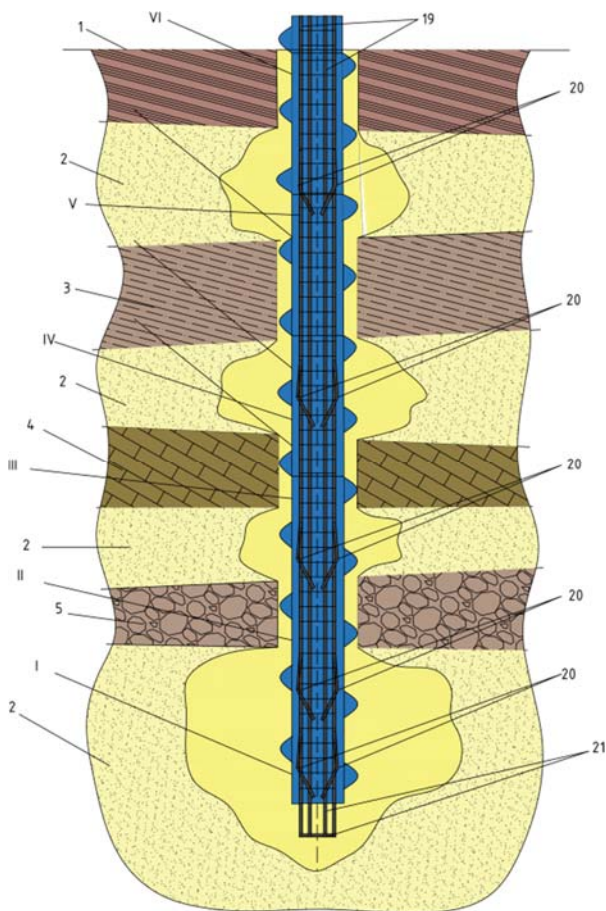


Рис. 5.4. Вид начала поднятия колонны из полых шнеков и опускания пространственного арматурного каркаса, с раскрытием стержней с шарнирами первого рода (без пружин) торцевой вставки (первого варианта)

На рис. 5.5 приведен вид дальнейшего поднятия колонны из полых шнеков и раскрытия под воздействием пружин стержней с шарнирами первого рода боковых вставок пространственного арматурного каркаса с заполнением уширения в зоне слабых грунтов по бокам буровой (буроинъекционной) сваи.

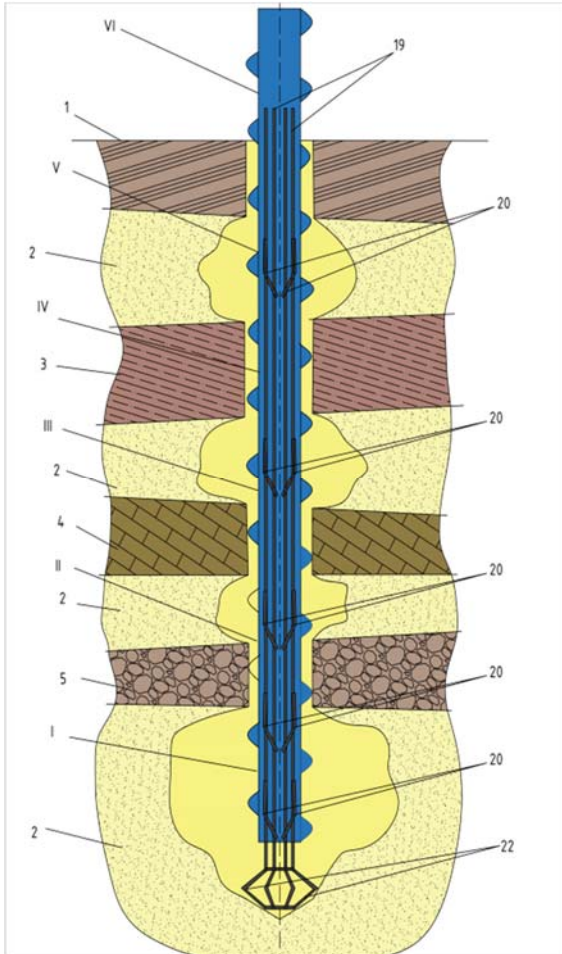


Рис. 5.5 Вид дальнейшего поднятия колонны из полых шнеков и раскрытия под воздействием пружин стержней с шарнирами первого рода боковых вставок пространственного арматурного каркаса с заполнением уширения в зоне слабых грунтов по бокам буронабивной (буроинъекционной) сваи

На рис. 5.6 имеется вид пространственного арматурного каркаса (без колонны из полых шнеков) со всеми раскрытыми при помощи пружин стержнями с шарнирами первого рода боковых вставок.

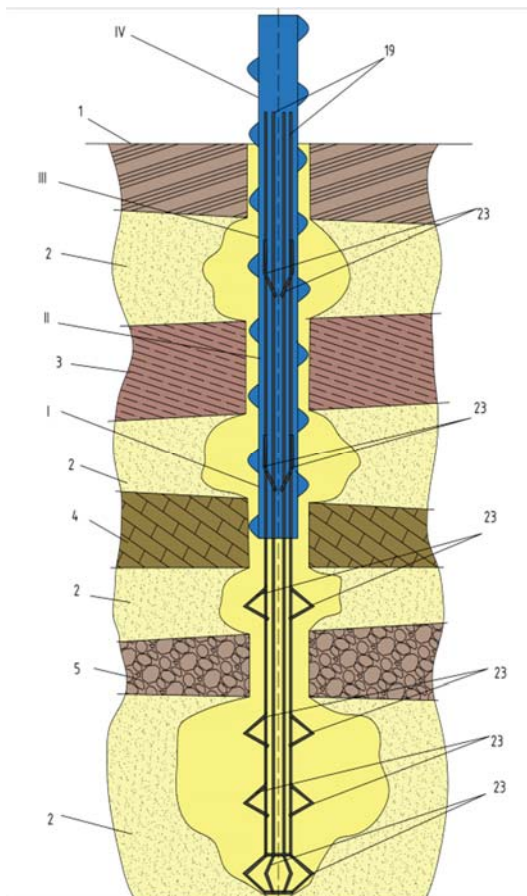


Рис. 5.6. Вид пространственного арматурного каркаса (без колонны из полых шнеков) со всеми раскрытыми при помощи пружин стержнями с шарнирами первого рода боковых вставок

На рис. 5.7 приведен увеличенный вид низа пространственного арматурного каркаса по рис. 5.3.

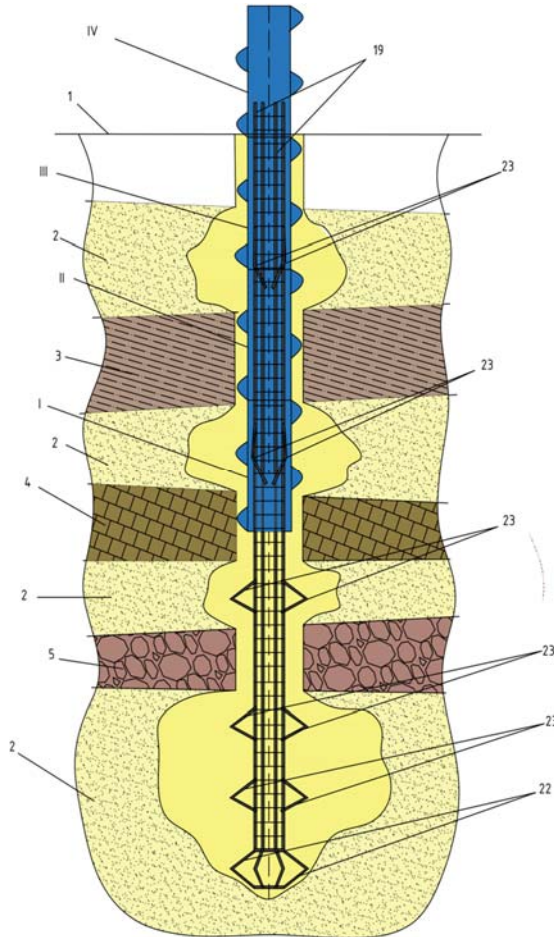


Рис. 5.7. Увеличенный вид низа пространственного арматурного каркаса по рис. 5.3

На рис. 5.8 приводится увеличенный вид низа пространственного арматурного каркаса по рис. 5.4.

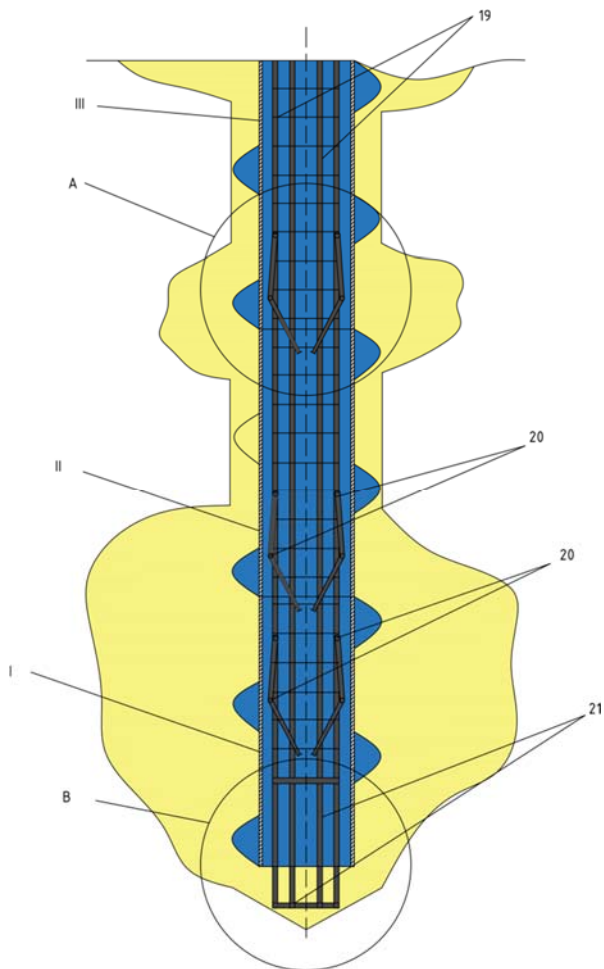


Рис. 5.8. Увеличенный вид низа пространственного арматурного каркаса по рис. 5.4

На рис. 5.9 приводится увеличенный вид выноски «А» по рис. 5.7

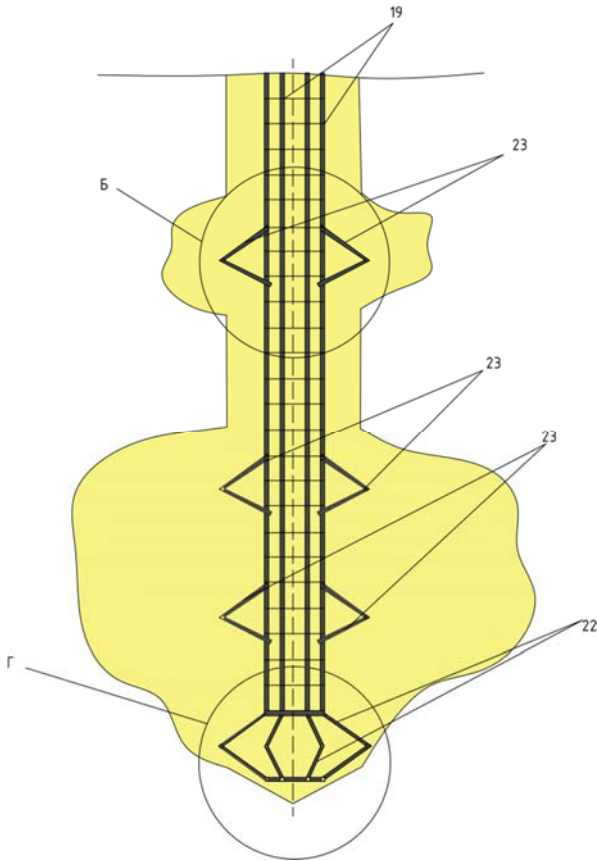


Рис. 5.9. Увеличенный вид выноски «А» по рис. 5.7

На рис. 5.10 приведен увеличенный вид выноски «Б» по рис. 5.9.

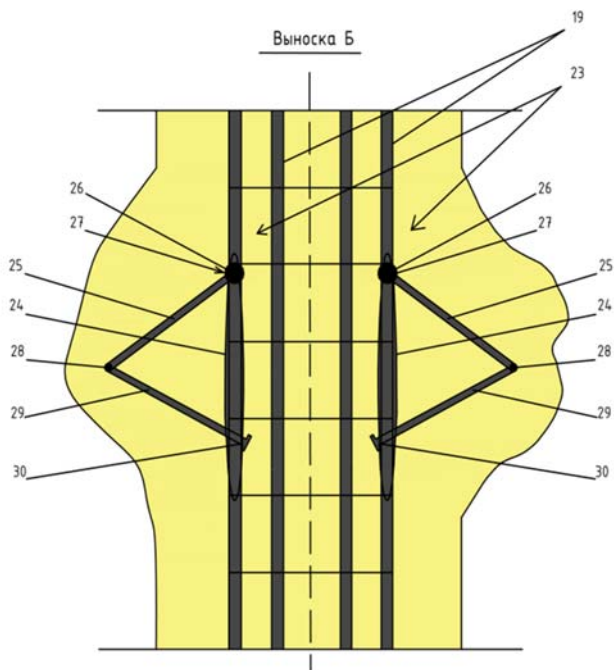


Рис. 5.10. Увеличенный вид выноски «Б» по рис. 5.8

На рис. 5.11 приведен чертеж одной боковой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде.

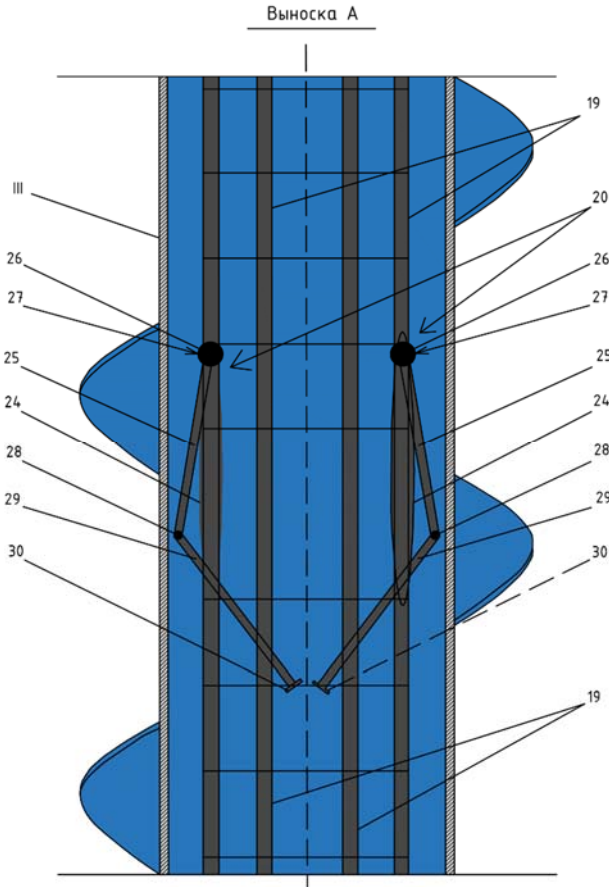


Рис. 5.11. Чертеж одной боковой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде

На рис. 5.12 приводится чертеж одной боковой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде: рис. 5.12 а) – вид сверху, 5.12 б) – вид сбоку с разрезом.

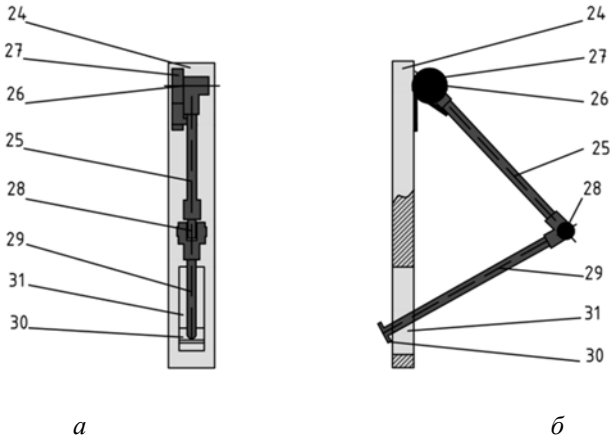


Рис. 5.12. Чертеж одной боковой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде:
рис. 5.12 а) – вид сверху, 2.19 б) – вид сбоку с разрезом.

На рис. 5.13 приводится увеличенный вид выноски «В» по рис. 5.12. (Первый вариант нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде).

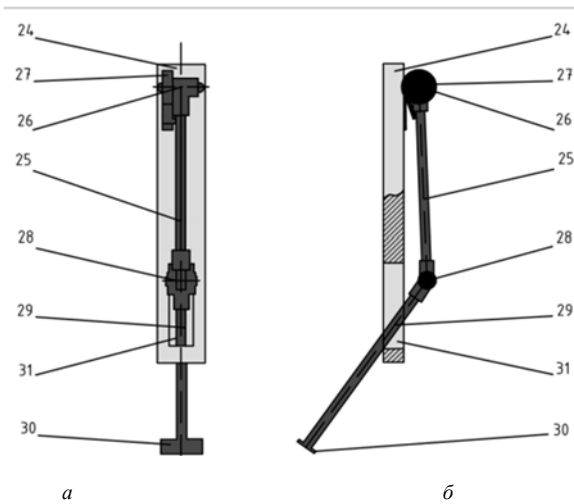


Рис. 5.13. Увеличенный вид выноски «В» по рис. 5.12.
(Первый вариант нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде)

На рис. 5.14 приведен увеличенный вид выноски «Г» (Первый вариант нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде).

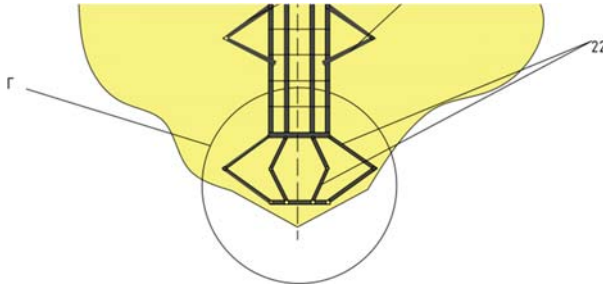


Рис. 5.14. Увеличенный вид выноски «Г»
(Первый вариант нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде)

На рис. 5.15 приводится увеличенный вид второго варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде.

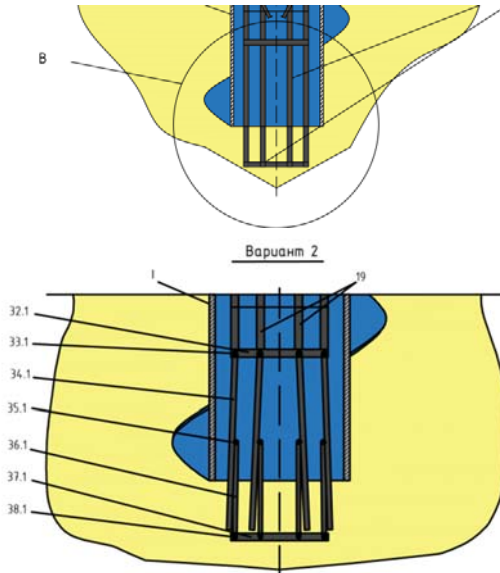


Рис. 5.15. Увеличенный вид второго варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде

На рис. 5.16 приводится увеличенный вид варианта 1 выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде, а на рис. 5.17 увеличенный вид выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде (с заполненным теряемым наконечником).

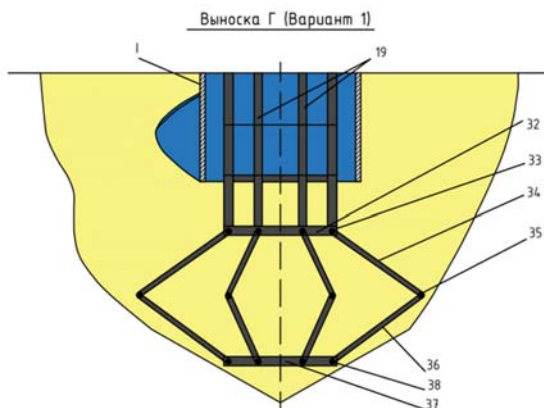


Рис. 5.16. Увеличенный вид варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде

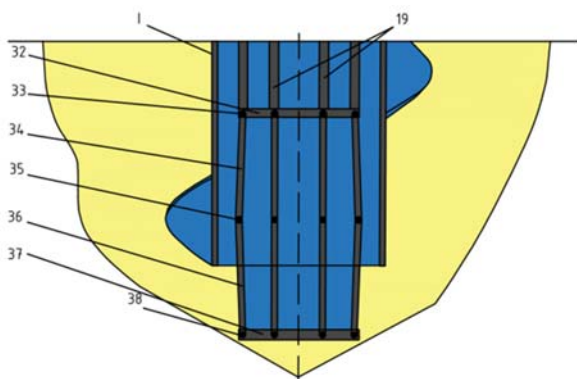


Рис. 5.17. Увеличенный вид выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде (вариант с заполненным теряемым наконечником)

На рис. 5.18 имеется увеличенный вид третьего варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде.

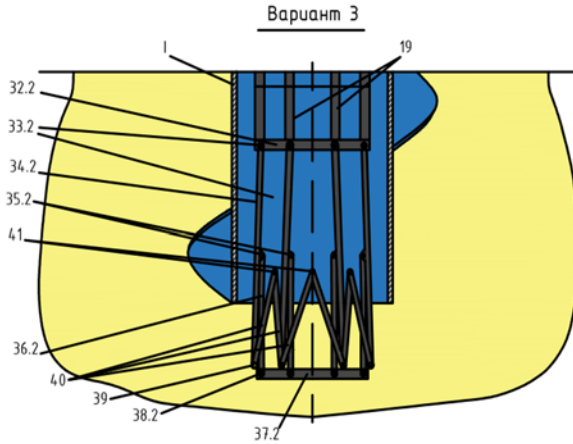


Рис. 5.18. Увеличенный вид третьего варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в сложенном виде

На рис. 5.19 приводится увеличенный вид третьего варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде.

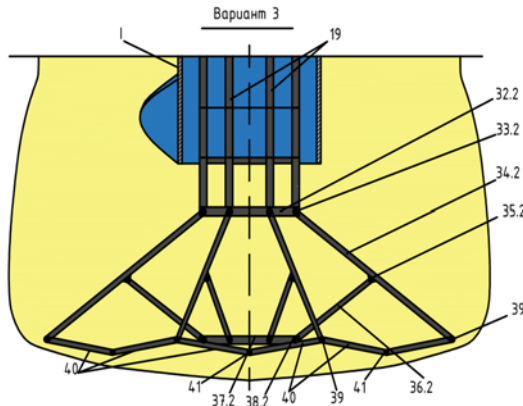


Рис. 5.19 Увеличенный вид третьего варианта выполнения нижней торцевой вставки пространственного арматурного каркаса в раскрытом виде

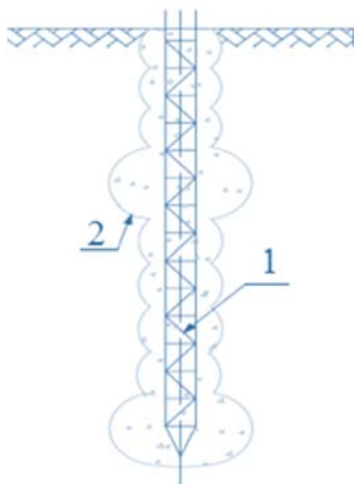


Рис. 5.20. Схема пространственного каркаса армирования уширения:
1 – пространственный армокаркас; 2 – уширения

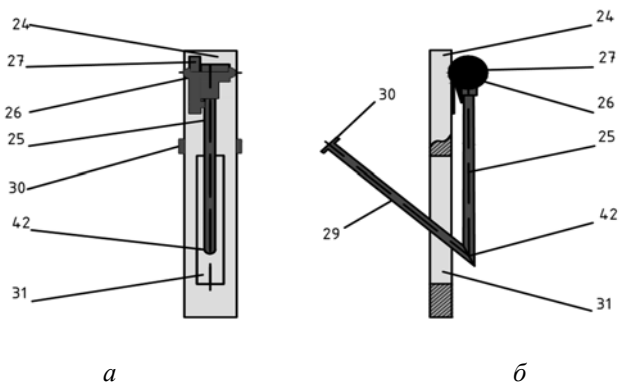


Рис. 5.21. Схема 1 для усиления уширения

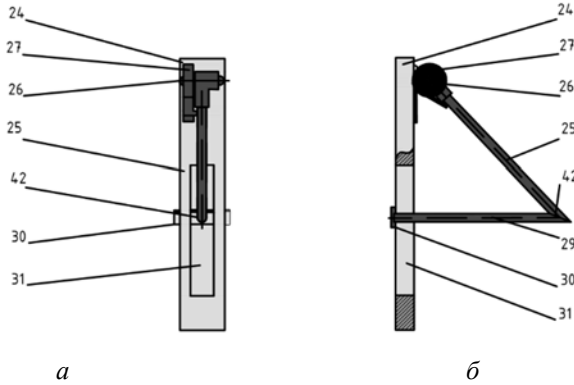


Рис. 5.22. Схема 2 для усиления промежуточного уширения

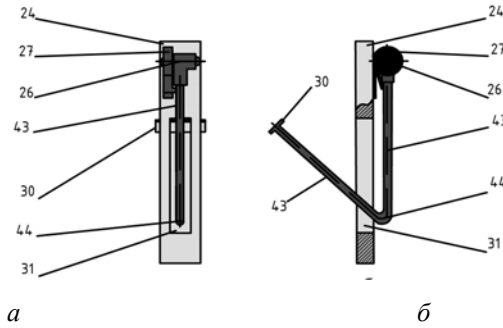


Рис. 5.23. Схема 3 для усиления промежуточного уширения

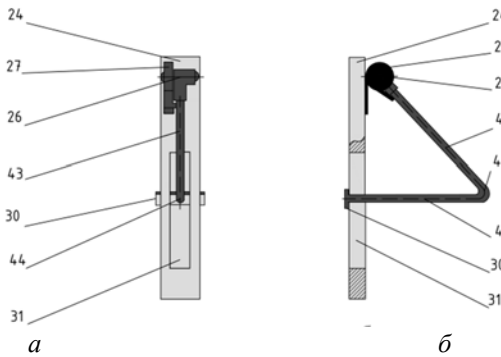


Рис. 5.24. Схема 4 для усиления промежуточного уширения

На представленных рис. 5.1 – 5.24 обозначены:

I, II, III, IV, V, VI	Номера полых (проходных) шнеков, где:	
	I	– нижний (головной)
	VI	– соответственно верхний:
1	Поверхность грунта с нижележащим (подстилающим) слоем грунта	
2	Инженерно-геологический элемент пробуриваемых слабых пород (грунта), например песка	
3, 4, 5	Инженерно-геологические элементы прочных пробуриваемых пород (грунта)	
6	Буровой инструмент, установленный внизу полого шнека (I) и выполненный с возможностью извлечения из буровой колонны	
7	Раздаточный элемент, выполненный с возможностью извлечения из буровой колонны и установленный во втором или первом снизу полом шнеке (I или II)	
8	Струеобразующие сопла раздаточного элемента (7)	
9	Тяга, выполненная например, в виде трубы, стержня, троса и т.д., для совместного извлечения из буровой колонны раздаточного элемента (7) и бурового инструмента (6)	
10	Центральный трубопровод для подачи цементного раствора к раздаточному элементу	
11	Устройство подачи водоцементного раствора по трубопроводу (10)	
12	Насосный блок подачи под высоким давлением водоцементного раствора	
13	Гибкий трубопровод высокого давления для подачи водоцементного раствора от насосного блока (12) к центральному трубопроводу (11)	
14	Система датчиков, регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород	
15	Шпиндель (головной патрон) привода буровой колонны	
16	Блок управления комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора	
17	Кабель снятия показаний от системы датчиков (14)	

18	Кабель управления насосным блоком (12) от блока управления (16)
19	Пространственный арматурный каркас
20	Расположенные на одном уровне нераскрытые боковые вставки арматурного каркаса со стержнями с шарнирами первого рода и пружинами, под действием которых стержни заполняют уширения зон слабых грунтов сбоку сваи
21	Нераскрытая торцевая вставка арматурного каркаса без пружин (первый вариант) со стержнями с шарнирами первого рода, которые под действием веса арматурного каркаса и вдавливания разворачиваются (раскрываются) и заполняют уширения в зоне слабых грунтов внизу сваи
22	Раскрытая под действием собственного веса арматурного каркаса и вдавливания торцевая вставка первого варианта, содержащая арматурные стержнями с шарнирами первого рода
23	Раскрытые под действием пружин боковые вставки, расположенные на одном уровне арматурного каркаса со стержнями с шарнирами первого рода и пружинами
24	Пластина (корпусная) боковой вставки, которую приваривают к арматурному каркасу в необходимом месте
25	Подпружиненный первый (арматурный) стержень боковой вставки (24)
26	Кронштейн 1-го рода, закрепленный на боковой пластине (24)
27	Пружина для раскрытия первого арматурного стержня (25)
28	Кронштейн 1-го рода для соединения первого подпружиненного и второго арматурного стержней
29	Второй арматурный стержень боковой вставки арматурного каркаса (19)
30	Ограничитель второго арматурного стержня (29) в виде пластинки приваренной к его торцу
31	Вырез в пластине боковой вставки (24), служащий направляющей для второго арматурного стержня (29) и упором для ограничителя (30)
32	Приварное (снизу к арматурному каркасу (19)) кольцо торцевой вставки (21, 22) по первому варианту торцевой вставки

	32.1	– приварное (снизу к арматурному каркасу (19)) кольцо торцевой вставки (21, 22) по второму варианту торцевой вставки
	32.2	– приварное (снизу к арматурному каркасу (19)) кольцо торцевой вставки (21, 22) по третьему варианту торцевой вставки
33	Шарниры 1-го рода установленные на приварном кольце (32)	
	33.1	– шарниры 1-го рода установленные на приварном кольце (32.1)
	33.2	– шарниры 1-го рода установленные на приварном кольце (32.1)
34	Первый арматурный стержень торцевой вставки (21, 22)	
	34.1	– первый арматурный стержень торцевой вставки
	34.2	– первый арматурный стержень торцевой вставки
35	Шарниры 1-го рода, закрепленные на торце первого арматурного стержня (34)	
	35.1	– шарниры первого рода, закрепленные посередине и с боку первого арматурного стержня (34.1)
	35.2	– шарниры первого рода, закрепленные посередине и с боку первого арматурного стержня (34.2)
36	Второй арматурный стержень торцевой вставки (21, 22)	
	36.1	– второй арматурный стержень торцевой вставки
	36.2	– второй арматурный стержень торцевой вставки
37	Опорное кольцо торцевой вставки (21, 22)	
	37.1	– опорное кольцо торцевой вставки
	37.2	– опорное кольцо торцевой вставки
38	38.1	Шарниры 1-го рода, установленные на опорном кольце (37) – шарниры 1-го рода, установленные на опорном кольце (37.1)
39	Шарниры 1-го рода, закрепленные на торце первого арматурного стержня (34.2)	
40	Третьи арматурные стержни торцевой вставки, которые одним концом закреплены в шарнирах 1-го рода (39), а другими своими концами закреплены шарнирами 1-го рода (41) с соседними третьими арматурными стержнями (40)	
41	Шарниры 1-го рода для соединения соседних третьих арматурных стержней (40)	

Примечания:	
1	<p><i>При возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке создают буровую колонну, которая состоит из набора последовательно герметично соединенных между собой сборно-разборных полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V), (VI). Снизу первого полого (головного) шнека (I) размещён извлекаемый буровой инструмент (6), выше которого во втором шнеке (II) буровой колонны расположен извлекаемый раздаточный элемент (7) со струеформирующими соплами (8) для цементации. Шпиндель (головной патрон) (15) привода буровой колонны, оснащенный системой датчиков (14), регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород (2), (3), (4), (5)</i></p>
2	<p><i>Сигнал от системы датчиков (14) поступает по кабелю снятия показаний (17) к блоку управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора (по кабелю (18)) от насосного блока (12) к раздаточному элементу (7) со струеформирующими соплами (8) через центральный трубопровод (10)</i></p>
3	<p><i>Блок управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора в буровую колонну регулирует давление (уменьшает или увеличивает) подаваемого водоцементного раствора в зависимости от изменения прочностных характеристик вмещающего массива, например, (1), (2), (3), (4) и (5). На основании информации от блока управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора в буровую колонну определяются протяженности областей массива с низкими прочностными характеристиками (2) (например, песчаных грунтов), количество и длина уширений грунтоцементной оболочки, что учитывается при изготовлении арматурного каркаса (19) для армирования, а также при подаче высокоэнергетических электрических импульсов для возбуждения в твердеющем материале электрических разрядов от разрядника, который подымают на изолированном кабеле (на рисунках не приведены)</i></p>
4	<p><i>Раздаточный элемент (7) установлен в посадочном гнезде (месте) второго или первого снизу полого шнека (I или II), в котором выполнены боковые окна под струеформирующие сопла раздаточного элемента (7), который механически</i></p>

	<p>связан соединительным элементом (9) (например, трубой, стержнем, тросом и т.д.) для извлечения бурового инструмента (6) из его посадочного гнезда (места)</p>
5	<p>По оси буровой колонны внутри полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V), (VI) размещён центральный трубопровод (10) для подачи цементного раствора к раздаточному элементу (7), центральный трубопровод (10) жестко закреплен сверху на раздаточном элементе (7) для возможности извлечения его и бурового инструмента (6) из буровой колонны, после завершения процессов бурения и цементации грунтовой оболочки. То есть центральный трубопровод (10) выполняет дополнительную функцию «тягового элемента» для извлечения раздаточного элемента (7) и бурового инструмента (6). В процессе бурения от поверхности грунта (1) по пробуриваемым породам (2), (3), (4), (5) также производится цементация грунтовой оболочки скважины в грунтоцементную оболочку</p>
6	<p>Насосный блок (12) по командам блока управления (16) подает водоцементный раствор через гибкий трубопровод (13) высокого давления через устройство подачи (11) и центральный трубопровод (10) к раздаточному элементу (7) со струеформирующими соплами (8) в зависимости от показаний системы датчиков (14) (регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород) под различным давлением</p>
7	<p>Уровень прочностных характеристик пробуриваемого грунта задаётся в проектной документации на основании предварительных геологических исследований и на участках бурения слоёв пород (грунта) с высокими прочностными характеристиками, например, (1), (3), (4) и (5) водоцементный раствор подаётся к раздаточному элементу (7) со струеформирующими соплами (8) под низким давлением (0,5...1,0 МПа) и выполняет роль промывочной буровой жидкости. Когда система датчиков (14) зафиксирует снижение прочностных характеристик пробуриваемых пластов (например, (2)), и при этом протяженность участка с пониженными прочностными характеристиками превысит 1 м, блок управления (16) увеличит давление подаваемого водоцементного раствора до уровня гидроструйной цементации (30...100 МПа) и одновременно с процессом бурения произойдет выполнение увеличения</p>

	<i>диаметра грунтоцементной оболочки до заданной рабочего проектом величины</i>
8	<i>При достижении буровым инструментом (6) пластов грунта с высокими прочностными характеристиками (например, (5)) соответствующий сигнал от системы датчиков (14) поступит к блоку управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под давлением водоцементного раствора, который снизит его давление подачи до первоначального уровня (при достижении раздаточным элементом (7) глубины слоёв с высокими прочностными характеристиками (5))</i>
9	<i>При достижении проектной глубины бурения, то есть после завершения процессов бурения буровым инструментом (6) и цементации струеформирующими соплами (8) раздаточного элемента (7) производится разборка буровой колонны. При этом производится извлечение раздаточного элемента (7) из его посадочного гнезда – при помощи центрального трубопровода (10) и бурового инструмента (6) из своего посадочного гнезда – при помощи тяги (9)</i>
10	<i>После завершения процесса бурения, образования грунтоцементной оболочки скважины, и в соответствии с определенными в процессе бурения физико-механическими характеристиками грунтов и формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов изготавливают пространственный армирующий каркас (19)</i>
11	<i>На имеющийся стандартный пространственный арматурный каркас приваривают, ранее изготовленные боковые вставки (20) именно в местах уширений в зоне слабых грунтов. Если под арматурным каркасом находится слабый (песчаный) грунт с образованным грунтоцементным уширением, то снизу арматурного каркаса приваривают торцевую вставку (22) в одном из трех вариантов, приведенных в графических материалах, соответственно на рисунках: 5.14-5.19</i>
12	<i>После изготовления пространственного арматурного каркаса (19) со вставками (20) и (21) его опускают в буровую колонну из полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V), (VI). При этом у пространственного арматурного каркаса (19), внешний диаметр меньше внутреннего диаметра полых шнеков и внутренняя поверхность полых шнеков не дает раскрываться арматурным стержням боковых (20) и торцевой вставке (21). На рисунках боковые (20) и торцевая вставка (21) в раскрытом (развернутом) состоянии</i>

	<i>обозначены соответственно позициями (21) и (22)</i>
13	<i>После установки пространственного арматурного каркаса (19) в него опускают разрядник с кабелем. Далее производят подъем буровой колонны и при этом происходит раскрытие (развертывание) боковых (20) и торцевых вставок (21), соответственно в положения, показанные позициями (21) и (22). Заливка мелкозернистого бетона в буровую колонну может осуществляться непосредственно сверху при помощи шланга (на фигурах не показан) из бетононасоса, так и при помощи инъекционной трубы (на фигурах также не показана), опущенной вниз буровой колонны внутри арматурного каркаса (19)</i>
14	<i>После заливки бетона до устья скважины производится поднятие с вывинчиванием буровой колонны из полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V), (VI) с её постепенной разборкой, при этом грунт стенок и забоя скважины в среде мелкозернистого бетона уплотняется, заполняет все полости скважины и его уровень от устья скважины оседает. В процессе поднятия с вывинчиванием буровой колонны необходимо постоянно доливать бетон. В итоге буронабивная (буроинъекционная) свая сформирована арматурным каркасом (19) с развернутыми арматурными стержнями боковых (21) и торцевой вставок (22) и залитым бетонным раствором до устья. При этом залитый по устью бетон уплотняется по всей высоте механическими движениями при поднятии с вывинчиванием вверх и разборкой полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V), (VI)</i>
15	<i>В местах ранее выявленных областях пониженных механических свойств грунта, например (2) буронабивная (буроинъекционная) свая дополнительно расширена электрическими разрядами от извлекаемого из буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке при разрядника. В результате после затвердения в массиве образуется армированная буронабивная (буроинъекционная) свая переменного сечения в грунтоцементной оболочке, причем больший диаметр армированной сваи соответствует большему диаметру грунтоцементной оболочки и располагается в области массива грунтов с пониженными физико-механическими свойствами</i>
16	<i>При этом формирование основного тела сваи выполняется путем инъекции в свободные полости скважины мелкозернистого бетона и воздействия высокоэнергетических</i>

	<i>электрических импульсов для возбуждения в твердеющем материале электрических разрядов для создания буронабивной (буроинъекционной) сваи (упрочнения её мелкозернистого бетона), после чего в освободившуюся полость сваи под большим давлением (не менее 0,5 МПа) подают мелкозернистый бетон повышенного качества для формирования сваи необходимой прочности, повторяют описанные выше операции по армированию тела сваи после поднятия полого инека на определенную высоту, учитывая места сформированных уширений</i>
17	<i>Реализация предложенной конструкции (и её вариантов) сваи обеспечивает устранение технологической осадки и повышение несущей способности и качества буронабивной (буроинъекционной) сваи</i>
18	<i>Очень существенно, что при реализации предлагаемой конструкции сваи учитывается слоистая структура грунтового массива и имеется возможность подбора вариантов конструкции арматурного каркаса, обеспечивающей армирование уширений тела сваи в соответствии с установленными геометрическими характеристикам слоёв слабого грунта, что и обеспечивает повышение несущей способности буронабивной (буроинъекционной) сваи</i>
19	<i>Заявленные «Способ возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов и устройство для его осуществления (варианты)» обладают всеми критериями новизны, так как совокупность ограничительных и отличительных признаков самостоятельных и зависимых пунктов является новым для способов (технологий) при строительстве новых объектов на слабых грунтах при сокращении времени их возведения с повышением прочностных и несущих свойств, путем армирования грунтоцементных уширений в зоне слабых грунтов, и, следовательно, соответствует критерию «новизна»</i>
20	<i>Осуществление (внедрение) предложенного способа и устройств для его осуществления в настоящее время и на современном уровне развития техники не представляет никаких конструктивно-технических и технологических трудностей, откуда следует соответствие критерию «промышленная применимость»</i>

5.2. Буровая колонна для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке

Техническое решение относится к области строительства, а именно к способам возведения буронабивных свай в непосредственной близости от стоящих зданий и сооружений, и может быть использовано при формировании свайных фундаментов сооружений различного назначения, в частности в слабых грунтах. При этом в заявленном техническом устройстве используют для закрепления слабых перемеживающихся грунтов струйную технологию (*GET* технология) одновременно с возведением буронабивных (буроинъекционных) свай.

Сущность заявленного устройства состоит в том, что буровая колонна для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке, состоящая из набора последовательно герметично соединенных между собой сборно-разборных полых шнеков, в которых снизу первого полого шнека размещён извлекаемый буровой инструмент, выше которого расположен извлекаемый раздаточный элемент со струеформирующими соплами для цементации, шпindel (головной патрон) привода буровой колонны, оснащенный системой датчиков, регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых инженерно-геологических элементов, сигнал от которой (системы) поступает к блоку управления комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора от насосного блока к раздаточному элементу со струеформирующими соплами. Раздаточный элемент установлен в посадочных гнездах (местах) второго снизу полого шнека, в котором выполнены боковые окна под струеформирующие сопла раздаточного элемента, который механически связан тягой (выполненной например, в виде трубы, стержня, троса и т.д.) для извлечения бурового инструмента. По оси буровой колонны внутри полых шнеков размещён центральный трубопровод для подачи цементного раствора к раздаточному элементу. Центральный трубопровод жестко закреплен сверху на раздаточном элементе для возможности извлечения его и бурового инструмента из буровой колонны после завершения процессов бурения и цементации грунтовой оболочки. При этом в процессе бурения и цементации грунтовой оболочки блок управления комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора к раздаточному элементу, в зависимости от показаний системы датчиков (регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от

прочностных характеристик пробуруваемых пород) регулирует величину давления подаваемого водоцементного раствора в струеформирующие сопла раздаточного элемента. После завершения процессов бурения буровым инструментом и цементации струеформирующими соплами раздаточного элемента, а также извлечения раздаточного элемента с буровым инструментом, в буровую колонну дополнительно установлены арматурный каркас, внешний диаметр которого меньше внутреннего диаметра полых шнеков, и разрядник, внешний диаметр которого меньше внутреннего диаметра арматурного каркаса, которые опущены вниз буровой колонны, при этом буронабивная свая сформирована арматурным каркасом и залитым бетонным раствором с его уплотнением по всей высоте механическими движениями поднятия с вывинчиванием вверх и разборкой полых шнеков, а в местах ранее выявленных областях пониженных механических свойств грунта буронабивная (буроинъекционная) свая дополнительно расширена электрическими разрядами от извлекаемого из буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке разрядника.

Происходящее между процессами (при формировании буровой колонны для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке) бурения буровым инструментом и цементации струеформирующими соплами раздаточного элемента время фиксируется системой датчиков шпинделя (головного патрона) привода буровой колонны, регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуруваемых пород, а запас времени, необходимый для обработки информации о свойствах грунтов, выявления протяженности областей пониженных механических свойств массива, формирования командного решения для корректировки режима цементации и перехода на цементацию в новом режиме, вычисляется в блоке управления комплексом оборудования, при этом величина запаса времени определяется по нижеприведенной формуле:

$$T = T_1 + T_2, \text{ где:} \quad (5.1)$$

T_1	Время на выявление протяженности областей с пониженными или повышенными физико-механическими свойствами массива
T_2	Время формирования командного решения для корректировки режима цементации и перехода на цементацию в новом режиме

Время на выявление протяженности областей с пониженными или повышенными механическими свойствами массива T_1 определяется по формуле:

$$T_1 = k_T \times h / v_6, \text{ где:} \quad (5.2)$$

k_T	Коэффициент запаса толщины слоя массива с пониженными механическими свойствами, значение k_T задают в проектной документации на основании исходной информации о геологическом строении массива
h	Толщина слоя массива с пониженными механическими свойствами, зафиксированная системой датчиков регистрации изменения механических свойств грунтов, составляющих пробуриваемый грунтовый массив, м
v_6	Скорость бурения, м/с

Время формирования командного решения для корректировки режима цементации и перехода на цементацию в новом режиме T_2 , зависящее от длины расположенных внутри полого шнека магистралей подвода высоконапорного водоцементного раствора от насосного блока до раздаточного элемента, и определяется по нижеприведенной формуле:

$$T_2 = k_D(L_M + H) / v_T, \text{ где:} \quad (5.3)$$

k_D	Коэффициент запаса времени перехода на новые режимы цементации, значение k_D задается в проектной документации на основании исходной информации о материале трубопровода подвода высоконапорного водоцементного раствора от насосного блока до раздаточного элемента
L_M	Длина линейных магистралей от насосного блока до буровой колонны, м
H	Глубина бурения, м
v_T	Средняя скорость течения высоконапорного раствора (мелкозернистого бетона) в магистралах подвода высоконапорного водоцементного раствора от насосного блока до раздаточного элемента, м/с

Формирование грунтоцементной оболочки производится при текущей скорости бурения, а выполнение большего диаметра грунтоцементной оболочки осуществляется за счет увеличения давления подаваемого цементирующего раствора, значение давления которого определяют по формуле:

$$P = \frac{D \times v_6^{0,37} \times C^{0,25} \times n^{0,7}}{d_0^{1,25}}, \text{ где:} \quad (5.4)$$

<i>D</i>	Заданный в проектной документации диаметр уширения грунтоцементной оболочки, <i>м</i>
<i>n</i>	Частота вращения буровой колонны, <i>c⁻¹</i>
<i>d₀</i>	Диаметр сопел раздаточного элемента, <i>м</i>
<i>C</i>	Удельное сцепление, характеризующее механические свойства грунтов, составляющих пробуруваемый массив

Из геотехнической практики известно, что толщина слоя массива с пониженными механическими свойствами, зафиксированная системой регистрации изменения физико-механических свойств грунтов может составлять от 0,5 до 40,0 *м*.

В результате реализации заявленной буровой колонны для возведения буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке после затвердения в массиве образуется армированная буронабивная свая переменного сечения в грунтоцементной оболочке, причем больший диаметр сваи соответствует большему диаметру грунтоцементной оболочки и располагается в области грунтов с пониженными механическими свойствами.

Техническим результатом заявленного технического решения является сокращение времени строительства буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке с повышением её прочностных и несущих свойств в слабых грунтах.

Использование заявленной буровой колонны возведения буронабивной сваи позволяет существенно увеличить несущую способность буронабивной сваи за счет предложенной совокупности признаков, не увеличивая при этом время выполнения работ. Так в заявленном устройстве (и способе его применения) созданы условия для повышения несущей способности сваи за счет того, что сформированная грунтоцементная оболочка выполняется в соответствии с установленной в ходе бурения структурой массива. При этом сформированные уширения оболочки располагаются между слоями массива с повышенными механическими свойствами таким образом, что конструкция сваи «опирается» на слои с повышенными механическими свойствами, что и обеспечивает повышение несущей способности сваи.

В графических материалах схематично представлены чертежи с разрезами, которые поясняют сущность устройства заявленной буровой колонны для возведения буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке, а также последовательность (метод) её возведения.

На рис. 5.25 представлен общий вид буровой колонны в процессе её возведения.

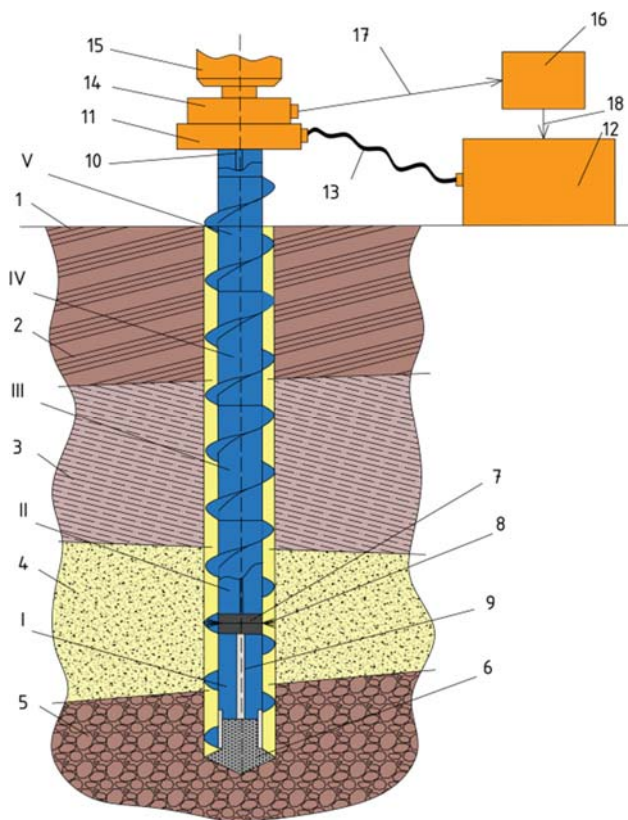


Рис. 5.25. Общий вид буровой колонны в процессе её возведения

На рис. 5.26 представлен увеличенный вид буровой колонны по рис. 5.25 снизу, а именно три первых полых шнека с видом размещения бурового инструмента и раздаточного элемента со струеобразующими соплами.

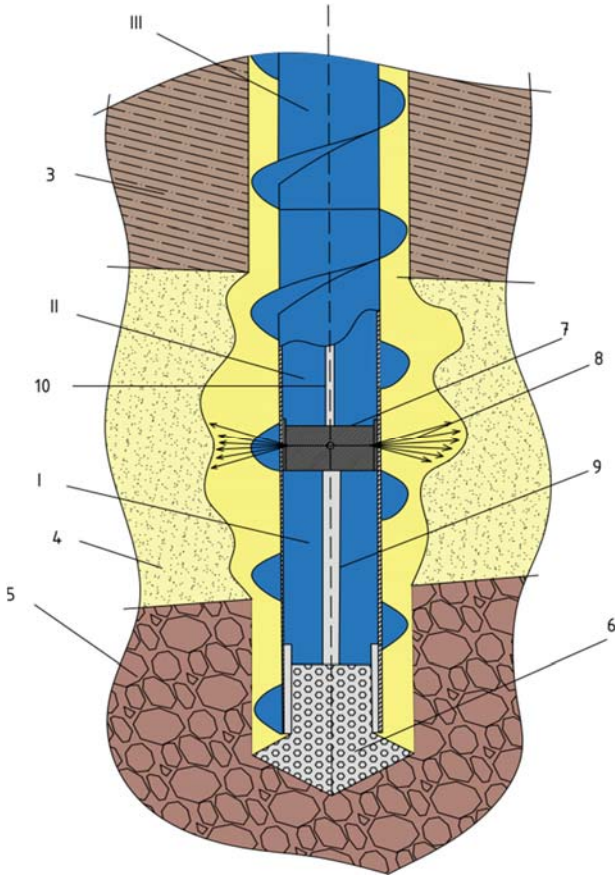


Рис. 5.26. Увеличенный вид буровой колонны по рис. 5.25 снизу, а именно три первых полых шнека с видом размещения бурового инструмента и раздаточного элемента со струеобразующими соплами

На рис. 5.27 имеется вид буровой колонны по фигуре 5.26 после окончания процессов бурения и цементации массива грунта вокруг пробуренной скважины и с поднятыми из полых шнеков раздаточным элементом со струеобразующими соплами и буровым инструментом.

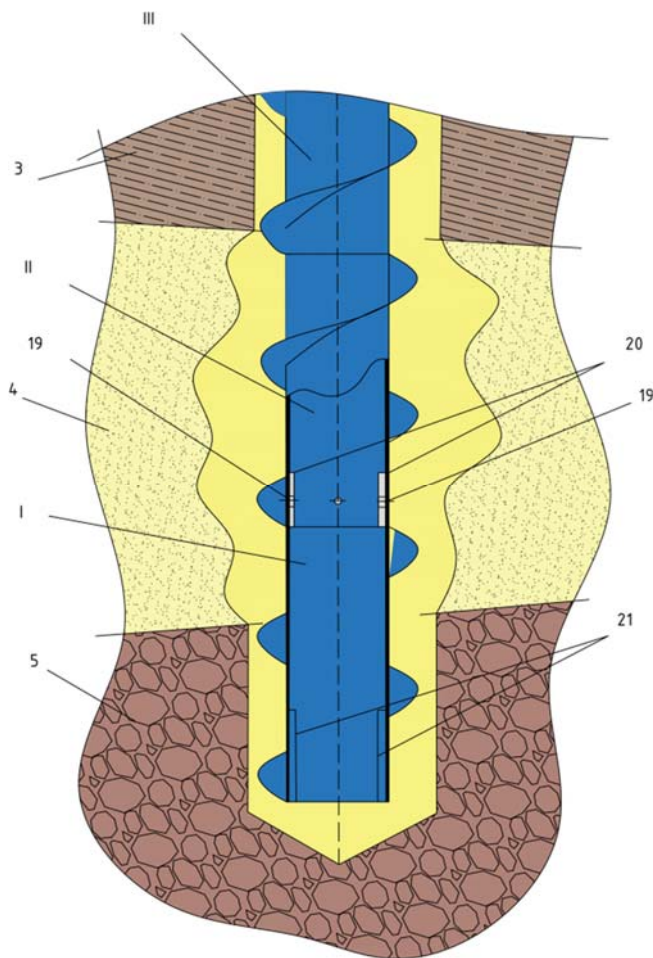


Рис. 5.27. Вид буровой колонны по рис. 5.26 после окончания процессов бурения и цементации грунта вокруг пробуренной скважины и с поднятыми из полых шнеков раздаточным элементом со струеобразующими соплами и буровым инструментом

На рис. 5.28 приводится вид буровой колонны по рис. 5.27 после опускания во внутрь полых шнеков пространственного арматурного каркаса и разрядника с электрическим кабелем.

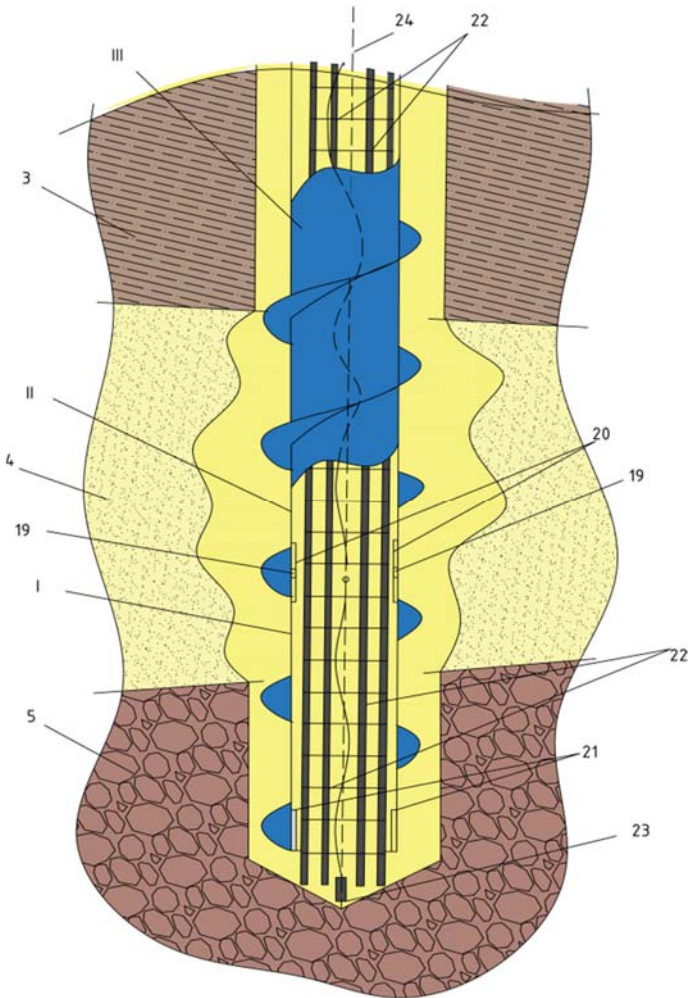


Рис. 5.28. Вид буровой колонны по рис. 5.27 после опускания во внутрь полых шнеков пространственного арматурного каркаса и разрядника с высоковольтным электрическим кабелем

На рис. 5.29 приведен вид пространственного арматурного каркаса после поднятия с вывинчиванием полей шнеков, а также вид подъёма разрядника с инициированием разрядных токов в местах периферийного расположения слабых грунтов. На рис. 5.27 – 5.29 мелкозернистая бетонная смесь в скважине не заштрихована для лучшей наглядности.

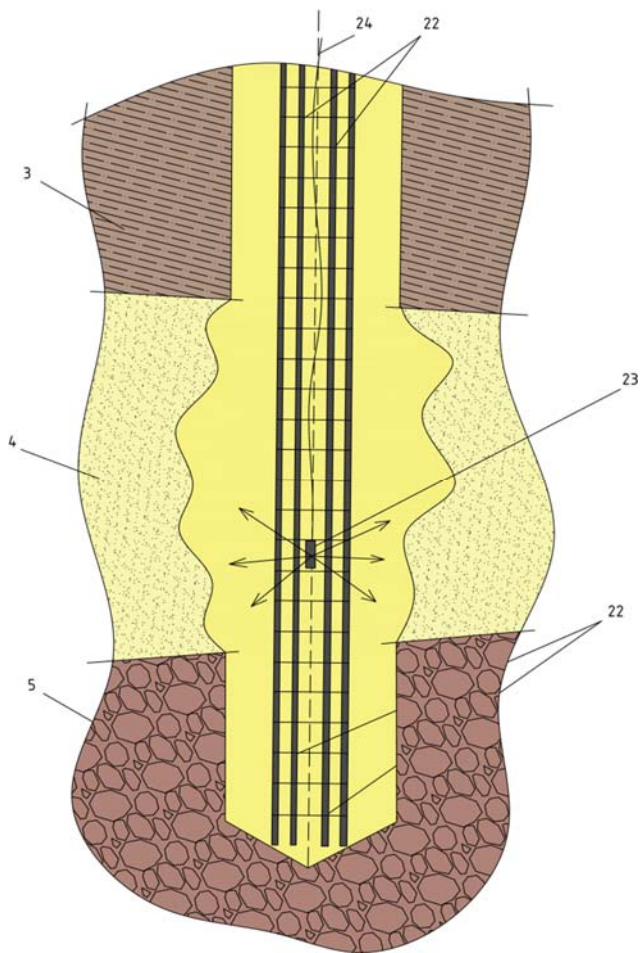


Рис. 5.29. Вид пространственного арматурного каркаса после поднятия с вывинчиванием полей шнеков, а также вид подъёма разрядника с иницированием высоковольтных разрядных токов в местах периферийного расположения слабых перемеживающихся грунтов

На рис. 5.30 приведен схематичный вид нижнего фрагмента сооруженной буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке.

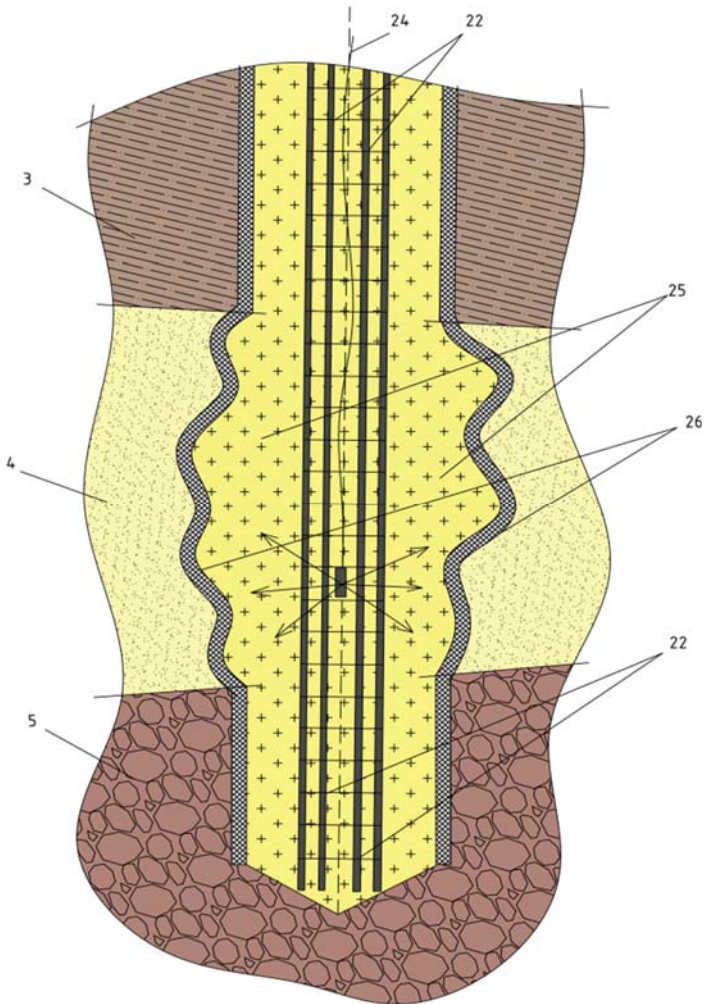


Рис. 5.30. Схематичный вид нижнего фрагмента сооруженной буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке

На представленных рис. 5.25 – 5.30 обозначены:

I, II, III, IV, V	Номера полых шнеков, где	
	I	– нижний (головной)
	V	– соответственно верхний:
1	Поверхность грунта	

2, 3, 4, 5	Инженерно-геологические элементы (слои) пробуриваемых пород (грунта) с различной структурой и, соответственно, прочностью
6	Буровой инструмент, установленный внизу полого шнека (I) и выполненный с возможностью извлечения из буровой колонны
7	Раздаточный элемент, выполненный с возможностью извлечения из буровой колонны и установленный в полом шнеке (II)
8	Струеобразующие сопла раздаточного элемента (7)
9	Тяга, выполненная например, в виде трубы, стержня, троса и т.д., для совместного извлечения из буровой колонны раздаточного элемента (7) и бурового инструмента (6)
10	Центральный трубопровод для подачи цементного раствора к раздаточному элементу
11	Устройство подачи водоцементного раствора по трубопроводу (10)
12	Насосный блок подачи под высоким давлением водоцементного раствора
13	Гибкий трубопровод высокого давления для подачи водоцементного раствора от насосного блока (12) к центральному трубопроводу (11)
14	Система датчиков, регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород
15	Шпиндель (головной патрон) привода буровой колонны
16	Блок управления комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора
17	Кабель снятия показаний от системы датчиков (14)
18	Кабель управления насосным блоком (12) от блока управления (16)
19	Боковые окна в полом шнеке (II) для струеобразующих сопел (8) раздаточного элемента (7)
20	Посадочное место в полом шнеке (II) под раздаточный элемент (7) со струеобразующими соплами (8)
21	Посадочное место в полом шнеке (I) под буровой инструмент (6)
22	Пространственный арматурный каркас
23	Высоковольтный разрядник

24	Изолированный кабель разрядник
25	Бетон буронабивной (буроинъекционной) сваи
26	Грунтоцементная оболочка буронабивных (буроинъекционных) свай
Примечания:	
1	<i>Первоначально в рабочем проекте устройства буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке закладывается ограничение на протяженность участка уширения равный, например, 1,0 м, и далее на основании проекта длина первого (головного) шнека (I) буровой колонны выбирается равной 1,0 м. Буровая колонна для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке состоит из набора последовательно герметично соединенных между собой сборно-разборных полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V)</i>
2	<i>Снизу первого полого (головного) шнека (I) размещён извлекаемый буровой инструмент (6), выше которого во втором шнеке (II) буровой колонны расположен извлекаемый раздаточный элемент (7) со струеформирующими соплами (8) для цементации. Шпиндель (головной патрон) (15) привода буровой колонны, оснащенный системой датчиков (14), регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород (2), (3), (4), (5). Сигнал от системы датчиков (14) поступает по кабелю снятия показаний (17) к блоку управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора (по кабелю (18)) от насосного блока (12) к раздаточному элементу (7) со струеформирующими соплами (8) через центральный трубопровод (10)</i>
3	<i>Блок управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора в буровую колонну регулирует давление (уменьшает или увеличивает) подаваемого водоцементного раствора в зависимости от изменения прочностных характеристик вмещающего массива, например, (2), (3), (4) и (5). На основании информации от блока управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под высоким давлением водоцементного раствора в буровую колонну определяются протяженности областей массива с низкими прочностными характеристиками (например, (3)), количество и длина уширений грунтоцементной оболочки, что учитывается</i>

	<p>при изготовлении арматурного каркаса (22) для армирования, а также при подаче высокоэнергетических электрических импульсов для возбуждения в твердеющем материале электрических разрядов от разрядника (23), который поднимают на изолированном кабеле (24)</p>
<p>4</p>	<p>Раздаточный элемент (7) установлен в посадочном гнезде (месте) (20) второго снизу полого шнека (II), в котором выполнены боковые окна (19) под струеформирующие сопла (8) раздаточного элемента (7), который механически связан соединительным элементом (9) (например, трубой, стержнем, тросом и т.д.) для извлечения бурового инструмента (6) из посадочного гнезда (места) (21). По оси буровой колонны внутри полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V) размещён центральный трубопровод (10) для подачи цементного раствора к раздаточному элементу (7), центральный трубопровод (10) жестко закреплен сверху на раздаточном элементе (7) для возможности извлечения его и бурового инструмента (6) из буровой колонны, после завершения процессов бурения и цементации грунтовой оболочки. То есть центральный трубопровод (10) выполняет дополнительную функцию «тягового элемента» для извлечения раздаточного элемента (7) и бурового инструмента (6). В процессе бурения от поверхности грунта (1) по пробуриваемым породам (2), (3), (4), (5) также производится цементация грунтовой оболочки скважины в грунтоцементную оболочку (26)</p>
	<p>Насосный блок (12) по командам блока управления (16) подает водоцементный раствор через гибкий трубопровод (13) высокого давления через устройство подачи (11) и центральный трубопровод (10) к раздаточному элементу (8), в зависимости от показаний системы датчиков (14) (регистрирующих изменение силовых показателей бурения в зависимости от прочностных характеристик пробуриваемых пород) под различным давлением. Уровень прочностных характеристик пробуриваемого грунта задаётся в проектной документации на основании предварительных геологических исследований и на участках бурения слоёв пород (грунта) с высокими прочностными характеристиками, например, (2), (3) и (5) водоцементный раствор подаётся к раздаточному элементу (7) со струеформирующими соплами (8) под низким давлением (0,5...1,0 МПа) и выполняет роль промывочной буровой жидкости. Когда система датчиков (14) фиксирует снижение прочностных характеристик пробуриваемых</p>

	<p>пластов (например, (3)), и при этом протяженность участка с пониженными прочностными характеристиками превысит 1,0 м, блок управления (16) увеличит давление подаваемого водоцементного раствора до уровня гидроструйной цементации (30...100 МПа) и одновременно с процессом бурения произойдет выполнение увеличения диаметра грунтоцементной оболочки до заданной проектом величины</p>
<p>5</p>	<p>При достижении буровым инструментом (6) инженерно-геологических элементов грунта с высокими прочностными характеристиками (например, (5)) соответствующий сигнал от системы датчиков (14) поступит к блоку управления (16) комплексом оборудования для приготовления и подачи под давлением водоцементного раствора, который снизит его давление подачи до первоначального уровня (при достижении раздаточным элементом (7) глубины слоёв с высокими прочностными характеристиками (5))</p>
<p>6</p>	<p>При достижении проектной глубины бурения, то есть после завершения процессов бурения буровым инструментом (6) и цементации струеформирующими соплами (8) раздаточного элемента (7) производится разборка буровой колонны. При этом производится извлечение раздаточного элемента (7) из посадочного гнезда (20) – при помощи центрального трубопровода (10) и бурового инструмента (6) из посадочного гнезда (21) – при помощи тяги (9). После этого в буровую колонну из полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V) дополнительно устанавливается арматурный каркас (22), внешний диаметр которого меньше внутреннего диаметра полых шнеков, и разрядник (23), внешний диаметр которого меньше внутреннего диаметра арматурного каркаса (22). При установке арматурный каркас (22) и разрядник (23) опущены вниз буровой колонны из полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V)</p>
<p>7</p>	<p>Заливка мелкозернистого бетона (25) в буровую колону может осуществляться непосредственно сверху при помощи шланга (на фигурах не показан) из бетононасоса, так и при помощи инъекционной трубы (на фигурах не показана), опущенной вниз буровой колоны внутри арматурного каркаса (22). После заливки бетона (25) до устья скважины производится поднятие с вывинчиванием буровой колонны из полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V) с её постепенной разборкой, при этом мелкозернистый бетон (25) уплотняется, заполняет все полости скважины и его уровень от устья скважины оседает</p>

8	<p><i>В процессе поднятия с вывинчиванием буровой колонны необходимо постоянно доливать бетон (25). В итоге буронабивная (буроинъекционная) свая сформирована арматурным каркасом (22) и залитым бетонным раствором (25) до устья. При этом залитый по устью бетон уплотняется по всей высоте механическими движениями при поднятии с вывинчиванием вверх и разборкой полых шнеков (I), (II), (III), (IV), (V). В местах ранее выявленных областях пониженных физико-механических свойств грунта, например (3) буронабивная (буроинъекционная) свая дополнительно расширена электрическими разрядами от извлекаемого из буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке (26) при помощи изолированного кабеля (24) разрядника (23)</i></p>
9	<p><i>В результате после затвердения в массиве образуется армированная буронабивная (буроинъекционная) свая переменного сечения в грунтоцементной оболочке, причем больший диаметр сваи соответствует большему диаметру грунтоцементной оболочки и располагается в области грунтов с пониженными механическими свойствами</i></p>
10	<p><i>Использование заявленного технического решения обеспечит значительное сокращение времени возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке с повышением её прочностных и несущих свойств за счет совмещения операций бурения с определением свойств и размеров геологических элементов вмещающих пород с фиксацией областей пониженной устойчивости и формирования уширений необходимой геометрии грунтоцемента при строительстве новых объектов на слабых грунтах</i></p>
11	<p><i>Заявленное устройство буровой колонны для возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи в грунтоцементной оболочке обладает всеми критериями изобретения, так как совокупность ограничительных и отличительных признаков его формулы изобретения является новым для таких устройств и способов (технологий) их реализации, при которых обеспечивается возможность возведения свай при строительстве новых объектов на слабых грунтах при сокращении времени их возведения с повышением прочностных и несущих свойств, и, следовательно, соответствует критерию «новизна»</i></p>

5.3. Арматурный каркас для буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов

Арматурный каркас для буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов [223] относится к области строительства, в частности к способам формирования оснований зданий и сооружений.

К слабым водонасыщенным грунтам относят насыщенные водой сильносжимаемые грунты, которые при обычных скоростях приложения нагрузок на основание теряют свою прочность, вследствие чего уменьшается их сопротивление сдвигу и возрастает сжимаемость. Слабый глинистый грунт – это дисперсная структурированная система с коагуляционным типом структурных связей, способная при их нарушении переходить из твердообразного состояния в жидкообразное. Текучее состояние грунта определяется степенью нарушения структурных связей.

Слабые перемеживающиеся грунты особенно широко распространены в районах северо-запада РФ, в недавнем геологическом прошлом освободившихся от ледникового покрова последнего континентального оледенения, в условиях избыточного увлажнения и затрудненного стока подземных и поверхностных вод. Эти грунты образуют залежи на дне и по берегам морей и озер, в поймах и дельтах рек, на заболоченных водоразделах. Суммарная мощность толщ слабых грунтов сравнительно невелика, обычно не более 20,0 – 30,0 м; в ряде районов она достигает 50,0 м. Слабые перемеживающиеся грунты обычно водонасыщены, имеют весьма высокую влажность, большую пористость и весьма большую сжимаемость; они чувствительны к воздействию вибрации и других факторов, связанных со строительным производством.

На территории многих городов северо-запада Российской Федерации, в частности Санкт-Петербурга, слабые грунты распространены почти повсеместно (Абелев К.М. Особенности разработки проекта производства работ при строительстве на слабых водонасыщенных грунтах) [1]. Одним из часто используемых методов укрепления нестабильных грунтов при строительстве зданий и сооружений используется метод укрепления сваями из железобетона.

Известен способ образования буроинъекционной сваи, при котором вначале бурят лидерную скважину до проектной глубины

полым герметичным буровым шнеком, снабженным в его нижней части баровым долотом со сдвижным золотником и встроенными струйными мониторами, с регулируемой скоростью вращения бурового шнека до $60,0 \text{ об/мин}$ по часовой стрелке, затем, увеличив скорость вращения бурового шнека до $120,0 \text{ об/мин}$, посредством встроенных струйных мониторов подают направленными струями водоцементную смесь под заданным высоким давлением не менее $6,0 \text{ МПа}$, чем размывают грунт и создают внизу уширение лидерной скважины из грунтоцементной смеси за счет вертикального, возвратно-поступательного движения вращающегося бурового шнека, при этом амплитуда возвратно-поступательных движений бурового шнека соответствует заданной проектной высоте создаваемого уширения лидерной скважины, а общий объем подаваемой водоцементной смеси в скважину не должен превышать ее полуторакратногоразмера, затем открывают сдвижной золотник в баровом долоте и, вращая буровой шнек против часовой стрелки со скоростью не более $60,0 \text{ об/мин}$, осуществляют подъем бурового шнека на величину, равную двойному шагу реборды шнека, и только после этого под пониженным давлением $0,5 \text{ МПа}$ через сдвижной золотник подают мелкозернистый бетон и одновременно осуществляют возвратно-поступательные движения бурового шнека с амплитудой, равной высоте уширения, до момента начала выхода на поверхность мелкозернистого бетона из устья скважины, затем извлекают буровой шнек без вращения и одновременно подают мелкозернистый бетон под давлением $0,15 \text{ МПа}$, устанавливают в скважину арматурный каркас, производят опрессовку мелкозернистого бетона в скважине давлением не ниже $0,15 \text{ МПа}$, при этом объем мелкозернистого бетона должен превышать объем поданной в скважину водоцементной смеси не менее чем на 10 %. При этом струйные мониторы размещают между лопастями барового долота, непосредственно за породоразрушающим инструментом и встраивают их таким образом, что проекции продольных осей струйных мониторов на горизонтальную плоскость наклонены к радиусам вписанной окружности барового долота под углом $110 - 120$ градусов, а на вертикальную плоскость под углом 30 градусов к вертикали, а направление движения струи, выходящей из встроенных мониторов, совпадает с направлением вращения бурового шнека (патент на изобретение RU 2327007 [220]).

Известный способ позволяет сформировать буроинъекционную сваю, которая будет обладать повышенной несущей способностью, надежностью и долговечностью за счет того, что диаметр нижнего конца сваи превышает диаметр ствола сваи, а значит, лобовое сопротивление сваи с уширением превышает таковое для сваи без уширения.

Однако при реализации известного способа возникает буроинъекционная свая, в которой выполнение уширения в нижней части сваи не учитывает структуру и свойства вмещающего грунтового массива и, как следствие, не обеспечивает эффективного уширения, например, в случае, когда нижняя часть находится в области грунтов высокой прочности. При этом основная часть конструкции сваи может находиться в массиве грунтов с наибольшими просадочными свойствами, что, тем самым, существенно снизит несущую способность, надежность и долговечность всей конструкции сваи.

Кроме того, в отмеченных способах не предусмотрено армирование объема бетона в уширении сваи, что, очевидно, снижает прочность всей конструкции в целом.

Известен способ возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи по патенту на изобретение RU 2303102 [488], включающий проходку скважины в грунте буровым инструментом с последующим ее бетонированием и создание грунтоцементной оболочки. Грунтоцементную оболочку создают путем одновременного бурения и цементации, которую осуществляют в направлении, перпендикулярном оси бурения. При цементации используют раздаточный элемент, имеющий сопла диаметром $(2...5) \times 10^{-3}$ м при скорости цементации скважины, определяемой по приведенной в формуле зависимости. Бетонирование скважины осуществляют при возвратном движении бурового инструмента, при этом используют раздаточный элемент, имеющий сопла с диаметром $(10...20) \times 10^{-3}$ м, при скорости бетонирования, определяемой по приведенной в формуле зависимости. В качестве бурового инструмента используют буровой инструмент, оснащенный шнеком. При этом в известном способе используют шнек диаметром от 250,0 до 800,0 мм. Способ [215, 216] позволяет создавать буронабивную сваю в грунтоцементной оболочке практически одновременно во времени, при этом затвердевание грунтоцементной и буронабивной (буроинъекционной) сваи происходит совместно.

Недостатком способа [216] является то, что формирование грунтоцементной оболочки производится без учета слоистой структуры и изменяющихся свойств вмещающего грунтового массива, а создаваемая буронабивная свая имеет цилиндрическую форму постоянного сечения, что снижает качество и несущую способность возводимой буронабивной (буроинъекционной) сваи. Кроме того, не происходит армирование грунтоцементных уширений в зоне слабых грунтов, что существенно снижает несущую способность сваи.

Известна буроинъекционная реверсивная компенсационная свая, выполненная в пробуренной полым герметичным шнеком скважине, заполненной под давлением мелкозернистым бетоном через полость полого герметичного шнека и отверстие сдвижного золотника, расположенного в его нижней части, и снабженная арматурным каркасом, в которой скважина заполнена мелкозернистым бетоном под давлением не менее 0,5 МПа внесколько этапов, определяемых количеством утечек мелкозернистого бетона в зазор между ребордой полого герметичного шнека и стенкой скважины, при этом на месте каждой из утечек мелкозернистого бетона, снаружи в зазоре между ребордой полого герметичного шнека и стенкой скважины выполнены грунтопесчано-цементные сальники из сухой смеси песка и цемента в соотношении 1:1 и расположены последовательно снизу вверх на теле сваи по мере подъема полого герметичного шнека вверх, при этом объем каждого из грунтопесчано-цементного сальника составляет не менее 5 – 10 % от объема скважины (патент на полезную модель RU 142255) [205]

Конструкция буровой (буроинъекционной) реверсивной компенсационной сваи позволяет устранить технологическую осадку и повысить несущую способность и качество буровой (буроинъекционной) сваи.

Известно пространственное армирующее устройство для армирования подошвы сваи при закладке свайного фундамента с использованием фундаментной сваи (патент на изобретение RU 2310722) [217].

Устройство имеет, по меньшей мере, одну сквозную продольную полость, содержит несколько фигурных сочлененных арматурных деталей, шарнирно соединенных с расположенным по центру кольцевым элементом, так что армирующее устройство может находиться в сложенном состоянии, в котором оно находится при установке, и в развернутом состоянии, в котором оно находится

при эксплуатации, при этом армирующее устройство соединено со сваем по меньшей мере одним элементом, работающим на растяжение; армирующее устройство содержит элементы, работающие на растяжение, выполнены в виде тросов, резьбовых стержней и/или круглого стального прутка с резьбовым концом.

В качестве прототипа выбрано устройство, используемое для армирования буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов (Патент на изобретение RU 2725363) [224].

В известном техническом решении представлен способ возведения буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов. Способ включает проходку скважины полым шнеком с буровым инструментом, оснащенным магистральями подвода высоконапорного водоцементного раствора от насосного блока к раздаточному элементу со струеформирующими соплами, который размещают внутри полого шнека, имеющего боковые окна для струеформирующих сопел раздаточного элемента, а также системой регистрации изменения механических свойств грунтов, составляющих пробуриваемый массив с последующим формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов, которые создают в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов посредством подачи высоконапорного цементирующего раствора через раздаточный элемент со струеформирующими соплами. После достижения грунтоцементной оболочки проектной глубины из пробуренной скважины извлекают раздаточный элемент и буровой инструмент, в полость шнека опускают пространственный арматурный каркас и заполняют скважину бетоном текучей консистенции до устья, после чего производят постепенное поднятие полого шнека с его вывинчиванием и одновременно подают бетонную смесь в скважину (в полость полого шнека) с уплотнением импульсными разрядами (электрогидравлическая обработка) до полного заполнения образовавшегося пространства. В соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов и формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов изготавливают арматурный каркас с боковыми вставками, содержащими арматурные стержни с шарнирами первого рода и пружинами, позволяющими арматурным стержням боковых вставок, заполнять боковые уширения, а также с торцевой вставкой

содержащей приварное и упорные кольца с шарнирами первого рода и арматурные стержни, которые под воздействием веса пространственного арматурного каркаса и вдавливания заполняют торцевое уширение. После чего опускают армирующий каркас в полый шнек, который постепенно с вывинчиванием поднимают, и по мере раскрытия и заполнения арматурными стержнями с шарнирами первого рода боковых и торцевой вставок уширений грунтоцементной оболочки в зоне слабых грунтов подают бетонную смесь в скважину (в полость полого шнека) до полного заполнения образовавшегося пространства.

Способ позволяет осуществить буронабивная (буроинъекционной) свая с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов, которая выполнена в буровой скважине, пробуренной в грунте полым шнеком с буровым инструментом и в которой создана раздаточным элементом со струеформирующими соплами грунтоцементная оболочка с уширениями в зоне слабых грунтов в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов. Свая выполнена опусканием в полый (проходной) шнек, находящийся в скважине пространственного арматурного каркаса и заполнением скважины бетоном текучей консистенции до устья, с последующим постепенным поднятием полого шнека с его вывинчиванием и одновременной подачей бетонной смеси (мелкозернистый бетон) в скважину (в полость полого шнека) с уплотнением импульсными разрядами до полного заполнения образовавшегося пространства. Пространственный арматурный каркас сваи в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов и формированием грунтоцементной оболочки с уширениями в зоне слабых грунтов содержит боковые вставки с арматурными стержнями и с шарнирами первого рода и пружинами, позволяющие арматурным стержням боковых вставок, заполнять боковые уширения, а также пространственный арматурный каркас содержит торцевую вставку с приварным и упорным кольцами, шарнирами первого рода и арматурными стержнями, которые под воздействием веса арматурного каркаса и вдавливания заполняют торцевое уширение.

Из описания к геотехнической технологии выявлено, что сущность заявленного устройства состоит в том, что пространственный арматурный каркас сваи, содержащий стержни, связанные с поперечными кольцами, изготавливают заранее в соответствии с определенными в процессе бурения характеристиками грунтов. В зоне

уширений слабых грунтов каркас содержит подпружиненные боковые вставки, выполненные из арматурных стержней, изогнутых в виде кривой второго порядка и одним концом шарнирно связанные с элементами арматурного каркаса.

Арматурные стержни боковых вставок в рабочем состоянии размещаются в боковых уширениях. Торцевая вставка с приваренными и упорными кольцами, шарнирами первого рода и арматурными стержнями жёстко связана с элементами внизу каркаса и под воздействием веса арматурного каркаса заполняет торцевое уширение.

Недостатком указанного технического решения является то, что свободные концы боковых вставок, которые выполнены из арматурных стержней, изогнутых в виде кривой второго порядка, шарнирно и с помощью пружин сжатия связанных с элементами пространственного арматурного каркаса, препятствуют продвижению прибора для уплотнения импульсными разрядами бетона текучей консистенции, заполняющего полость шнека.

Техническим результатом является ускорение формирования буронабивной (буроинъекционной) сваи.

Предлагается пространственный арматурный каркас для буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов, содержащий стержни, связанные с кольцами торцевую вставку, содержащую приварное и упорные кольца с шарнирами первого рода, подпружиненные боковые вставки, связанные шарнирно с элементами арматурного каркаса на уровнях размещения слабых грунтов, выявленных в процессе бурения, причём боковые вставки, выполнены в виде прямых отрезков арматурных стержней, свободный конец которых соединен с элементами арматурного каркаса гибкой связью.

Пространственный арматурный каркас для буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов, содержит стержни (1), связанные с кольцами (2), торцевую вставку, содержащую приварное и упорные кольца с шарнирами первого рода, подпружиненные боковые вставки (3), связанные шарнирно с элементами арматурного каркаса на уровнях размещения слабых грунтов, выявленных в процессе бурения, причём, боковые вставки (3), выполнены в виде подпружиненных прямых отрезков арматурных стержней, свободный конец которых, соединён с элементами арматурного каркаса гибкой связью (4).

**Устройство работает следующим образом
по нижеприведенному алгоритму:**

1	Производят сборку пространственного арматурного каркаса путём соединения арматурных стержней (1) с поперечными кольцами (2).
2	С нижним концом арматурного каркаса жёстко связывают торцевую вставку.
3	В местах контакта арматуры с расширениями в области слабых грунтов с арматурным каркасом шарнирно связывают боковые вставки (3), выполнены в виде подпружиненных прямых отрезков арматурных стержней, свободный конец которых, соединён с элементами арматурного каркаса гибкой связью (4), выполненную из гибкой металлической проволоки или ленты из пластических материалов.
4	Боковые вставки (3) прижаты к арматурному каркасу (рис. 5.31), пружины вставок – сжаты.
5	Арматурный каркас размещают в полость шнека.
6	Препятствия (рис. 5.31) продвижению прибора для уплотнения импульсными разрядами бетона и проводника для подачи цементного раствора внутрь арматурного каркаса отсутствуют.
Примечание:	
<i>Даже небольшая потеря времени при возведении буронабивной (буроинъекционной) сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов приводит к существенному снижению качества геотехнических работ, связанному с изменением консистенции цементного раствора.</i>	
7	После извлечения из скважины полого шнека боковые вставки (3) под действием пружин сжатия возвращаются в области шарнира, свободный конец вставки отдаляется от каркаса, гибкая связь (4) ограничивает величину отдаления.
8	Боковая вставка (3) и гибкая связь (4) решают проблему армирования цементно-грунтовых масс, заполнивших расширения в области слабых грунтов.

5.4. Устройство для изготовления набивной (буроинъекционной) сваи

Устройство [213] относится к области строительства и может быть использовано при сооружении набивной (буроинъекционной) свай постоянных и временных фундаментных конструкций и искусственных оснований.

Известный способ изготовления набивной (буроинъекционных) свай, включает подачу твердеющего материала (мелкозернистый бетон) в предварительно пробуренную скважину и последующее камуфлетное уплотнение твердеющего материала серией высоковольтных высокоэнергетических электрических разрядов напряжением 6,0 – 8,0 кВ (А.с. СССР №1441847, МПК E 02 D 5/44) [3].

Известна также технология изготовления набивной (буроинъекционных) свай, включающая бурение скважины, подачу в скважину твердеющего материала, возбуждение в нем высоковольтных электрических разрядов с помощью разрядника, предварительно помещенного в твердеющий материал, заключенный в оболочку, с перемещением снизу вверх зоны возбуждения (патент на изобретение RU №2039156, E 02 D 5/34). [5].

Недостатком известных способов является повышенная опасность воздействия электрической энергии высокого напряжения на организм операторов из-за распространенной высоковольтной части в виде тракта передачи электрической энергии от мощного энергоемкого источника – батареи конденсаторов к нагрузке (рабочее напряжение может составлять порядка 5,0 – 8,0 кВ и более, а энергоемкость – свыше 5,0 кДж).

Наиболее часты случаи поражения шаговым напряжением персонала, что зависит от внешних условий протекания электрического тока в грунте (например, сопротивления грунта), уровня рабочего напряжения и др. Кроме того, при случайном (аварийном) замыкании высоковольтного тракта возможно световое, дуговое, электрическое излектродинамическое воздействие.

Все вышеуказанное ведет к снижению надежности работы технологического оборудования. Кроме того, при аварийном замыкании возможен выход из строя электроимпульсной установки (генератора импульсных токов) в целом.

В рассмотренном выше способе обеспечение безопасности обслуживающего персонала требует неукоснительного выполнения

дополнительных защитных мероприятий и средств по технике безопасности, что усложняет и удорожает процесс. При этом дополнительные защитные мероприятия недостаточно эффективны и не могут обеспечить безопасность обслуживающего персонала особенно в полевых условиях – под дождем, снегом, при мокром грунте.

Наиболее близким к заявленной технологии по технической сущности и достигаемому результату является способ изготовления набивной (бурионъекционных) сваи, включающий бурение скважины, подачу в нее твердеющего материала (цементно-песчаного раствора мелкозернистого бетона), возбуждение в нем электрических разрядов с помощью разрядника, перемещаемого снизу вверх (А.с. СССР №1678971 А, Е 02 D 5/34) [4].

Он обладает теми же недостатками, что и вышеуказанные технические решения. Разработанное техническое решение обеспечивает задачу создания надежного и безопасного способа изготовления набивной сваи.

Техническим результатом является повышение надежности способа и электробезопасности путем уменьшения рабочего напряжения, при формировании высокоэнергетического электрического импульса для создания условий, при которых развивается электрогидравлический удар.

Этот технический результат достигается тем, что при изготовлении набивной сваи, включающем бурение скважины, подачу в нее мелкозернистого бетона, формирование высокоэнергетических электрических импульсов для возбуждения в твердеющем материале электрических разрядов с помощью перемещаемого в нем разрядника, формируют высокоэнергетические импульсы низкого напряжения, и, одновременно с формированием каждого высокоэнергетического импульса низкого напряжения, формируют дополнительный маломощный импульс высокого напряжения, для возбуждения иницирующего электрического разряда в перемещаемом разряднике. При этом для обеспечения оптимальных условий изготовления набивной сваи с высокими качественными показателями формируют высокоэнергетические импульсы свыше $20,0 \text{ кДж}$ напряжением $500,0 - 1000,0 \text{ В}$, а дополнительные маломощные импульсы формируют напряжением $5,0 - 15,0 \text{ кВ}$, энергией $200,0 - 2000,0 \text{ Дж}$, длительностью $(5 - 20)10^{-6} \text{ с}$.

Технология поясняется чертежом, где $t_1, t_2, t_3... t_7$ – стадии изготовления набивной сваи; 1 – скважина; 2 – твердеющий материал; 3 – разрядник; 4 – армокаркас; 5 – зарядно-выпрямительное устройство, подсоединенное к емкостному высокоэнергетическому накопителю электроэнергии 6; 7 – коммутатор накопителя 6; 8 – питающий низковольтный кабель, соединяющий низковольтный накопитель 6 с разрядником 3; 9 – зарядно-выпрямительное устройство для маломощного высоковольтного источника 10; 11 – коммутатор маломощного высоковольтного источника; 12 – блок синхронизации; 13 – кабель, соединяющий источник с дополнительным иницирующим электродом 14, размещенным в разряднике; 15 – область формирования разряда; 16 – часть изготовленной сваи. Блок синхронизации 12 выполнен с возможностью одновременного срабатывания последовательно соединенных через него коммутаторов 7 и 11.

Способ реализуется следующим образом (см. рис. 5.32). Любым известным способом, например бурением с помощью буровых станков производят проходку цилиндрической скважины 1 проектного диаметра (стадия t_1).

По достижении проектной глубины буровой снаряд извлекают из скважины 1, часть ее заполняют твердеющим материалом 2 (стадия t_2).

Опускают в скважину 1 армокаркас 4, разрядник 3 с питающим низковольтным кабелем 8, подсоединенным к емкостному низковольтному накопителю энергии 6 (стадия t_3).

От зарядно-выпрямительного устройства 5 заряжают накопитель электрической энергии 6, например, энергоемкостью (20,0 – 50,0) кДж до низкого напряжения порядка до 1000,0 В (стадия t_4). Одновременно производят зарядку поджигающего устройства 10 энергоемкостью порядка 200,0 – 2000,0 Дж до напряжения 5,0 – 15,0 кВ от зарядно-выпрямительного устройства 9 (стадия t_5).

Затем осуществляют подачу серии синхронизированных с помощью блока синхронизации 12 высокоэнергетических низковольтных импульсов от накопителя 6 и маломощных высоковольтных импульсов от источника 10 через кабели 8 и 13 коммутаторы 7 и 11 на разрядник 3 и дополнительный иницирующий электрод 14. Происходит серия низковольтных разрядов основного емкостного накопителя энергии 6 посредством пробоя с помощью сформированного иницирующего разряда в области формирования разряда 15.

Это в свою очередь приводит к появлению электрогидравлических ударов. Образующейся при этом ударной волной воздействуют на твердеющий материал 2 и стенки скважины 1, увеличивая ее диаметр, уплотняя твердеющий материал и образуя 35 часть сваи 16.

При подаче импульса низкого напряжения, каким считают напряжение в диапазоне до 1000,0 В, на разрядник 14 электрического пробоя не произойдет, т.к. величины напряжения недостаточно для перекрытия промежутка даже при наличии квазипроводящей среды между электродами разрядника в виде «загрязнения». Поэтому в зону разряда для обеспечения пробоя подают инициирующий импульс высокого напряжения (5,0 – 15,0) кВ от дополнительного поджигающего устройства с синхронно с высокоэнергетическим, выше 20,0 кДж, импульсом низкого напряжения. Выбор параметров напряжения поджига, величины энергии и длительности поджигающего импульса осуществлен экспериментальным путем исходя из необходимости изготовления сваи с высокой несущей способностью и плотностью, безопасности процесса изготовления сваи для технического персонала, а также оптимального использования существующего электрического оборудования.

Известно, что, с точки зрения выделения энергии при электрогидравлическом эффекте, расстояние между электродами должно быть порядка 10,0 – 20,0 мм по поверхности диэлектрика (см. Ф. Фрюнгель. «Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов, конденсаторов» [498]). При низком напряжении величиной до 1000 В в этом промежутке разряда не образуется (см., например, «Техника высоких напряжений», под ред. Д.В. Разевига [107]).

Напряжение до 1000,0 В обусловлено граничным значением с точки зрения техники безопасности, т.к. считается, что высокое напряжение – это величина напряжения свыше 1000,0 В (см., например, Правила техники безопасности и технической эксплуатации электрооборудования [238]). Наиболее оптимальным нижним порогом низкого напряжения является величина напряжения 500,0 В, который выбирают исходя из массогабаритных характеристик накопителя. При дальнейшем снижении напряжения сильно возрастают габариты и вес накопителя (Кужекин И.П. «Испытательные установки и измерения на высоком напряжении» [120]).

В таблице 5.1 приведены данные объема и веса накопителя в зависимости от уровня зарядного (рабочего) напряжения для импульсного конденсатора К41И 7 (напряжение 5 кВ; емкость 100 мкФ; габариты $A \times B \times H = 170 \times 122 \times 410$ мм; объем $V = 0,0014$ м³; масса $m = 15$ кг) при условии накопления электрической энергии накопителем 20 кДж.

Таблица 5.1

Данные объема и веса накопителя в зависимости от уровня зарядного (рабочего) напряжения

Рабочее напряжение накопителя, кВ	0,3	0,4	0,5	0,8	1,0
Количество конденсаторов К41И7 в накопителе, шт	4444	2500	1600	675	400
Объем накопителя при использовании конденсаторов К41И7 м ³	37,8	21,3	13,6	5,1	3,4
Вес накопителя при использовании конденсаторов К41И7, К103 кг	66,7	37,5	24,0	9,4	6,0
Объем накопителя при использовании конденсаторов К74-40S, м ³	6,2	3,5	2,2	0,9	0,6
Вес накопителя при использовании конденсаторов К75-40S, кг $\times 10^3$	10,4	5,9	3,8	1,5	1,0

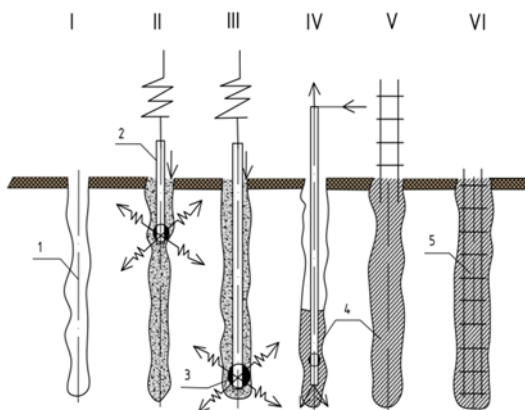


Рис. 5.31. Технологическая схема устройства свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) (разрядно-импульсная технология): I – устройство лидерной скважины; II, III – расширение скважины ЭРТ обработкой; IV – замещение рабочей жидкости бетонной смесью и активация ее; V, VI – погружение арматурного каркаса в бетонную смесь; 1 – скважина, заполненная рабочей жидкостью; 2 – заливочная штанга; 3 – электрический излучатель; 4 – бетонная смесь; 5 – пространственный арматурный каркас

№№ поз.	Позиции
1	Скважина
2	Мелкозернистый бетон
3	Разрядник
4	Армокаркас
5	Зарядно-выпрямительное устройство
6	Накопитель электроэнергии
7	Коммутатор накопителя
8	Питающий низковольтный кабель
9	Зарядно-выпрямительное устройство
10	Маломощный высоковольтный источник
11	Коммутатор маломощного высоковольтного источника
12	Блок синхронизации
13	Кабель
14	Иницирующий электрод
15	Область формирования разряда

16	Готова буринъекционная свая
17	Бетононасос
18	Генератор импульсных токов

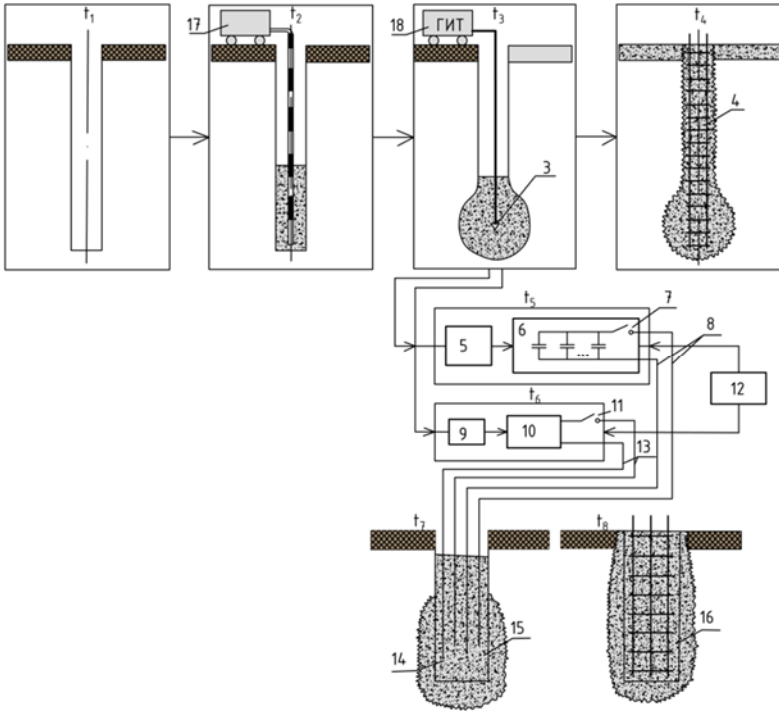


Рис. 5.32. План-схема устройства буринъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Примечания:

1. При этом высокое напряжение поджигающего импульса также безопасно, так как энергия его, равная 200,0 - 2000,0 Дж, мала, импульс кратковременный и, следовательно, мало и количество электричества в импульсе (В.Н. Гайдук, В.Н. Шмигель «Практикум по электротехнологии») [16].

2. Влияние выбранных параметров выполнения способа на такую характеристику сваи, как ее несущая способность, представлено в нижеприведенной таблице 5.2. Испытывались сваи длиной 12,0 м, изготовленные из мелкозернистого бетона. Вмещающими грунтами по боковой поверхности служат четвертичные аллювиальные отложения, представленные песками мелкими и пылеватыми с прослоями суглинков и глин.

Грунтами активной сжимаемой толщи под острием свай являются пески мелкие и средней крупности. При этом несущая способность полученных свай определялась по существующим методикам в соответствии с ГОСТ 5686-2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» [94].

Таблица 5.2

№ п.п.	Параметры способа	№ примера			
		1	2	3	4
1	Низкое напряжение накопителя электроимпульсной установки, В	500	700	850	1000
2	Энергия накопителя электроимпульсной установки, кДж	20	200	25	30
3	Высокое напряжение поджигающего импульса, кВ	15	20	10	7
4	Энергия поджигающего устройства, Дж	1100	2000	500	245
5	Длительность поджигающего импульса, сек	20. 10 ⁻⁶	14. 10 ⁻⁶	5. 10 ⁻⁶	20. 10 ⁻⁶
6	Несущая способность свай, тс	82	84	86	82

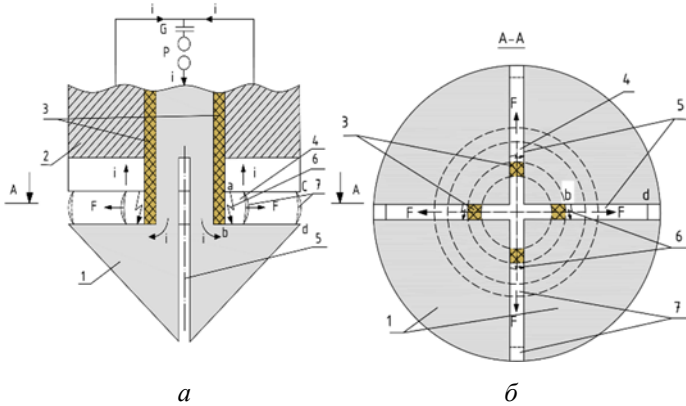
5.5. Разрядное устройство для изготовления набивной (буриинъекционной) свай

Устройство [213] относится к области строительства и может быть использовано при сооружении буриинъекционных и буронабивных свай постоянных и временных фундаментных конструкций и искусственных оснований.

Такие сваи широко применяются:

1. Для усиления перегруженных оснований зданий и сооружений;
2. При строительстве новых объектов вблизи с существующими объектами окружающей застройки в зоне геотехнического влияния;
3. Для усиления оснований фундаментов и тела самих фундаментов существующих зданий в связи с реконструкцией или повышением эксплуатационных нагрузок;
4. Для корректировки крена здания или отдельных фундаментов;
5. Для противооползневой защита зданий и сооружений;

6. При реконструкции и строительстве в стесненных и особо стесненных условиях внутри действующих объектов;
7. При усилении железнодорожных насыпей с нестабильным балластным шлейфом;
8. При строительстве новых объектов в сложных инженерно-геологических условиях с наличием перемеживающихся слабых или структурно-неустойчивых инженерно-геологических элементов.



№№	Позиции
1	Внутренний коаксиальный электрод
2	Внешний электрод в виде толстостенной трубы
3	Изоляция
4	Межэлектродное пространство
5	Продольные разрезы
6	Поверхностный скользящий разряд
7	Дуговая плазма

Рис. 5.33. Разрядное устройство для изготовления набивной (буроинъекционной) свай

Известно техническое устройство для изготовления набивных (буроинъекционных) свай, например устройство, осуществляющее ударное воздействие на твердеющий материал (мелкозернистый

бетон), представляющее собой разрядник, состоящий из электродов, подключенных высоковольтным кабелем через коммутатор к источнику электрической энергии – батарее конденсатора (патент на изобретение RU №2100525) [207].

При этом для осуществления ударного воздействия батарея конденсаторов разряжается на излучающий промежуток (активно-индуктивную нагрузку), образованный двумя электродами, изолированными друг от друга диэлектриком с возможностью его пробоя по поверхности, для чего формируется скользящий разряд.

Недостатком таких устройств является нестабильность процесса срабатывания, то есть пробоя промежутка, и недостаточная эффективность воздействия на твердеющий материал. Это обусловлено тем, что на твердеющий материал основное воздействие оказывает ударная волна, кинетическое воздействие которой незначительно за счет отрицательного влияния электродинамических сил на дуговую плазму, образуемую при пробое промежутка.

Все вышеуказанное ведет к большим затратам электроэнергии разрядной станции, к повышению зарядного рабочего напряжения или к увеличению количества накопительных конденсаторов.

Известны устройства, представляющие собой стенды для испытаний образцов и изделий на ударное воздействие сильных магнитных полей и плазмы (Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. - [137]. Отчет о НИР «Рекомендации по применению буроињкционнх свай» Стандарт предприятия НИИОСП им. Н.М. Гер-севанова Госстроя России СП 38-2-01 [202], с помощью которых также осуществляется воздействие на какие-либо объекты, которыми в том числе могут быть и твердеющие растворы (мелкозернистые бетоны).

Кроме этого, известны стенды для испытания образцов и изделий на ударное воздействие плотной плазмы, в конструкциях которых используется метод кумуляции магнитного потока - «плазменный фокус Филиппова» (Сильные и сверхсильные магнитные поля и их применения. Под ред. Ф. Херлаха) [264].

Однако такие конструкции не позволяют реализовать ударное, объемное, направленное воздействие плотной плазмы на объект с устойчивой высокой надежностью и повторяемостью процесса.

Наиболее близким по технической сущности к рассматриваемому прибору является устройство для ударного воздействия на ка-

кое-либо тело, которым может быть и твердеющий раствор, содержащее батарею конденсаторов, коммутирующий разрядник, внешний и внутренний коаксиальные электроды с межэлектродным пространством и изоляцией между ними, причем внешний электрод выполнен в верхней части в виде полого полушара, внутренний – в виде полого усеченного конуса, при этом межэлектродное пространство сужено в направлении к фокальной точке в радиальном и аксиальном измерениях, а в электродах выполнены радиальные прорезы, батарея конденсаторов подсоединена к электродам симметрично и аксиально (патент на изобретение RU№2196972) [209].

В этом устройстве происходит радиальный, скользящий, направленный к центру поверхностный разряд, при котором образующаяся дуговая плазма (плазменный шнур) ускоряется электродинамическими силами, сжимает магнитный поток с последующим синхронным ускорением в аксиальном направлении до схлопывания в фокальной точке, что позволяет осуществлять направленное ударное воздействие на тело. Использование такого устройства позволяет осуществлять равномерное воздействие плазмы на объект, которым может быть и твердеющий раствор (мелкозернистый бетон).

Однако известное устройство не позволяет осуществить направленное воздействие дуговой плазмы на объект в радиальном направлении от центра, а следовательно, не позволяет получить сваю диаметром, в достаточной степени большим, чем диаметр скважины, полученный после бурения. При этом твердеющий материал может быть в высокой степени уплотнен, что повышает прочность мелкозернистого бетона сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Однако достаточно надежная свая, имеющая диаметр больший, чем изготовленная предварительно скважина, заполняемая твердеющим раствором, не может быть получена.

Техническим результатом разработанного разрядного устройства является повышение надежности изготавливаемой сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) за счет увеличения ее диаметра путем воздействия на твердеющий раствор, помещаемый в скважину в радиальном направлении от центра, для чего конструкция выполнена с возможностью формирования скользящего разряда на поверхности изоляции между ускоряющими электродами, синхронного ускорения дуговой плазмы между ними и образования ударной волны в радиальном от центра направлении. Вследствие этого происходит

ударно-волновое кинетическим воздействие на грунт стенок и забоя буровой скважины в среде твердеющего материала (мелкозернистого бетона). Указанный технический результат достигается тем, что в устройстве для ударного воздействия, содержащем батарею конденсаторов, подсоединенную к коммутирующему разряднику с внутренним и внешним коаксиальными электродами с изоляцией между ними, и выполненными в них радиальными прорезями, внутренний электрод выполнен в виде ступенчатого стержня, нижняя ступень которого имеет больший диаметр, чем верхняя, а внешний электрод выполнен в виде толстостенной трубы, надетой на верхнюю ступень внутреннего электрода. При этом межэлектродный промежуток образован нижней торцевой поверхностью внешнего электрода и поверхностью ступени внешнего электрода, обращенной к этой торцевой поверхности, а изоляция размещена по всей цилиндрической поверхности верхней ступени внутреннего электрода.

На рис. 5.33 *а* и *б* приведена схема реализации заявляемого устройства, где 1 – внутренний коаксиальный электрод, состоящий из двух ступеней, в нижней части выполненный в виде конуса, 2 – внешний электрод, выполненный в виде толстостенной трубы, надетой на верхнюю ступень внутреннего электрода так, что межэлектродный промежуток образован нижней торцевой поверхностью внешнего электрода и поверхностью ступени внешнего электрода, обращенной к этой торцевой поверхности. Батарея конденсаторов *C* подсоединена к коммутирующему разряднику *P*, соединенному с внутренним и внешним коаксиальными электродами. Изоляция 3 размещена между электродами и в межэлектродном пространстве 4, причем электроды выполнены с радиальными прорезями 5, а батарея конденсаторов подсоединена к электродам симметрично и аксиально.

Радиальные, продольные прорези 5, выполненные в электродах, равномерно расположенные по окружности, разделяют электроды на 4 части. Продольных прорезей может быть выполнено больше – 8, 10 т.д. Изоляция между электродами прорезей не имеет. Толщина внешнего трубчатого толстостенного электрода (т.е. путь ускорения дуговой плазмы «*a-c*», равный участку «*b-d*») выбирается в зависимости от режимов работы батареи конденсаторов, от скорости ввода энергии в нагрузку dW_{co}/dt , где W_{co} – электрическая энергия, запасенная в батарее конденсаторов; t – время разряда.

Нижняя часть внутреннего электрода выполнена в виде конуса с целью облегчения перемещения и внедрения излучателя в бетонную смесь.

Прибор работает нижеследующим образом.

При разряде батареи конденсаторов C через коммутирующий разрядник P разрядное напряжение прикладывается к межэлектродному промежутку 4. Наименьшей электрической прочностью в промежутке 4 обладает участок поверхности изоляции 3, расположенный в этом промежутке, по которой и проходит поверхностный скользящий разряд 6. Ввиду наличия радиальных прорезей 5, разделяющих электроды на отдельные секторы, скользящий разряд 6 происходит в каждой из секторов электродов одновременно и переходит в дуговую плазму 7. Опорные точки дуги плазмы перемещаются по поверхностям электродов 1 и 2 в промежутке 4 в радиальном направлении.

При протекании разрядного тока I по электродам возникает электродинамическая сила F , ускоряющая дуговую плазму 7 за пределы электродной зоны. Ускорение происходит за счет «панде-ромоторной силы» (по правилу «левой руки»). При этом для эффективной работы устройства должно выполняться условие: пробивное напряжение по поверхности изоляции между точками « a - b » меньше пробивного напряжения воздушного промежутка 4 между точками « c - d ».

Таким образом, за счет действия электродинамических сил дуговая плазма 7 синхронно ускоряется в направлении объекта воздействия, которым является твердеющий материал и стенки скважины. Синхронность образования и ускорения дуговой плазмы 7 реализуется путем обеспечения равных индуктивностей участков межэлектродных промежутков 4, а также выполнением радиальных прорезей, при этом образуется так называемый «индуктивный делитель»).

Лидирование какого-либо плазменного образования затруднительно из-за увеличения индуктивности петли этого участка. Таким образом, плазма всех участков синхронно и одинаково ускоряется и подходит к крайним участкам межэлектродных промежутков «единым фронтом». Объект воздействия подвергается электродинамическому, кинетическому воздействию за счет ускоренной плазмы и действию ударной волны.

5.6. Генератор импульсных токов (ГИТ)

Генератор импульсных токов [214, 287, 302] относится использовано для магнитно-импульсной обработки материалов (МИОМ), создания импульсных потоков плазмы (импульсные плазмотроны), электрогидравлической обработки материалов (упрочнение оснований и фундаментов) и т.д.

Известен генератор импульсных токов [19], который представляет собой батарею параллельно заряженных конденсаторов. Число, напряжение и емкость конденсатора определяют энергию генератора. Энергия в батарее накапливается за счет заряда конденсаторов в относительно длительный интервал времени от специального источника напряжения (зарядного устройства) и выделяется в относительно короткий промежуток времени в нагрузку. Специальное коммутирующее устройство – управляемый трехэлектродный разрядник (тригатрон) – в зависимости от нагрузки батареи в процессе ее заряда соединяет батареи и нагрузку в нужный момент времени. Генератор импульсных токов (ГИТ) включает в себя также систему проводников, соединяющих отдельные конденсаторы в батарею с коммутирующим устройством, а коммутирующее устройство с нагрузкой. Недостатком такого устройства является нестабильность работы коммутирующего устройства – тригатрона. Особенно это проявляется при многократной коммутации. Большие импульсные токи, протекающие через тригатрон, вызывают эрозию электродов, которая сопровождается изменением их формы и состояния поверхности, а также загрязнением газовой среды и, соответственно, поверхности изоляции. Это, в свою очередь, обуславливает изменение электрических свойств тригатрона: уменьшаются статическое разрядное напряжение и электрическая прочность изоляционной конструкции, особенно изоляции между иницирующим и основным электродами. В итоге ухудшаются вольтсекундные характеристики тригатрона. Даже возможно самопроизвольное срабатывание коммутирующего устройства (самоход).

Наиболее близким по технической сущности к заявляемому устройству является, выбранный в качестве прототипа, генератор импульсных токов [266], содержащий батарею конденсаторов, коммутирующее устройство – двухэлектродный разрядник и им-

пульсный трансформатор, первичная обмотка которого подключена к дополнительному конденсатору через управляемый коммутатор (тригатрон или тиратрон), а вторичная обмотка включена в разрядный контур, куда включены также батарея конденсаторов, двухэлектродный разрядник и нагрузка. Батарея конденсаторов и дополнительный конденсатор подключены через резисторы к зарядному устройству.

При подаче на первичную обмотку трансформатора высоковольтного импульса на второй обмотке появляется высоковольтный импульс, обеспечивающий срабатывание прямым перенапряжением основного коммутирующего устройства – двухэлектродного разрядника. Основным достоинством такого устройства является то, что индуктируемый импульс соизмерим со статическим разрядным напряжением двухэлектродного разрядника и обеспечивает в широком диапазоне измерение основного напряжения без регулирования расстояния между электродами. Такое достоинство обеспечивает стабильность работы основного коммутирующего устройства – двухэлектродного разрядника, мала его зависимость от степени эрозии его электродов и загрязнения поверхности изоляции. Тем более, в двухэлектродном разряднике влияние изоляции из-за конструктивной простоты значительно меньше, чем в тригатроне.

Однако в известном устройстве [266] на стабильность его работы оказывает влияние управляемый коммутатор цепи первичной обмотки трансформатора. Действительно, эта цепь обладает значительно меньшей энергоемкостью, чем основной разрядный контур генератора импульсных токов, т.е. износ электродов управляемого разрядника и загрязнение его изоляции должны быть минимальными. Соответственно, ожидаемое влияние управляемого коммутатора на стабильность срабатывания генератора импульсных токов предполагалось незначительным. Но, из-за трансформаторной связи, часть энергии основного разрядного контура генератора импульсных токов, при его срабатывании передается в цепь первичной обмотки трансформатора, так как управляемый коммутатор этой цепи не успевает восстановить электрическую прочность.

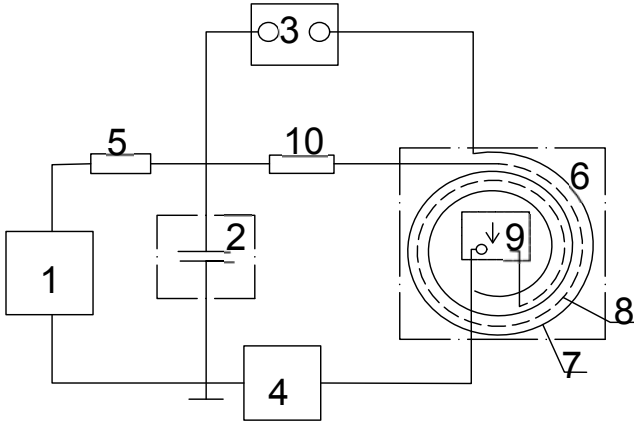
Естественно, величина наведенного тока и его длительность значительно выше собственного управляющего тока. В итоге износ и загрязнение управляемого коммутатора резко возрастают, что

приводит в дальнейшем к нестабильной работе генератора импульсных токов.

Заявляемое изобретение решает задачу создания устройства с повышенной стабильностью срабатывания генератора импульсных токов. Техническим результатом является повышение стабильности срабатывания за счет отсутствия в управляемой цепи наведенного тока.

Указанный технический результат достигается тем, что генератор импульсных токов, содержащий зарядное устройство, подключенное к разрядному контуру, состоящему из батареи конденсаторов, нагрузки, двухразрядного разрядника, содержит спиральный генератор из двух обкладок, соединенных между собой управляемым коммутатором, причем одна обкладка спирального генератора включена в разрядный контур, а другая подключена к зарядному устройству

Запуск генератора импульсных токов осуществляется с помощью управляемого коммутатора (тригатрон или тиратрон), включенного между обкладками спирального генератора. Здесь ток в управляемом коммутаторе определяется только энергоемкостью спирального генератора, которая незначительна. В заявляемом устройстве также имеется трансформаторная связь между обкладками спирального генератора. Однако на распределение токов она совершенно не оказывает влияние, т.к. управляемый коммутатор включен между обкладками. И обкладки, где наводится трансформаторная ЭДС, не образуют замкнутой цепи с управляемым коммутатором. Таким образом, в течение длительной эксплуатации сохраняются стабильными характеристики управляемого коммутатора и соответственно высокая стабильность срабатывания генератора импульсных токов.



№№	Позиции
1	Зарядное устройство
2	Батарея конденсаторов
3	Двухэлектродный разрядник
4	Нагрузка
5	Зарядный резистор
6	Стиральный генератор
7	Обкладка
8	Обкладка
9	Управляемый коммутатор (тригатрон или тиратрон)
10	Зарядный резистор

Рис. 5.34. Генератор импульсных токов (ГИТ)

На рис. 5.34 представлена электрическая схема предлагаемого устройства, которая содержит зарядное устройство 1, батарею конденсаторов 2, коммутирующий двухэлектродный разрядник 3, нагрузку 4, содержащий обкладки 7, 8 спиральный генератор 6 с управляемым коммутатором 9. Батарея конденсаторов 2 и спиральный генератор 6 через зарядные резисторы 5 и 10 соответственно подключены к зарядному устройству 1. При этом спиральный генератор 6 подсоединен к зарядному устройству 1 обкладкой 8 (на рис. 5.34 обкладка 8 представлена пунктирной линией). Обкладка 7 (на рис. 5.34 обкладка 7 представлена сплошной линией) спирального генератора 6 включена в разрядный

контур генератора импульсных токов, состоящего из батареи конденсаторов 2, двухэлектродного разрядника 3, нагрузки 4, путем подключения одного ее конца к разряднику 3, а другого конца к нагрузке 4. Управляемый коммутатор 9 (тригatron или тирatron) включен между обкладками 7 и 8 спирального генератора 6 для его коммутации.

Генератор импульсных токов работает следующим образом при включении зарядного устройства 1 батарея конденсаторов 2 через зарядный резистор 5, спиральный генератор 6, через зарядный резистор 10 заряжается до необходимого уровня напряжения. Затем при подаче инициирующего импульса в момент времени, когда уровень напряжения достигнет необходимого уровня, на управляющий электрод коммутатора 9 (рис. 5.34 управляющий электрод коммутатора 9 показан стрелкой), коммутатор срабатывает и спиральный генератор 6 генерирует высоковольтный импульс. Этот импульс с помощью обкладки 7 спирального генератора 6 вводится в разрядный контур генератора импульсных токов и через нагрузку 4, емкость батареи конденсаторов 2 подается на электроды двухэлектродного разрядника 3. В результате за счет прямого перенапряжения двухэлектродный разрядник 3 срабатывает. Далее через двухэлектродный разрядник 3 и обкладку 7 спирального генератора 6 батарея конденсаторов 2 разряжается на нагрузку 4, выполняя необходимую технологическую операцию. Повышенная стабильность срабатывания заявляемого устройства обеспечивается стабильной работой обоих коммутаторов: двухэлектродного разрядника 3 и управляемого коммутатора 9.

Для устойчивого срабатывания двухэлектродного разрядника 3 необходимо, как и в прототипе [266], чтобы индуктируемый импульс от спирального генератора 6 был соизмерим с разрядным напряжением двухразрядного разрядника 9. А длительная стабильность срабатывания управляемого коммутатора 9 (в отличие от прототипа [266]) обеспечивается отсутствием в управляемой цепи наведенного тока. Здесь собственный ток 2 незначителен, т.к. он определяется только энергоемкостью спирального генератора.

5.7. Электроимпульсная установка для изготовления набивных (буроинъекционных) свай

Геотехническая технология [213] используется при сооружении набивных (буроинъекционных) свай постоянных и временных фундаментных конструкций и искусственных оснований.

Известны устройства для изготовления набивных (буриинъекционных) свай, представляющие собой разрядник, состоящий из электродов, подключенных высоковольтным кабелем через коммутатор к источнику питания (патент на изобретение RU №2100525) [207].

Недостатками их является повышенная опасность воздействия электрической энергии высокого напряжения на организм операторов из-за распространенной высоковольтной части в виде тракта передачи электрической энергии от мощного энергоемкого источника - батареи конденсаторов к нагрузке (рабочее напряжение может составлять порядка 5,0 – 8,0 кВ и более, а энергоемкость – выше 5,0 кДж).

Наиболее часты случаи поражения шаговым напряжением персонала, что зависит от внешних условий протекания электрического тока в грунте (например, сопротивления грунта), уровня рабочего напряжения и др. Кроме того, при случайном (аварийном) замыкании высоковольтного тракта, возможно световое, дуговое, электрическое и электродинамическое воздействия. Все вышеуказанное ведет к снижению надежности работы оборудования. Кроме того, при аварийном замыкании возможен выход из строя электроимпульсной установки в целом.

Наиболее близким является техническое устройство, содержащее электроимпульсную установку, состоящую из емкостного накопителя электроэнергии с коммутатором, подключенную через высоковольтный кабель к разряднику, содержащему электроды (патент на изобретение RU №93056253) [227].

Это устройство обладает теми же недостатками, что и вышеуказанные технические решения. Рассматриваемое техническое решение решает задачу создания надежного и безопасного технического устройства для изготовления набивной (буриинъекционной) свай.

Техническим результатом является повышение надежности работы устройства и электробезопасности при его работе путем уменьшения рабочего напряжения накопителя, необходимого для срабатывания разрядника импульсной установки.

Он достигается тем, что в устройстве, содержащем электроимпульсную установку, включающую высокоэнергетический емкостный накопитель с коммутатором, подключенную к разряднику, со-

держится дополнительный иницирующий электрод, размещенный в разряднике и подсоединенный через другой коммутатор к маломощному высоковольтному источнику, причем оба коммутатора соединены последовательно через блок синхронизации, выполненный с возможностью одновременного срабатывания этих коммутаторов, а емкостный накопитель электроимпульсной установки выполнен низковольтным и соединен с разрядником низковольтным кабелем.

Заявляемое устройство изображено на рис. 5.35., где:

1	Буровая скважина с установленным пространственным армокаркасом
2	Твердеющий материал (мелкозернистый бетон)
3	Разрядник (излучатель высоковольтного электрического разряда)
4	Зарядно-выпрямительное устройство, подсоединенное к емкостному высокоэнергетическому низковольтному накопителю электроэнергии 5
5	Емкостной высокоэнергетический низковольтный накопитель электроэнергии
6	Коммутатор высокоэнергетического низковольтного накопителя 5
7	Питающий низковольтный кабель, соединяющий низковольтный накопитель 5 с разрядником 3
8	Зарядно-выпрямительное устройство для маломощного высоковольтного источника 9
9	Маломощный высоковольтный источник
10	Коммутатор маломощного высоковольтного источника 9
11	Блок синхронизации, причем оба коммутатора 6 и 10 соединены последовательно через блок синхронизации 11
12	Электрический кабель, соединяющий маломощный высоковольтный источник 9 с дополнительным иницирующим электродом 13
13	Дополнительным иницирующим электродом
14	Область формирования разряда
15	Часть изготовленной буровой (буриинъекционной) сваи. Причем блок синхронизации 11 выполнен с возможностью одновременного срабатывания последовательно соединенных через него коммутаторов 6 и 10

Техническое устройство работает следующим образом.

Опускают в предварительно пробуренную скважину 1 с твердеющим материалом 2 и армокаркасом, разрядник 3 с питающим низковольтным кабелем 7, подсоединенным к емкостному накопителю энергии 5 импульсной установки.

От зарядно-выпрямительного устройства 4 заряжают накопитель электрической энергии 5 до низкого напряжения порядка до 1000,0 В емкостью порядка 20,0 – 50,0 кДж. Одновременно производят зарядку маломощного высоковольтного источника 9 до напряжения 5,0 – 15,0 кВ от зарядно-выпрямительного устройства 8.

Затем осуществляют подачу серии синхронных импульсов накопителей 5 и 9 через кабели 7 и 12 коммутаторы 6 и 10 на разрядник 3 и дополнительный иницирующий электрод 13. Синхронность срабатывания коммутаторов 6 и 10 обеспечивают с помощью блока синхронизации 11. Происходит серия низковольтных разрядов основного емкостного накопителя энергии 5 посредством пробоя с помощью иницирующего разряда емкостного накопителя 9 через электрод 13 в области формирования разряда 14 разрядника 3. При этом только синхронная подача серии импульсов от накопителей 5 и 9 в разрядник 3 приводит к пробую разрядного промежутка, что в свою очередь приводит к появлению электрогидравлических ударов, воздействующих на твердеющий материал 2 и стенки скважины 1, увеличивая ее диаметр, уплотняя твердеющий материал 2 и образуя часть буровой сваи 15.

При подаче низкого напряжения, каким считают напряжение в диапазоне до 1000,0 В (см., например, Правила техники безопасности и технической эксплуатации электрооборудования [238]), на разрядник 3 электрического пробоя не произойдет, так как величины напряжения недостаточно для перекрытия промежутка даже при наличии квазипроводящей среды между электродами разрядника в виде «загрязнения» (см., 5 например, «Техника высоких напряжений» [107]).

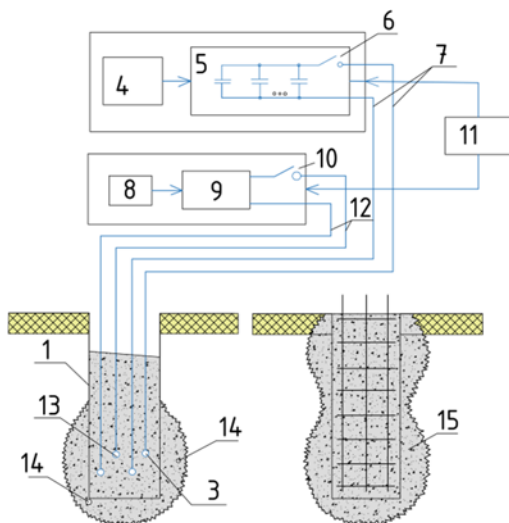
Известно, что с точки зрения выделения энергии при электрогидравлическом эффекте расстояние между электродами должно быть порядка 10,0 – 2,0 мм по поверхности диэлектрика (см. Ф. Фрюнгель «Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов, конденсаторов») [498]. При низком напряжении величиной до 1000 В, в

этом промежутке электрогидравлического разряда не образуется (см., например, «Техника высоких напряжений» [107]).

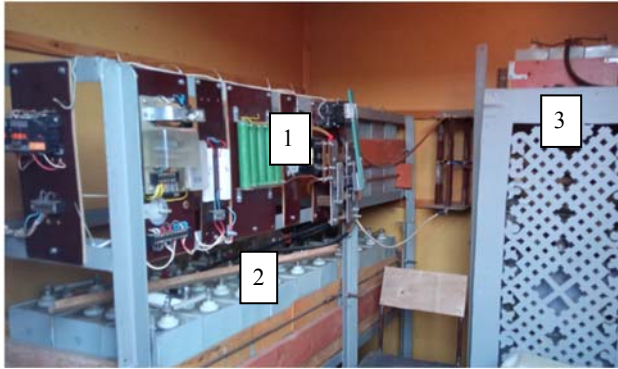
При этом высокое напряжение поджигающего импульса также безопасно, так как энергия его порядка 200,0 – 2000,0 Дж мала, а импульс – кратковременный.

Устройство дает возможность при относительно небольших затратах получить положительные результаты, существенно улучшить условия техники безопасности и надежность работы технологического оборудования, так как заявляемое устройство позволяет устойчиво работать на безопасных режимах.

Особенно актуально использование заявляемого устройства в полевых условиях в геотехническом строительстве.



a



б



в

Рис. 5.35. Электроимпульсная установка для изготовления набивной (буриинъекционной) сваи, где для рис:

а) *Схема установки:* 1 – скважина с установленным пространственным армокаркасом, 2 – твердеющий материал (мелкозернистый бетон); электроимпульсная установка, включающая: 3 – разрядник (излучатель высоковольтной энергии), 4 – зарядно-выпрямительное устройство, подсоединенное к емкостному высокоэнергетическому низковольтному накопителю электроэнергии 5; 6 – коммутатор высокоэнергетического низковольтного накопителя 5, 7 – питающий низковольтный кабель, соединяющий низковольтный накопитель 5 с разрядником

3; 8 – зарядно-выпрямительное устройство для маломощного высоковольтного источника 9; 10 – коммутатор маломощного высоковольтного источника 9; 11 – блок синхронизации, причем оба коммутатора 6 и 10 соединены последовательно через блок синхронизации 11; 12 – кабель, соединяющий маломощный высоковольтный источник 9 с дополнительным иницирующим электродом 13; 14 – область формирования разряда, 15 – часть изготовленной сваи.

б) Разрядно-импульсная установка: 1 – генератор импульсных токов; 2 – батарея импульсных конденсаторов; 3 – ниша для трансформатора 10 кВА; *в) Контейнеры,* внутри которых размещены разрядно-импульсные установки

5.8. Способ устройства набивной (буроинъекционной) сваи

Способ возведения сваи [218] в грунтах, где не обеспечивается устойчивость стенок буровых скважин, может быть использовано для свайных фундаментов новых строящихся зданий и сооружений, реконструируемых старых зданий, а также сооружений самого различного назначения.

Известна технология возведения набивной (буроинъекционной) сваи (авторское свидетельство СССР №1441847) [3], включающая установку арматуры и подачу твердеющего материала в предварительно пройденную пневмопробойником скважину диаметром, меньшим диаметра создаваемой сваи, и последующее уплотнение твердеющего материала. Причем одновременно с монтажом арматурного каркаса скважины расширяют по всей высоте. Подачу твердеющего материала (мелкозернистого бетона) осуществляют совместно с образованием камуфлетного уширения серий высоковольтных электрических разрядов, количество которых определяют из требуемого радиуса камуфлетного уширения за один разряд, интенсивности накопления необратимых деформаций, грунта, а уплотнение твердеющего материала производят по высоте скважины высоковольтными электрическими разрядами.

Данный способ имеет существенные недостатки: сложность, а иногда его невозможно применить при возведении свай в структурно-неустойчивых грунтах, так как происходит расструктурирование этих грунтов.

Известен также способ возведения набивной (буроинъекционной) сваи (патент РСТ RU №91/009941) [203]. Он включает бурение скважины, установку инвентарного электрического разрядника, подачу в скважину твердеющего электропроводного материала, возбуждение в нем высоковольтных электрических разрядов с

помощью разрядника с перемещением зоны возбуждения снизу вверх и последующим извлечением разрядника.

Эта геотехническая технология имеет такие же существенные недостатки, что и предыдущий способ.

Наиболее близким к рассматриваемому способу является технология возведения набивной (буроинъекционной) сваи, включающая бурение скважины, установку электрического разрядника, подачу в скважину твердеющего электропроводного материала, возбуждение в нем высоковольтных электрических разрядов с помощью разрядника с перемещением зоны возбуждения снизу вверх. Причем после извлечения из скважины снаряда для бурения в скважину устанавливают обсадную трубу с теряемой заглушкой. Электрический разрядник и трубу для подачи твердеющего материала монтируют в полости обсадной трубы по оси скважины. Затем осуществляют погружение до забоя скважины обсадной трубы, после чего полость обсадной трубы заполняют электропроводным твердеющим материалом (мелкозернистым бетоном) и перемещают обсадную трубу вверх с одновременной подачей твердеющего материала в скважину и вытеснением его в затрубное пространство, причем перемещение разрядника вверх осуществляют совместно с подъемом обсадной трубы или независимо от нее.

Однако этот способ также не достаточно надежен, так как при использовании его в слабых грунтах во время извлечения бурового снаряда неизбежно произойдет обсыпание грунта и образование шлама на дне буровой скважины, кроме того, использование обсадной трубы с теряемой заглушкой (наконечником), установленной на конце обсадной трубы, приводит к усложнению способа.

Задачей геотехнической технологии является создание нового способа возведения набивной (буроинъекционной) сваи, который позволил бы получить качественные сваи, обеспечить высокие значения несущей способности по грунту и прочность материала ствола, а также упростить процесс производства.

Эта геотехническая задача решается тем, что при возведении набивной сваи, включающем выполнение скважины бурением, подачу в нее твердеющего материала, уплотнение его с помощью электрических разрядов с перемещением зоны возбуждения снизу вверх, бурение осуществляют шнековым снарядом, на конце которого размещен с возможностью выдвижения электрический разрядник, причем подачу твердеющего материала в скважину осуществляют по ребордам шнекового снаряда, после достижения снарядом дна скважины поднимают его без вращения в скважине на

высоту $0,8 - 1,5$ диаметра буровой скважины, а после заполнения образовавшегося объема непрерывно подаваемым твердеющим материалом выдвигают разрядник и осуществляют электрический разряд, затем повторяют операции подъема снаряда и электрических разрядов до заполнения скважины на всю глубину.

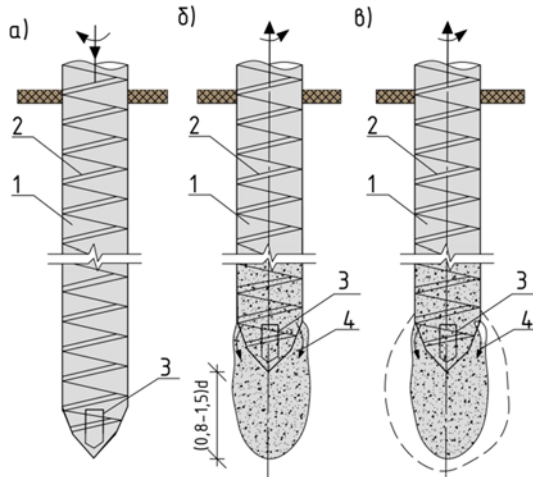
Причем после каждого подъема шнекового снаряда могут осуществлять вращение снаряда в противоположном бурению направлении до заполнения твердеющим материалом образовавшейся после подъема пустоты, при этом момент заполнения определяют при прекращении поглощения твердеющего материала.

Такая новая совокупность существенных признаков технического решения позволяет изготавливать набивную сваю в грунтах, где не обеспечивается устойчивость стенок буровых скважин, а также в структурно-неустойчивых грунтах (илы, торфы, водонасыщенные заторфованные грунты и т.п.).

На рис. 5.36, *а* изображено бурение скважины 1 шнековым снарядом 2 с размещенным на его нижнем конце разрядником 3; рис. 5.36, *б* изображен прямолинейный (без вращения) подъем шнекового снаряда 2 на высоту $(0,8 - 1,5)d$ – диаметра скважины; на рис. 5.36, *б* изображена подача мелкозернистого бетона 4 по ребордам шнекового снаряда 2, которая может осуществляться самотеком, под давлением или вращением снаряда 2 в обратном направлении относительно вращения при бурении, до заполнения объема под снарядом на высоту $(0,8 - 1,5)d$; и срабатывание разрядника; на рис. 5.37, *а* изображен следующий подъем снаряда на высоту $(0,8 - 1,5)d$ от поверхности твердеющего материала 4; на рис. 5.37, *б* изображена полученная набивная свая.

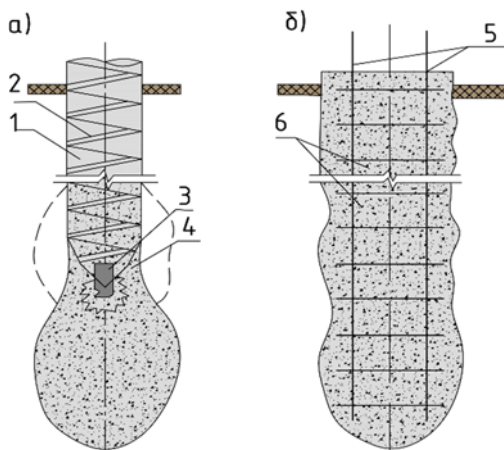
Способ осуществляется следующим образом. Производят проходку цилиндрической скважины 1 шнековым бурильным снарядом 2. Одновременно с бурением происходит выемка грунта. После прохождения бурильного снаряда на требуемую глубину осуществляют подъем его на высоту $(0,8 - 1,5)$ диаметра полученной скважины 1. Высота, равная $(0,8 - 1,5)$ диаметра полученной скважины, определена эмпирически, исходя из условия неосыпаемости грунта в полученную скважину, при подъеме снаряда. Нижний ее предел взят для слабых в отношении осыпаемости грунтов, например пылевато-песчаных, биогенных и им подобных. Высший предел определен для связных грунтов. Одновременно с подъемом бурильного снаряда начинают подачу твердеющего материала 4, который может подаваться самотеком за счет гравитационных сил,

давления, прикладываемого к твердеющему материалу, а после достижения снарядом нужной высоты может быть произведено вращение снаряда в направлении, обратном направлению бурения, для ускорения заполнения образовавшегося при подъеме объема под снарядом 2 и создания некоторого давления для лучшего заполнения вышеуказанного объема. Затем производят электрический разряд в этом объеме, который имеет взрывной характер с большими электродинамическими усилиями, действующими во всех направлениях. При этом часть твердеющего материала 4 внедряется в дно и боковые стенки скважины, упрочняя их, а уровень твердеющего материала занимает положение ниже первоначального. Бурильный шнековый снаряд поднимают на высоту $(0,8 - 1,5)$ диаметра скважины от уровня твердеющего материала, образованного после первого разряда. Затем вышеприведенные операции (подъема и разряда) повторяют до заполнения скважины на всю глубину.



№№	Позиции
1	Бурение скважины
2	Шнековый снаряд
3	Разрядник
4	Подача твердеющего материала (мелкозернистого бетона)

Рис. 5.36 Технологическая схема устройства буронабивной (буринъекционной) сваи



№№	Позиции
1	Бурение скважины
2	Шнековый снаряд
3	Разрядник
4	Подача твердеющего материала (мелкозернистого бетона)
5	Пространственный армокаркас
6	Готовая буроинъекционная свая

Список литературы

1. Абелев К.М. Особенности разработки проекта производства работ при строительстве на слабых водонасыщенных грунтах // Объединенный научный журнал. 2001. № 11. С. 50-53
2. Авруцкий В.А., Будович В.Л., Киселёв В.Я., Кужекин И.П. Накопители энергии и их применение. уч. пособие. – М.: МЭИ, 1982. – 78 с.
3. Авторское свидетельство СССР на изобретение №1441847, МПК E02 D 5/44. , 1987.
4. Авторское свидетельство СССР №1678971 А, E 02 D 5/34.
5. Авторское свидетельство на изобретение RU №2039156, E02 D 5/34.
6. Ананьев В.П., Передельский Л.В. Инженерная геология и гидрогеология. М.: Высш. шк., 1980.
7. AleksandrPushkareva, NikolaySokolovb, AleksanderMihailovc. Methods and technology of reinforcing a leaning slope //Transportation Research Procedia. Volume 57, 2021, Pages 538-546.
8. Aleksandr Pushkareva. Nikolay Sokolovb. Aleksander Mihailovc. Geotechnical practice of construction on permafrost soils near existing facilities// Transportation Research Procedia. Volume 57, 2021, Pages 530-537.
9. Barnes P.A., Rieckhoff K.E. Laser induced underwater sparks // Appl. Phys. Lett. 1968. V. 13, №8. P. 282-284.
10. Barnes P. A. and Rieckhoff K. E., Bull. Can. Assoc. Phys. 24, No. 3 (June 1968), p. 66. A typographical error appears in the abstract. Calculated peak pressures of order 100 000 atm were calculated and not 1000 atm.
11. Буланов А.В., Нагорный И.Г., Соседко Е.В. Особенности акустической эмиссии при оптическом пробое жидкости под действием Nd:YAG-лазера. Журнал технической физики, 2013, том 83, вып. 8.
12. Березанцев В.Г. Осесимметричная задача теории предельного равновесия сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1952.
13. Болховитинов Е.А., Васин Б.Л., Гуськов С.Ю., Доскач И.Я., Ерохин А.А., Круглов Б.В., Осипов М.В., Пузырев В.Н., Розанов В.Б., Рупасов А.А., Студенов В.Б., Федотов С.И., Феоктистов Л.П., Шиканов А.С., Якушев О.Ф. Особенности образования кратеров в мишени под воздействием мощного лазерного импульса. Физика плазмы, Том: 30, Номер: 2, Год: 2004, Стр. 205-208.

14. В.В. Сиротюк, В.А. Архипов. Основание, фундаменты и механика грунтов. 1999, №6.

15. В.Г. Степанов, И.А. Шавров. Импульсная металлообработка в судовом машиностроении. М. Энергия. 1968. стр. 5÷123.

16. В.Н. Гайдук, В.Н. Шмигель. Практикум по электротехнологии. М., Агропромиздат, 1989. с. 136-137.

17. В.Н. Тищенко, В.Г. Посух, А.И. Гулидов, В.И. Запрягаев, А.А. Павлов, Э.Л. Бояринцев, М.П. Голубев, И.Н. Кавун, А.В. Мелехов, Л.С. Голобокова, И.Б.Мирошниченко, А.А. Павлов, А.С. Шмаков. Критерии формирования низкочастотного звука при облучении твердых тел широкоапертурным импульсно-периодическим лазерным излучением. Квантовая электроника, 41, № 10(2011).

18. В.П. Галкин, Ю.А. Попов. Электрофизические процессы в оборудовании для электроразрядной технологии получения свай в строительстве. Чебоксары, 2007 г. 27 с.

19. В.С. Комелькова. Техника больших импульсных токов и магнитных полей. М., Атомиздат, 1970. 12 с.

20. Веселовский Б.В., Дорфман А.Г., Смирнов Д.В., Шевченко М.И. Расчет оползневоего давления и устойчивости склона против переползания грунта через подпорную стену. – В сб.: Вопросы геотехники: Тр. /ДИИТ. – Днепропетровск, 1972, № 21.

21. Вильголенко А. М., Коваль В. Е., Гинзбург Л. К. Устройство в грунте сплошной ограждающей стены. – Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1973, 6.

22. Вопросы геотехники: Тр. /ДИИТ. - Днепропетровск, 1969, № 14.

23. Временная инструкция по устройству набивных свай, изготавливаемых с использованием разрядно-импульсной технологии (сваи РИТ). М.: НИИОСП–РИТ, 1993.

24. ВСН 32–95. Указания по устройству свайных фундаментов для домов повышенной этажности. М.: НИИМосстрой, 1996.

25. ВСН 189-78 Инструкция по проектированию и производству работ по искусственному замораживанию грунтов при строительстве метрополитенов и тоннелей.

26. ВСН 506-88 Проектирование и устройство грунтовых анкеров. Минмонтажспецстрой СССР. 1989.

27. ВТУ. Временные технические условия по расчету, проектированию и производству работ по свайным фундаментам зданий и сооружений в г. Москве. М., 1988.

28. Г. Щелкунов. ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 2005.
29. Г. Щелкунов. Электроника: Наука, Технология, Бизнес 6/2005 описан эффект формирования ударных волн в несжимаемых жидкостях при поглощении мощных СВЧ-импульсов.
30. Г. Щелкунов. Радиогидравлический эффект – от ракет до безаппаратной радиосвязи. Электроника НТБ. Выпуск. 6/2005.
31. Г.А. Гулый (редактор). Оборудование и технологические процессы с использованием электрогидравлического эффекта. М.; Машиностроение, 1977; - 320 с.
32. Г.А. Гулый, П.П. Малюшевский. Высоковольтный электрический разряд в силовых импульсных системах. Киев, «Наукова думка», 1977; -175 с.
33. Ганичев И. А. Устройство искусственных оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1973.
34. Ганичев И.А. Устройство искусственных оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1985. с. 65.
35. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы, Стройиздат, 1933. Собр. соч. Т. I и II. М.: Стройвоенмориздат, 1948.
36. Гинзбург Л. К. Применение противооползневых удерживающих конструкций из буронабивных свай. -Транспортное строительство, 1972, 12.
37. Гинзбург Л. К. Расчет на прочность ствола буронабивных свай. – Основания, фундаменты и механика грунтов, 1971, 2.
38. Гинзбург Л. К. Удерживающие свайные конструкции при строительстве на оползневых склонах. – В кн.: Основания, фундаменты и механика грунтов. Материалы III Всесоюзного совещания. Киев, Будшельник, 1971.
39. Гинзбург Л. К., Лисицын Г. Л. Фундаменты опор автодорожного моста на буровых сваях с уширенным основанием. – Транспортное строительство, 1963, 1 .
40. Гинзбург Л.К. Величина коэффициента устойчивости склона при расчете удерживающих конструкций. – Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1984, № 1.
41. Гинзбург Л.К. Методы определения оползневого давления. – Промышленное строительство и инженерные сооружения, 1980, № 3.
42. Гинзбург Л.К. Противооползневые удерживающие конструкции. - М.: Стройиздат, 1979.

43. Гинзбург Л.К. Расчет оползневого давления с учетом влияния сейсмике и гидродинамической силы. - Транспортное строительство, 1974, № 9.

44. Голушкевич С.С. Плоская задача теории предельного равновесия сыпучей среды. М.: Гостехиздат, 1948.

45. Гольдштейн М. Н. Механические свойства грунтов. М., Стройиздат, 1971

46. Гольдштейн М.Н. Вариационный метод решения задач об устойчивости грунтов. – В сб.: Вопросы геотехники: Тр. /ДИИТ. – Киев, 1969, № 16.

47. Гольдштейн М.Н. Исследования устойчивости оползне-вых масс и способы ее повышения. – В сб.: Борьба с оползнями, обвалами и размывами на ж. д. Кавказа. – М.; 1961.

48. Горбунов-Посадов М.И., Ильичев В. А., Крутов В. И. и др. Основания, фундаменты и подземные сооружения / под общ. ред. Е.А. Сорочка и И.Г. Трофименкова. М.: Стройиздат, 1985 (Справочник проектировщика).

49. ГОСТ 12.1.031-81 «Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения».

50. ГОСТ 12.1.040-83 «Лазерная безопасность. Общие положения».

51. ГОСТ 380-71. Сталь углеродистая обыкновенного качества. Марки и общие технические требования.

52. ГОСТ 977-88 «Отливки стальные. Общие технические условия» (утв. и введен в действие постановлением Госуд-арственного комитета СССР по стандартам от 22 декабря 1988 г. N 4458). Дата введения 1990-01-01.

53. ГОСТ 10178–85. Портландцемент и шлакопортланд-цемент. Технические условия. М.: Изд-во стандартов. 1985, 2005, 2008.

54. ГОСТ 10180–2012. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому регулированию и оценке соответствия в строительстве (приложение Д к протоколу № 40 от 4.06.2012).

55. ГОСТ 10181–2000. Смеси бетонные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 2000.

56. ГОСТ 10922–2012. Арматурные и закладные изделия сварные, соединения сварных арматурных и закладных изделий железобетонных конструкций. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 3013.

57. ГОСТ 12374-77 «Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками». Государственный комитет совета министров СССР по делам строительства. М.: Издательство стандартов, 1978.

58. ГОСТ 12536-2014 Гунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Soils. Methods of laboratory granulometric (grain-size) and microaggregate distribution. Разработан: ОАО «ПНИИИС». Дата введения 2015-07-01.

59. ГОСТ 13579–2018. Блоки бетонные для стен подвалов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2018.

60. ГОСТ 14098–2014. Соединения сварные арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. Типы, конструкции и размеры. М.: Изд-во стандартов, 2014.

61. ГОСТ 14231-88 Смолы карбамидоформальдегидные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 1988.

62. ГОСТ 18105-2018 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности. Разработан Научно-исследовательским, проектно-конструкторским и технологическим институтом бетона и железобетона им.А.А.Гвоздева. М.: Стандартинформ, 2019.

63. ГОСТ 19032-82. Трубки из поливинилхлоридного пластика. Технические условия.

64. ГОСТ 19804.6–83. Сваи полые круглого сечения и сваи оболочки железобетонные составные с напрягаемой арматурой. Конструкция и размеры. Утвержден Постановлением Госстроя СССР от 2 февраля 1983 г. N 21.

65. ГОСТ 19804–2012. Сваи железобетонные заводского изготовления. Общие технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2012.

66. ГОСТ 19912-2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием. Soils. Field test methods: cone penetration test and dynamic probing. Утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2012 г. N 2005-ст межгосударственный стандарт ГОСТ 19912-2012 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 ноября 2013 г.

67. ГОСТ 20276-2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик просадочности. М.: Стандартинформ, 2012.

68. ГОСТ 20522-2012. Грунты. Методы статической обработки результатов испытаний. М.: Стандартинформ, 2013.

69. ГОСТ 22266–2014. Цементы сульфатостойкие. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014.

70. ГОСТ 22689-2014. Трубы и фасонные части из полиэтилена для систем внутренней канализации. Технические условия.

71. ГОСТ 23009–2016. Конструкции и изделия бетонные и железобетонные сборные. Условные обозначения. М.: Изд-во стандартов, 2016.

72. ГОСТ 23161–2012 «Метод лабораторного определения характеристик просадочности». М.: Изд-во стандартов, 2012.

73. ГОСТ 23278-2014 Грунты. Методы полевых испытаний проницаемости. М.: Изд-во стандартов, 2014.

74. ГОСТ 23732–2011. Вода для бетонов и растворов. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2011.

75. ГОСТ 23740-2016 Грунты. Методы определения содержания органических веществ. М.: Изд-во стандартов, 2016.

76. ГОСТ 24211-2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические требования. М.: Изд-во стандартов, 2003.

77. ГОСТ 24713-81 «Методы измерений параметров лазерного излучения. Классификация». Госстандарт СССР.

78. ГОСТ 24714-81 «Лазеры. Методы измерения параметров излучения. Общие положения». М.: Издательство стандартов, 1981.

79. ГОСТ 24846-2012 Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Изд-во стандартов, 2012.

80. ГОСТ 24847-2017 Грунты. Методы определения глубины сезонного промерзания. М.: Изд-во стандартов, 2017.

81. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. М.: Изд-во стандартов, 2013.

82. ГОСТ 25192–2012. Бетоны. Классификация и общие технические требования. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому регулированию и оценке соответствия в строительстве (приложение В к протоколу № 40 от 4.06.2012).

83. ГОСТ 25584-2016 Грунты. Методы лабораторного определения коэффициента фильтрации. М.: Изд-во стандартов, 2016.

84. ГОСТ 26633–2015. Бетоны тяжелые и мелкозернистые. Технические условия. М.: Межгосударственная научно-техническая комиссия по стандартизации, техническому регулированию и

оценке соответствия в строительстве (приложение Д к протоколу № 40 от 4.06.2012). М.: Изд-во стандартов, 2012.

85. ГОСТ 27006–2019. Бетоны. Правила подбора состава. М.: Стандартиформ, 2019.

86. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения по расчету. М.: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11.12.2014, № 1974-ст.

87. ГОСТ 30416-2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. М.: Стандартиформ, 2012.

88. ГОСТ 30459–2003. Добавки для бетонов и строительных растворов. Методы определения эффективности. М.: Изд-во стандартов, 2003.

89. ГОСТ 30515–2013. Цементы. Общие технические условия. М.: Стандартиформ, 2013.

90. ГОСТ 30672-2012 Грунты. Полевые испытания. Общие положения. М.: Изд-во стандартов, 2012.

91. ГОСТ 31108–2003. Цементы общестроительные. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2003. М.: Изд-во стандартов, 2003.

92. ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. М.: Изд-во стандартов, 2011.

93. ГОСТ 4543-71. Прокат из легированной конструкции-онной стали. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2008

94. ГОСТ 5686–2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. М.: Стандартиформ, 2014. (Электронный текст документа подготовлен АО «Кодекс»).

95. ГОСТ 5781-82 Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. Утвержден и введен в действие Постановлением Государственного Комитета СССР по стандартам от 17.12.82 N 4800.

96. ГОСТ 7473–2010. Смеси бетонные. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2010.

97. ГОСТ 8267–2014. Щебень и гравий из плотных пород для строительных работ. Технические условия. М.: Стандартиформ, 2014.

98. ГОСТ 8731-74. Трубы стальные бесшовные горячедоформованные. Технические требования. М.: ИПК Изд-во стандартов.

99. ГОСТ 8733-74. Трубы стальные бесшовные холоднодеформированные и теплодеформированные. Технические требования. 1976.

100. ГОСТ 8736–2014*. Песок для строительных работ. Технические условия. М.: Изд-во стандартов, 2014.

101. ГОСТ 8829–2018. Изделия строительные железобетонные и бетонные заводского изготовления. М.: Изд-во стандартов, 2018.

102. ГОСТ Р 12.3.048–2002. Производство земляных работ способом гидромеханизации. Требования безопасности. М.: Изд-во стандартов, 2002.

103. ГОСТ Р 54257 – 2010 «Надежность строительных конструкций и оснований». М.: Стандартиформ, 2011

104. ГОСТ Р 57342-2016/EN 14199:2005. Национальный стандарт Российской Федерации. МИКРОСВАИ. Правила производства работ. Micropiles. Rules of production of works. Дата введения 2017-07-01.

105. ГОСТ Р 57355-2016/EN 1537:2014. Анкеры грунтовые. Правила производства работ. Ground anchors. Rules of execution of works. М.: Изд-во стандартов, 2014.

106. ГОСТ 18599-2001 «Трубы напорные из полиэтилена. Технические условия». Госстандарт России, 2003

107. Д.В. Разевиг. Техника высоких напряжений. 2-ое издание. – М.: Изд-во «Энергия», 1976, 488 с. с ил.

108. Д.В. Разевич. Техника безопасности, 2-е издание.: Энергия, 1976, – 488 с.

109. Давыдов Г. Дм Гинзбург Л. К. Укрепление оползневых склонов буронабивными сваями. – Механизация строительства, 1969.

110. Дорфман А. Г. Расчеты свободных и удерживаемых склонов. – Труды СоюздорНИИ. М., 1974, вып. 74.

111. Дорфман А.Г. Оползневое давление и выпор грунта. - В сб.: Вопросы геотехники: Тр. /ДИИТ. - Днепропетровск, 1972, № 20.

112. Дранников А. М. Оползни. Типы, причины образования, меры борьбы. Киев, 1956.

113. Дранников А. М., Стрельцев Г. В., Куираш Р. П. Оползни на автомобильных дорогах. М., Транспорт, 1972.

114. Дуброва Г.А. Методы определения распорного давления грунта при расчете гидротехнических сооружений. М.: Морской транспорт, 1947.

115. Е.П. Емельянова «Основные закономерности оползневых процессов» Изд. «Недра» Москва 1972 год.

116. Зависимости между давлением грунта и характеристиками устойчивости и прочности подпорных стен, Механика грунтов и горных пород // сб. № 47; АСИА СССР. М.: Госстройиздат, 1962.
117. Завриев К. С., Шпиро Г. С. Расчеты фундаментов мостовых опор глубокого заложения. М., Транспорт, 1970.
118. Заявка на изобретение RU 2005117042 С1 от 10.12.2006, МПК E02D5/00, «Способ возведения буроинъекционной сваи».
119. Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В. Оптические постоянные прискр и технических сред. Справочник. Л.: Химия, 1984. 216 с.
120. И.П. Куженин. Испытательные установки и измерения на высоком напряжении. М.: Энергия, 1980, с. 52-56.
121. Иванов П.Л. Грунты и основания гидротехнических сооружений. М.: Высшая школа, 1985.
122. Ивентс И., Скейлак Р. Механика и термодинамика биологических мембран. М: Мир, 1992. 304 с.
123. Инструкция по проектированию железобетонных конструкций. ЦНИИПромзданий, НИИЖБ Госстроя СССР. М., Стройиздат, 1968.
124. Иоффе А.И., Мельников Н.А., Наугольных К.А., Упадышев В.А. Ударная волна акустическом пробое в воде // ПМТФ. 1970. № 13. С. 125-127.
125. Карцивадзе Г.Н. Сейсмостойкость дорожных искусственных сооружений. –М: Транспорт. 1974 г. , 264 с.
126. Касперчик А., Писарчик Т., Бородзюк С., Уллшмид И., Кроуски Е., Машек К., Пфайфер М., Скала И., Писарчик П., Гуськов С.Ю. Энергия ударной волны, инициируемой в различных металлах при воздействии мощного лазерного импульса. Журнал экспериментальной и теоретической физики, Том: 132, Номер: 4, Год: 2007, Стр. 907-917.
127. Качмарек Ф. Введение в физику лазеров: Пер. с польск. / Под ред. М.Ф. Бухенс М.: Мир, 1980. 540с.
128. Клейн Г.К. Строительная механика сыпучих тел. М.: Госстройиздат, 1956.
129. Конструктивные и объемно-планировочные решения. Противокарстовые мероприятия. Книга 3. Проектная документация. Раздел 4.043-02/87-КР. Том 4.1.3 // Заказчик – ФГКУ комбинат

«МОНТАЖ» Реконструкция ФГКУ комбинат «МОНТАЖ» управления Федерального агентства по государственным резервам по Приволжскому федеральному округу. Самара. 2017.

130. Корольков Н. М., Еремин В. Л. Путь и сооружения на горных железных дорогах. - М: Транспорт, 1968.

131. Котов М. Ф. Механика грунтов в примерах. - М: Высшая школа, 1968.

132. Коул Дж. Подводные взрывы. М.: ИЛ, 1950. 495 с.

133. Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. 9-е из Наука, 1982. 208 с.

134. Красюк И.К., Барсукова Н.Д., Вовченко В.И., Гусев С.Б., Паутов Е.Н., Потатушкин Ю.А., Пляшкевич Л.Н., Русанов Н.Н., Семенов А.Ю., Цаплин Н.С. Генерация лазерных ударных волн и изучение свойств вещества в экстремальных условиях. Информационный бюллетень РФФИ, 7 (1999). Физика, астрономия.

135. Крей Г. Теория давления земли; пер. с нем. М.: Стройиздат, 1932.

136. Кюнтцель В. В., Новиков П. А. Методика наблюдений за оползневыми смещениями с помощью глубинных реперов. В кн.: ТРУДЫ Северо-Кавказского семинара «Оползни и борьба с ними». Ставрополь, Ставропольское книжн. изд-во, 1964.

137. Лагутин А.С., Ожогин В.И. Сильные импульсные магнитные поля в физическом эксперименте. - М.: Энергоатомиздат, 1988. –192 с

138. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика. М.: Наука, 1986. 736с.

139. Левин С. В. Механика грунтов. – М.: Недра, 1964.

140. Леонтьев Н. Н. Алевролиты как основания сооружений. – Труды ЛИСИ. Л., 1970, вып. 61.

141. Ломизе Б. М. Нахождение опасной поверхности скольжения при расчете устойчивости откосов. – Гидротехническое строительство, 1954, 2.

142. Лямшев Л.М. Лазерное термооптическое возбуждение звука. М.: Наука, 1971. с.

143. Лямшев Л.М., Наугольных К.А. Оптическая генерация звука. Нелинейные эффекты // Акустический журнал. 1981. Т.27, №5. С. 641–668.

144. Малышев М.В., Болдырев Г.Г. Механика грунтов, основания и фундаменты (в вопросах и ответах): учеб. пособие. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2004. 328 с..

145. Мангушев Р.А., Никифорова Н.С., Конюшков В.В., Осокин А.И., Санин Д.А. Проектирование и устройство подземных сооружений в открытых котлованах. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2014.

146. Маслов Н. Н. Длительная устойчивость и деформация смещения подпорных сооружений. М., Энергия, 1968.

147. Маслов Н. Н. Механика грунтов в практике строительства (Оползни и борьба с ними). – М.: Стройиздат, 1977.

148. Маслов Н. Н. Основы механики грунтов и инженерной геологии. М., Высшая школа, 1968.

149. Маслов Н. Н. Условия устойчивости склонов и откосов в гидроэнергетическом строительстве. М., Госэнергоиздат, 1955.

150. Малянова Л.И. Строительные материалы. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 248 с.

151. МГСН 2.07–01. Основания, фундаменты и подземные сооружения. М.: НИИОСП, 2001.

152. МГСН 2.08–01. Защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций жилых и общественных зданий.

153. МГСН 2.09–03. Защита от коррозии бетонных и железобетонных конструкций транспортных сооружений, Пособие к МГСН 2.09–03.

154. МГСН 4.19–05 (временные). Многофункциональные высотные здания и комплексы. М., 2005.

155. Мегель Ю.Е., Шевченко В.В. Анализ параметров волны сжатия, возникающей в жидкости при оптическом лазерном пробое. Радиоэлектроника и информатика, 2002, № 4 с. 133.

156. Медков Е. И., Березанцев В. Г., Гольдштейн М. Н., Царьков А.А. Механика грунтов, основания и фундаменты. - М: Транспорт, 1970.

157. Мерш Э. Железобетонные сооружения. Пер. с нем. Г. Г. Бове, Ю. А. Говсева. Под ред. ГГ Я. Камепцева. М. – Л., Гостехиздат, 1929, 1930, 1931.

158. Методика определения несущей способности висячих свай–РИТ по грунту. М.: НИИОСП–РИТ, 2001.

159. Методические рекомендации «Гигиена труда при работе с лазерами», утвержденные МЗ РСФСР 27.04.81 г.

160. Миронов А.А., Новосельцев М.Г., Базуев В.П. Интенсификация твердения силикатированных грунтов с помощью энергии.

СВЧ. // Повышение качества материалов дорожного и строительного назначения.- Омск: Изд-во СибАДИ, 2001.- С. 146-150.

161. Митурский С. Н., Грицюк Л. В. Использование буронабивных свай в противооползневых сооружениях. – Основания, фундаменты и механика грунтов, 1973, 5.

162. Наугольных К.А., Рой Н.А. Электрические разряды в воде. М.: Наука, 1971.

163. Никонорова И.В., Петров Н.Ф., Соколов Н.С. Территориальное развитие и проблемы строительного освоения на оползнеопасных берегах Чебоксарского водохранилища // «Науки о Земле: от теории к практике» (Арчиовские чтения – 2017): сборник материалов Всероссийской молодежной школе-конференции, посвященной 25-летию кафедры физической географии и геоморфологии им. Е.И. Арчикова и 50-летию ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова». 2017. С. 41–47.

164. Никонорова И.В., Соколов Н.С. Хозяйственное освоение зоны влияния Чебоксарского водохранилища: Управління водними ресурсами в умовах змін клімату – 2017. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції // Київ: Изд-во Інституту водних проблем і Меліорації. С. 71–73.

165. Nikolay Sokolov (Николай Соколов), (Александр Михайлов) Aleksander Mihailov, (Александр Пушкарев) Aleksandr Pushkarev. Оптимальный тип заглубленных конструкций в просадочных грунтах. // Труды Международной конференции «Транспортная доступность Арктики: сети и системы» (International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems), АТА-2021, 2-4 июня 2021 г., Санкт-Петербург, Россия.

166. Nikolay Sokolov (Николай Соколов), (Александр Михайлов) Aleksander Mihailov, (Александр Пушкарев) Aleksandr Pushkarev. Геотехническая практика строительства на мерзлотных грунтах вблизи существующих объектов // Труды Международная конференция «Транспортная доступность Арктики: сети и системы» (International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems), АТА-2021, 2-4 июня 2021 г., Санкт-Петербург, России.

167. Nikolay Sokolov (Николай Соколов), (Александр Михайлов) Aleksander Mihailov, (Александр Пушкарев) Aleksandr Pushkarev. Техника и технология усиления прислоненного склона // Труды Международной конференции Транспортная доступность

Арктики: сети и системы» (International Conference on Arctic transport accessibility: networks and systems), АТА-2021, 2-4 июня 2021 г., Санкт-Петербург, Россия.

168. N. S. Sokolov and P. Yu. Fedorov // Selection Algorithm of Geotechnical Technologies for Amplification // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. Selected Papers. PP 215-223. at <http://www.springer.com/series/15087>.

169. N. S. Sokolov and P. Yu. Fedorov. Use of Weak Foundations in the Construction of Highways // Selection Algorithm of Geotechnical Technologies for Amplification // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. Selected Papers. PP 357-365. at <http://www.springer.com/series/15087>.

170. N. S. Sokolov, S S Viktorova, V V Maguskin and L.I. Malyanova. Common mistakes made under facility construction in cramped conditions // Journal of Physics: Conference Series. Deep Foundations and geotechnical problems of territories (DFGC 2021) 26-28 May 2021, Perm, Russian Federation. Accepted papers received: 18 May 2021. Published online: 17 June 2021. <https://iopscience.iop.org/issue/1742-6596/1928/1>.

171. N. S. Sokolov. Approaches to increase the load bearing capacity of bored injection piles // Journal of Physics: Deep Foundations and geotechnical problems of territories (DFGC 2021) 26-28 May 2021, Perm, Russian Federation. Accepted papers received: 18 May 2021. Published online: 17 June 2021.

172. N. S. Sokolov. One of the Approaches to Increase the Load-Bearing Capacity // Selection Algorithm of Geotechnical Technologies for Amplification // Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future. Selected Papers. PP 293-299. at <http://www.springer.com/series/15087>.

173. N. Sokolov, S. Viktorova, V. Maguskin, L. Malyanova. Common mistakes made under facility construction in cramped conditions // Труды Международной конференции «Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы территорий». Journal of Physics: Conference Series “Deep Foundation and Geotechnics Conference 2021 (DFGC 2021)”. Пермь, 2021.

174. N. Sokolov. Approaches to increase the load bearing capacity of bored injection piles // Труды Международной конференции «Фундаменты глубокого заложения и геотехнические проблемы

территорий». Journal of Physics: Conference Series “Deep Foundation and Geotechnics Conference 2021 (DFGC 2021)”. Пермь. 2021.

175. N.S. Sokolov. Earth Earth Anchor as a Deep Concrete Concrete Structure //Journal of Civil Engineering Research & Technology. Citation: NS Sokolov(2021) Earth Earth Anchor as a Deep Concrete Concrete Structure. Journal of Civil Engineering Research & Technology. Copyright: ©2021.

176. N.S. Sokolov. Errors in construction of facilities in restricted conditions // Current Trends in Civil & Structural Engineering (CTCSE). (CTCSE)[ISSN: 2643-6876][Импакт-фактор-0.397] Iris Publishers LLC, 315 Montgomery Street, Сан-Франциско, Калифорния 94104, США.

177. N.S. Sokolov. Experience of using drilling injection EDT piles in emergency response of a public building // Current Trends in Civil & Structural Engineering (CTCSE).]][Импакт-фактор-0.397] Iris Publishers LLC, 315 Montgomery Street, Сан-Франциско, Калифорния 94104, США.

178. N.S. Sokolov. More About the Possibilities of the ERT Injection Piles. Book TitleAdvances in Construction and Development. Book SubtitleProceedings of CDLC 2020. ISBN978-981-16-6592-9.

179. N.S. Sokolov. Optimum bored pile type selection for collapsible soils // Current Trends in Civil & Structural Engineering (CTCSE). (CTCSE)[ISSN: 2643-6876][Импакт - фактор-0.397] Iris Publishers LLC, 315 Montgomery Street, Сан-Франциско, Калифорния 94104, США.

180. N.S. Sokolov. Optimum Type of Depth Constructions in Insulated Soils. Book TitleAdvances in Construction and Development. Book SubtitleProceedings of CDLC 2020. ISBN978-981-16-6592-9.

181. N.S. Sokolov. Pulse Discharge Technology for Strengthening of Foundations // Current Trends in Civil & Structural Engineering (CTCSE). [ISSN: 2643-6876][Импакт - фактор-0.397].

182. N.S. Sokolov. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited. J Civ Eng Res Technol, 2021. PP. 1-5.

183. N.S. Sokolov , P.Yu. Fedorov. Deep Earth Anchor ERT. Book TitleAdvances in Construction and Development. Book SubtitleProceedings of CDLC 2020. ISBN978-981-16-6592-9.

184. Carome E.F., Moeller C.E., Clark N.A. Intense Ruby-Laser-Induced Acoustic Impulses in Liquids // J. Acoust. Soc. Am. 1966. V. 40, № 6. P. 1462-1466.

185. Nikolay Sokolov An approach to increasing the load-bearing capacity of drilled injection piles / E3S Web of Conferences 274, 03015 (2021) 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE – 2021).

186. Nikolay Sokolov, Boris Mikhailov, Svetlana Viktorova, Foundation with increased load bearing base Capacity / E3S Web of Conferences 274, 03015 (2021) 2nd International Scientific Conference on Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE – 2021).

187. Nikolay Sokolov, Sergey Ezhov, Svetlana Ezhova. Preserving the natural landscape on the construction site for sustainable ecosystem // Journal of applied engineering science 15 (2017) 4, 482. P. 518–523 . База данных Skopus.

188. Nikolay Sokolov. Approach to Increasing the Carrying Capacity of the Pile Base //Current Trends in Civil and Structural Engineering. August 2020.

189. Nikolay Sokolov. Approach to Increasing the Carrying Capacity of the Pile Base //Current Trends in Civil and Structural Engineering - CTCSE. ISSN: 2643-6876 Impact Factor: 0,397. Received Date: July 13, 2020; Published Date: August 12. 2020.

190. Nikolay Sokolov. Approach to Increasing the Carrying Capacity of the Pile Base //Current Trends in Civil and Structural Engineering - CTCSE. ISSN: 2643-6876 Impact Factor: 0,397. Received Date: July 13, 2020; Published Date: August 12. 2020.

191. Nikolay Sokolov. Electroimpulse Device for Manufacture of Continuous Flight Augering Piles //Current Trends in Civil and Structural Engineering. August 2020.

192. Nikolay Sokolov. Electroimpulse Device for Manufacture of Continuous Flight Augering Piles // Current Trends in Civil and Structural Engineering - CTCSE. ISSN: 2643-6876 Impact Factor: 0,397. Received Date: July 13, 2020; Published Date: August 7. 2020.

193. Nikolay Sokolov. Electroimpulse Device for Manufacture of Continuous Flight Augering Piles // Current Trends in Civil and Structural Engineering - CTCSE. ISSN: 2643-6876 Impact Factor: 0,397. Received Date: July 13, 2020; Published Date: August 7. 2020.

194. Nikolay Sokolova. Aleksander Mihailov b. Aleksandr Pushkarevc. A type of buried reinforced concrete structures in structurally unstable

soils //Transportation Research Procedia. Volume 57, 2021, Pages 646-651.

195. Нормы и технические условия проектирования естественных оснований зданий и промышленных сооружений (НиТУ 127–55). М.: Госстройиздат, 1955.

196. О внесении изменений в постановление Правительства Москвы от 7.12.04 № 857–ПП: Постановление Правительства Москвы от 11.10.05 № 780–ПП.

197. Общие положения к техническим требованиям по проектированию жилых зданий высотой более 75 м. М.: ЦНИИЭПжилища, НИИОСП им. Н.М. Герсеева: СантехНИИпроект, 2002.

198. Оползни и инженерная практика. Под ред. Э. Б. Эккеля. Сокращ. пер. с англ. проф. М. Н. Гольдштейна. М., Трансжелдориздат, 1960.

199. Основания и фундаменты. Под ред. проф. Д. А. Леонарда. Пер. с англ. проф. М. Н. Гольдштейна. М., Стройиздат, 1968.

200. Основания и фундаменты: справ. М.: Высшая школа, 1991. 382 с.

201. Основания, фундаменты и подземные сооружения: справочник проектировщика. М.: Стройиздат, 1985. 479 с.

202. Отчет о НИР «Рекомендации по применению буроижекционных свай. М., 2001» (информационные письма ГУП НИИОСП №1-1025 от 19.11.99 и №38-345 от 15.03.01).

203. Патент РСТ № 91/009941, М. Кл E02D 5/44, 1995.

204. Патент на полезную модель RU 109475 U1 от 20.10.2011, МПК E02F5/00, «Буровой став со встроенными струйными мониторами».

205. Патент на полезную модель RU 142255 U1 от 17.12.2013, МПК E02D 5/46, «Буроижекционная реверсивная компенсационная свая»).

206. Патент на полезную модель № 161650. Устройство для камуфлетного уширения набивной конструкции в грунте / Авторы: Соколов Николай Сергеевич, Джантимиров Христофор Андреевич, Кузьмин Михаил Владимирович, Соколов Сергей Николаевич, Соколов Андрей Николаевич. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрирован: 11 апреля 2016 г.

207. Патент на изобретение RU № 2100525 МПК E02D 5/34, 5/44

208. Патент на изобретение RU 2117726 C1 от 20.08.1998, МПК E02D5/34, «Способ изготовления буронабивной свай».

209. Патент на изобретение RU № 2196972, C1, МПК 7G01 3/317, G 01M7/08. 25.04.2001.

210. Патент на изобретение RU 2204651 C1 от 20.05.2003, МПК E02D5/34, E02D5/44, E02D5/46, «Способ возведения буронабивной сваи».

211. Патент на изобретение RU № 2221918, МПК E02D5/34, E02D5/38, опубл. 20.01.2014.

212. Патент на изобретение № 2250957 Способ изготовления набивной сваи / Авторы: Н.С. Соколов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. – 2005. - №12.

213. Патент на изобретение № 2250958. Устройство для изготовления набивной сваи / Авторы: Н.С. Соколов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. – 2005. - №12.

214. Патент на изобретение №2282936. Генератор импульсных токов / Авторы: Н.С. Соколов, Ю.П. Пичугин. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. 2006. № 24.

215. Патент на изобретение RU 2303101 C1 от 20.07.2007, МПК E02D3/12, «Способ закрепления грунта».

216. Патент на изобретение RU 2303102 «Способ возведения буронабивной сваи» – прототип.

217. Патент на изобретение RU 2 310 722 МПК E02D 5/44(2006.01), E02D 5/5, E02D 27/12(2006.01)

218. Патент на изобретение № 2318960. Способ возведения набивной сваи / Авторы: Н.С. Соколов, В.М. Рябинов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам. //Бюллетень изобретений – 2008. -№7.

219. Патент на изобретение №2318961. Разрядное устройство для изготовления набивной сваи / Авторы изобретения: Н.С. Соколов, В.Ю. Таврин, В.А. Абрамушкин. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. 2008. № 8. 4 с.

220. Патент на изобретение RU 2327007 C1 от 20.06.2008, МПК E02D 5/34, «Способ образования буринъекционной сваи»).

221. Патент на изобретение RU 2467125 C1 от 20.11.2012, МПК E02D3/12, «Устройство для стабилизации грунтов вяжущими материалами».

222. Патент на изобретение № 2605213: Способ возведения набивной конструкции в грунте / Авторы: Соколов Николай Сергеевич, Джантимиров Христофор Андреевич, Кузьмин Михаил Владимирович, Соколов Сергей Николаевич, Соколов Андрей Николаевич. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. Зарегистрирован: 25 ноября 2016 г.

223. Патент на изобретение № 2720047. Способ изготовления буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке / Авторы: Соколов Н.С., Михайлов А.Н., Пушкарев А.Е., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. Зарегистрирован 23 апреля 2020 года в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. № 2720047.

224. Патент на изобретение № 2725363. Способ возведения буронабивной сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов и устройство для его осуществления (варианты) / Авторы: Соколов Н.С., Михайлов А.Н., Пушкарев А.Е., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Савчук А.Н. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. Зарегистрирован в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 02 июля 2020.

225. Патент на изобретение № 2735077. Буровая колонна для возведения буронабивной сваи в грунтоцементной оболочке/ Авторы: Соколов Н.С., Михайлов А.Н., Пушкарев А.Е., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Федеральная служба по интеллектуальной собственности и товарным знакам // Бюллетень изобретений. Зарегистрирован 28 октября 2020 года в Государственном реестре изобретений Российской Федерации. 2020.

226. Патент США № 3 566 447: Формирование пластичных тел при помощи гидравлического удара высокой энергии.

227. Патент на изобретение RU № 93056253, Н 03 К3/53, Н01 Т 2/00.

228. Патент на полезную модель RU 95687 U1 от 10.07.2010, МПК E02F5/16, E21B7/28, «Буровой став».

229. Пашенко Б. В. Контрфорсные дренажи для укрепления неустойчивых откосов. Информационное письмо 220. М., 1952, ЦНИИ МПС.

230. Пентковски Р. Б. Новый способ борьбы с оползнями. – Основания, фундаменты и механика грунтов. 1966, 1.

231. Перковский Л. Л. Элементы расчета устойчивости оползневого массива. – В кн.: Труды Северо-Кавказского семинара «Оползни и борьба с ними». Ставрополь, Ставропольское книжн. изд-во, 1964.

232. Положение о едином порядке предпроектной и проектной подготовки строительства в г. Москве. М., 2001.

233. Пособие к СНиП 2.09.03-85. Проектирование подпорных стен и стен подвалов. ЦНИИ и проектно-экспериментальный институт промышленных зданий и сооружений (ЦНИИ промзданий); ГОССТРОЙ СССР. М., 1985.

234. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры (к СП 52–101–2003). М.: НИИЖБ, 2005.

235. Пособие по проектированию защиты от коррозии бетонных и железобетонных строительных конструкций (к СНиП 2. 03.11 – 85).

236. Пособие по проектированию оснований зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1986. 412 с.

237. Правила подготовки и производства земляных работ, обустройство и содержание строительных площадок в Москве. М., 2004.

238. Правила техники безопасности и технической эксплуатации электрооборудования. Приказ Минэнерго РФ №6 от 13.01.2003. Екатеринбург, Урализдат, 2003. 304 с.

239. Проектирование противооползневых мероприятий.-В кн.: Вопросы геотехники. 1971, вып. 18 (ДИПТ).

240. Прохоров А.М., Аскарьян Г.А., Шипуло Г.П.. Формула открытия: »Экспериментально установлено неизвестное ранее явление возникновения гидравлического ударного импульса при поглощении внутри жидкости светового луча квантового генератора (Светогидравлический эффект)». Номер и дата приоритета: № 65 от 28 февраля 1963 г.

241. Пузыревский Н.П. Расчеты фундаментов. М.: ЛИИПС, 1923.

242. Ready J.F. // J. Appl. Phys. 1965. Vol. 36, N 3. P. 462-464.

243. Регламент подготовки, организации и производства строительных (земляных) работ в стесненных условиях городской застройки. М.: НИИОСП. 2000.

244. Рекомендации по обследованию и мониторингу технического состояния эксплуатируемых зданий, расположенных вблизи нового строительства или реконструкции. НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. М.: Москомархитектура, 1998.

245. Рекомендации по проектированию и устройству оснований, фундаментов и подземных сооружений при реконструкции гражданских зданий и исторической застройки. М.: НИИОСП, 1993.

246. Рекомендации по выбору методов расчета коэффициента устойчивости склона и оползневого давления. Центральное бюро научно-технической информации. М.: 1986.

247. Рекомендации по применению микросвай. М.: НИИОСП им. П. М. Герсеванова, 2006.

248. Рекомендации по применению буроинъекционных свай. М., 2001.

249. Рекомендации по проектированию и устройству анкеров в нескальных грунтах. – М.: ЦБНТИ Минмонтажспецстроя СССР, 1977. С. 33

250. Рекомендации по ускоренному замачиванию опытных котлованов в просадочных грунтах. (М.: НИИОСП, 1982).

251. Рекомендациями по испытанию просадочных грунтов статическими нагрузками. М.: Стройиздат, 1974

252. РТ 166–04. Технические рекомендации по обеспечению качества бетонных и растворных смесей и предотвращению коррозии бетона, железобетонных конструкций. М.: НИИМосстрой, 2004.

253. РТМ 393–94. Руководящие технологические материалы по сварке и контролю качества соединений арматуры и закладных изделий железобетонных конструкций. М.: НИИЖБ, 1994.

254. Рубаник М. Н. Способ определения взаимного смещения слоев грунта. Авт. свид. 337466. – Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1972, 15.

255. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. М.: Стройиздат: НИИЖБ, 1975.

256. Руководство по лабораторному определению деформационных и прочностных характеристик просадочных грунтов. М.: Стройиздат. 1975.

257. Руководство по наблюдению за деформациями оснований и фундаментов зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1975.

258. Руководство по применению химических добавок в бетоне. М.: Стройиздат: НИИЖБ, 1980.

259. Руководство по проектированию железобетонных конструкций с жесткой арматурой М.: Стройиздат: НИИЖБ–ЦНИИ-промзданий, 1978.

260. Руководство по проектированию свайных фундаментов. М.: НИИОСП, 1980.

261. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров" № 2392-81

262. СанПиН 2.1.7.1287-03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы». Министерство здравоохранения Российской Федерации. Дата введения: 15 июня 2003 г.

263. Сергеев С.В., Соколов Н.С., Воробьев Е.Д. Натурные наблюдения за строительством сборно-монолитного здания с «безригельным» каркасом // Жилищное строительство. № 3. 2017. С. 58–62.

264. Сильные и сверхсильные магнитные поля и их применения: Пер. с англ. / Под ред. Ф.Херлаха. - М.: Мир, 1998. - 456 с, ил.)

265. Синько А.С. Анализ и совершенствование технологии организации строительства зданий и сооружений магистральных газопроводов с использованием технической мелиорации грунтов, Магистерская диссертация, Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Томск – 2016г.

266. Смирнов С.А., Шендерович А.М. Авторское свидетельство СССР, кл.21, d3, 3/01; 21e, №129737.

267. СНиП 2.02.05-87 «Фундаменты машин с динамическими нагрузками». Государственный строительный комитет СССР, М.: 1988.

268. СН 488–76. Инструкция по приготовлению мелкозернистых (песчаных) бетонов. М.: Госстрой СССР, 1976.

269. СНиП II-22-81 Каменные и армокаменные конструкции, 1983.

270. СНиП II-55-79. Подпорные стены, судоходные шлюзы, рыбопропускные и рыбозащитные сооружения / Госстрой СССР. – М.: Стройиздат, 1980.

271. СНиП 2.02.01–83*. Основания зданий и сооружений. М.: Госстрой России, 1985.

272. СНиП 2.02.03-85 «Свайные фундаменты», М.: Госстрой России, 1985.

273. СНиП 2.03.11–85. Защита строительных конструкций от коррозии. М.: Изд-во стандартов, 1985.

274. СНиП 2.08.02-89 Общественные здания и сооружения, Госстрой СССР, 1990 г.

275. СНиП 3.01.01-85. Организация строительного производства. Госстрой СССР . 1985.

276. СНиП 3.02.01–87. Земляные сооружения, основания и фундаменты. М.: Госстрой России, 1987.

277. СНиП 3.03.01–87. Несущие и ограждающие конструкции. М.: Госстрой СССР, 1988.

278. СНиП 3.04.03-85. Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии. Госстрой СССР от 13 декабря 1985 г. N 223.

279. СНиП 11–02–96. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. М.: Изд-во стандартов, 1996.

280. СНиП 12–01–2004. Организация строительства. М.: Госстрой России, 2004.

281. СНиП 12–03–2001. Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования. М.: Госстрой России, 2001.

282. СНиП 12–04–2002. Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство. М.: Госстрой России. 2002.

283. СНиП 31-06-2009 Общественные здания и сооружения (с изменениями N1, N2, N3) Актуализированная редакция СНиП 2.08.02-89*Дата введения: 1 января 2010 года

284. Sigrist M.W. Laser generation of acoustic waves in liquids and gases // J. Appl.] 1986. Vol. 60, N 7. P. R83-R121.

285. Соколов Н.С. Буринъекционные анкера ЭРТ и сваи ЭРТ как заглубленные конструкции для стабилизации устойчивости склонов //Фундамент. №1. 2022.

286. Соколов Н.С. Геотехническая технология усиления основания фундаментов в стесненных условиях при надстройке четырех дополнительных этажей // Строительные материалы. 2018. № 7. С. 31–38.

287. Соколов Н.С. Исследование и разработка генератора импульсных токов (ГИТ) для устройства буровых свай // Строительные материалы. № 3. 2018. С. 65–69.

288. Соколов Н.С. Укрепление оползневого склона //Строительные материалы. 2018. № 11. С. 44–56.

289. Соколов Н.С. Approaches to increase the load bearing capacity of bored injection piles // Труды Международной научной конференции Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2020). Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Казань. 2021.

290. Соколов Н.С. Prevention technology of equal territories from the flood // Труды Международной научной конференции Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2020). Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Казань. 2021.

291. Соколов Н.С. Алгоритм выбора технологий для целей усиления слабых оснований // Жилищное строительство. 2019. № 8. С. 50–57.

292. Соколов Н.С. Алгоритм определения типа буровых свай для усиления слабых оснований высокоскоростных магистралей // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Института строительства и архитектуры ПГТУ. Йошкар-Ола, 2019. С. 114–118.

293. Соколов Н.С. Алгоритм понижения полов подвала с использованием свай ЭРТ и грунтовых анкеров ЭРТ // Бетон и железобетон. № 2 (602). 2020.

294. Соколов Н.С. Аналитический обзор научно-технической литературы по воздействию физических процессов на среды с типичными для мелкозернистого бетона характеристиками с целью устройства буроинъекционных свай // Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 118 с.

295. Соколов Н.С. Буровая свая с повышенными значениями несущей способности // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

296. Соколов Н.С. Буроинъекционная свая ЭРТ как буровая свая // Труды Всероссийской научной конференции «Строительное материаловедение», посвященное 90-летию выдающегося ученого - материаловеда академика РААСН Баженова Ю.М. Москва. 2020.

297. Соколов Н.С. Буриинъекционная свая ЭРТ как буровая свая // *Фундамент*. № 2. 2020. С. 21–24.

298. Соколов Н.С. Выбор оптимального типа заглубленных конструкций в просадочных грунтах // *Жилищное строительство*. 2019. № 4. С. 24–31.

299. Соколов Н.С. Выбор типа буровых свай по технико-экономическим параметрам // *Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2018): материалы 9-й Всероссийской (3-й Международной) конференции*. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 430–438.

300. Соколов Н.С. Выбор типа буровых свай с повышенными значениями несущей способности // *Жилищное строительство*. 2020. № 4-5. С. 7–12.

301. Соколов Н.С. Выбор типа свай усиления слабых // *Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2018): материалы 9-й Всероссийской (3-й Международной) конференции*. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 439–446.

302. Соколов Н.С. Генератор импульсных токов (ГИТ) для устройства буровых свай // *Строительные материалы*. 2018. № 3. С. 48–65.

303. Соколов Н.С. Геотехническая практика закрепления оползневого склона // *Труды Заочной научно-практической конференции «Инновации в образовательном процессе» к 65-летию Чебоксарского института (филиала) Московского политехнического университета*. Чебоксары. 2020. С. 160–174.

304. Соколов Н.С. Геотехническая технология предотвращения равнинных территорий при половодье // *Жилищное строительство*. 2019. № 9.

305. Соколов Н.С. Геотехнические технологии усиления слабых оснований // *Фундамент*. 2021.

306. Соколов Н.С. Геотехнические технологии усиления слабых оснований // *Фундамент*. №4. 2021. Стр. 8-10.

307. Соколов Н.С. Гидравлика и гидрогеология транспортных сооружений // *Москва-Вологда*. Изд-во Инфра-Инженерия. 2022. 103 стр.

308. Соколов Н.С. Грунтовый анкер глубокого заложения // Труды Всероссийской научной конференции «Строительное материаловедение», посвященное 90-летию выдающегося ученого-материаловеда академика РААСН Баженова Ю.М. Москва. 2020.

309. Соколов Н.С. Длительные исследования деформаций оснований больших фундаментов // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019: Труды конференции с международным участием – 2019. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, С.81–92.

310. Соколов Н.С. Длительные исследования процессов деформирования оснований фундаментов при повышенных нагрузках // Жилищное строительство. 2018. № 5. С. 3–9.

311. Соколов Н.С. Еще о возможностях буроинъекционной свай ЭРТ // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

312. Соколов Н.С. Заанкерованная подпорная стенка укрепления нагруженного склона // Труды Заочной научно-практической конференции «Инновации в образовательном процессе» к 65-летию Чебоксарского института (филиала) Московского политехнического университета. Чебоксары. 2020. С. 153–160.

313. Соколов Н.С. Использование анкеров ЭРТ и буроинъекционных свай ЭРТ для обеспечения устойчивости стенок котлованов // «Вестник ПГТУ. Материалы. Конструкции. Технологии». Йошкар-Ола. 2021.

314. Соколов Н.С. Использование буроинъекционных свай-ЭРТ в качестве оснований фундаментов повышенной несущей способности // Промышленное и гражданское строительство. № 8. 2017. С. 74–79.

315. Соколов Н.С. Исследование и разработка принципиальной схемы генератора импульсных токов // Жилищное строительство. 2018. № 9. С. 37–42.

316. Соколов Н.С. Мелкозернистый бетон, как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай-ЭРТ // Труды III Международной научной конференции SIDDA-2021 «Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху». Журнал IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering. Белгород. 2021.

317. Соколов Н.С. Метод выравнивания кренов объектов с больше-размерными фундаментами при повышенных нагрузках // Жилищное строительство. 2018. № 8. С. 11–18.

318. Соколов Н.С. Метод расчета несущей способности буроинъекционных свай-РИТ с учетом «подпятников» // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2014): материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С. 407–411.

319. Соколов Н.С. Метод расчета осадок больше-размерных фундаментов при повышенных нагрузках // Жилищное строительство. 2018. № 7. С. 38–43.

320. Соколов Н.С. Метод расчета осадок крупноразмерных фундаментов при повышенных нагрузках // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021. Modern questions of continuum mechanics – 2021 MQCM-2021. III Международная конференция.

321. Соколов Н.С. Метод расчета осадок оснований больше-размерных фундаментов // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019: Труды конференции с международным участием – 2019. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, С. 146–155.

322. Соколов Н.С. Методика расчета и технология устройства буроинъекционных свай // Жилищное строительство. № 9. 2020. С. 49–54.

323. Соколов Н.С. Механика грунтов: вопросы и ответы: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1998. 68 с.

324. Соколов Н.С. Один из подходов к увеличению несущей способности буроинъекционных свай // Актуальные проблемы строительного и дорожного комплексов: материалы международной научно-технической конференции, посвященной 50-летию Института строительства и архитектуры ПГТУ. Йошкар-Ола, 2019. С. 109–113.

325. Соколов Н.С. Один из подходов решения проблемы по увеличению несущей способности буровых свай // Строительные материалы. 2018. № 5. С. 44–48.

326. Соколов Н.С. Один из подходов увеличения несущей способности буроинъекционных свай // Труды II Международной научной конференции «BuildInTech BIT 2021. Инновации и технологии в строительстве». Журнал Lecture Notes in Civil Engineering. Белгород. 2021. Стр. 215-222.

327. Соколов Н.С. Одна из распространенных ошибок при возведении объектов в стесненных условиях // Жилищное строительство. 2020. № 1– 2. С. 25–30.

328. Соколов Н.С. Определение несущей способности буроинъекционных свай – РИТ со сформированными подпятниками // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2012): материалы 7-й Всероссийской (1-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. С. 289–292.

329. Соколов Н.С. Определение типа заглубленной конструкции усиления основания под насыпью высокоскоростной магистрали // Строительные материалы. 2018. № 9. С. 62–66.

330. Соколов Н.С. Оптимальный тип буроинъекционных свай усиления оснований высокоскоростных магистралей (ВСМ) // Нелинейная механика грунтов и численные методы расчетов в геотехнике и фундаментостроении: Труды Национально-технической конференции с иностранным участием. Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2019. С. 187– 194.

331. Соколов Н.С. Оптимальный тип заглубленных конструкций в грунте // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

332. Соколов Н.С. Опыт использования буроинъекционных свай ЭРТ // Труды Всероссийской научной конференции «Строительное материаловедение», посвященное 90-летию выдающегося ученого-материаловеда академика РААСН Баженова Ю.М. Москва. 2020.

333. Соколов Н.С. Опыт использования буроинъекционных свай ЭРТ при усилении оснований фундаментов промышленных зданий // Безопасный и комфортный город: Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции. Орел, 2019. С. 103–111.

334. Соколов Н.С. Просадочные грунты. Техника и технология и методология расчетов оснований и фундаментов. Москва-Волгодга. «Инфра инженерия», 2022, 264 с.

335. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Вопросы и ответы: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014.

336. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Вопросы и ответы: Учебное пособие (2-е изд., испр. и доп.) // Чебоксары, Чув. гос ун-тет. 2021. 407 стр.

337. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Вопросы и ответы: Учебное пособие (добавленное) //Изд-во ООО «Издательство Юрайт». 2021. 222 стр.

338. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Вопросы и ответы: Электронное учебное пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – 20,2 Мб.

339. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Вопросы и ответы: Электронное учебное пособие (добавленное). Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

340. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Учебное Пособие. Вопросы и ответы // Изд-во Москва - Вологда «Инфра-Инженерия». 2022. 486 стр.

341. Соколов Н.С. Основания и фундаменты. Учебное Пособие. Вопросы и ответы //Чувашский госуниверситет. 2021. 407 стр.

342. Соколов Н.С. Основания и фундаменты: вопросы и ответы: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2001. 104 с.

343. Соколов Н.С. Основные ошибки в геотехническом строительстве //Фундамент. №3. 2021. Стр. 10-14.

344. Соколов Н.С. Особенности геотехнической практики возведения четырехэтажного кирпичного здания вблизи объекта культурного наследия //Жилищное строительство. №4. 2021. Стр. 18-23.

345. Соколов Н.С. Ошибки при строительстве объектов в стесненных условиях // Труды III Международной научной конференции SIDDA-2021 «Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху». Журнал IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering. Белгород. 2021.

346. Соколов Н.С. Подход к выбору метода усиления слабых оснований высокоскоростных магистралей // Строительные материалы. 2019. № 10.

347. Соколов Н.С. Подход к увеличению несущей способности свайного основания //Труды Международной научной конференции «Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future». Белгород. 2021.

348. Соколов Н.С. Подходы к увеличению несущей способности буроналивочных свай // Безопасный и комфортный город:

Труды третьей Всероссийской научно-практической конференции. Орел, 2019. С. 111-117.

349. Соколов Н.С. Подходы к увеличению несущей способности буроинъекционных свай усиления // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР–2016): материалы третьей Международной (девятой Всероссийской) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. С. 304–316.

350. Соколов Н.С. Преимущества устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями с применением электроразрядных технологий // Геоинфо. 2018. С. 1– 7.

351. Соколов Н.С. Пример использования ЭРТ технологии при усилении основания реконструируемого объекта // Современные вопросы механики сплошных сред – 2021. Modern questions of continuum mechanics – 2021 MQCM-2021. III Международная конференция.

352. Соколов Н.С. Прогноз деформаций оснований большеразмерных фундаментов при повышенном давлении на грунты. Монография // Изд-во Чуваш. ун-та. Чебоксары. 2020. 205 с.

353. Соколов Н.С. Прогноз осадок большеразмерных фундаментов при повышенных давлениях на основания // Современные вопросы механики сплошных сред – 2019: Труды конференции с международным участием – 2019. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, С. 69–80.

354. Соколов Н.С. Прогноз осадок большеразмерных фундаментов при повышенном давлении на основания // Жилищное строительство. 2018. № 4. С. 3–9.

355. Соколов Н.С. Разрядно импульсная технология усиления основания фундаментов // Строительные материалы. № 12. 2020.

356. Соколов Н.С. Распространенная ошибка в геотехническом строительстве // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020. С

357. Соколов Н.С. Случай из геотехнической практики строительства четырехэтажного объекта вблизи объекта ОКН // Жилищное строительство. 2021. Стр. 18-23.

358. Соколов Н.С. Случай усиления основания фундамен-тов в стесненных условиях // Новое в архитектуре, проектиро-вании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2018): мате-риалы 9-й Всероссийской (3-й Международной) конференции. Че-боксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 447–463

359. Соколов Н.С. Технологические приемы устройства буро-инъекционных свай с множественными уширениями // Жилищное строительство. № 10. 2016. С. 54 – 59.

360. Соколов Н.С. Технология предотвращения равнинных тер-риторий от половодья // Труды Международной научной конфе-ренции «Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future». Белгород. 2021.

361. Соколов Н.С. Технология увеличения несущей способ-ности основания // Строительные материалы. 2019. № 6. С.67–72.

362. Соколов Н.С. Технология устройства и методология рас-чета несущей способности буроинъекционных свай ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ) с множественными уширениями: монография. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 192 с.

363. Соколов Н.С. Фундамент повышенной несущей способ-ности с использованием буроинъекционных свай-ЭРТ с много-местными уширениями // Жилищное строительство. № 9. 2017. С. 25–29.

364. Соколов Н.С. Фундамент с повышенной несущей способ-ностью основания //Труды Международной научной конференции «Environmental and Construction Engineering: Reality and the Future». Белгород. 2021.

365. Соколов Н.С. Электроимпульсная установка для изготовле-ния буроинъекционных свай // Жилищное строительство. 2018. № 1–2 С. 62–66.

366. Соколов Н.С. Электроразрядная технология (ЭРТ) усиле-ния оснований фундаментов //Современные вопросы механики сплошных сред – 2021. Modern questions of continuum mechanics – 2021 MQSM-2021. III Международная конференция.

367. Соколов Н.С. Электроразрядная технология усиления ос-нования фундаментов // Жилищное строительство. №9. Стр. 36-42.

368. Соколов Н.С., Алексеева Г.Н., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Исследование и разработка установки для электрогидравлической обработки бетона буровых свай // Вестник Чувашского университета. № 1. 2018. С. 69–79.

369. Соколов Н.С., Антонова Ю.В. Индекс Нельсона и его влияние на строительство нефтеперерабатывающих комплексов // Труды Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы современной науки: теория, технология, методология и практика». Уфа: ООО НИЦ «Вестник науки», 2020. С. 24–30.

370. Соколов Н.С., Батюшенко А.А. Оптимальная технология строительства из монолитного бетона // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

371. Соколов Н.С., Батюшенко А.А. Сокращение сроков строительства из монолитного бетона // Строительные материалы. 2020. № 3. С. 49–54.

372. Соколов Н.С., Батюшенко А.А. Ускоренное возведение монолитных конструкций здания в условиях пониженной температуры // Строительные материалы. 2020. № 4–5. С. 29–32.

373. Соколов Н.С., Богданов А.С. Преимущества геотехнической технологии струйной цементации грунтов (Jet-grouting) // Fundamental science and technology: сборник научных статей по материалам IV Международной научно-практической конференции. Уфа: ООО НИЦ «Вестник науки», 2020. С. 221–233.

374. Соколов Н.С., Викторов С.С., Федосеева И.П., Смирнова Г.М. Выбор оптимального типа буроинъекционных свай усиления слабых оснований высокоскоростных магистралей // Жилищное строительство. 2019. № 12. С. 40–45.

375. Соколов Н.С., Викторова С.С. Гидравлика и гидрогеология транспортных сооружений: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. 118 с.

376. Соколов Н.С., Викторова С.С. Исследование и разработка разрядного устройства для изготовления буровой набивной сваи // Строительство: Новые технологии – Новое оборудование № 12. 2017. С. 38–43.

377. Соколов Н.С., Викторова С.С. Эффективные фундаменты для инженерных систем // Инновационные технологии в системах водоснабжения и водоотведения: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции. Чебоксары. Издательский дом «Среда». 2019. С. 10–15.

378. Соколов Н.С., Викторова С.С., Алексеева Г.Н. Оптимальный тип заглубленных железобетонных конструкций при усилении оснований фундаментов промышленных зданий // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

379. Соколов Н.С., Викторова С.С., Михайлов Б.В. Foundation with increased load bearing base capacity // Труды Международной научной конференции Socio-Technical Construction and Civil Engineering (STCCE-2020). Казанский государственный архитектурно-строительный университет. Казань. 2021.

380. Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Алексеева Г.Н., Федосеева И.П. Свая-ЭРТ, изготовленная по электроразрядной технологии // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2018): материалы 9-й Всероссийской (3-й Международной) конференции. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. С. 464–472

381. Соколов Н.С., Викторова С.С., Смирнова Г.М., Федосеева И.П. Буроинъекционная свая-ЭРТ как заглубленная железобетонная конструкция // Строительные материалы. № 9. 2017. С. 47–50.

382. Соколов Н.С., Викторова С.С., Федорова Т.Г. Сваи повышенной несущей способности // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2014): материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С. 411–415.

383. Соколов Н.С., Григорьев Н.Ф. Соколов С.Н. Опыт использования «микросвай» // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2007): материалы Шестой Всероссийской конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2007. С. 106–109.

384. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А. Расчет и проектирование буроинъекционных свай ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ). Электронное учебное пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019.

385. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А. Расчет и проектирование буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Электронное учебное пособие (добавленное). Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

386. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А. Расчет и проектирование буроинъекционных свай-ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ): Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2016. С. 103.

387. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А. Расчет и проектирование буроинъекционных свай ЭРТ (дополненное). Учебное пособие с грифом Российской академии естествознания // Изд-во Чуваш. ун-та. Чебоксары. 2020. 171 с.

388. Соколов Н.С., Джантимиров Х.А., Кузьмин М.В., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Патент на изобретение. Полезная модель. Устройство для камуфлетного уширения набивной конструкции в грунте // Бюллетень федеральной службы по интеллектуальной собственности. 2016.

389. Соколов Н.С. Технология обеспечения устойчивости ограждения котлована // Строительные материалы. № 1–2. 2018. С. 81–91.

390. Соколов Н.С., Ежов С.А. Применение буроинъекционных анкеров ЭРТ и свай ЭРТ, устроенных для стабилизации устойчивости ландшафта в месте строительства зданий в сложных инженерно-геологических условиях // Промышленное и гражданское строительство. № 7. 2017. С. 30–35.

391. Соколов Н.С., Иванов А.А. Применение геосинтетических материалов при строительстве автомобильных дорог на слабых грунтах // Евразийский научный журнал (Eurasian science journal). № 49/2019. Ч. 1. С. 25–29.

392. Соколов Н.С., Кадышев Е.Н. Электроразрядная технология для устройства буроинъекционных свай // Вестник Чувашского университета. № 3. 2017. С. 159–165.

393. Соколов Н.С., Майорова Н.В. Процедура строительного контроля при строительстве опасного нефтеперерабатывающего производства // Евразийский союз ученых № 5 (74)/2020, часть 4. С. 4–7.

394. Соколов Н.С., Меркулев А.В. Усиление грунтов основания и усиления конструкции полов здания торгового комплекса // Journal is published in Czech, English, Polish, Russian, Chinese, German and French, Ukrainian. Articles are accepted each month. DOI: 10.24412/3162-2364-2021-80-1-3-6. Стр. 3-7. Второй том.

395. Соколов Н.С., Меркулев А.В., Реймов В.А. Одна из геотехнических технологий реконструкций подвалов // Сборник научных

статей по материалам Международной научно-практической конференции «Перспективы развития науки в современном мире». Уфа. 2020. С. 188–199.

396. Соколов Н.С., Михайлов А.Н., Пушкарев А.Е., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Арматурный каркас для буронабивной сваи с грунтоцементными уширениями в зоне слабых грунтов. Патент № 207747 на полезную модель.

397. Соколов Н.С., Михайлова С.В. Организация технического надзора с помощью BIM – технологии при строительстве нефтеперерабатывающего завода // Евразийский научный журнал (Eurasian science journal). 2020. №4 (73)/2020. С. 46– 49.

398. Соколов Н.С., Никифорова Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Применение свай ЭРТ для ликвидации предаварийной ситуации при строительстве фундамента // Геотехника. 2016. № 5. С. 54–60.

399. Соколов Н.С., Никонова И.В. Строительство и тер-риториальное освоение оползневых склонов Чебоксарского водохранилища // Жилищное строительство. № 9. 2017. С. 13–20.

400. Соколов Н.С., Павлов Ф.Л. Пример использования слабых оснований при строительстве магистральных дорог // Строительные материалы. 2019. № 11. С. 45– 50.

401. Соколов Н.С., Павлов Ф.Л. Технология усиления слабых оснований при строительстве магистральных дорог // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

402. Соколов Н.С., Петров М.В., Иванов В.А. Проблемы расчета буронабивных свай, изготовленных с использованием разрядно-импульсной технологии // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2014): материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С. 415–420.

403. Соколов Н.С., Порфирьев Е.В. Тендерная система в строительстве и ее недостатки // Евразийский научный журнал (Eurasian science journal). 2019. № 10(67)/2019. 4 ч. С. 60–62.

404. Соколов Н.С., Пушкарев А.Е., Евтюков С.А. Техника и технология обеспечения устойчивости оползневого склона с помощью грунтовых анкеров // Фундаментальные и прикладные вопросы

геотехники: Новые материалы, конструкции, технологии и расчеты: Сборник трудов Международной научно-технической конференции с возможностью индексации статей в системах SCOPUS и WEB of SCIENCES. Санкт-Петербург, 2019. С. 347–350.

405. Соколов Н.С., Пушкарев А.Е., Михайлов А.Н. Выбор типа буровых свай с повышенными значениями несущей способности // Фундаментальные и прикладные вопросы геотехники: Новые материалы, конструкции, технологии и расчеты: Сборник трудов Международной научно-технической конференции с возможностью индексации статей в системах SCOPUS и WEB of SCIENCES. Санкт-Петербург, 2019. С. 351–356.

406. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об эффективности устройства буроинъекционных свай с многоместными уширениями с использованием электроразрядной технологии // Геотехника. 2016. № 2. С. 28–34.

407. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Об одном методе расчета несущей способности буроинъекционных свай-ЭРТ // ОФимГ. 2015. №1. С. 10–13.

408. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Особенности устройства и расчета буроинъекционных свай с многоместными уширениями // Геотехника. № 3. 2016. С. 60–66.

409. Соколов Н.С., Рябинов В.М. Технология устройства буроинъекционных свай повышенной несущей способности // Жилищное строительство. № 9. 2016. С. 11–14.

410. Соколов Н.С., Соколов А.Н., Соколов С.Н., Глушков В.Е., Глушков А.Е. Расчет буроинъекционных свай повышенной несущей способности // Жилищное строительство. № 11. 2017. С. 20–26.

411. Соколов Н.С., Соколов С. Н., Соколов А.Н. Случай использования электроразрядной технологии при усилении основания и фундаментов реконструируемого объекта // Строительные материалы. 2018. № 10. С. 40–49

412. Соколов Н.С., Соколов С.Н. Применение буроинъекционных свай при закреплении склонов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2005): материалы Пятой Всероссийской конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2005. С. 292-293.

413. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Использование буроинъекционных свай при усилении оснований зданий // Жилищное строительство. № 1-2. 2017. С. 47–52.

414. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Мелкозернистый бетон как конструкционный строительный материал буроинъекционных свай-ЭРТ // Строительные материалы. № 5. 2017. С. 16–20.

415. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. О буроинъекционных сваях повышенной несущей способности // Фундамент. 2021. № 2. 38-44 стр.

416. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Об ошибочном способе устройства буроинъекционных свай с использованием электроразрядной технологии // Жилищное строительство. № 11. 2016. С. 20–29.

417. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт восстановления аварийного здания Введенского кафедрального собора в г. Чебоксары // Геотехника. № 1. 2016. С. 60–65.

418. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Опыт использования буроинъекционных свай - ЭРТ при ликвидации аварийной ситуации общественного здания // Жилищное строительство. № 12. 2016. С. 1–6.

419. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Случай восстановления аварийного памятника истории и культуры федерального значения в г. Чебоксары // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2014): материалы 8-й Всероссийской (2-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2014. С. 328 – 335.

420. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Случай из геотехнической практики предотвращения аварийной ситуации объекта // Строительные материалы. 2018. № 10. С. 40–48.

421. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Рябинов В.Н. О буроинъекционных сваях с регулируемой несущей способностью по грунту // Жилищное строительство № 8. 2017. С. 34–39.

422. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Буроинъекционные сваи - ЭРТ как основания фундаментов повышенной несущей способности // Нелинейная механика грунтов и численные методы расчетов в геотехнике и фундаментостроении: Труды Национально-технической конференции с иностранным участием. Воронежский государственный технический университет. Воронеж, 2019. С. 195– 201.

423. Соколов Н.С., Соколов С.Н., Соколов А.Н., Федоров П.Ю. Буроинъекционные сваи эрт как железобетонная заглубленная конструкция для оснований повышенной несущей способности. Вестник ПГТУ №3 (15). Серия: Материалы, Конструкции. Технологии. Йошкар-Ола, 2000. С. 42–49.

424. Соколов Н.С., Сучкова А.Г., Соколов С.Н., Соколов А.Н. Геотехнические технологии приспособления застраиваемых зданий к условиям старой застройки // Жилищное строительство. № 3. 2017. С. 62–67.

425. Соколов Н.С., Теславский С.С. Организация геодезической службы при строительстве нефтехимического комплекса // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2020): материалы 9-й Всероссийской (5-й Международной) конференции Строительство и застройка: жизненный цикл – 2020. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2020.

426. Соколов Н.С., Ушков С. М., Викторова С.С. Свайно-плитные фундаменты при строительстве жилых зданий // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2005): материалы Пятой Всероссийской конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2005. С. 148–149.

427. Соколов Н.С., Ушков С. М., Викторова С.С. Опыт применения плитно-свайных фундаментов // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2007): материалы Шестой Всероссийской конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2007. С. 110–111.

428. Соколов Н.С., Ушков С.М. Расчет и проектирование подпорных стен: учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1994.

429. Соколов Н.С., Ушков С.М., Викторова С.С. Опыт применения плитно-свайных фундаментов при строительстве жилых зданий // Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции (НАСКР-2012): материалы 7-й Всероссийской (1-й Международной) конференции: Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2012. С. 293–298.

430. Соколов Н.С., Федоров П.Ю. Алгоритм выбора геотехнических технологий для целей усиления слабых оснований Журнал Lecture Notes in Civil Engineering.// Труды II Международной научной конференции «BuildInTech BIT 2021. Инновации и технологии в строительстве». Белгород. 2021. Стр. 357-364.

431. Соколов Н.С., Федоров П.Ю. Буроинъекционная свая ЭРТ армированная фиброй как заглубленная железобетонная конструкция // Строительные материалы. № 6. 2020.

432. Соколов Н.С., Федоров П.Ю. Буроинъекционные сваи ЭРТ как конструкция усиления слабых оснований высокоскоростных магистралей (ВСМ) // Труды II Международной научной конференции «BuildInTech BIT 2021. Инновации и технологии в строительстве». Журнал Lecture Notes in Civil Engineering. Белгород. 2021.

433. Соколов Н.С., Федоров П.Ю. Использование слабых оснований при строительстве магистралей // Труды III Международной научной конференции SIDDA-2021 «Устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху». Журнал IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering. Белгород. 2021.

434. Соколов Н.С., Федоров П.Ю. Комбинированная грунто-бетонная буроинъекционная свая ЭРТ // Труды Заочной научно-практической конференции «Инновации в образовательном процессе» к 65-летию Чебоксарского института (филиала) Московского политехнического университета. Чебоксары. 2020. С. 146–153.

435. Соколов С.Н., Зимин С.Б. Случай из геотехнической практики усиления прислоненного склона // Жилищное строительство. №3. 2021. Стр. 38-44.

436. Sokolov N. S., Viktorova. S. S., Alekseeva G. N., Terekhova O. P., Malyanova L. I., Maguskin V.V. Optimum Type of Depth Reinforced Concrete Structures When Strengthening the Foundation of Industrial Buildings. Book Title Advances in Construction and Development. Book Subtitle Proceedings of CDLC 2020. ISBN978-981-16-6592-9.

437. Sokolov N.S. One of Geotechnological Technologies for Ensuring the Stability of the Boiler of the Pit // Журнал в базе данных Scopus-«Key Enginiring Materials». 2018. P. 56–69.

438. Sokolov N.S. Ground Ancher Produced by Elektric Discharge Technology, as Reinforced Concrete Structure // Журнал в базе данных Scopus-«Key Enginiring Materials». 2018. P. 76–81.

439. Sokolov N.S. One of the geotechnical technologies to strengthen the foundation base in constraint environment in the addition of 4 floors//18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 513–522. База данных Web of Science.

440. Sokolov N.S. Regulated injection pile-electric discharge technology with multiple pile enlargements posed as an underground reinforced concrete structure with a controlled load capacity// 18 international multidisciplinary scientific GeoConference SGEM 2018 Albena Resort SPA Bulgaria. 2018. P. 601-608. База данных Web of Science.
441. Sokolov N.S. Use of the Piles of Effective Type in Geotechnical Construction // Журнал в базе данных Scopus-«Key Engineering Materials». 2018. P.70–74.
442. Sokolov N.S., Viktorova S.S. Method of aliging the turches of objects targe-sized foundations and increased loads on them // Журнал в базе данных Scopus-«Key Engineering Materials». 2018. P.1–11.
443. Sokolov, N.S. Fine-Grained Concrete as a Structural Construction Material of EDT Drill-Injection Piles (2022) Lecture Notes in Civil Engineering, 173, pp. 67-75. DOI: 10.1007/978-3-030-81289-8_10.
444. Sokolov, N.S. EDT Drill-Injection Piles as a Design for Strengthening Weak Foundations of High-Speed Highways (HSH) (2022) Lecture Notes in Civil Engineering, 173, pp. 313-320.
445. Sokolov, N.S. Mistakes in the Construction of Objects in Constrained Conditions (2022) Lecture Notes in Civil Engineering, 173, pp. 157-165. DOI: 10.1007/978-3-030-81289-8_21.
446. СП 15.13330.2012 Каменные и армокаменные конструкции Masonry and reinforced masonry structures. Актуализированная редакция. СНиП II-22-81. Институт АО «НИЦ «Строительство». 2013
447. СП 16.13330.2017. «СНиП II-23-81* Стальные конструкции» (с изменением N 1). М.: Стандартинформ, 2017
448. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М.: Стандартинформ, 2017.
449. СП 21.13330.2012. Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах. М.: Стандартинформ. Дата введения: 2013 г.
450. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83* / Минрегион-развития РФ. М., 2016. 186 с.
451. СП 23.13330.2018. «Основания гидротехнических сооружений». Актуализированная редакция СНиП 2.02.02-85 (с Изменением N 1). М.: Стандартинформ, д.в. 2019 г.
452. СП 24.13330.2011 Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 / Минрегионразвития РФ. М., 2011. 165 с.

453. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им. Н.М. Герсеванова - институт АО «НИЦ «Строительство» (НИИОСП им.Н.М.Герсеванова). 2012.

454. СП 28.13330.2017 Защита строительных конструкций от коррозии. Актуализированная редакция СНиП 2.03.11-85. Исполнители: АО «НИЦ «Строительство», ЗАО «ЦНИИПСК им. Н.П. Мельникова», СПб ГПУ, 2017.

455. СП 32-105-2004 Метрополитены. М.: ГОССТРОЙ РОССИИ. 2004

456. СП 35.13330.2011 «Мосты и трубы». Актуализированная редакция СНиП 2.05.03-84*. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 28 декабря 2010 г. N 822 и введен в действие с 20 мая 2011 г.

457. СП 38.13330.2018 Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов)/ 16.08.2018 Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (531/пр).

458. СП 40.13330-2012 Актуализированная редакция СНиП 2.06.06-85 Плотины бетонные и железобетонные.

459. СП 41.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.06.08-87». М.:2012

460. СП 43.13330.2012. Свод правил. Сооружения промышленных предприятий. М.: Стандартиформ, д.в. 2013

461. СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01-87».

462. СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87. Земляные сооружения, основания и фундаменты». М.: Минстрой России, 2017.

463. СП 47.13330.2012 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Engineering survey for construction. Basic principles. Утвержден и введен в действие приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации от 30 декабря 2016 г. n 1033/пр и введен в действие с 1 июля 2017 г.

464. СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения Engineering survey for construction. Basic principles Дата введения 2017-07-01.

465. СНиП 2.03.01-84 «Бетонные и железобетонные конструкции», Дата введения 1986, / Минстрой России. - М.: ГП ЦПП, 1995
466. СП 48.13330.2019. Свод правил. Организация строи-тельства. Пересмотр СП 48.13330.2011 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства». М.: Стандартинформ, 2020.
467. СП 49.13330.2010 «Безопасность труда в строительстве» Часть 1 Общие требования, редакция СНиП 12-03-2001, 2001.
468. СП 50-102-2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов», ГУП НИИОСП им. Герсевича, 2003 г.
469. СП 52-101-2003 «Бетонные и железобетонные конструкции без предварительного напряжения арматуры». ГУП «НИИЖБ» Госстроя России, 2004 г.
470. СП 58.13330.2019 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Hydraulic structures. Basic statements. Утвержден приказом министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства российской федерации от 16 декабря 2019 г. N 811/пр и введен в действие с 17 июня 2020 г.
471. СП 63.13330.2018 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Concrete and reinforced concrete structures. General provisions. Дата введения: 2019-06-20
472. СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87. Исполнители – ЗАО «ЦНИИПСК им.Мельникова»; институты ОАО «НИЦ «Строительство»: НИИЖБ им. А.А. Гвоздева и ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко. Ассоциация производителей керамических стеновых материалов; Ассоциация производителей силикатных изделий, Сибирский Федеральный университет. 2013
473. СП 71.13330.2017 Изоляционные и отделочные покрытия. Актуализированная редакция СНиП 3.04.01-87 ФГБОУ ВО НИУ МГСУ. 2017.
474. СП 72.13330.2016 Защита строительных конструкций и сооружений от коррозии, редакция СП 72.13330.2016, 2017
475. СП 91.13330.2012 «СНиП II-94-80 Подземные горные выработки».
476. СП 100.13330.2016 «СНиП 2.06.03-85 Мелиоративные системы и сооружения» (с изменением N1).
477. СП 102.13330.2012 «СНиП 2.06.09-84 Туннели гидротехнические».

478. СП 103.13330.2012 «СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».

479. СП 11–105–97. Инженерно–геологические изыскания для строительства. М.: Госстрой России, 1997.

480. СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения».

481. СП 118.13330-2012. Общественные здания и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 31-06-2009. М.: Станд-артинформ. Минстрой России. 2014.

482. СП 120.13330.2012. Метрополитены. Актуализированная редакция СНиП 32-02-2003 М.: Стандартиформ, д.в. 2013.

483. СП 122.13330.2012 Тоннели железнодорожные и автодорожные. Актуализированная редакция СНиП 32-04-97. М.: Стандартиформ, д.в. 2013.

484. СП 126.13330.2017 «СНиП 3.01.03-84 Геодезические работы в строительстве». Исполнители - ООО "ТЕКТОПЛАН", ГУП «Мосгоргеотрест», МГУГиК (МИИГАиК), ООО Фирма «ЮС-ТАС», ОАО «ГСПИ». 2018.

485. СП 248.1325800.2016 Сооружения подземные. Правила проектирования. Underground structures. Design princip. Научно-исследовательский, проектно-изыскательский и конструкторско-технологический институт оснований и подземных сооружений им.Н.М.Герсеванова (НИИОСП им. Н.М. Герсеванова) - институт АО «НИЦ «Строительство».

486. СП 131.13330.2018 Строительная климатология. НИИСФ РААСН. Зарегистрирован Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт). Пересмотр СП 131.13330.2012 «СНиП 23-01-99* Строительная климатология». Дата введения 2019-05-29.

487. СП 333.1325800.2020. Информационное моделирование в строительстве. Правила формирования информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. Building information modeling. Modeling guidelines for various project life cycle stages. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), ЧУ ГК «Росатом» «ОЦКС». 2020.

488. Способ возведения буронабивной сваи по патенту на изобретение RU 2303102 С1 от 20.07.2007, МПК E02D 5/34.

489. Справочник геотехника: основания, фундаменты, подземные сооружения / под ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. М.: Изд-во АСВ, 2014. 728 с.

490. Справочник гидрогеолога / под общ. ред. М.Е. Альтовского. М.: Госгеолтехиздат, 1962.

491. Справочник проектировщика: Сложные основания и фундаменты / Под ред. к.т.н. Ю.Г. Трофименкова. – М.: Стройиздат, 1969.

492. Справочник строителя. Строительная техника, конструкции и технологии. Сборник под ред. Х. Нестле. 2-е изд., испр. М.: Техносфера, 2013 (Мир строительства).

493. Стандарт предприятия НИИОССП им. Н.М. Герсевича ГОССТРОЯ России СП 38-2-01. М.2001.

494. Тетиор А.Н. Прогрессивные конструкции фундаментов для Урала и Тюменской области: монография. Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1971. 197 с.

495. Технические условия проектирования фундаментов под машины с динамическими нагрузками (СН 18–58). М.: Госстройиздат, 1958.

496. Тищенко Владимир Николаевич, Посух Виталий Георгиевич, Бояринцев Эдуард Леонидович, Мелехов Александр Викторович, Голобокова Людмила Сергеевна, Мирошниченко Илья Борисович. Эффективность формирования ударных волн создаваемых оптическими пробоями на поверхности твердых тел. Оптика атмосферы и океана, Том: 25, Номер: 5, Год: 2012, Стр. 448-450.

497. ТР 50-180-06. Технические рекомендации по проектированию и устройству свайных фундаментов, выполняемых с использованием разрядно-импульсной технологии для зданий повышенной этажности», М.: 2006

498. Ф. Фрюнгель. Импульсная техника. Генерирование и применение разрядов, конденсаторов. М.–Л., «Энергия», 1965, 488 с.

499. Шавшукова С.Ю. Исторические этапы развития микроволновой техники для научных исследований и промышленных процессов. АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Уфа – 2008.

500. Электрический разряд в жидкости и его применение. Аннотированный указатель отечественной и зарубежной литературы (1983- 1987), ПКБЭ, Николаев, 1988,-330 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

П1 МИКРОСВАИ

П1.1. Термины и определения

Микросваи (micropile) по классификации E urecode-7 и FHWA-SA-97-070 (US) являются разновидностью буровых и набивных свай (по классификации СП 24.13330.2011 [452]). Они отличаются от традиционных буровых и набивных свай:

1. **Малым диаметром** ($d = 150,0 - 300,0$ мм);
2. **Большой гибкостью** ($L/d = 60,0 - 120,0$ где L – длина; d – диаметр буроинъекционной сваи);
3. **Материалом ствола** (мелкозернистый бетон);
4. **Способом изготовления** (инъекция бетонной смеси методом вверх поднимающейся бетонолитной трубы (ВПТ)).

Рассмотрены два типа микросвай:

1. **Сваи ФОРСТ** (разрядно-импульсная технология) – устраиваемые электроразрядным уширением лидерных скважин, заполняемых рабочей жидкостью (вода, растворы глинистый, цементный или цементно-песчаный и т.п.) с последующим заполнением и активированием мелкозернистой бетонной смесью;

2. **Сваи ЭРСТ** (электроразрядная свайная технология) – устраиваемые электрогидравлической обработкой стенки и дна скважины, заполненной свежесуложенной бетонной смесью.

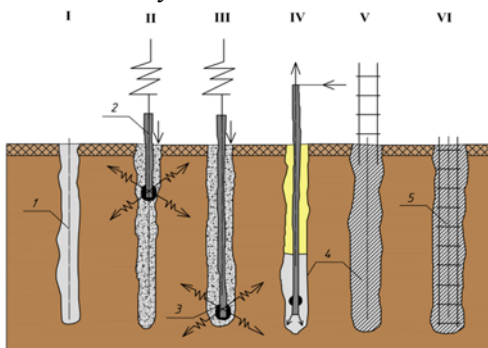


Рис. П1.1. Технологическая схема устройства свай ФОРСТ (разрядно-импульсная технология): I – Устройство лидерной скважины; II, III – расширение скважины ФОРСТ обработкой; IV – замещение рабочей жидкости бетонной смесью и активация ее по ФОРСТ;

V, VI – погружение арматурного каркаса в бетонную смесь;

1 – скважина, заполненная рабочей жидкостью; 2 – заливочная штанга;

3 – электрический излучатель; 4 – мелкозернистая бетонная смесь;

5 – пространственный арматурный каркас

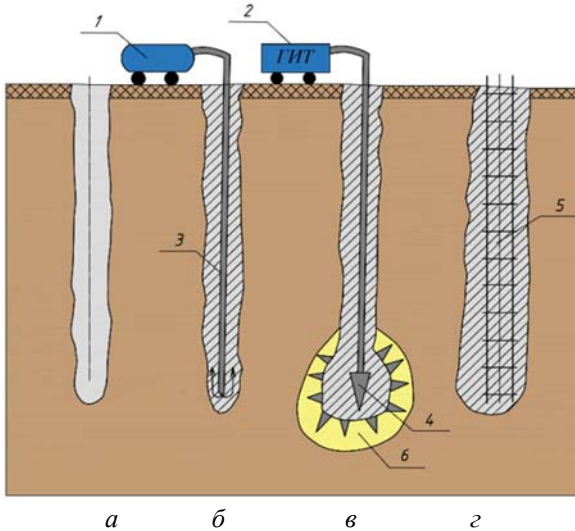


Рис. П1.2. Технологическая схема устройства свай ЭРСТ (электроразрядная свайная технология): а – бурение скважин простым или проходным шнеками; б – заполнение скважины мелкорзернистым бетоном методом ВПТ; в – электроразрядная обработка стенок скважины и забоя; г – монтаж железобетонного каркаса; 1 – бетоносмесительная установка; 2 – генератор импульсных токов; 3 – заливочная колонка; 4 – излучатель; 5 – армокаркас; 6 – зона уплотнения

По физико-механическим свойствам грунтов, залегающих в основании, «микросваи» подразделяются на сваи-стойки, сваи, работающие нижней частью, и висячие сваи.

К сваям-стойкам относятся сваи, которые передают нагрузку своими концами, опирающимися на скальные грунты. **Висячие сваи (сваи трения)** устраиваются в сжимаемых грунтах и передают нагрузку на грунт в основном боковой поверхностью. Сваи, работающие нижней частью, прорезают слабые сильносжимаемые грунты и передают нагрузку пятой и боковой поверхностью нижней части сваи, заглубленной в плотные малосжимаемые грунты.

Целесообразность применения микросвай определяется конкретными условиями строительной площадки и особенностью объекта на основе результатов технико-экономического сравнения возможных вариантов проектных решений.

При необходимости усиления оснований существующих фундаментов рекомендуется выполнять сравнение микросвай со способами химического, цементационного и термического упрочнения грунтов основания, вдавливания свай под существующие фундаменты, подведения новых фундаментов и др. При строительстве новых объектов сравнение выполняется с другими видами свай и фундаментами на естественном основании.

В рабочих чертежах фундаментов из микросвай должны быть указаны вид, число и параметры свай (площадь сечения и длина), а также несущая способность и расчетная нагрузка, которые могут уточняться по результатам статических испытаний свай в грунте, выполняемых до начала или в процессе строительства.

При необходимости проектная организация в порядке авторского надзора должна своевременно корректировать проект свайных фундаментов по результатам испытаний, не задерживая выполнение строительных работ.

В технологической части проекта должна быть описана последовательность устройства «микросвай» ~~или сделана ссылка на соответствующие разделы настоящего Учебного Пособия.~~

В проектах усиления оснований и других случаев применения микросвай при реконструкции сооружений должно быть предусмотрено проведение натурных измерений деформаций оснований и фундаментов возводимого сооружения по специальным маркам и реперам. Эти исследования должны выполняться специализированной организацией, имеющей лицензию на проведение таких работ.

Программа и результаты геотехнических наблюдений, проводившихся в период строительства, должны включаться в состав исполнительной документации, передаваемой заказчику после завершения строительно-монтажных работ.

Перед началом строительных работ по реконструкции здания и сооружения при новом строительстве рядом с существующими объектами необходимо выполнить техническое освидетельствование последних на предмет отнесения их категории технического состояния. В акте приемочной комиссии следует отразить техническое состояние здания и возможность нахождения в нем людей в период производства работ. Требования по проведению освидетельствования зданий и сооружений изложены в рекомендациях [244].

В особо сложных случаях применения микросвай, а также при отсутствии у подрядчика опыта устройства специальных типов свай необходимо предусматривать комплекс экспериментальных работ для отработки технологии и повышения надежности устанавливаемых конструкций.

П1.2. Область применения микросвай

Микросвай рекомендуется применять в следующих случаях [247, 248]: **1. Усиление** перегруженных оснований; **2. Усиление** оснований существующих зданий и сооружений в связи с планируемым повышением или изменением характера эксплуатационных нагрузок; **3. Строительство** новых объектов рядом с существующими в зоне геотехнического влияния; **4. Строительство** в стесненных условиях внутри действующих предприятий; **5. Исправление крена** здания или отдельного фундамента; **6. Противооползневая** защита; **7. Усиление** железнодорожных насыпей с нестабильным балластным шлейфом; **8. Решение** сложных геотехнических задач при реконструкции фундаментов зданий и сооружений; **9. Строительство** новых объектов в сложных грунтовых условиях; **10. Устройство подземных этажей** в бесподвальных зданиях; **11. Понижение** полов подвалов.

Усиление оснований фундаментов существующих зданий и сооружений рекомендуется производить в следующих случаях:

1	При недопустимых по размеру или неравномерных осадках сооружения или его части, вызванных уплотнением под нагрузкой сильносжимаемых грунтов, замачиванием структурно-неустойчивых грунтов, гниением деревянных свай, перегруженностью оснований и т.д.
2	При увеличении эксплуатационных нагрузок (замена оборудования более тяжелым, увеличение этажности зданий, расширение проезжей части мостов, эстакад и др.) (рис. П1.3–П1.6);

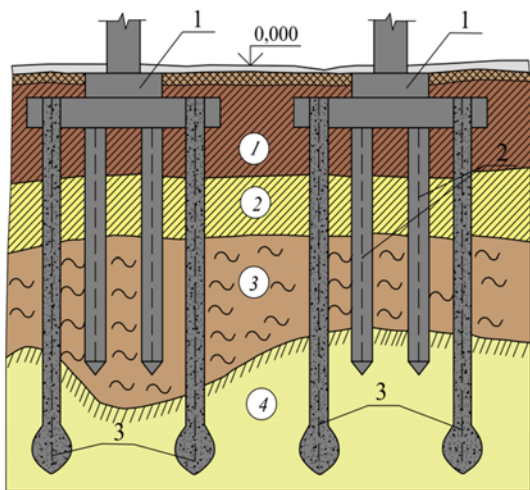


Рис. П1.3. Усиление основания свайного фундамента: (1) – (4) – инженерно-геологические элементы; (3) – слабый инженерно-геологический элемент; 1 – существующий ростверк; 2 – существующие сваи; 3 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления

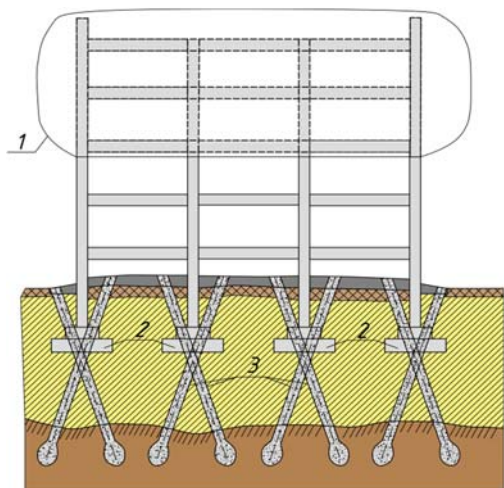


Рис. П1.4. Усиление основания фундаментов для случая надстройки этажей: 1 – надстраиваемая часть; 2 – существующий фундамент мелкого заложения; 3 – буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления

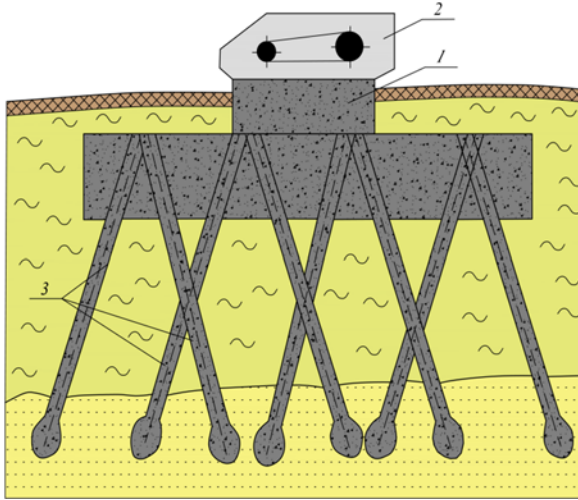


Рис. П1.5. Усиление основания фундамента при увеличенных динамических нагрузках: 1 – усиливаемый фундамент; 2 – источник динамических нагрузок; 3 – сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления

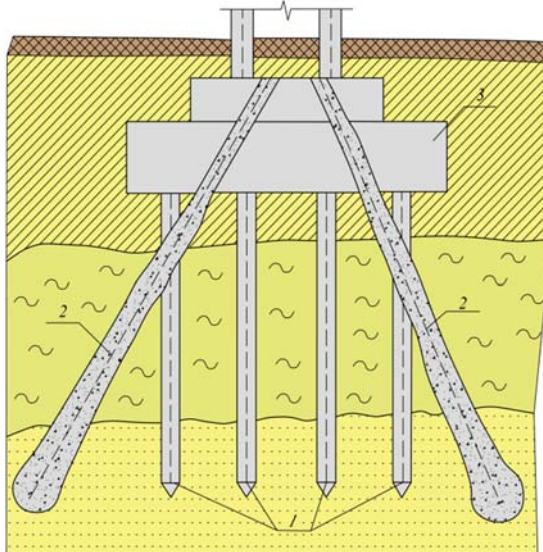


Рис. П1.6. Усиление основания фундаментов при увеличении горизонтальных нагрузок с помощью наклонных буроинъекционных свай: 1 – существующие сваи; 2 – буроинъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления; 3 – монолитный железобетонный ростверк

Строительство новых объектов, существующих объектов над, под ними, рядом с ними или внутри объектов вызывает необходимость усиления оснований последних для предотвращения их деформаций как при производстве работ, так и во время эксплуатации. Применение микросвай в этих случаях позволяет предотвратить подвижки грунта, его плавунные утечки, вибрации, удары и шумы при производстве работ. Кроме того, использование микросвай позволяет исключить влияние рядом сооружаемых объектов на существующие и выполнять работы в стесненных условиях.

Исправление крена может выполняться двумя нижеприведенными геотехническими способами:

1	Усиление основания фундаментов в зоне максимальных осадок (с последующим разрывом во времени до нескольких лет) усилением основания и других частей фундамента, оседающих под внешней нагрузкой до необходимой отметки
2	Подведение свай под просевшую часть фундаментов с последующей принудительной посадкой остальных, менее осевших. Для посадки оснований применяют замачивание вибрацию, направленную выборку грунта, электроразрядное уплотнение грунта и другие способы

Условия, при которых применение «микросвай» для вновь сооружаемых объектов может оказаться эффективным в следующих нижеприведенных случаях:

1	Строительство в стесненных условиях сложившейся городской застройки
2	Наличие крупнообломочного материала в слабых перемеживающихся грунтах (рис. П1.7)
3	Строительство на карстоопасных площадках

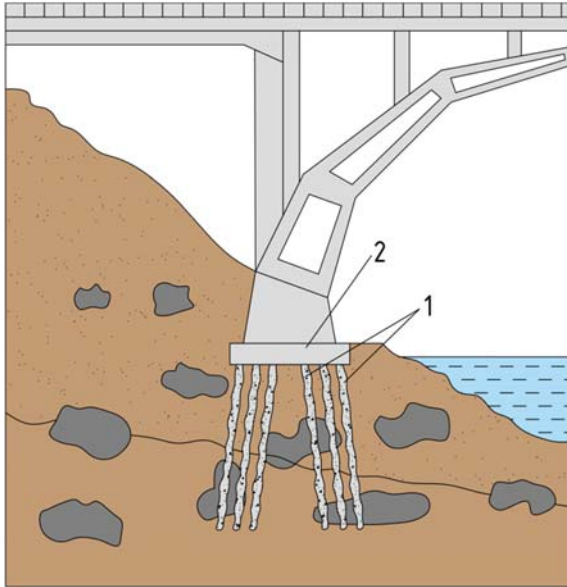


Рис. П1.7. Микросваи в грунтах с включением валунов

Не рекомендуется применение микросвай без специального обоснования для высотного строительства (свыше 24 этажей) [247, 248, 497].

Микросваи используются в качестве объемных сетчатых «стен в грунте», применяемых как подпорные стены, в том числе для противооползневой защиты (рис. П1.9) и усиления железнодорожных насыпей (рис. П1.10).

Плавающие (не имеющие связи с ростверком) микросваи применяются для глубинного уплотнения рыхлых песков, упрочнения слабых глинистых грунтов, в том числе для уменьшения геометрических параметров большеразмерных плитных фундаментов, а также в качестве своеобразных нагелей по плоскостям возможного развития оползней (рис. П1.11).

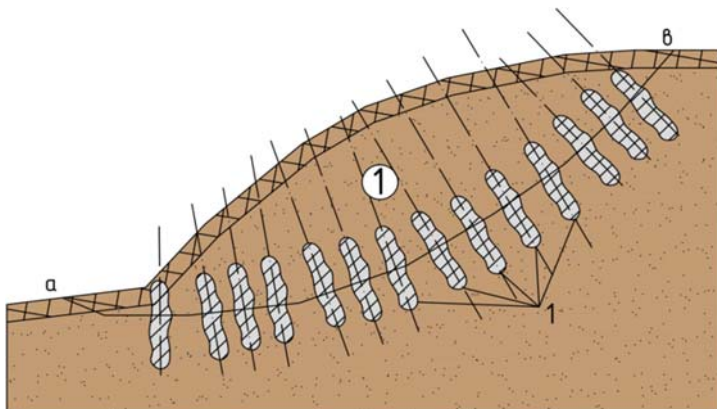


Рис. П1.8. Микросваи усиления склона в качестве нагелей:
а, в – поверхность скольжения призмы обрушения;
1 – призма обрушения

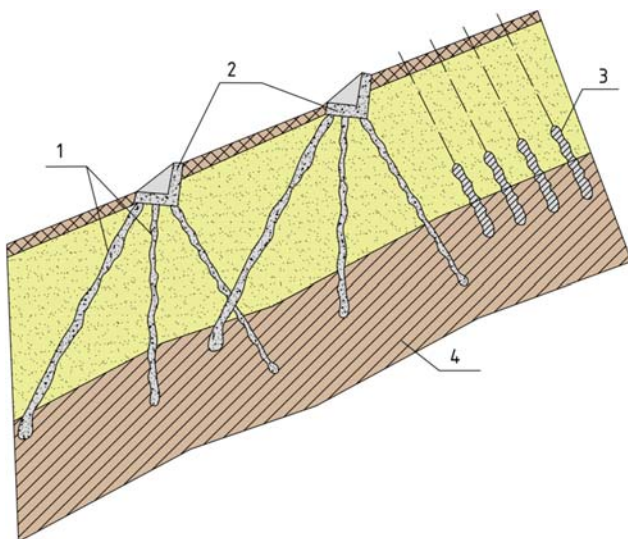


Рис. П1.9. Противооползневая защита склонов
из буроинъекционных свай ЭРТ и нагелей (шпонки):
1 – сваи в составе подпорной «сетчатой» стены; 2 – уголковая сетчатая
подпорная стена; 3 – нагели (шпонки) в плоскости сдвига;
4 – плоскость сдвига

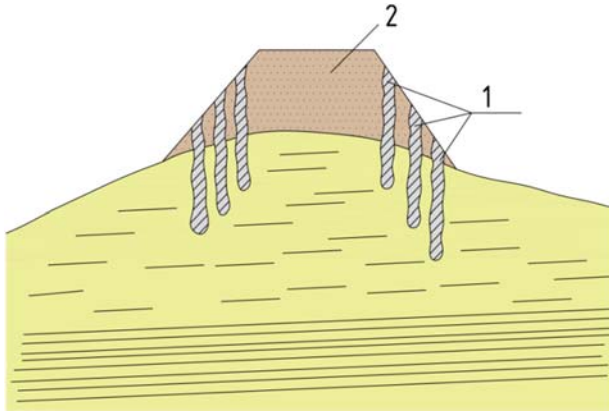


Рис. П1.10. Усиление насыпей буринъекционными сваями ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

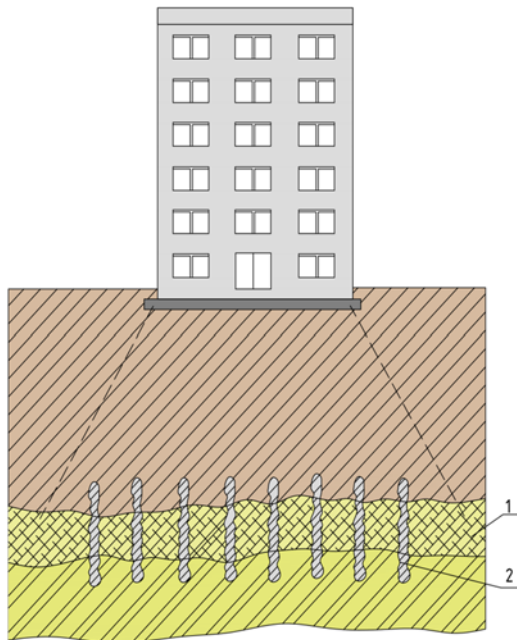


Рис. П1.11. «Плавающие» буринъекционные сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) усиления подстилающего слоя:
1 – слабый слой грунта; 2 – «плавающие» сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Микросваи особенно эффективны для временного и постоянного «вывешивания» существующих фундаментов, например, при необходимости понижения пола промышленных зданий (рис. П1.12), а также при устройстве подземных этажей в бесподвальных зданиях. В таких случаях бывает эффективно применение преднапряженных свай.

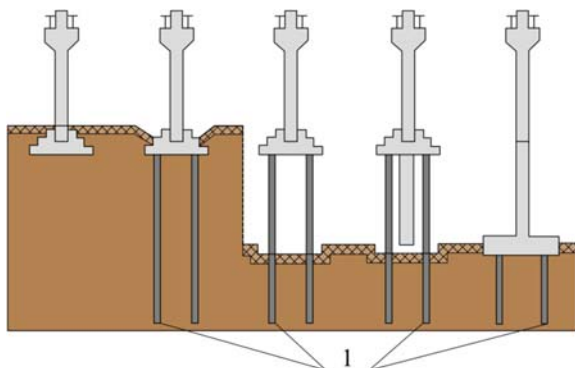


Рис. П1.12. Этапность понижения пола каркасного здания

Применение микросвай может быть эффективно и технически целесообразно для фундаментов, работающих на знакопеременную нагрузку (рис. П1.13).

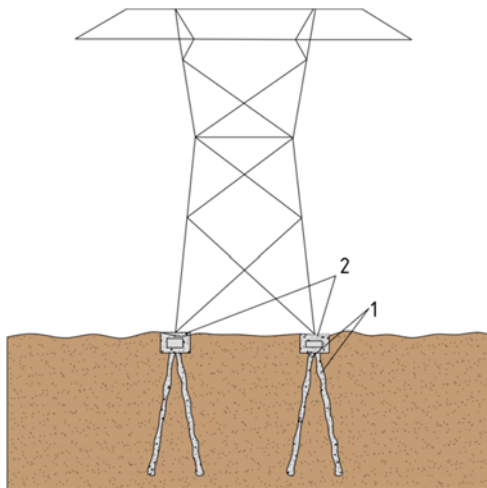


Рис. П1.13. Сваи под опорой линий электропередач

Буроинъекционные армоэлементы, устраиваемые по технологии свай для усиления оснований, сложенных слабыми или насыпными грунтами, а также для уплотнения (упрочнения) существующих свай, система «SS–solid soil»:

1	Принципиальная схема усиления основания существующей свайной группы путем устройства межсвайных и законтурных буроинъекционных элементов (рис. П1.14)
2	Армоэлементы устраиваются по одной из технологий свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ). Конструкция армоэлементов отличается от свайной пониженным содержанием или полным отсутствием металлической арматуры, пониженной маркой бетона, полным или частичным отсутствием связи с ростверком и др.
3	Усиление массивов, сложенных слабыми или насыпными грунтами, выполняется по методике ЭРГТ (электроразрядная геотехнология), основанной на упрочнении и армировании оснований буроинъекционными элементами

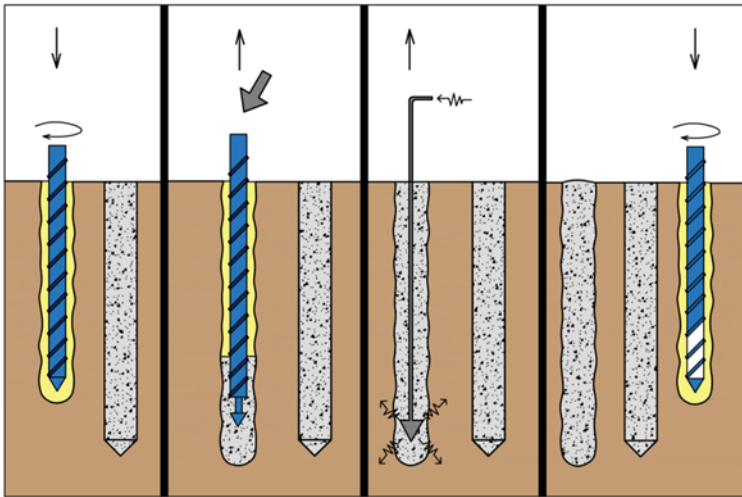


Рис. П1.14. Межсвайная обработка грунтового массива

III.3. Технология изготовления «микросвай»

Фундаменты и стены подвалов из бутовой и кирпичной кладки на сильновыветрелом растворе пониженной прочности перед устройством микросвай необходимо укрепить цементацией. Для цементации используют цементные растворы или растворы со специальными добавками. Цементация выполняется путем инъекции растворов под давлением в шпуров диаметром 25,0 – 100,0 мм, пробуриваемые в кладке с шагом 40,0 – 100,0 см (в зависимости от состояния кладки). Шпуров не должны выходить из тела фундаментов, должны оканчиваться за 20,0 – 30,0 см до подошвы фундаментов.

Иногда из-за неправильной эксплуатации подвалов, технических этажей и инженерных коммуникаций в отдельных местах по контакту фундамента с грунтом образуются промоины, разуплотнения и другие нарушения сплошности основания. В таких случаях перед устройством свай или одновременно с ним рекомендуется выполнять цементацию контакта фундамент – основание. Шпуров для цементации в этом случае должны пробуриваться через кладку до грунта, причем должны быть приняты меры по недопущению элевации (выбуривания) грунта из-под подошвы фундамента.

Технологический цикл по устройству «микросвай» состоит из следующих операций:

1	Бурение скважины
2	Заполнение скважины мелкозернистой бетонной смесью
3	Установка пространственного арматурного каркаса
4	Опрессовка свежееуложенной мелкозернистой бетонной смеси по одной из технологий ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

В зависимости от грунтовых условий и особенностей технологии очередность отдельных операций может изменяться.

Бурение скважин в грунте и шпуров в усиливаемых конструкциях (стены, фундаменты) выполняется, как правило, одними и теми же буровыми станками. Бурение кирпичных, бетонных и бутовых стен и фундаментов выполняется вращательным бурением трехшарошечным долотом или пневмоударником. В особо ответственных случаях для уменьшения динамических воздействий на фундамент (большие деформации существующих конструкций);

чувствительные грунты в основании и т.п.), а также для проходки железобетонных конструкций бурение выполняется колонковой трубой с алмазной или твердосплавной коронкой.

В зависимости от инженерно-геологических условий и технического состояния надземных строительных конструкций бурение скважины в грунте выполняется одним из следующих видов бурения:

1	Бурение под защитой инвентарных обсадных труб
2	Шнековое бурение в устойчивых грунтах без крепления стенок скважины
3	Бурение полыми (проходными) шнеками НПШ (технология micro CFA) с клапаном или тераемым башмаком
4	Вращательное бурение сплошным забоем шарошечным долотом с промывкой буровым раствором
5	Вращательное бурение с продувкой воздухом
6	Пробивка скважин пневмопробойниками
7	Раскатка массива грунта ввинчиванием формующего наконечника (раскатчика)
8	Бурение высоконапорной струей воды или раствором

Бурение скважины может выполняться любыми способами и оборудованием, исключаяющим влияние на существующие коммуникации, подземные конструкции и их основания и гарантирующим получение устойчивой скважины на весь период устройства сваи.

В слабых оплывающих грунтах допускается бурение скважин полыми непрерывно–перемещаемыми шнеками НПШ (технология micro CFA) в следующем порядке: ввинчивание цельной буровой колонны в грунт, заполнение ее бетонной смесью, извлечение колонны без вращения с непрерывной подачей смеси под избыточным (против бытового) давлением через клапан на нижнем конце колонны.

Бурение герметичными проходными многосекционными шнеками (технология ПСШ) с последующим заполнением скважины буровым раствором или бетонной смесью может выполняться только при условии извлечения бурового става гидравлической системой бурового станка с постоянной скоростью под избыточным (против бытового) давлением с контролируемым расходом инъецируемого материала.

При бурении с промывкой в качестве промывочной жидкости рекомендуется применять бентонитовые, цементно-бентонитовые или цементные растворы. Бурение скважин оставляемой буровой трубой (сваи Геосмол) допускается производить промывкой водой.

Бетонирование скважины выполняют методом ВПТ (вертикально перемещаемая бетонолитная труба) или через полую шнековую колонну. Бетонолитная труба должна иметь внутренний диаметр не менее 40,0 мм. На нижнем конце ВПТ должен быть клапан для защиты от попадания грунта в трубу. Бетонирование выполняют одновременным извлечением ВПТ или колонны шнеков.

Для изготовления ствола сваи используют мелкозернистый бетон (по ГОСТ 25192–82 [82]).

При использовании бетонов с малой долей песка и чистоцементных бетонов необходимо применение добавки Дилафилм согласно требованиям стандарта организации НИИОСП. Приготовление бетонной смеси следует производить в скоростных бетономешалках.

Минимальная проектная марка мелкозернистого бетона для буроинъекционных свай принимается равной М250 (минимальный класс прочности В22.5).

Допускается применение бетонов пониженных марок ($> B10$) для усиления оснований по методу «SS» (solid soil).

Подобранный состав бетона должен обеспечивать подвижность смеси, определяемую с помощью конуса АзНИИ через 15,0-30,0 минут после её приготовления, в пределах 12,0-20,0 см. В зависимости от вида свай и свойств грунтов площадки строительства объемная доля водоотделения мелкозернистого бетона, определяемого с помощью мерного цилиндра, не должна быть более 2,0 % через 24,0 часа с момента окончания перемешивания его компонентов. При проектировании микросвай следует учитывать требования СНиП 2.03.11–85 [273]. Для арматуры микросвай необходимо обеспечить первичную защиту от коррозии за счет использования специальных видов цементов, заполнителей, подбора составов бетона, введения добавок, повышающих стойкость бетона, и т. п.

Заполнение скважины мелкозернистой бетонной смесью осуществляют через инъекционные трубы, гибкие шланги, а также через отверстия в проходных шнеках. Перед заполнением бетонной смеси скважина может промываться цементным раствором. В любом случае способ инъекции в скважину должен гарантировать заполнение всего разбуренного объема скважины бетоном и отсутствие в забое скважины бурового шлама. Диаметр инъекционных

труб и магистралей зависит от консистенции и состава перекачиваемой смеси и должен быть не менее 40,0 мм.

Микросваи в зависимости от характера действующих нагрузок армируются на всю длину или в пределах верхней части. Длина секций арматуры определяется в основном высотой помещения, в котором производятся работы. Арматурный каркас должен иметь достаточную жесткость для восприятия транспортных и монтажных нагрузок.

Установка армокаркаса выполняется до бетонирования, одновременно с ним или после него и опрессовки скважины. Установка армокаркасов должна гарантировать его проектное расположение в скважине, а также равнопрочность стыков и арматуры стыкуемых секций. Для обеспечения защитного слоя бетона армокаркас должен быть снабжен специальными центраторами либо помещен в полимерную «рубашку» [248, 258].

Опрессовка свежееуложенной мелкозернистой бетонной смеси и грунта стенок и забоя скважины производится для повышения несущей способности сваи за счет уплотнения окружающего грунта и создания общих или локальных уширений ствола буринъекционной сваи.

Опрессовка может производиться одним из следующих способов:

1	Закачка растворомасосом дополнительной порции бетонной смеси через тампон, разжимаемый в устье скважины, в теле существующего фундамента или в специально забетонированном устьевом патрубке. Опрессовка выполняется под давлением 0,2 – 0,3 МПа (200,0 – 300,0 кПа) в течение 2,0 минут. Если в течение этого времени не удастся удержать указанное давление, опрессовку повторяют через 1,0 – 2,0 ч до получения необходимого результата
2	Опрессовка бетонной смеси через герметичные цельные или секционные проходные шнеки в забое или на определенном участке длины скважины
3	«Вторичная иньекция» – опрессовка определенного участка ствола сваи путем иньекционного разрыва контакта «грунт–бетон» первичной иньекции скважины. Вторичная иньекция выполняется через 1,0 – 4,0 суток после первичной. В зависимости от времени выполнения работ необходимое для разрыва давление может достигать 3,0 – 4,0 МПа (300,0 – 400,0 кПа)
4	Электрогидродинамическая опрессовка стенок и днища скважины с применением электроразрядной геотехнической технологии (ЭРТГ)

П2 ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СВАЙ ЭРТ (ФОРСТ И ЭРСТ)

П2.1. Проектирование и расчет несущей способности свай ЭРТ (ФОРСТ, ЭРСТ)

В соответствии с требованиями нормативных документов расчет свайных фундаментов и их оснований должен быть выполнен по двум предельным состояниям:

Первой группы:

- а) по прочности материала свай;
- б) по несущей способности грунта основания свай.

Второй группы:

- а) по осадкам свайного основания;
- б) по перемещениям свай горизонтальным, и углам поворота головы свай.

Надежность свайного основания в течение всего срока службы здания должна обеспечиваться расчетом.

При проектировании свайно-плитных фундаментов зданий не допускается раскрытие трещин в сваях. Данное требование обеспечивается конструктивно отсутствием зоны растяжения в поперечном сечении свай от действия момента и наличия случайного эксцентриситета. Проверка возможного раскрытия трещин выполняется по методике, изложенной в своде правил СП 52–101–2003 [469].

Расчет по прочности материала свай следует проводить в соответствии с требованиями СП 52–101–2003 [469], с учетом положений СП 50–102–2003 [468] или СНиП 2.02.03–85 [272].

В геотехнических расчетах несущей способности висячих свай по грунту следует принимать в запас прочности происходящее в результате разрядно-импульсной обработки улучшение строительных физико-механических свойств грунтов.

На строительной площадке после изготовления 5,0 – 10,0 свай ЭРТ и определения фактических объемов бетонной смеси, расходуемой на заполнение формируемых камуфлетных уширений свай на каждом горизонте следует уточнить:

1	Площадь поперечного сечения ствола буроинъекционной свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) в ее нижнем конце
2	Периметр увеличившегося поперечного сечения ствола буроинъекционной свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ)

Допускается корректировать расчетную несущую способность свай по полученным данным.

Число свай, подвергнутых контрольным испытаниям статической вдавливающей нагрузкой (ГОСТ 5686–2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями») [94], на каждой площадке строительства здания устанавливается в соответствии с СП 50–102–2003 «Проектирование и устройство свайных фундаментов» [468], но не менее 3,0. Если в качестве анкерных используются рабочие сваи, то их должно быть не менее четырех. Расстояние от испытательной до ближайшей анкерной сваи должно составлять не менее 2,0 м.

При испытании одиночной сваи в кусте допускается наличие между испытательной и анкерными сваями рабочих свай, не задействованных в испытании.

Для сокращения технологического перерыва на твердение бетона при проведении испытаний свай по грунту допускается увеличивать площадь сечения рабочей арматуры вплоть до восприятия арматурой всей испытательной нагрузки. При этом бетон ствола испытательных свай будет служить материалом, передающим нагрузку от сваи на грунтовое основание.

Рекомендуется выборочно испытывать сваи ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ) на прочность ствола сваи по материалу с учетом положений ГОСТ 8829–94 [101].

За допускаемую на сваю нагрузку N следует принимать наименьшую вдавливающую нагрузку $F_{u,min}$, достигнутую при статических испытаниях [94], уменьшенную на коэффициент надежности γ_k , при которой испытываемая свая получила осадку, не превышающую расчетную деформацию s ,

$$N \leq \frac{F_d}{\gamma_k} = \gamma_c \frac{F_{u,min}}{\gamma_k \gamma_g}, \quad (\text{П2.1})$$

где

F_d	расчетная несущая способность сваи, κH
γ_k	коэффициент надежности, принимаемый согласно п. 7.1.11. СП 50-102-2003 [468]
	для свайно–плитных фундаментов зданий $\gamma_k = 1,25$
	в остальных случаях $\gamma_k = 1,20$
γ_c	коэффициент условий работы сваи
	для вдавливающих нагрузок $\gamma_c = 1$
γ_g	коэффициент надежности по грунту устанавливаемый для односторонней доверительной вероятности $\alpha = 0,95$
$F_{u,min}$	минимальная вдавливающая нагрузка по ряду испытаний, κH

П2.2. Конструирование «микросвай» и свайных фундаментов

При конструировании вновь сооружаемых фундаментов из микросвай необходимо руководствоваться правилами и требованиями, предъявляемыми к конструированию фундаментов из буровых и набивных свай и изложенными в [272, 452, 468, 497].

При проектировании усиления оснований существующих зданий следует стремиться максимально использовать несущую способность существующих фундаментов, а микросваи размещать по возможности вне зоны влияния фундаментов на грунтовое основание. Расчет по предельным состояниям I и II групп следует выполнять с учетом совместной работы существующих фундаментов и вновь сооружаемых микросвай.

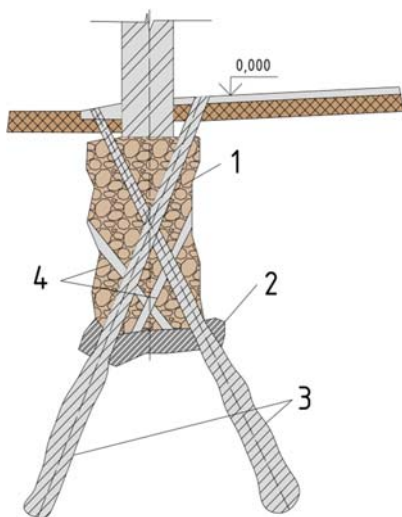


Рис. П2.1. Схема усиления основания фундамента с помощью буроинъекционных свай ЭРТ (РИТ, ФОРСТ, ЭРСТ):

- 1 – бутовый фундамент; 2 – зона цементации основания;
- 3 – буроинъекционные сваи усиления основания;
- 4 – цементационные скважины

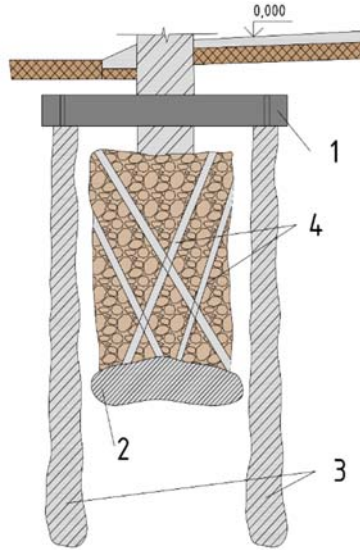


Рис. П2.2. Схема усиления основания фундамента с помощью промежуточных опор: 1 – поперечная балка усиления; 2 – зона цементации основания; 3 – буроналивные сваи усиления основания; 4 – цементационные скважины

В рабочем проекте следует предусматривать специальные геотехнические мероприятия, учитывающие возможное развитие дополнительных осадок при устройстве свай в активной зоне оснований существующих фундаментов.

Если на обрез фундамента действуют горизонтальная и вертикальная нагрузки, то при проектировании необходимо стремиться к тому, чтобы центр тяжести сечений свай в любом разрезе, перпендикулярном к линии равнодействующей, находился на этой линии.

Расстояние между осями висячих свай в плоскости их нижних концов должно быть не менее трех диаметров. Расстояние между осями наклонных свай в уровне низа ростверка допускается уменьшать до одного диаметра.

Наиболее эффективно устраивать сваи по «козловой» схеме, с противоположных сторон фундируемых конструкций. В порядке исключения допускается одностороннее расположение наклонных

свай. При этом возникающий при догрузке и оседании фундамента распор должен восприниматься специальной конструкцией, например, распорками или тягами в полу.

При усилении оснований существующих фундаментов необходимо учитывать возможное изменение статической схемы работы усиливаемой конструкции, например, фундаментной плиты, в связи с переносом части нагрузки на головы микросвай.

Для обеспечения совместной работы вновь возводимых свай с усиливаемым фундаментом в проекте должна быть предусмотрена надежная заделка сваи в фундаменте. При применении глинистого бурового раствора длина заделки сваи в фундаменте принимается равной пяти диаметрам сваи, а при бурении с продувкой воздухом – четырем диаметрам.

При невозможности выполнения требований обеспечения совместной работы вновь возводимых свай с усиливаемым фундаментом необходимо предусматривать устройство уширения ствола сваи в месте примыкания к ростверку. В этом случае отношение диаметра сваи в месте примыкания к диаметру скважины в фундаменте должно составлять не менее 1,15. Расширить ствол сваи можно опрессовкой грунта свежееуложенной бетонной смесью.

При невозможности пробуривания скважин через тело фундамента допускается их устройство рядом с фундаментом с передачей нагрузки на сваи с помощью промежуточных систем.

Армирование микросвай выполняется по расчету. Они армируются одиночными арматурными, сварными каркасами, жесткой арматурой в виде проката черных металлов или стальными трубами.

Арматура сваи может быть однородной на всю длину или комбинированной (например, труба или прокат в зоне действия изгибающего момента и каркас на всю остальную длину).

Арматура свай должна иметь фиксирующие элементы, центрирующие ее в скважине и обеспечивающие требуемую толщину защитного слоя бетона. Фиксирующие элементы могут выполняться из металла или пластика и крепиться с трех или четырех сторон арматурного стержня или каркаса на расстоянии 8,0 – 10,0 диаметров скважины друг от друга.

Продольная арматура свай выполняется из горячекатаной арматурной стали класса АIII и AIV диаметром от 12,0 мм до

40,0 мм включительно. Продольная арматура располагается равномерно по контуру сваи с расстоянием в свету между отдельными стержнями не менее диаметра стержнями и не менее 50,0 мм. Общая площадь сечения продольной арматуры должна составлять не менее 0,5 % и не более 10,0 % от площади сечения бетона, в том числе в зоне стыкования секций.

В грунтовых условиях, исключающих потерю продольной устойчивости ствола сваи, рекомендуется выполнять центральное армирование. Центральное армирование выполняется из отдельного стержня, пучка стержней, трубы, прокатного или сварного профиля или их сочетаний, например трубой, усиленной по периметру арматурными стержнями или проволокой.

Поперечная арматура арматурных каркасов микросвай выполняется в виде спиралей или круглых вязаных или сварных хомутов из арматуры класса В500 диаметром не менее 5,0 мм или класса А-240 диаметром 6,0 – 10,0 мм с шагом не более 10,0 диаметров стержней продольной арматуры пространственного арматурного каркаса и не более 150,0 мм.

При установке поперечной арматуры, требуемой по расчету на действие поперечных сил, шаг хомутов принимается не более 1/2 диаметра сваи.

Зона стыкования секций армокаркасов дополнительно усиливается спиральной арматурой с шагом не более 100,0 мм. Диаметр поперечной арматуры в вязаных каркасах принимается не менее 1/4 диаметра стержней продольной арматуры, а в сварных каркасах устанавливается из условия сварки.

Арматурные каркасы изготавливают, как правило, в заводских условиях на приводных станках контактной сваркой.

Ручная дуговая сварка для соединения продольной и поперечной арматуры не допускается.

Соединение арматурных каркасов по длине сваи осуществляется стыковкой отдельных секций с помощью вязальной проволоки или с помощью сварных стыков. Сварные стыки должны обеспечивать равнопрочность арматуры и удобство производства работ по инъецированию бетонной смеси. Сварное соединение арматурных каркасов рекомендуется выполнять с помощью стыковочного трубчатого элемента, к которому дуговыми фланговыми швами привариваются стыкуемые арматурные стержни (нахлесточное сварное соединение).

Сжатые одиночные стержни и каркасы рекомендуется соединять запрессовкой несварным стыком, обеспечивающим расчетное сопротивление на сжатие. Допускаются неравнопрочные стыки, например шарнирные.

Арматура с винтовым профилем (Dywidag, А–VII) стыкуется на резьбовых муфтах [248, 337, 340].

Толщина защитного слоя арматурного каркаса микросвай должна быть не менее 80,0 мм. Допускается уменьшение толщины защитного слоя до 20,0 мм в случае применения специальных мероприятий (защитные антикоррозийные покрытия арматуры, защита арматурного каркаса рукавом из полимерной ткани или специальной гофрированной полимерной трубкой и т.д.).

Арматурные каркасы с периферийным расположением стержней защищают гибким рукавом из полимерной ткани. Полимерный рукав защищает бетон сваи от попадания грунтовых частиц, а армокаркас – от коррозии [245, 255, 337].

Центральный арматурный стержень размещают в полимерную гофрированную трубку диаметром 3,0 – 4,0 диаметра стержня, внутреннее пространство трубки заполняют высокопрочным твердеющим материалом, обычно мелкозернистым бетоном или полимерцементным раствором. Поверх трубки размещают полимерные или металлические центраторы (спейсеры) стержня в скважине.

При работе в помещениях, а также при длине свай более 6,0 м целесообразно выполнять центральные стержни из отдельных секций, стыкуемых на сварке, на резьбовых муфтах (при винтовой арматуре) или механическим путем - запрессовкой муфты.

Контроль качества и приемка выполненных буринъекционных свай осуществляются в соответствии с требованиями, изложенными в [94, 195].

Сейсмичность площадки строительства следует определять на основании сейсмического микрорайонирования, отраженного в отчете об инженерно-геологических изысканиях.

Предварительно принятую длину свай l_{sv}^p следует уточнить с учетом инженерно-геологических условий строительной площадки:

1	Не допускается оставлять ниже предварительно принятого заглубления свай грунты с модулем деформации $E < 10,0 \text{ МПа}$ (10000,0 кПа) и рыхлые пески
---	--

2	Не рекомендуется в качестве основания свай принимать глинистые грунты с показателем текучести $I_L > 0,5$
3	Не рекомендуется нижние концы свай размещать на границе инженерно-геологических элементов (ИГЭ). Нижние концы свай следует размещать на 2,0 м выше границы ИГЭ или на 1,0 м (и более) ниже ИГЭ с резко выраженными отличиями физико-механических характеристик или генезисом
4	Если песчаные грунты средней плотности или плотные залегают на 1,0 – 2,0 м ниже предварительно принятого заглубления нижних концов свай, рекомендуется их нижние концы размещать в этих песках. На основании технико-экономического сравнения вариантов следует выбрать оптимальное решение

При соответствующем расчетном обосновании длины свай, размещаемых в центральной части плиты, допускается уменьшать, но при этом следует обеспечить выполнение общих условий (принципов) конструирования свайных фундаментов и достижение расчётной несущей способности свай по грунту.

Свайные фундаменты в основании зданий в зависимости от размещения свай в плане следует выполнять в виде:

1	Лент под несущими стенами с расположением расчетного числа свай в один, два и более рядов в соответствии с действующей нагрузкой
2	Кустов под колонны и лифтовые шахты расположением расчетного числа свай в плане на отдельных участках
3	Сплошного свайного поля при больших нагрузках и ограниченных размера фундаментной плиты в плане

При определении размеров фундаментов в плане и размещении свай следует учитывать возможные отклонения свай, допускаемые [340, 468]:

- ± 100,0 мм поперек ряда свай;
- ± 150,0 мм вдоль ряда свай и в сплошном свайном поле.

Свес монолитного железобетонного ростверка (фундаментной плиты) от оси крайнего ряда свай в плане следует принимать не менее 500,0 мм.

Рекомендуется принимать расстояние между осями свай в плоскости и нижних концов не менее трех диаметров, принимая за диаметр сваи диаметр бурового инструмента.

При конструировании свайных фундаментов в рабочих чертежах допускается делать нумерацию буроинъекционных свай:

1	При расположении свай в ленту – в начале и конце каждой ленты
2	При кустовом расположении свай – в пределах каждого куста с привязкой к осям здания или с указанием номера свай крайних рядов
3	В свайных полях – каждой десятой свай

Под малонагруженными колоннами рекомендуется размещать не менее трех свай в плане.

Сопряжение свай с монолитным железобетонным свайным ростверком может быть шарнирным или жестким:

– шарнирное сопряжение свай с ростверком следует выполнять путем заделки оголовка сваи в ростверк на глубину 50,0–100,0 мм без выпусков арматуры.

На территориях потенциально опасных по проявлению карсто-суффозионных процессов в фундаментах рекомендуется предусматривать шарнирное сопряжение свай с ростверком. В остальных случаях следует предусматривать жесткое сопряжение свай со свайным ростверком, особенно если под плитой ростверка в верхней зоне основания залегают слабые грунты (насыпные, не слежавшиеся грунты, рыхлые пески, глинистые грунты текучей консистенции и т.п.).

При жестком сопряжении свай с плитой монолитного железобетонного ростверка следует предусматривать:

1	Заделку головы свай в монолитный железобетонный ростверк на глубину, соответствующую длине анкеровки арматуры пространственного арматурного каркаса; при этом продольное армирование оголовка сваи должно быть выполнено на всю длину заделки, а бетон оголовка сваи перед заделкой в ростверк должен быть очищен
2	Заделку в ростверк выпусков продольной арматуры на длину не менее длины их анкеровки $\pm 150,0$ мм при этом оголовок буроинъекционной сваи заделывается в монолитный железобетонный ростверк на глубину (50,0...150,0 \pm 30,0) мм

При конструировании армирования плиты ростверка следует учитывать принятое сопряжение свай с ростверком.

Для предотвращения разрушения головы сваи за счет местного смятия бетона при любом сопряжении сваи с плитой монолитного ростверка рекомендуется в голове сваи устанавливать тонкостенную трубу толщиной $2,0 - 3,0$ мм длиной $0,5 - 1,5$ м, соответствующую диаметру скважины d_c в которой формируется свая.

Для снижения величины подъема дна котлована и разуплотнения грунтов, залегающих ниже отметки дна котлована, сваи могут изготавливаться с отметки дна промежуточного котлована.

При изготовлении сваи с промежуточной отметки котлована допускается в оголовках свай трубу не устанавливать, а сопротивление сопряжения сваи с плитой местному смятию проверять расчетом.

В пояснительной записке к проекту свайного фундамента следует указывать способы очистки забоя скважины от шлама и грунта, разрыхленного буровым инструментом. Грунт, разрушенный буровым долотом, должен быть удалён промывкой бетонной смесью или уплотнен электровзрывами до состояния грунта, характеристики которого учтены в расчётах несущей способности сваи под ее нижним концом.

Для заметок

Для заметок

Научное издание

Соколов Николай Сергеевич

**ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ:
УСТРОЙСТВО И МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТОВ
БУРОИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ ЭРТ
ПОВЫШЕННОЙ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ**

Монография

Чебоксары, 2022 г.

Компьютерная верстка *М.Ю. Фомин*

Дизайн обложки *Н.В. Фирсова*

Подписано в печать 06.05.2022 г.

Дата выхода издания в свет 12.05.2022 г.

Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Гарнитура Times. Усл. печ. л. 19,2975. Заказ К-980. Тираж 500 экз.

Издательский дом «Среда»

428005, Чебоксары, Гражданская, 75, офис 12

+7 (8352) 655-731

info@phsreda.com

<https://phsreda.com>

Отпечатано в Студии печати «Максимум»

428005, Чебоксары, Гражданская, 75

+7 (8352) 655-047

info@maksimum21.ru

www.maksimum21.ru