

**Министерство строительства
и жилищно-коммунального хозяйства
Российской Федерации**

**Федеральное автономное учреждение
«Федеральный центр нормирования, стандартизации
и технической оценки соответствия в строительстве»**

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

ПО УКРЕПЛЕНИЮ ГРУНТОВ МЕТОДАМИ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ, ГЛУБИННЫМ ПЕРЕМЕШИВАНИЕМ, ИНЪЕКЦИИ РАСТВОРАМИ НА ОСНОВЕ МИКРОЦЕМЕНТОВ, МАНЖЕТНОЙ ИНЪЕКЦИЕЙ В РЕЖИМЕ ГИДРОРАЗРЫВОВ

Москва 2020

Содержание

1 Область применения	1
2 Нормативные ссылки	1
3 Термины и определения	2
4 Общие положения	5
5 Проектирование	6
5.1 Основные положения	6
5.2 Инженерные изыскания	10
5.3 Нагрузки и воздействия	11
5.4 Требования к материалам для укрепления грунтов	13
5.5 Основные расчетные положения	22
5.6 Проектирование струйной цементации грунтов	35
5.7 Проектирование цементации методом глубинного перемешивания	31
5.8 Проектирование цементации методом инъекции растворов на основе микроцемента	35
5.9 Проектирование укрепления грунтов методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва	39
5.10 Состав проекта	44
5.11 Требования к составу и объему лабораторных и опытных работ на площадке	45
6 Производство работ и контроль качества	47
6.1 Основные положения по производству работ и контролю качества	47
6.2 Закрепление грунтов методом струйной цементации	53
6.3 Закрепление грунтов методом глубинного перемешивания	56
6.4 Закрепление грунтов инъекцией в режиме пропитки растворами на основе микроцемента (цемент типа ОТДВ)	60
6.5 Укрепление грунтов раствором на основе цемента типа методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва	64
6.6 Охрана труда и мероприятия по охране окружающей среды	67
7 Геотехнический мониторинг	68
Приложение А Методика выбора микроцемента (растворы типа ИОТДВ) и определения расчетного условного радиуса при закреплении грунта в режиме пропитки	70
Приложение Б Методика лабораторных работ по определению проницаемости песков растворами на основе микроцементов (растворы типа ИОТДВ)	73
Приложение В Рекомендуемая методика подбора состава для цементации методом глубинного перемешивания	77
Приложение Г Пример определения нормируемых показателей качества при закреплении грунтов методом инъекции в режиме гидроразрыва	80
	III

Библиография	82
--------------------	----

Введение

Методическое пособие разработано в развитие положений подраздела 6.9 СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений», раздела 16 СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты», СП 116.13330.2012 «СНиП 22-02-2003 Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения», СП 291.1325800.2017 «Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования», СП 361.1325800.2017 «Здания и сооружения. Защитные мероприятия в зоне влияния строительства подземных объектов».

Цель разработки – предоставление разъяснений требований норм по укреплению грунтов передовыми методами струйной цементации, глубинного перемешивания, инъекцией пропиткой растворами на основе микроцемента, инъекцией в режиме гидроразрыва с применением современных материалов, как в части проектирования, так и выполнения работ.

Методическое пособие разработано для применения широким кругом специалистов, чья деятельность связана с проектированием, строительством и эксплуатацией сооружений на искусственных основаниях из закрепленных грунтов, в том числе специалистами:

- проектных организаций;
- государственных и иных органов экспертизы и согласования;
- надзорных служб, органов декларирования и сертификации;
- преподавателями и студентами вузов.

В настоящее время закрепление грунтов и устройство искусственных оснований выполняется с учетом требований СП 22.13330, СП 45.13330. Вопросы регламента проектирования и производства работ, с учетом нормируемых показателей качества, должны быть разработаны в методических документах, один из которых – настоящее пособие.

Методическое пособие позволит создать основу для проектирования и производства работ, что обеспечит проведение независимых экспертных оценок разработанной документации.

В настоящем пособии рассматриваются методы укрепления грунтов растворами на основе цемента, в том числе, с применением современных материалов в виде микроцемента и оно включает:

- требования по разработке технического задания;
- требования к инженерным изысканиям, включая примеры технических заданий на изыскания;
- методику выбора применяемого метода усиления на основе сопоставления требований конструктивного и экономического характера;
- требования к составу и оформлению чертежей с примерами отдельных листов, в том числе, листов общих данных;
- требования к составу и оформлению пояснительной записки;

- требования к составу и объему опытных работ;
- требования к составу проекта в разделах проектной документации: «Архитектурные и конструктивные решения», «Проект организации строительства» и другой документации, предусмотренной в особых случаях;
- требования по контролю качества работ;
- рекомендации по назначению рабочих параметров усиления основания, контроль качества;
- требования к проекту производства работ;
- требования по геотехническому мониторингу.

Все положения пособия увязаны с требованиями сводов правил, действующих на момент разработки.

Применение методического пособия позволит повысить качество выполняемых проектных работ (обоснование принятых технических решений, сроки и стоимость проектных и, в целом, стоимость работ по объекту), качество работ, внедрить передовые технологии укрепления оснований и методы контроля, что приведет к снижению рисков возникновения аварийных ситуаций и повышению безопасности при эксплуатации строительных объектов.

Методическое пособие разработано авторским коллективом АО «НИЦ «Строительство», НИИОСП им. Н.М. Герсевича (руководитель работы – канд. техн. наук *В.В. Семкин*; отв. исполн. – канд. техн. наук *А.В. Шапошников*; канд. техн. наук *М.Н. Ибрагимов*; науч. сотр. *В.В. Сотников*; *А.И. Мисюк*, под общей редакцией канд. техн. наук *И.В. Колыбина* и канд. техн. наук *О.А. Шулятьева*).

1 Область применения

1.1 Пособие распространяется на проектирование, производство и контроль работ для закрепления грунтов при строительстве, реконструкции и ремонте объектов капитального строительства, работах по инженерной защите территорий от природных и техногенных процессов и иных геотехнических работах в грунтах.

1.2 Пособие распространяется на следующие методы укрепления грунтов:

- струйная цементация;
- глубинное перемешивание;
- инъекция пропиткой растворами на основе микроцементов;
- манжетная инъекция в режиме гидроразрывов.

1.3 Пособие устанавливает основные положения по проектированию и производству работ:

- при устройстве искусственных оснований из закрепленного грунта в виде сплошных массивов или отдельных элементов;
- при улучшении свойств грунта основания существующих зданий и сооружений;
- при выполнении защитных мероприятий;
- при выполнении ограждающих конструкций;
- при закреплении зон разуплотнения грунта в толще над карстующимися породами в качестве геотехнических противокарстовых мероприятий;
- при укреплении грунтов над карстующимися породами и под фундаментами путем армирования и создания массива из закрепленного грунта или повышение его жесткости за счет изменения напряженно-деформированного состояния;
- при устройстве противофильтрационных завес;
- при проведении геотехнического мониторинга.

1.4 Методы укрепления, изложенные в настоящем пособии, не распространяются на укрепление грунтов с показателями качества (в том числе, технологическими параметрами), отличающимися от граничных значений, приведенных в пособии, в том, числе тоннелей глубокого заложения, для которых требуется применение давления разрыва обоймы или инъекции превышающей 10 МПа.

Настоящее пособие не распространяется на укрепление грунтов для гидротехнических тоннелей и сооружений.

2 Нормативные ссылки

В настоящем пособии приведены ссылки на следующие нормативные документы:

ГОСТ 10180–2012 Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам

ГОСТ 19912–2012 Грунты. Методы полевых испытаний статическим и динамическим зондированием

ГОСТ 20276–2012 Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости.

ГОСТ 25100–2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 26798.1–96 Цементы тампонажные. Методы испытаний

ГОСТ 30108–94 Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов

СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83* Основания зданий и сооружений» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

СП 28.13330.2017 «СНиП 2.03.11-85 Защита строительных конструкций от коррозии» (с изменениями № 1, № 2)

СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты» (с изменениями № 1, № 2)

СП 48.13330.2019 «СНиП 12-01-2004 Организация строительства»

СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования

СП 305.1325800.2017 Здания и сооружения. Правила проведения геотехнического мониторинга при строительстве

СП 473.1325800.2019 Здания, сооружения и комплексы подземные.

Правила градостроительного проектирования

П р и м е ч а н и е – При пользовании настоящим пособием целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего пособия в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем пособии применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 активная зона: Зона в основании сооружения, расположенная в пределах сжимаемой толщи.

П р и м е ч а н и е – Определяется в соответствии с требованиями СП 22.13330.

3.2 водоупор или водоупорный слой грунта: Маловодопроницаемый слой грунта, фильтрацией подземных вод через который можно пренебречь.

3.3 геотехническая конструкция: Элемент, массив, искусственное основание, созданные в геотехнической среде с применением различных методов строительства, в том числе, методов закрепления грунтов.

3.4

геотехнический мониторинг: Комплекс работ, основанный на натурных наблюдениях за поведением конструкций вновь возводимого или реконструируемого сооружения, его основания, в т.ч. грунтового массива, окружающего (вмещающего) сооружение, и конструкций сооружений окружающей застройки.

[СП 305.1325800.2017, пункт 3.5]

3.5

геотехническая среда: Среда взаимодействия объектов подземного пространства, геологической среды и окружающей застройки, являющихся ее компонентами.

[СП 473.1325800.2019, пункт 3.1.1]

3.6 гидроразрыв грунта: Образование трещин в массиве грунта при инъекции растворов под давлением, превышающим напряжения в грунте в точке инъекции.

3.7 грунтоцементные конструкции: Конструкции в грунте, состоящие из грунтоцементных элементов или из массивов, отдельных объемов грунта, закрепленного методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва.

3.8 грунтоцементный элемент: Массив /объем грунта, закрепленный цементным вяжущим методами струйной цементации, глубинного перемешивания и инъекцией микроцементов.

3.9 длина скважины: Расстояние от устья до забоя по оси скважины.

3.10

закрепление грунта: Улучшение механических и физических свойств грунта путем введения в грунт твердеющих растворов в режиме пропитки или перемешивания.

[СП 45.13330.2017, пункт 3.17]

3.11

зона инъекции: Ограниченный интервал в скважине, через который производится нагнетание раствора (воды) в грунт.

[СП 45.13330.2017, пункт 3.20]

3.12 карстово-суффозионный процесс: Взаимосвязанное развитие карстового процесса и суффозия грунта в растворимой породе.

3.13 манжетная инъекция: Способ инъекции раствора в грунт через скважины, оборудованные манжетными колоннами или инъекторами, позволяющий неоднократно и в любой последовательности обрабатывать зоны (интервалы) в массиве грунта.

3.14

манжетная колонна: Труба с отверстиями, расположенными через 0,33 или 0,5 м, защищенными обратными клапанами для выполнения инъекции твердеющего раствора в грунт.

[СП 45.13330.2017, пункт 3.29]

3.15 материалы инженерных изысканий: Фактические данные, полученные в процессе выполнения инженерных изысканий, представленных в виде отчетной технической документации.

3.16 нормируемые показатели качества: Устанавливаемые нормативными документами значения.

3.17 нормируемые показатели: Показатели свойств растворов и смесей, назначаемые проектом в соответствии с нормами проектирования и требованиями нормативных документов.

3.18 объект проектирования: Здание, подземное сооружение, в том числе, инженерные коммуникации, защитные мероприятия от влияния природных и техногенных процессов, иные геотехнические работы в грунтах, приводящие к изменению геологической и геотехнической среды.

3.19 отказ при нагнетании: Снижение расхода раствора до минимально допустимой величины при заданном давлении (давлении отказа).

3.20 инъекционный раствор (суспензия): Смесь воды и компонентов из твердых частиц (цемент, глина, зола-уноса, молотый песок) и/или химических добавок, применяемая для закрепления грунтов.

3.21 суффозия: Разрушение и вынос потоком подземных вод отдельных компонентов и крупных масс дисперсных и сцементированных обломочных пород, в том числе слагающих структурные элементы грунтового массива.

3.22 тампон (пакер): Устройство для нагнетания раствора в грунт, снабженное эластичными уплотнителями для отделения зоны инъекции от остального пространства манжетной колонны.

3.23 тампонаж: Заполнение пустот и трещин твердеющим инъекционным раствором.

3.24 тампонажный раствор: Твердеющий водный раствор вяжущего, применяемый для закрепления несвязных грунтов, уплотнения пустот и трещиноватых пород.

3.25 укрепление/усиление грунта: Улучшение физико-механических характеристик грунта закреплением, уплотнением, армированием с изменением НДС массива грунта.

3.26 условные границы закрепления: Линия, плоскость, поверхность между закрепленным грунтом с нормируемым показателем и незакрепленным грунтом или закрепленным грунтом с показателем качества ниже нормируемых значений.

3.27 условный/приведенный радиус закрепления : Минимальное расстояние от оси скважины/инъектора до незакрепленного участка грунта для всех способов закрепления, для глубинного перемешивания – 0,5 диаметра буросмесителя.

3.28 цементация грунтов: Изменение физико-механических характеристик грунтов с помощью цементных растворов, нагнетаемых в грунт по технологиям: инъекционная, струйная, глубинное перемешивание, манжетная инъекция в режиме гидроразрыва.

3.29 элемент закрепленного грунта: Массив грунта с измененными физико-механическими характеристиками в результате закрепления и имеющий условные границы закрепления в плане и по глубине.

4 Общие положения

4.1 Положения настоящего пособия основаны на соблюдении при проектировании и производстве работ требований нормативных документов.

При проектировании должны быть предусмотрены решения:

- обеспечивающие надежность, долговечность и экономичность на всех стадиях строительства и эксплуатации сооружения;
- исключающие ухудшение условий эксплуатации существующих зданий, сооружений, инженерных коммуникаций и объектов окружающей застройки в зоне влияния;
- исключающие вредные воздействия на геотехническую среду и экологию.

4.2 Пособие предусматривает выполнение проектно-изыскательских работ, основные требования к которым приведены в разделе 5, в том числе:

- работы по определению коэффициента фильтрации закрепляемого грунта;
- работы по определению направления фильтрации;
- лабораторные работы по определению проницаемости закрепляемого грунта микроцементами;
- требования по проектированию в зависимости от способа закрепления;
- опытные работы на этапе изысканий для объектов геотехнической категории 3, уникальных, повышенного уровня ответственности и по требованиям проекта;
- требования по контролю качества закрепления и по испытаниям закрепленного грунта;
- требования по нормируемым показателям качества закрепления;
- другие требования, установленные проектом.

4.3 При проектировании и производстве работ следует учитывать влияние работ на объект и объекты окружающей застройки в зоне влияния, включая «технологические» осадки – осадки, возникающие при производстве работ и длящиеся до окончания времени набора прочности закрепленным грунтом/элементом закрепленного грунта, цементным раствором, соответствующей нормируемым показателям качества, установленным проектом.

4.4 Производство работ должно выполняться в соответствии с требованиями технологического регламента, разработанного в составе раздела ПОР,

Применяемые при закреплении материалы должны удовлетворять требованиям соответствующих национальных нормативных документов. При отсутствии на микроцемент или добавки соответствующих нормативных

документов их применение допускается при наличии на материал стандарта организации, внесенного в государственный реестр СТО.

4.5 При проектировании и производстве работ следует предусматривать геотехнический мониторинг объекта и окружающей застройки в зоне влияния на период строительства и определенный проектом период эксплуатации в соответствии с требованиями раздела 7.

5 Проектирование

5.1 Основные положения

5.1.1 Проектирование укрепления грунтов следует выполнять в соответствии с настоящим разделом и другими нормативными документами. В качестве основного метода проектирования следует использовать наблюдательный метод, предусмотренный положениями СП 22.13330. Проектные работы наблюдательным методом должны включать следующие этапы:

этап 1 – разработка проектной и рабочей документации (ПД и РД), включая инженерные изыскания, анализ требований к проектируемому объекту, обоснование выбора схемы укрепления и метода закрепления грунта на основании положений методики оценки конструктивной и экономической эффективности, участие в лабораторных работах по оценке закрепляемости грунтов, участие в опытных работах, если они проводятся на этапе проектно-изыскательских работ, определение и назначение расчетных нормируемых показателей качества укрепленного массива грунта и отдельных элементов укрепленного грунта, назначение номинальных составов растворов; требований к опытным лабораторным и полевым работам, видам и методам контрольных работ, требований по приемке искусственных оснований;

этап 2 – авторское техническое сопровождение опытных работ – участие авторов проекта в работах на опытных участках, корректировка при необходимости проектных решений этапа 1, назначение рабочих нормируемых показателей качества и технологических параметров укрепления;

этап 3 – авторское техническое сопровождение производственных работ – участие авторов проекта в работах по укреплению грунтов, назначение участков для контроля качества укрепления, участие в контрольных работах, при необходимости, оперативная корректировка нормируемых показателей, участие в приемке работ.

5.1.2 Технические решения по закреплению грунтов должны включать:

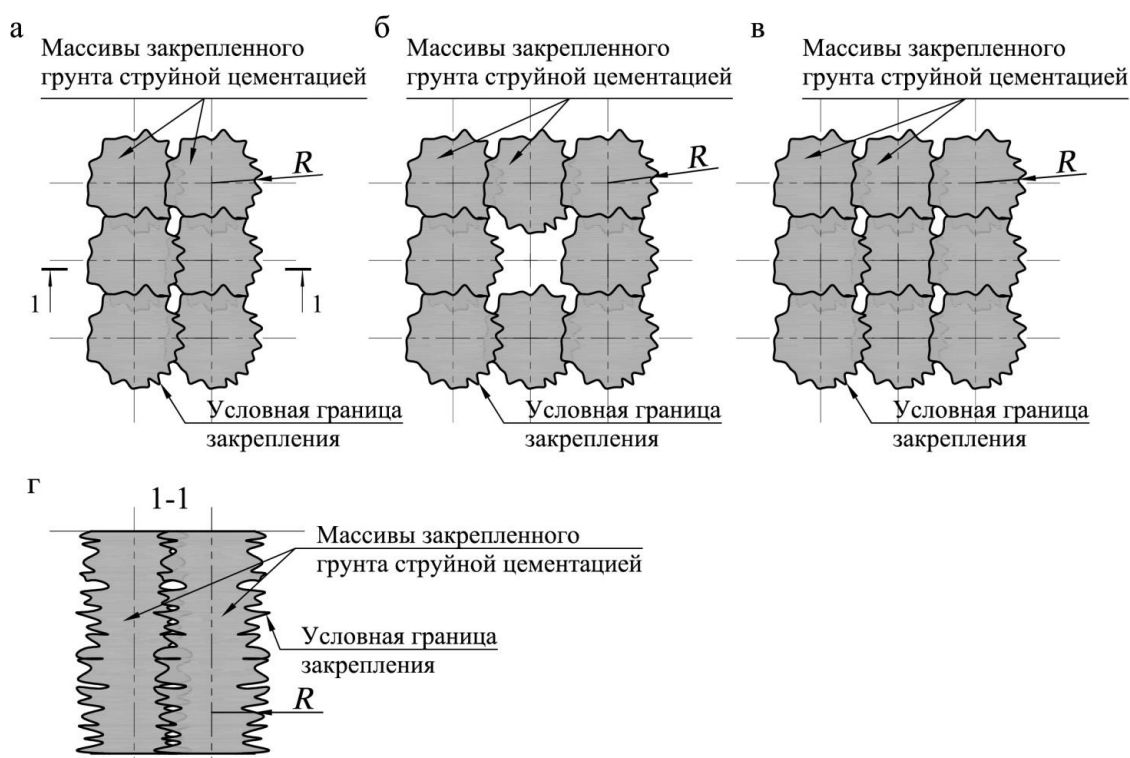
- выбор «конструктивной» схемы закрепления или искусственного основания;
- выбор метода закрепления для назначенной «конструктивной» схемы или для снижения деформаций объекта, или защиты территории от опасных природных или техногенных процессов.

5.1.3 Выбор «конструктивной» схемы и способа закрепления следует осуществлять в зависимости от инженерно-геологических условий, целей

закрепления и конструктивных особенностей объекта на основании следующих положений:

- «конструктивные» схемы закрепления искусственного основания при струйной цементации, глубинном перемешивании, инъекции микроцементами основаны на создании элементов закрепленного грунта с условными границами закрепления (рисунки 5.1–5.3);

- «конструктивные» схемы закрепления искусственного основания методом манжетной инъекции в режиме гидроразрывов основаны на создании массива (различная форма массива в виде условных цилиндра, шара, ленты, плиты), состоящего из измененного (по своим характеристикам) грунта и включений цементного камня неопределенных по размеру, форме, направленности и количеству (см. рисунок 5.4).



R – условный радиус закрепления; а – локальное; б – ячеистое; в – сплошное; г – сечение по массиву закрепления

Рисунок 5.1– «Конструктивные» схемы закрепления или искусственного основания при струйной цементации грунтов с условными границами закрепления

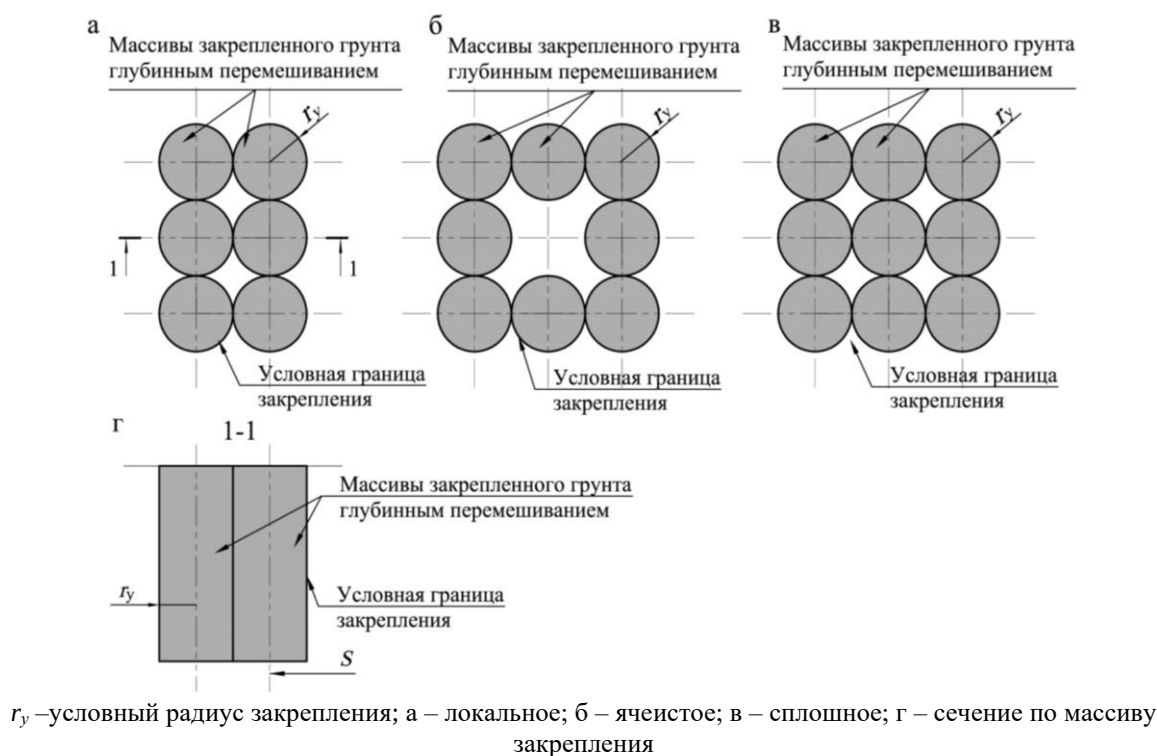


Рисунок 5.2 – «Конструктивные» схемы закрепления или искусственного основания при цементации грунтов способом глубинного перемешивания с условными границами закрепления

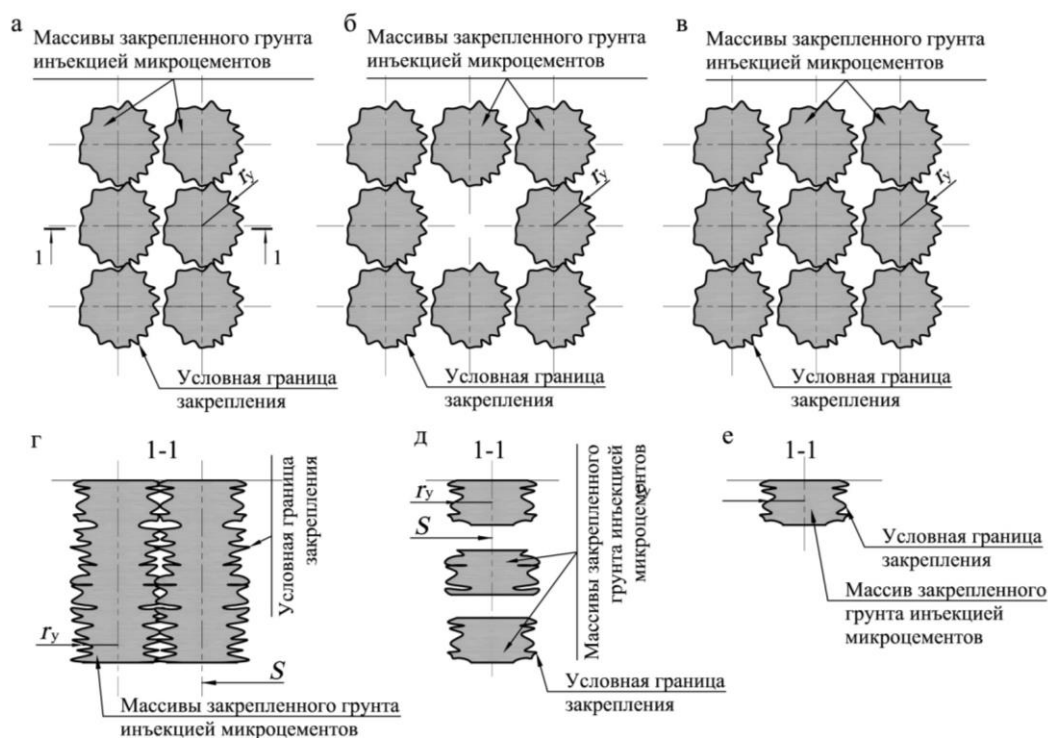


Рисунок 5.3 – «Конструктивные» схемы закрепления или искусственного основания при цементации грунтов инъекцией микроцементов с условными границами закрепления

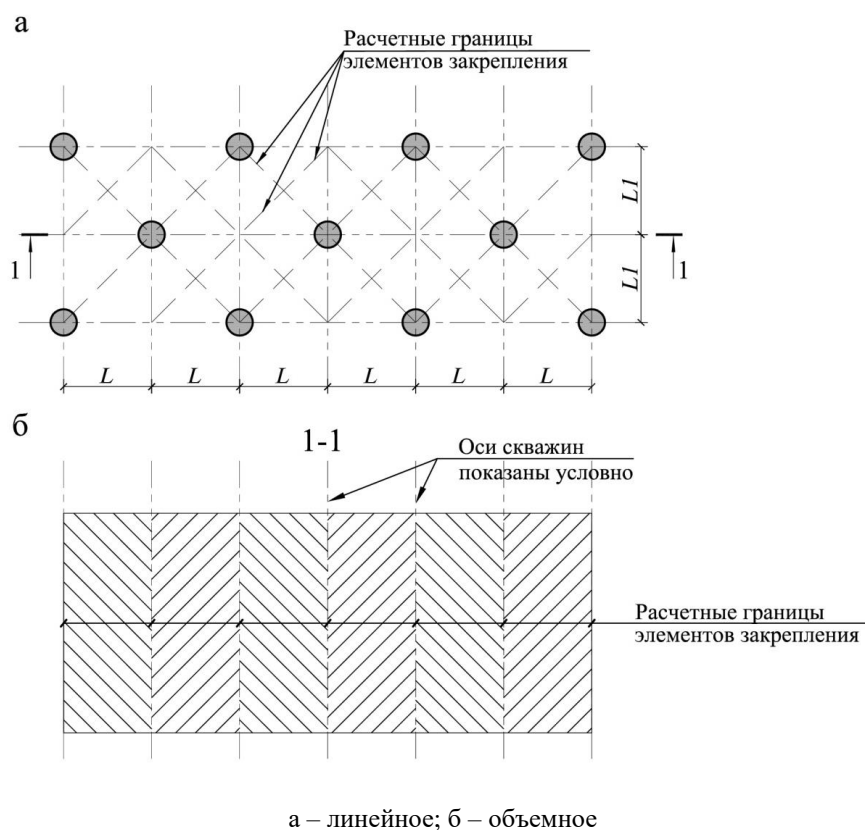


Рисунок 5.4 – «Конструктивная» схема закрепления или искусственного основания из элементов закрепленного грунта с условными границами закрепления при инъекции в режиме гидроразрыва

5.1.4 Метод закрепления (из числа рассматриваемых в пособии) для снижения деформаций объекта или защиты территории от опасных природных или техногенных процессов следует выбирать в зависимости от инженерно-геологических условий, технического состояния объекта и иных факторов воздействия на объект на основании положения об изменении НДС за счет восполнения утраченных объемов или замещения грунта с низкими деформационными характеристиками (пограничное значение деформационных характеристик, определяющее возникновение деформаций устанавливается для каждого объекта отдельно расчетом по предельному состоянию второй группы) цементным раствором или закрепленным грунтом, или созданием геотехнической завесы (противофильтрационная завеса, противосуффозионной завесы, иная вертикальная, горизонтальная или наклонная геотехническая конструкция в грунте).

5.1.5 При укреплении грунтов, рассматриваемыми в пособии методами, армирование может выполняться отдельными элементами с большей чем закрепленный грунт жесткостью, при этом следует учитывать требования нормативных документов (НД), положения настоящего пособия, [1]–[12].

5.1.6 Армирование геотехнических конструкций может выполняться жесткими элементами их труб, арматурных стержней или бетонных конструкций, постоянного по всей длине сечения, или арматурными

каркасами. Армирование грунтоцементных конструкций выполняют по оси скважины (вертикальной или наклонной). Армирование основания, укрепленного методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва, выполняется в соответствии с подразделом 6.5.

5.2 Инженерные изыскания

5.2.1 При проектировании и производстве работ по укреплению грунтов следует учитывать инженерно-геологические условия участка, сведения о которых должны быть отражены в отчете, включая:

- информацию о напластованиях грунтов с указанием инженерно-геологических элементов (далее – ИГЭ) с отметками кровли и подошвы, расположения в плане, разрезов: при равномерном залегании ИГЭ – в двух взаимно перпендикулярных направлениях; при неравномерном залегании и переслаивании в границах проектируемого закрепления дополнительно разрезы по всем границам участка; для линейных сооружений – продольный профиль по сооружению и поперечные профили в местах изменения направления, изменения конструкции сооружения, изменений ИГЭ;

- свойства ИГЭ: тип грунта, плотность, консистенция (для связных грунтов), наличие органических веществ в процентном отношении, гранулометрический состав (для песков), коэффициент фильтрации (для песков);

- физико-механические характеристики грунтов каждого ИГЭ: γ – удельный вес грунта естественного сложения, кгс/см³, w – влажность, дол. ед., e – коэффициент пористости, дол. ед., c – сцепление, КПа, ϕ – угол внутреннего трения, град., E – модуль деформации, МПа; k – коэффициент фильтрации, м/сут;

- уровень подземных вод, сезонные колебания, агрессивность к цементному камню (бетону) и элементам армирования;

- наличие специфических грунтов, опасных природных и техногенных процессов и явлений (оползни, карст, суффозионный процесс, агрессивность к цементному камню и армирующим элементам);

- результаты зондирования, штамповых испытаний;

- результаты геофизических исследований;

- иная информация, если это требуется для разработки проекта (данные по пробным откачкам, наливу, лабораторным исследованиям по укрепляемости (для всех методов для засоленных и грунтов, содержащих органические включения более 10 %), по проницаемости грунтов (для метода инъекции микроцементами).

5.2.2 Зондирование следует проводить статическими и динамическими методами в соответствии с ГОСТ 19912. Штамповые испытания проводят в соответствии с требованиями ГОСТ 20276 и других нормативных документов, если они предусматриваются проектом.

5.2.3 Геофизические исследования проводятся методами, позволяющими оценивать изменения массива до закрепления и после его выполнения. В качестве методов рекомендуется использовать электромагнитные и

сейсмоакустические, которые позволяют построить профили в сечениях проектируемого закрепления грунта и грунта естественного сложения, находящегося за условной границей закрепления (рисунок 5.5). Объемы работ по оценке качества закрепления массива или основания из элементов закрепленного грунта определяют в техническом задании на изыскания на этапе подготовки проектной документации.

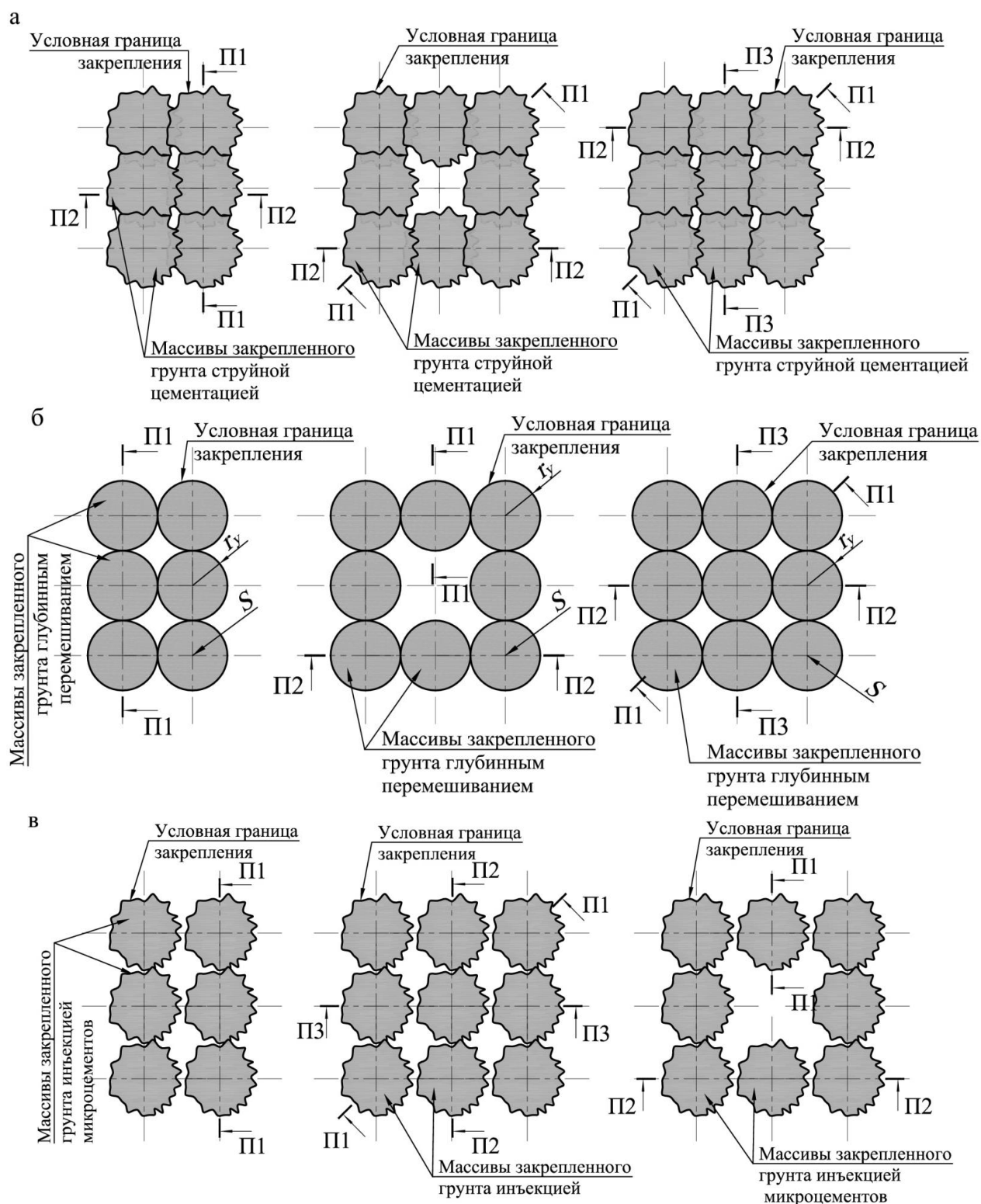
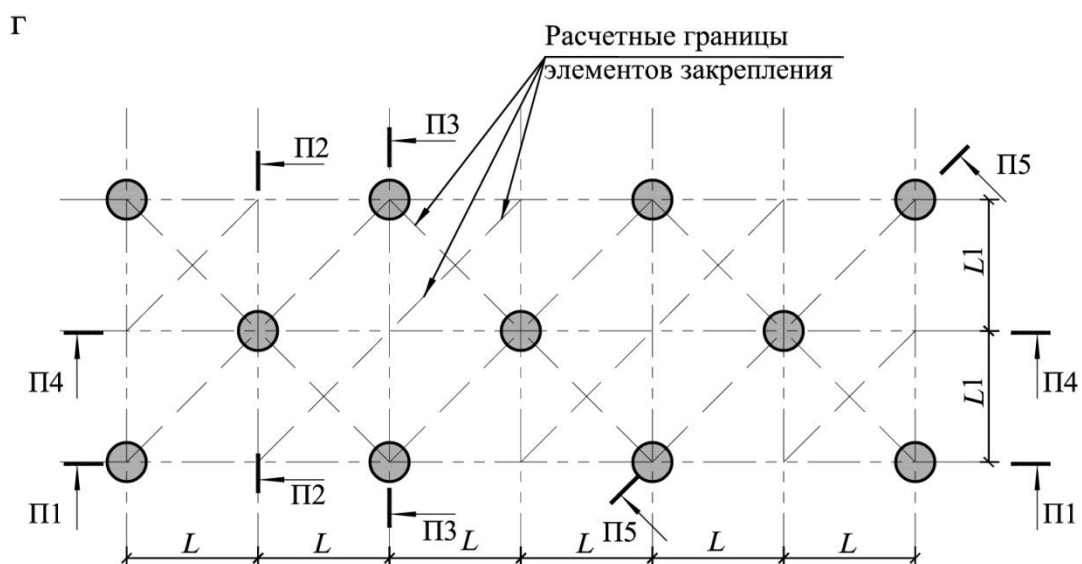


Рисунок 5.5, лист 1



П1...П5 – сечение профиля геофизических исследований при: а – струйной цементации грунтов; б – цементации глубинным перемешиванием; в – цементации грунтов инъекцией микроцементов; г – расположение профилей на схеме скважин

Рисунок 5.5, лист 2 – Принципиальные рекомендуемые схемы расположения профилей для геофизических исследований грунтов

5.2.4 Полевые методы исследования грунтов (штамповые испытания, зондирование, геофизические методы) рекомендуется выполнять на этапе изысканий, при проведении опытных работ по закреплению и при работах по контролю качества закрепления.

5.2.5 Проницаемость грунтов для закрепления инъекцией микроцементом определяют в лаборатории в соответствии с методикой, приведенной в приложении А.

5.2.6 Возможность закрепляемости грунтов определяют в лаборатории по методике, приведенной в приложении Б.

5.2.7 При проектировании укрепления грунтов для сооружений всех классов (КС-1, КС-2 и КС-3) следует руководствоваться положениями настоящего подраздела (5.2.8–5.2.10).

5.2.8 При проектировании объектов 1-й геотехнической категории изыскания по 5.1.2–5.2.6 проводят не в полном объеме, а только в объеме, предусмотренном проектом. Характеристики грунтов допускается назначать на основании материалов прошлых лет и по таблицам СП 22.13330 на основании имеющегося сопоставимого опыта. Исключением следует считать определение проницаемости для закрепления микроцементами, работы по которому следует проводить в лаборатории на образцах с характеристиками грунтов естественного сложения либо в полевых условиях на опытных участках работ при закреплении.

5.2.9 При проектировании объектов 2-й геотехнической категории изыскания по 5.2.1–5.2.6 проводят в полном объеме, если это предусмотрено проектом и нормативными документами.

5.2.10 При проектировании объектов 3-й геотехнической категории изыскания по 5.2.1–5.2.6 проводят в полном объеме.

5.3 Нагрузки и воздействия

5.3.1 Нагрузки и воздействия при проектировании закрепления грунтов должны определяться в соответствии с требованиями действующих нормативных документов и по 5.3.2.

5.3.2 Нагрузки и воздействия, учитываемые при проектировании закрепления грунтов по настоящему пособию должны определяться расчетом, как правило, исходя из рассмотрения совместной работы сооружения и основания. Для этого следует применять численные методы математического моделирования с применением программных комплексов. При этом следует учитывать изменение характеристик основания:

- при производстве работ по закреплению грунтов (схватывание растворов и набор прочности во времени до достижения расчетного значения):

- из-за влияния технологии метода закрепления на свойства грунта в условных границах закрепления и за этими границами, как при производстве работ, так и после их завершения до формирования нового НДС;

- из-за длительного (в зависимости от грунтовых условий и метода закрепления) процесса формирования НДС основания в процессе реконструкции, строительства и эксплуатации объекта;

- из-за влияния на искусственное основание из закрепленного грунта природных и техногенных процессов – фильтрация подземных вод (далее – ПВ), изменение уровня ПВ и иные воздействия.

5.4 Требования к материалам для укрепления грунтов

5.4.1 Материалы для закрепления грунтов: инъекционные растворы на основе цемента и при сухом (dry deep mixing method) способе глубинного перемешивания, сухие вяжущие (цемент, известь, другие вяжущие, обеспечивающие закрепление водонасыщенных грунтов в соответствии с требованиями нормативных документов).

5.4.2 Инъекционные растворы на основе цемента используют для закрепления грунтов в соответствии с требованиями нормативных документов и настоящего пособия.

5.4.3 Классификация растворов в зависимости от размера частиц представлена следующими типами:

И – инъекционные растворы на цементах с удельной поверхностью от 3000 до 5000 см²/г – цементы общестроительного назначения;

ИТД – инъекционные растворы на тонкодисперсном вяжущем – на цементах с удельной поверхностью от 5000 до 8000 см²/г;

ИОТДВ – инъекционные растворы на особо-тонкодисперсном вяжущем – на цементах с удельной поверхностью от 8000 до 20000 см²/г.

5.4.4 Требования по нормируемым показателям установлены положениями настоящего пособия. В зависимости от назначения и вида цемента растворы рекомендуется применять в соответствии с таблицей 5.1.

Т а б л и ц а 5.1 – Рекомендуемые типы растворов для закрепления в зависимости от их назначения

Тип раствора	Назначение
И	1 – струйная цементация; 2 – глубинное перемешивание; 3 – инъекция в режиме гидроразрыва 4 – инъекция в режиме пропитки крупнообломочных грунтов (таблица 5.2)
ИТД	1 – струйная цементация; 2 – глубинное перемешивание; 3 – инъекция в режиме пропитки крупнообломочных грунтов и крупнозернистых песков (таблица 5.2)
ИОТДВ	1 – инъекция микроцементами в режиме пропитки

5.4.5 Выбор раствора зависит от свойств грунта естественного сложения, метода закрепления и требуемых нормируемых показателей закрепленного грунта и рекомендуется выполнять по таблице 5.2.

Т а б л и ц а 5.2 – Выбор раствора для различных способов закрепления

Способ закрепления	Характеристики закрепляемого грунта		Рекомендуемый инъекционный раствор	Цель закрепления
	Тип грунта	Коэффициент фильтрации м/сут		
Инъекция в режиме пропитки	Крупно-обломочные	≥ 80	Цементные, с добавками и без, типов И и ИТД	Повышение несущей способности, устойчивости и водонепроницаемости грунта
	Крупно-зернистые пески		Цементные, с добавками и без, типа ИТД	
	Мелко-зернистые пески	10–80	Растворы типа ИОТДВ, с добавками и без	Повышение несущей способности, устойчивости и водонепроницаемости грунта
Струйная цементация	Любые типы грунта	Не регламентируется	Цементные, цементные с добавками, типа И	Повышение несущей способности, устойчивости, водонепроницаемости грунта, создание армированного основания из элементов закрепленного грунта

Глубинное перемешивание (буросмесительный способ)	Дисперсные грунты	Не регламентируется	Цементные, цементные с добавками, типа И	Повышение несущей способности, устойчивости, водонепроницаемости грунта, создание армированного основания из элементов закрепленного грунта
Цементация в режиме гидроразрыва грунта	Дисперсные грунты	Не регламентируется	Цементные, цементные с добавками, типа И	Повышение несущей способности, устойчивости и водонепроницаемости грунта, стабилизация НДС, компенсационная цементация, создание армированного основания

5.4.6 Нормируемые показатели качества определены для смесей инъекционных растворов (далее – смесь) и затвердевшего раствора (далее – раствор). Показатели качества (свойства) подразделяют на основные/базовые и дополнительные, Базовые показатели качества должны назначаться и контролироваться в обязательном порядке. Дополнительные показатели качества назначаются проектом при необходимости контроля показателей.

К базовым показателям качества смеси относятся: плотность, водоцементное отношение (далее – В/Ц), подвижность, водоотделение, сроки схватывания, температура при инъекции, наличие добавок.

К дополнительным показателям качества смеси относятся: динамическое сопротивление сдвигу, регламент приготовления и инъекции и иные, требуемые для контроля смеси.

К базовым показателям качества раствора (затвердевшего) относятся: плотность, прочность на одноосное сжатие, морозостойкость (при закреплении грунтов в зоне отрицательных температур).

К дополнительным показателям качества раствора (затвердевшего) относятся: модуль деформации, водопроницаемость и иные, если это предусмотрено проектом.

5.4.7 Нормируемые показатели качества (базовые и дополнительные) смесей и растворов назначаются при проектировании в зависимости от требований к выполнению работ и к результатам работ и грунтовым условиям. Назначение базовых показателей смесей и растворов следует выполнять, руководствуясь таблицами 5.3 и 5.4 соответственно. Назначение дополнительных показателей смесей и растворов следует выполнять при проектировании в зависимости от условий применения смесей и растворов и особых требований к ним для условий проектируемого объекта.

Т а б л и ц а 5.3 – Значение базовых показателей смесей

Базовый показатель	Граничные значения показателей для инъекционных растворов (смесей) типа И	Граничные значения показателей для инъекционных растворов (смесей) типов ИТД и ИОТДВ
Водоцементное отношение, В/Ц, весовое отношение, дол. ед.	0,35–1,0	1,0–5
Подвижность; - по конусу растекаемости при $V/C \leq 1$, см; - по воронке Марша (условная вязкость) при $V/C = 1–5$, с/дм ³	15–40 –	– 25–40
Водоотделение, %	2–10	5–20
Сроки схватывания, ч	1–12	2–4
Температура при инъекции, °С	10–25	10–25
Плотность, кг/м ³	2000–1500	1620–1120
Наличие добавок	Увеличение подвижности, регулирование сроков схватывания и водоотделения	Регулирование сроков схватывания и водоотделения

Т а б л и ц а 5.4 – Значение базовых показателей затвердевшего раствора

Базовый показатель	Граничные значения показателей для растворов типа И	Граничные значения показателей для инъекционных растворов типов ИТД и ИОТДВ
Прочность на сжатие, МПа	2,0–30,0	2,0–10,0
Плотность, кг/м ³	1400–1900	1050–1450

5.4.8 Марка смесей растворов по подвижности назначается по таблице 5.5.

Т а б л и ц а 5.5 – Марки смесей по подвижности

Марка по подвижности	Норма подвижности по конусу растекаемости (ГОСТ 26798.1), см
П1	12–18
П2	18–24
П3	24–30
П4	≥ 30

Назначение марки раствора по подвижности выполняют в зависимости от способа закрепления по таблице 5.6.

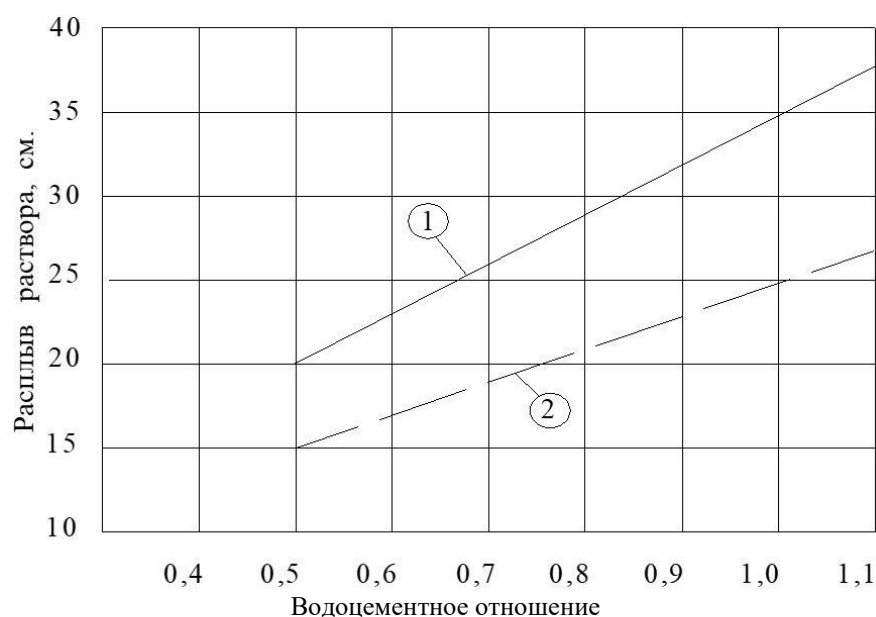
Т а б л и ц а 5.6 – Назначение марки растворов по подвижности

Способ закрепления и характеристики грунта	Осадка по конусу растекаемости (ГОСТ 26798.1), см	Марка по подвижности П
1 Пропитка: - инъекция грунта с $K_f \geq 80$ м/сут инъекционными растворами на основе общестроительного цемента типа И; - инъекция грунта с $K_f = 10-80$ м/сут инъекционными растворами ИТД; - инъекция грунта с $K_f = 1-10$ м/сут инъекционными растворами ИОТДВ	12–18 18–24 24–30 24–30 ≥ 30 ≥ 30	П1 П2 П3 П3 П4 П4
2 Устройство элементов закрепленного грунта, стабилизации напряженно-деформационного состояния основания, цементация основания фундаментов способами: - гидроразрыва; - струйной цементации; - глубинного перемешивания (буромесительный метод); - заполнительной цементации	18–24/24–30 18–24/24–30 18–24 18–24	П2/П3 П2/П3 П2 П2

При подборе состава смеси раствора в зависимости от В/Ц следует иметь в виду, что подвижность растворов на цементах различных заводов и различного срока хранения могут иметь, может изменяться в пределах 10 % – 20 %. Для наиболее применяемых значений В/Ц рекомендуется использовать графики разброса подвижности по рисунку 5.6, [13], [14], [15].

5.4.9 По водоотделению смеси растворов разделяют на стабильные, условно-стабильные и нестабильные в соответствии с таблицей 5.7 [13], [14].

Для смесей растворов типов ИТД и ИОТДВ водоотделение может предварительно определяться по таблице 5.8. Характеристики смесей определяются по паспортным данным и должны подтверждаться лабораторными исследованиями для каждого микроцемента.



1 – максимальный, 2 – минимальный

Рисунок 5.6 – Растекаемость смесей растворов на цементах типа И разных заводов в зависимости от В/Ц

Т а б л и ц а 5.7 – Нормируемые показатели водоотделения смесей растворов

Вид растворов	Граничные значения водоотделения, %	Время полного водоотделения, мин
Стабильные	2–8	≥ 30
Условно - стабильные	8–16	20–30
Нестабильные	≥ 16	≤ 20

Т а б л и ц а 5.8 – Водоотделение смесей растворов типов ИТД и ИОТДВ

В/Ц раствора	Водоотделение растворов через 60 мин, %						
	Microdur R-U	MacFlow	Maxgrout	Oxal VP	Ультрацемент марок		
					У-5	У-10	У-15
1	0	1	2	10	2	5	6
2	6	10	12	37	8	14	16
3	18	14	16	42	22	24	31
4	25	24	31	52	32	40	46
5	38	40	46	62	48	55	61

5.4.10 Сроки схватывания смесей растворов определяются регламентом инъекции, который разрабатывается в составе проекта и назначаются, исходя из полного цикла работ, начиная от приготовления смеси до окончания инъекции или до времени распределения раствора в грунте в проектируемых условных границах закрепления. Для регулирования сроков схватывания применяют добавки, ускоряющие или замедляющие схватывание смеси раствора [16]. В качестве добавок, регулирующих сроки схватывания, применяют добавки для регулирования схватывания бетонных смесей. При

назначении сроков схватывания растворов следует учитывать условия схватывания в грунте: температура, наличие воды, скорость и направление фильтрации. Для назначения сроков схватывания на этапе проектирования без проведения лабораторных работ можно пользоваться таблицей 5.9.

Т а б л и ц а 5.9 – Сроки схватывания смесей растворов

В/Ц смеси раствора	Показатели осадка после выстойки в НВУ*			Сроки схватывания осадка	
	объем, %	плотность, кг/м ³	В/Ц	начало, ч-мин	окончание, ч
0,4	98	1920	0,38	2–40	10
0,5	88	1900	0,39	3–45	13
0,6	82	1870	0,40	4–20	14–15
0,7	76	1850	0,42	5–10	16
1	63	1790	0,53	7,0	19

*НВУ – нормально-влажностные условия – Т = 18 °С – 20 °С, влажность – 60 % – 80 %.

Сроки схватывания смесей растворов типов ИТД и ИОТДВ варьируют в значительных пределах в зависимости от применяемых микроцементов и В/Ц и могут изменяться от 20 мин (начало схватывания) до 8 ч (конец схватывания). Фактические сроки схватывания назначаются по паспортным данным и должны подтверждаться лабораторными исследованиями.

5.4.11 Температура раствора должна быть не менее 10 °С и не более 40 °С. Следует учитывать, что процессы схватывания замедляются [16], [17]. Для ускорения схватывания следует повышать температуру смеси при инъекции и вводить добавки, ускоряющие схватывание.

5.4.12 Плотность смеси зависит от В/Ц для цементных растворов и соотношения твердых компонентов и воды (В/Т – водотвердое отношение) для цементно-песчаных растворов. Добавки вводятся в количестве, не влияющем на плотность смеси. Граничными значениями плотности смеси следует считать интервал от 1100 кг/м³ до 2200 кг/м³.

5.4.13 На этапе проектирования допускается принимать состав смеси раствора по базовым нормируемым показателям по таблицам 5.10–5.12.

Т а б л и ц а 5.10 – Рекомендуемые составы смесей растворов типов И и ИТД

В/Ц раствора	Состав в 1 м ³ раствора, т		Плотность раствора, кг/м ³	Растекаемость по конусу, см	Водоотделение, %	Сроки схватывания, ч
	цемент	вода				
0,5	1,2	0,6	1810	15	8	3,5–13
0,6	1,08	0,64	1720	18	15	4–14
0,7	0,97	0,68	1650	20	21	5–16
0,8	0,88	0,71	1590	24	27	6–18
1,0	0,75	0,75	1500	28	34	7–9

Т а б л и ц а 5.11 – Рекомендуемые составы смесей цементно-песчаных растворов типа И

Состав смеси раствора, кг.			П/Ц	В/Ц	Плотность раствора, кг/м ³	Сроки схватывания, ч
цемент	песок	вода				
600	960	436	1,6	0,73	1996	5–15
650	905	445	1,39	0,68	2000	5–14
700	845	453	1,2	0,65	1988	4–14
750	785	461	1,0	0,61	1986	4–13
800	725	470	0,9	0,59	1975	4–13

Т а б л и ц а 5.12 – Начальные рецептуры смеси для подбора состава смеси раствора типа ИОТДВ

Контролируемый показатель	Состав смеси раствора типа ИОТДВ при В/Ц				
	1	2	3	4	5
Плотность раствора, кг/м ³	1510	1290	1200	1150	1120
Содержание цемента в 1000 см ³ раствора, г	756	430	300	251	188
Содержание воды раствора, см ³	754	860	900	921	932

5.4.14 В качестве вяжущего для приготовления растворов типа И используют портландцемент марок Ц400, ПЦ500 с добавками или без, для приготовления растворов типов ИТД и ИОТДВ – микроцементы по соответствующим техническим условиям или СТО на них, зарегистрированным в реестре Минстроя. Допускается применение разновидности портландцемента: быстротвердеющий портландцемент, сульфатостойкий портландцемент, шлакопортландцемент, быстротвердеющий шлакопортландцемент, сульфатостойкий шлакопортландцемент, пуццолановый портландцемент по соответствующим стандартам и техническим условиям.

При наличии агрессивных подземных вод и грунтов следует применять химически стойкие по отношению к ним цементы, выбранные в соответствии с требованиями СП 28.13330 как для безнапорных сооружений.

Вода для приготовления смеси должна соответствовать требованиям нормативной документации.

Добавки для растворов должны соответствовать нормативным документам, утвержденным в установленном порядке.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ материалов, применяемых для приготовления смесей, не должна превышать предельных значений по ГОСТ 30108.

5.4.15 Нормируемые показатели качества затвердевшего раствора должны быть обеспечены в проектном возрасте. Проектный возраст раствора следует принимать 28 дней. В этом возрасте должны быть обеспечены нормируемые показатели качества затвердевшего раствора:

- базовые/основные – прочность, морозостойкость (если этот показатель необходим для объекта), плотность;

- дополнительные – модуль деформации, сцепление, угол внутреннего трения, иные, если они установлены проектом.

5.4.16 По прочности на сжатие инъекционные растворы подразделяют на классы: R5; R7,5; R10; R12,5; R15; R20. Расчетные значения прочности растворов, соответствующей классу по прочности следует принимать в соответствии с таблицей 5.13.

Т а б л и ц а 5.13 – Расчетные значения прочности растворов типов И, ИТД, ИОТДВ в зависимости от класса по прочности на сжатие

Класс раствора по прочности	R5	R7,5	R10	R12,5	R15	R20
Средняя* прочность раствора R_c , МПа	6,4	9,6	12,8	16,0	19,2	25,6
Расчетное значение прочности, МПа	5	7,5	10	12,5	15	20
* R_c – средняя прочность раствора, определенная по результатам испытания пяти образцов-кубов с гранями размерами 7×7×7 см в нормативном возрасте. При промежуточных значениях средней прочности класс по прочности определяется как для меньшего по таблице значения.						

Допускается использование растворов с классом по прочности более R20 при условии соответствия класса раствора требованиям нормативных документов и заключению специализированной организации о необходимости и возможности его применения.

Проектом может быть назначена прочность раствора в промежуточном возрасте R_t , как правило, за промежуточный возраст обычно принимают 2 дн, 7 дн, 14 дн. Переход к марочной прочности выполняют по формуле

$$R_c = R_t \cdot K_t, \quad (5.1)$$

где K_t – коэффициент равный для раствора в возрасте 2 дн – $K_2 = 0,5$; 7 дн – $K_7 = 0,7$; 14 дн – $K_{14} = 0,9$.

5.4.17 При необходимости (закрепленные цементными растворами грунты находятся в зоне промерзания) нормирования по морозостойкости инъекционные растворы подразделяют на следующие марки: M15, M25, M50, M75, M100, M150, M200.

Нормируемое значение по морозостойкости устанавливается проектом.

Для инъекционных растворов, требования по морозостойкости которых проектом не определены, марки по морозостойкости не назначаются и не контролируются.

5.4.18 По плотности инъекционные растворы характеризуются классами: D1100–D2200 в соответствии с таблицей 5.14.

Т а б л и ц а 5.14 – Классы плотности растворов

Класс по плотности D	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200
Минимальное* значение плотности, ρ_c , кг/м ³	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200

*Значение плотности для конкретного класса, определяется как среднее значение плотности по результатам испытания пяти образцов-кубов с гранями размерами 7×7×7 см в нормативном возрасте.

Нормируемое значение плотности инъекционного раствора устанавливается проектом. В проекте указывается класс раствора по плотности в соответствии с таблицей 5.14 и нормируемое значение – расчетное значение прочности, которое должно быть не менее значения, соответствующего класса и не более значения следующего класса. Отклонение по плотности допускается не более 5 %.

5.5 Основные расчетные положения

5.5.1 Расчеты основания из элементов закрепленного грунта выполняют в соответствии с требованиями СП 22.13330 методами математического моделирования с применением сертифицированных программных комплексов. Для верификации расчетов и выбора конструктивных схем и методов закрепления следует руководствоваться подразделами 6.9–6.10 СП 22.13330.2016, СП 291.1325800 и настоящим подразделом.

5.5.2 Расчет сплошных массивов из закрепленного грунта (рисунки 5.1–5.4) под фундаменты существующих зданий следует проводить в соответствии с СП 22.13330, по несущей способности исходя из условия

$$N \leq R_{м.з.г} / \gamma_n. \quad (5.2)$$

Расчетная нагрузка N на основание (несущая способность) из закрепленного грунта, определяется по формуле

$$N = P_{\phi} S_{з.ф} / S_{з.г}, \quad (5.3)$$

где P_{ϕ} – давление под подошвой фундамента, МПа;

$S_{з.ф}$ – площадь подошвы фундамента, м²;

$S_{з.г}$ – площадь закрепленного массива грунта, м²;

γ_n – коэффициент надежности по назначению сооружения, который принимается равным 1,20; 1,15 и 1,10 соответственно для сооружений классов КС-3, КС-2 и КС-1.

Предельное сопротивление массива $R_{м.з.г}$ основания из укрепленного грунта, вычисляется по формуле

$$R_{м.з.г} = R_{х.з.г} S_{з.г}, \quad (5.4)$$

где $R_{х.з.г}$ – значение расчетного сопротивления сжатию закрепленного грунта в режиме пропитки растворами на основе цемента типа ИОТДВ, определяется по результатам лабораторных работ и уточняется полевыми исследованиями в рамках работ на опытных участках, на этапе проектирования расчетное значение может быть назначено в зависимости от K_{ϕ} грунта и способа закрепления в соответствии с положениями пособия и в зависимости от класса закрепленного грунта по прочности по таблице 5.2 и по формуле

$$R_{ц.з.г} = R_{с.ц.} / S_{к.э} = R_0 / 3, \quad (5.5)$$

где $R_{с.ц}$ – интегральная/средняя прочность закрепленного грунта в пределах сечения (максимальная вблизи скважины (инъектора) – минимальная у условной границы закрепления (условного радиуса)), определяется по формуле (5.6) или назначается в зависимости от состава (В/Ц) цементного раствора и типа цемента;

- для элементов закрепленного методами струйной цементации или глубинного перемешивания значение $R_{с.ц}$ определяется по формуле

$$R_{с.ц} = 0,11R_0 + 0,89 R_r, \quad (5.6)$$

где $S_{к.э}$ – площадь закрепленного грунта через скважину (инъектор); R_0 – значение временного сопротивления при сжатии закрепленного грунта, отобранного на расстоянии от оси $1/3 r$; R_r – значение временного сопротивления при сжатии закрепленного грунта, отобранного на расстоянии $5/6 r$ от оси.

5.5.3 Повышение несущей способности основания может выполняться отдельными элементами закрепленного грунта, расположенными вертикально, наклонно или горизонтально на, определенном расчетом по предельным состояниям первой и второй групп, расстоянии один от другого.

Естественный грунт при таком укреплении принимается как крупнообломочный грунт (для цементации в режиме гидроразрыва) или армированный более жесткими (по сравнению с грунтом естественного сложения) элементами массив с интегральным модулем деформации (для струйной цементации грунта, глубинного перемешивания и инъекции микроцементов). В зависимости от степени армирования и характеристик элементов закрепленного грунта модуль деформации такого грунта основания может увеличиваться до 20–40 МПа (показателей, близких к крупнообломочным грунтам).

Расчет степени армирования производится исходя из выполнения условий:

- среднее давление под подошвой должно быть не более расчетного сопротивления армированного основания;
- осадки не должны превышать значений предельных осадок для зданий соответствующих категорий.

Проектирование искусственных оснований, армированных элементами закрепленного грунта, выполняется в следующей последовательности:

1) Расчет осадок фундаментов на естественном основании в соответствии с СП 22.13330:

- для проектируемых зданий и сооружений по формуле

$$S \leq S_{и}; \quad (5.7)$$

- для реконструируемых зданий или зданий, попадающих в зону влияния нового строительства или иных факторов воздействия по формуле

$$S_{ad} \leq S_{ad,u}, \quad (5.8)$$

где S – осадка основания и фундамента; $S_{и}$ – предельное значение осадки

основания и фундамента; S_{ad} – дополнительная осадка основания и фундамента; $S_{ad,u}$ – предельное значение дополнительной осадки основания и фундамента.

2) Определение степени армирования в зависимости от необходимой несущей способности основания и характеристик армирующих элементов закрепленного грунта.

3) Назначение конструктивной схемы укрепления (ленты, фрагменты, по треугольной сетке, по прямоугольной сетке и другим видам сечения).

4) Назначение глубины закрепления.

5) Расчет осадки фундаментов на искусственном/укрепленном основании с заданной степенью армирования, конструктивной схемой, глубиной, интегральным модулем деформации искусственного основания и иными характеристиками.

6) По результатам расчета выполняется анализ принятых решений на предмет соответствия формулам (5.7) и (5.8) и при необходимости выполняется корректировка (конструктивной схемы, характеристик закрепленного грунта отдельных элементов или укрепленного массива в целом, изменение глубины укрепления).

7) Определяется конструктивная схема размещения армирующих элементов с учетом геометрических размеров и формы фундаментов.

8) Назначаются нормируемые показатели/расчетные параметры закрепления и объемы растворов на один элемент закрепленного грунта и на весь массив.

Требуемая степень армирования грунта A , %, определяют по формуле

$$A = 100 (N_0 - R) / (R_{н.з.г} K_0 - R), \quad (5.9)$$

где N_0 – требуемая несущая способность основания, МПа;

R – расчетное сопротивление грунта естественного сложения на отметке верхней границы закрепления между армирующими элементами, определяемое согласно СП 22.13330, МПа;

$R_{н.з.г}$ – расчетная прочность закрепленного грунта, принимается в зависимости от способа закрепления;

K_0 – коэффициент совместной работы армирующих элементов с грунтом основания, принимается в зависимости от прочности закрепленного грунта согласно таблице 5.15 (K_0 для промежуточных значений $R_{н.з.г}$ определяется интерполяцией).

Т а б л и ц а 5.15 – Коэффициент совместной работы основания из армирующих элементов в зависимости от расчетной прочности укрепленного грунта

$R_{н.з.г}$, МПа	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
K_0	0,400	0,266	0,213	0,174	0,150	0,132	0,120	0,108	0,105	0,098	0,093

Интегральный модуль деформации армированного основания следует вычислять по формуле

$$E_{\text{прив.}} = (K_{00}E_{\text{н.з.г}}S_{\text{з.г.}} + E_i S_i) / S_f, \quad (5.10)$$

где $E_{\text{н.з.г}}$ – модуль деформации элемента закрепленного грунта в зависимости от способа закрепления;

E_i – модуль деформации грунта естественного сложения, а – при укреплении грунтов методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва и струйной цементации – измененный модуль деформации грунта между элементами закрепленного грунта, находящегося в условных границах укрепления/закрепления, МПа;

S_i – площадь грунта под подошвой фундамента за вычетом суммарной площади сечений элементов закрепления ($S_{\text{ф}} - S_{\text{з.г.}}$), м²;

S_f – площадь подошвы фундамента, м²; $S_{\text{з.г.}}$ – суммарная площадь сечения элементов закрепленного грунта, определяемая по формуле

$$S_{\text{з.г.}} = S_{\text{ф}} A / 100; \quad (5.11)$$

K_{00} – коэффициент совместной работы армирующих элементов с грунтом основания, принимается в зависимости от модуля деформации закрепленного грунта принимаемый в соответствии с таблицей 5.16.

Т а б л и ц а 5.16 – Коэффициент совместной работы основания из армирующих элементов в зависимости от расчетного модуля деформации укрепленного грунта

$E_{\text{з.г.}}$, МПа	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600
K_{00}	0,4	0,266	0,2	0,16	0,133	0,114	0,1	0,088	0,08	0,072	0,066

П р и м е ч а н и е – Для промежуточных значений модуль деформации $E_{\text{з.г.}}$ и K_{00} определяется интерполяцией.

Расчет осадки фундамента на укрепленном основании проводят в соответствии с требованиями СП 22.13330 методом послойного суммирования с заменой модуля деформации грунта естественного сложения на приведенный/интегральный модуль.

Число инъекционных скважин определяют по формуле

$$t = 2S_{\text{з.г.}} / \pi r_y^2, \quad (5.12)$$

где r_y – условный радиус границы укрепления грунтов методами инъекции в режиме пропитки, струйной цементации и глубинного перемешивания, м.

5.5.4 Расчет грунтоцементных элементов, армированных элементами большей жесткости, следует проводить с учетом положений СП 291.13258000.

5.6 Проектирование струйной цементации грунтов

5.6.1 Нормируемые показатели качества и контролируемые параметры при проектировании струйной цементации грунтов:

- способ цементации (*jet-1* – применяется только раствор, *jet-2* – применяется воздух и раствор, *jet-3* – применяется воздух, вода и раствор) по 5.6.2, [18], [19];

- расчетный условный радиус закрепления, глубина закрепления/длина элемента закрепленного грунта (грунтоцементного элемента, далее – ГЦЭ);

- нормируемые показатели качества закрепленного грунта: базовые – по классу прочности на сжатие C ; дополнительные (прочностные и деформационные характеристики закрепленного грунта (грунтоцемента); R – прочность на сжатие, ρ – плотность, E – модуль деформации);

- номинальный состав раствора – расчетные характеристики раствора: R – прочность на сжатие, E – модуль деформации, В/Ц раствора и другие базовые и, при необходимости, дополнительные характеристики раствора (смеси и затвердевшего) в соответствии с 5.4 и требованиями нормативных документов;

- технологические параметры цементации: d – диаметр форсунок монитора, давление, скорость вращения, скорость подъема монитора при формировании ГЦЭ, объем раствора и расход цемента на 1 м;

- расчетные характеристики армирующих элементов при применении армирования.

5.6.2 Выбор способа цементации и назначение начальных (до проведения опытных работ) расчетных параметров рекомендуется выполнять по таблице 5.17.

Т а б л и ц а 5.17 – Рекомендуемые значения основных расчетных параметров для выбора способа струйной цементации

Тип грунта	Метод цементации	Расчетный расход цемента на 1 м сваи, т	Условный радиус r_y , м	Расчетная прочность R , МПа
Песок	<i>jet-1</i>	0,2–0,4	0,3–0,4	5–10
	<i>jet-2</i>	0,4–0,8	0,4–0,8	4–8
	<i>jet-3</i>	0,6–1,0	0,8–1,2	2–4
Связные грунты (суглинки, глины)	<i>jet-1</i>	0,2–0,5	0,2–0,3	3–4
	<i>jet-2</i>	0,5–0,8	0,3–0,6	2–3
	<i>jet-3</i>	0,6–1,0	0,4–0,8	$\leq 2,0$
П р и м е ч а н и е – Значение расхода цемента приведено с учетом потерь на излив пульпы не более 20 % объема проектируемого грунтоцементного элемента. При расчетных значениях объема изливаемой пульпы более 20 % следует увеличивать расчетный расход цемента, но не более 50 % приведенных значений. При проектировании полного замещения грунта раствором расчетный объем цемента следует принимать с учетом не более 20 % проектируемого грунтоцементного элемента.				

Базовые нормируемые показатели качества – классы по прочности на сжатие должны соответствовать характеристикам прочности, указанным в таблицах 5.18 и 5.19.

Т а б л и ц а 5.18 – Нормируемые показатели качества для различных способов струйной цементации

Способ закрепления	Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Условный диаметр элемента закрепленного грунта, м	Расчетное значение сопротивления сжатию, МПа	Класс закрепленного грунта по прочности на сжатие
Струйная цементация (растворы типа И)	Пески по технологии	Не зависит			
	<i>jet-1</i>		0,4–0,8	≤ 10	C15
	<i>jet-2</i>		0,8–1,8	5–7,5	C7,5–C10
	<i>jet-3</i>	–	1,2–2,4	3,5–5	C5–C7,5
	Связные грунты по технологии	–			
	<i>jet-1</i>		0,3–0,6	2–5	C2–C5
	<i>jet-2</i>		0,6–1,2	1,5–3,5	C1,5–C3
	<i>jet-3</i>	–	0,8–1,5	1–1,5	C1–C1,5

Т а б л и ц а 5.19 – Расчетное значение прочности грунта в зависимости от класса закрепленного грунта

Класс	C0,5	C1	C1,5	C2	C3	C5	C7,5	C10
Прочность на одноосное сжатие, Н/мм ²	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	7,5	10,0

Прочностные и деформационные характеристики грунтоцемента характеризуются нормативными и расчетными значениями, которые определяются в проектном возрасте 56 дн – для песков и 90 дн – для глинистых грунтов.

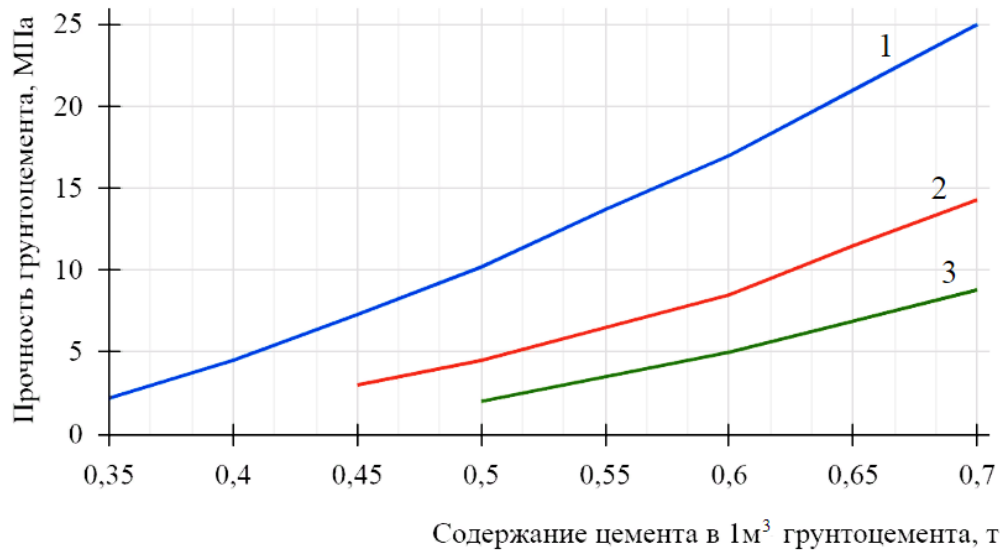
В качестве основных/базовых показателей закрепленного грунта/грунтоцемента установлены нормативные и расчетные значения следующих прочностных и деформационных характеристик:

- прочность на одноосное сжатие R_{stb} ;
- плотность ρ , кг/м³.

В качестве дополнительных показателей качества грунтоцемента проектом могут быть использованы:

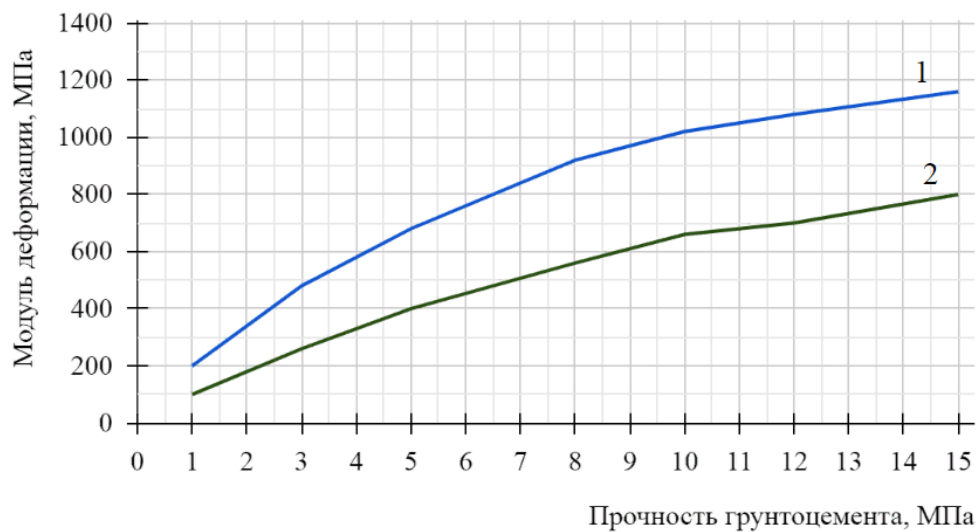
- модуль деформации E_{stb} , МПа;
- угол внутреннего трения φ_{stb} ;
- сцепление c_{stb} ;
- класс по водонепроницаемости W_{stb} ;
- морозостойкость F .

Прочность на сжатие на этапе проектирования может назначаться по зависимостям, приведенным на рисунке 5.7, модуль деформации на этапе проектирования может назначаться по зависимостям, приведенным на рисунке 5.8. Начальные расчетные параметры для струйной цементации также назначаются по зависимостям, приведенным на рисунке 5.9.



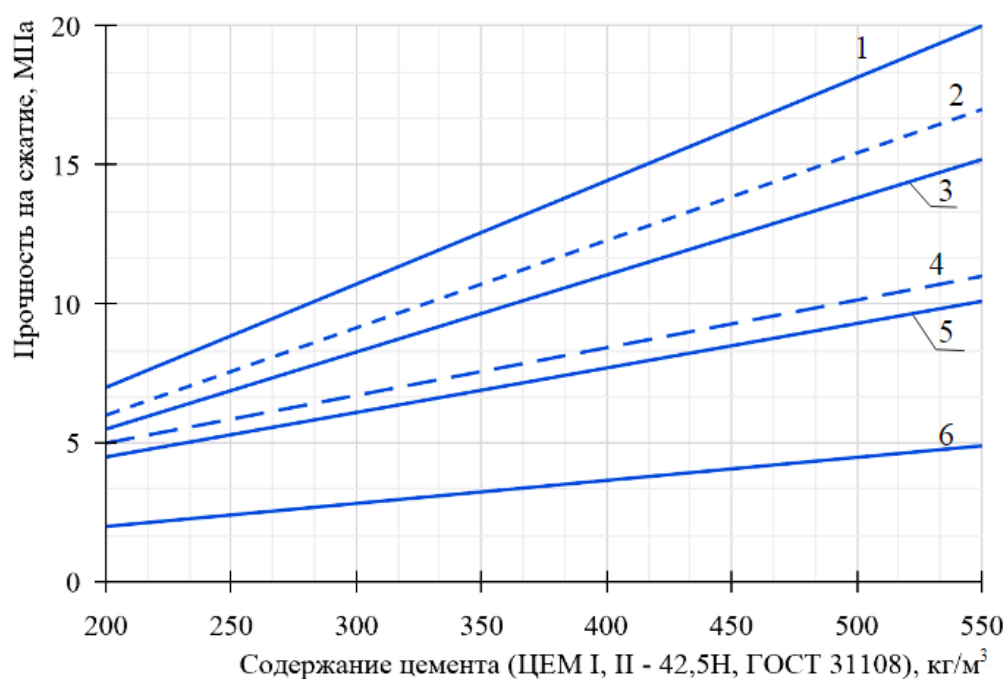
1 – песок; 2 – суглинок; 3 – глина

Рисунок 5.7– Изменение прочности грунтов, закрепленных цементным раствором (В/Ц=1), в зависимости от содержания цемента в 1 м³ цементно-грунтового раствора



1 – песок; 2 – глинистый грунт

Рисунок 5.8 – Изменение модуля деформации закрепленного глинистого грунта и песка в зависимости от показателя прочности



1 – песок крупный; 2 – песок крупный водонасыщенный; 3 – песок мелкий; 4 – песок мелкий водонасыщенный; 5 – супесь; 6 – суглинок

Рисунок 5.9 – Значения начальных расчетных параметров для струйной цементации

Плотность грунтоцемента на этапе проектирования назначается на основании расчета состава грунтоцементной смеси без учета процесса усадки затвердевшей смеси и водоотделения при схватывании.

Расчетное значение модуля деформации грунтоцемента E_{stb} на этапе проектирования назначается по формуле

$$E_{stb} = k R_{stb}, \quad (5.13)$$

где $k = 70\text{--}100$ для глин и суглинков;

$k = 150\text{--}200$ для супесей;

$k = 200\text{--}300$ для песков пылеватых и мелких;

$k = 300\text{--}500$ для песков средней крупности и крупных;

$k = 500\text{--}800$ для песков гравелистых.

5.6.3 Величина коэффициента Пуассона ν_{stb} грунтоцемента при расчетах численными методами принимается 0,25.

5.6.4 Прочностные характеристики ГЦЭ ($c_{stb,I}, c_{stb,II}, \varphi_{stb}$) на этапе проектирования назначаются по формулам и таблице 5.20:

$$c_{stb,I} = R_{stb} 0,1; \quad (5.14)$$

$$c_{stb,II} = R_{stb} 0,3. \quad (5.15)$$

Т а б л и ц а 5.20 – Расчетные значения угла внутреннего трения, φ_{stb} для ГЦЭ в зависимости от его прочности

R_{stb} , МПа	$\varphi_{stb, II}$	$\varphi_{stb, I}$
1	26	24
5	27	25

10	29	26
15	31	28
20	33	30

5.6.5 Расчетные значения сопротивления грунтоцемента осевому сжатию R_{sb} определяют по формуле

$$R_{sb} = R_{stb} / \gamma_{sb}. \quad (5.16)$$

Значение коэффициента надежности при сжатии γ_{sb} следует принимать 1,75 для расчета по предельным состояниям первой группы, 1,0 – для расчетов по предельным состояниям второй группы.

5.6.6 Выбор «конструктивной» схемы цементации осуществляется на основании расчетов в соответствии с 5.5 и настоящим подразделом.

5.6.7 Рекомендуемые технологические параметры изготовления ГЦЭ приведены в таблице 5.21. В проектной документации могут быть указаны часть базовых показателей изготовления ГЦЭ [18], [2]:

- давление инъекции;
- скорость перемещения монитора при формировании ГЦЭ;
- расход цемента на 1 м;
- скорость вращения монитора.

Другие показатели технологических параметров изготовления ГЦЭ устанавливаются на основании опытных работ.

Т а б л и ц а 5.21 – Рекомендуемые значения нормируемых показателей технологических параметров струйной цементации

Наименование нормируемых показателей технологических параметров струйной цементации	Рекомендуемые граничные значения параметров для методов					
	<i>jet-1</i>		<i>jet-2</i>		<i>jet-3</i>	
	min	max	min	max	min	max
Давление подачи инъекционного раствора, МПа	20	60	40	60	3	7
Расход инъекционного раствора, л/мин	60	450	60	450	70	200
Давление воздушной струи, МПа	–	–	0,6	1,2	0,6	1,2
Расход воздушной струи, м³/мин	–	–	3	12	3	12
Давление водяной струи, МПа	–	–	–	–	20	60
Расход водяной струи, л/мин	–	–	–	–	70	150
Диаметр сопла, мм	1,5	3,5	1,5	3,5	4,0	8,0
Диаметр воздушного сопла, мм	–	–	1	2	1	2
Диаметр водяного сопла, мм	–	–	–	–	1,5	3,0
Скорость вращения, об/мин	10	30	7	15	5	15
Скорость подъема бурового става, см/мин	10	50	7	30	5	30

5.6.8 Назначение нормируемых показателей технологических параметров инъекции (расчетных значений) до выполнения опытных работ рекомендуется выполнять по таблице 5.21.

5.6.9 Рабочие параметры определяют по результатам опытных работ и назначают для производства работ на площадке. В процессе производства работ значения рабочих параметров могут корректироваться по результатам контрольных работ для отдельных ГЦЭ, участков или всей площадки в целом с соответствующим внесением изменений в проектную документацию и ППР.

5.6.10 Проектирование армированных грунтоцементных элементов выполняется в соответствии с СП 291.13258000, настоящим пособием, [4], [5].

5.7 Проектирование цементации методом глубинного перемешивания

5.7.1 Нормируемые показатели качества и контролируемые параметры при проектировании цементации методом глубинного перемешивания грунтов:

- способ цементации – «мокрый» – перемешивание грунта с раствором, «сухой» – перемешивание с сухим вяжущим, [21];
- расчетный условный радиус закрепления, глубина закрепления/длина элемента закрепленного грунта;
- нормируемые показатели качества закрепленного грунта: базовые – по классу прочности на сжатие C ; дополнительные (прочностные и деформационные характеристики закрепленного грунта (грунтоцемента); R – прочность на сжатие, ρ – плотность, E – модуль деформации);
- номинальный состав раствора – расчетные характеристики раствора: R – прочность на сжатие, E – модуль деформации/упругости, В/Ц раствора, иные базовые и, при необходимости, дополнительные характеристики раствора (смеси и затвердевшего) в соответствии с 5.4 и другими нормативными документами;
- технологические параметры цементации: d – диаметр форсунок смесителя, давление, скорость вращения, скорость подъема монитора при формировании ГЦЭ, объем раствора и расход цемента на 1 м;
- расчетные характеристики армирующих элементов при применении армирования.

5.7.2 Назначение начальных (до проведения лабораторных и опытных работ) расчетных параметров/нормируемых показателей прочности ГЦЭ рекомендуется выполнять по таблице 5.22 и рисунку 5.10.

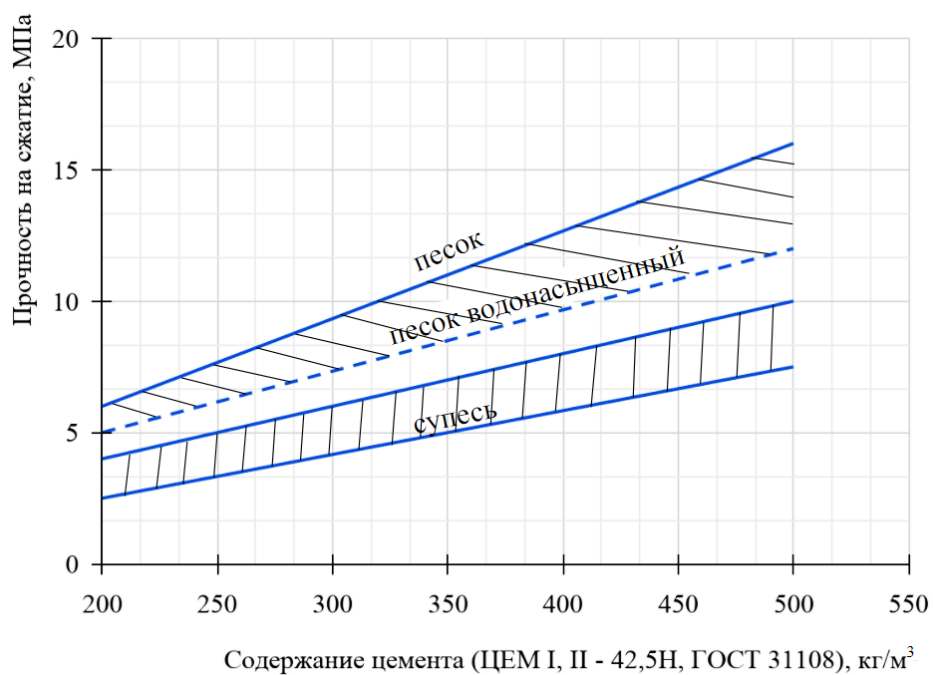


Рисунок 5.10, лист 1

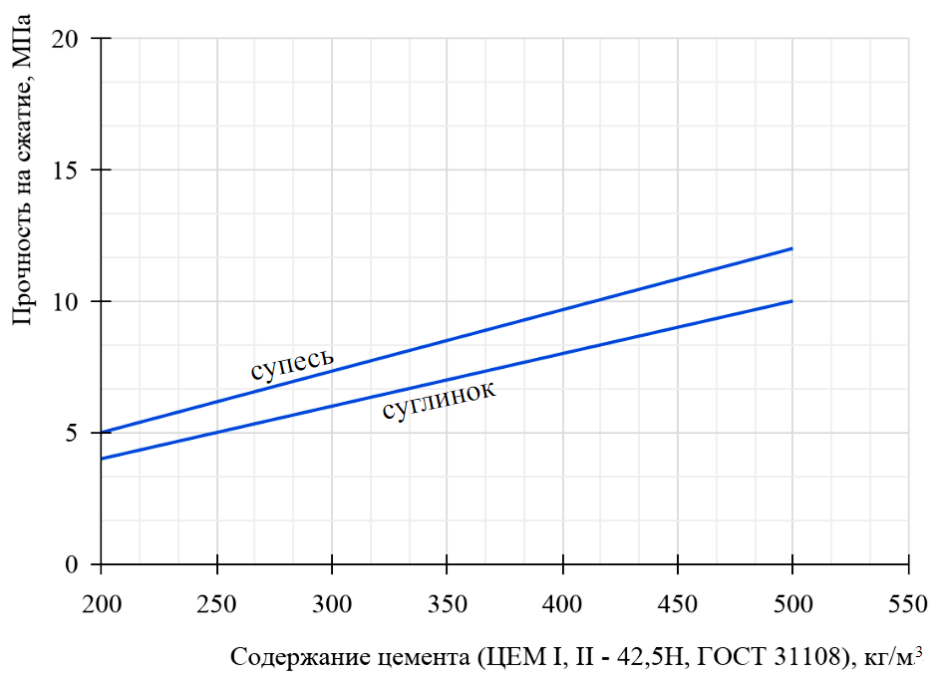


Рисунок 5.10, лист 2 – Назначение начальных расчетных параметров для цементации глубинным перемешиванием

Т а б л и ц а 5.22 – Рекомендуемые значения прочности ГЦЭ в зависимости от типа грунта и содержания цемента для способа глубинного перемешивания с применением растворов на основе цемента

Вид грунта	Содержание цемента в грунтоцементе, т/м ³	Прочность на сжатие (средняя), МПа
Илы	0,2–0,3	0,5–1,5
Лессы	0,25–0,3	1,0–3,0
Глины туго- и мягкопластичные	0,25–0,3	0,5–1,7
Суглинки	0,2–0,25	0,5–2,0
Супеси и пылеватые пески	0,2–0,25	1,0–3,0
Пески мелкие и средней крупности	0,15–0,25	1,5–5,0
Пески крупные и гравелистые	0,15–0,2	2,0–7,0

Базовые нормируемые показатели качества – классы по прочности на сжатие должны соответствовать характеристикам прочности, указанным в таблицах 5.23 и 5.24.

Т а б л и ц а 5.23 – Нормируемые показатели качества ГЦЭ в зависимости от типа грунта

Способ закрепления	Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Условный радиус закрепления/ диаметр элемента закрепленного грунта, м	Расчетное значение сопротивления сжатию, МПа	Класс закрепленного грунта по прочности на сжатие
Глубинное перемешивание (растворы типа И)	Пески	Не зависит	Фиксированный по диаметру инструмента	3–6	C3–C5
	Связные грунты	–		2–4	C2–C3

Т а б л и ц а 5.24 – Расчетное значение прочности грунта в зависимости от его класса

Класс	C0,5	C1	C1,5	C2	C3	C5
Прочность на одноосное сжатие, Н/мм ²	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0

Прочностные и деформационные характеристики грунтоцемента характеризуются нормативными и расчетными значениями, которые определяются в возрасте 56 дн – для песков и 90 дн – для глинистых грунтов.

В качестве основных/базовых показателей закрепленного грунта/грунтоцемента (ГЦЭ) использованы нормативные и расчетные значения прочностных и деформационных характеристик:

- прочность на одноосное сжатие R_{stb} ;
- модуль деформации E_{stb} , МПа,
- плотность ρ , кг/м³.

В качестве дополнительных показателей качества грунтоцемента проектом могут быть использованы:

- угол внутреннего трения φ_{stb} ;
- сцепление c_{stb} ;
- класс по водонепроницаемости W_{stb} ;
- морозостойкость F .

Определение класса по прочности грунтоцемента допускается выполнять с использованием переходного коэффициента k по зависимости при определении прочности грунтоцемента в возрасте от 7 до 90 сут по формулам:

- для глинистых грунтов

$$k = 0,187 \ln(t) + 0,375 ; \quad (5.17)$$

- для песчаных грунтов

$$R_{stb} = 0,7 R_{28} \log(t). \quad (5.18)$$

5.7.3 Нормируемые значения базовых показателей грунтоцемента принимаются для каждого класса в зависимости от прочности по таблице 5.24 и настоящему разделу:

- $E = R_c 300$ – для способа сухого перемешивания с применением сухих вяжущих;

- $E = R_c 150$ – для способа мокрого перемешивания с применением растворов;

- $c_I = R_c 0,25$;

- $c_{II} = R_c 0,3$;

- $\nu = 0,25$ (независимо от предельного состояния);

- φ – угол внутреннего трения (26° – 33°).

5.7.4 Расчетные значения сопротивления грунтоцемента осевому сжатию R_{sb} определяются по формуле

$$R_{sb} = R_{stb} / \gamma_{sb}. \quad (5.19)$$

Значение коэффициента надежности при сжатии γ_{sb} следует принимать 1,75 для расчета по предельным состояниям первой группы, 1,0 – для расчета по предельным состояниям второй группы.

5.7.5 Основные/базовые показатели – технологические параметры изготовления ГЦЭ:

- скорость погружения/извлечения бурового инструмента (смесителя);
- частота вращения буросмесителя (угловая скорость);
- количество циклов погружения/извлечения буросмесителя;
- расход подаваемого раствора/воды;
- давление нагнетания раствора/воды.

В проектной документации могут быть указаны часть базовых показателей – технологических параметров изготовления ГЦЭ:

- скорость погружения/извлечения бурового инструмента (смесителя);
- расход цемента на 1 м.

Другие показатели технологических параметров изготовления ГЦЭ устанавливаются на основании опытных работ

5.7.6 Значения нормируемых технологических параметров цементации (расчетных значений) до выполнения опытных работ рекомендуется выбирать по таблице 5.25.

Т а б л и ц а 5.25 – Рекомендуемые значения нормируемых технологических параметров цементации методом глубинного перемешивания

Наименование параметра	Тип грунта			
	пески, супеси	суглинки, глины	лессы	илы
Частота вращения смесителя, об/мин	50–150	40–60	80–200	30–350
Скорость погружения, м/мин	0,4–0,8	0,2–0,5	0,4–1,2	0,3–2,0
Скорость извлечения, м/мин	0,2–0,4	0,1–0,2	0,2–0,4	0,2–0,4
Расход раствора, л/мин	10–500	20–400	20–400	20–800
Количество проходок (циклов погружения/извлечения)	1–2	2–3	1–3	1–3
Давление нагнетания, МПа	0,5–1,5	0,5–2,0	0,5–1,0	0,2–1,0

5.7.7 Рабочие параметры определяют по результатам опытных работ и назначают для производства работ на площадке. В процессе производства работ значения рабочих параметров могут корректироваться по результатам контрольных работ для отдельных ГЦЭ, участков или всей площадки в целом с соответствующим внесением изменений в проектную документацию и ППР.

5.7.8 Проектирование армированных грунтоцементных элементов выполняется в соответствии с СП 22.13330, СП 291.13258000 и настоящим пособием, а также [2], [6], [8], [9], [10], [12], [19], [21], [22].

5.8 Проектирование цементации методом инъекции растворов на основе микроцемента

5.8.1 Нормируемые показатели качества – контролируемые параметры – при проектировании цементации грунтов в режиме пропитки растворами на основе микроцементов (цементов типа ОТДВ) [13], [14], [23], [24], [25], [29]:

- расчетный условный радиус закрепления, глубина закрепления;
- нормируемые показатели качества закрепленного грунта: базовые – по классу прочности на сжатие C ; дополнительные (прочностные и деформационные характеристики закрепленного грунта, R – прочность на сжатие, ρ – плотность, E – модуль деформации/упругости);
- номинальный состав раствора – расчетные характеристики раствора: R – прочность на сжатие, E – модуль деформации/упругости, V/C раствора, иные базовые и, при необходимости, дополнительные характеристики раствора (смеси и затвердевшего) в соответствии с требованиями 5.4 и других нормативных документов;
- технологические параметры цементации: d – диаметр инъекционных отверстий инъектора/манжетной колонны, расстояние между инъекционными отверстиями по длине манжетной колонны, количество

отверстий в одном горизонте, давление инъекции, объем раствора и расход цемента на 1 м;

- расчетные характеристики армирующих элементов при применении армирования.

5.8.2 Базовые нормируемые показатели качества – классы по прочности на сжатие должны соответствовать характеристикам прочности, указанным в таблицах 5.26–5.30 и на рисунке 5.11.

Т а б л и ц а 5.26 – Нормируемые показатели качества закрепленного растворами на основе цемента, типа ИОТДВ, грунта в зависимости от коэффициента фильтрации

Способ закрепления	Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	Расчетное значение сопротивления сжатию, МПа	Класс закрепленного грунта по прочности на сжатие
Инъекция в режиме пропитки (растворы типов ИТД и ИОТДВ)	Пески	5–10	0,5	C0,5
		10–20	$\geq 0,5$ –1,5	C0,5–C1,5
		20–50	1,5	C1,5
		50–80	1,5–2,5	C1,5–C2

Т а б л и ц а 5.27 – Расчетное значение прочности грунта в зависимости от его класса

Класс	C0,5	C1	C1,5	C2	C3
Прочность на одноосное сжатие, Н/мм ²	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0

Т а б л и ц а 5.28 – Рекомендуемые значения расчетного радиуса закрепления песков при цементации инъекцией в режиме пропитки, раствором типа ИОТДВ (микроцемент), приведенным к раствору-аналогу

Инъекционный раствор-аналог	Тип грунта	Коэффициент фильтрации, м/сут	В/Ц раствора	Условный радиус закрепления, м
Цементный типа ИОТДВ для Микродур RX	Песок разной крупности	5–10	4,5–4	0,25–0,4
		10–20	4–3	0,4–0,5
		20–50	3–2	0,5–0,6
		50–80	2–1	0,6–0,7

Т а б л и ц а 5.29 – Пример значений прочностных характеристик песка, закрепленного растворами на основе цемента, типа ИОТДВ

Характеристики песчаного грунта, закрепленного микроцементом типа ИОТДВ «Микродур RX»	В/Ц раствора				
	1	2	3	4	5
Прочность грунта R_s в границах условного радиуса закрепления, МПа	5	3	1,5	1,0	0,6
Модуль деформации закрепленного грунта $E_{н.з.}$, МПа	500	400	320	250	150

Плотность закрепленного грунта в расчетных границах на этапе проектирования определяется расчетом на основании положения о заполнении пор грунта естественного сложения раствором типа ИОТДВ проектной плотности (таблица 5.30).

Т а б л и ц а 5.30 – Рекомендуемые составы раствора на основе цемента, типа ИОТДВ

В/Ц	Состав на 1 м ³ раствора, на основе цемента, типа ИОТДВ/(микроцемента), т		Плотность, т/м ³
	цемента, т	воды, м ³	
1	0,75	0,75	1,5
2	0,43	0,85	1,28
3	0,3	0,98	1,20
4	0,23	0,92	1,15
5	0,185	0,94	1,12

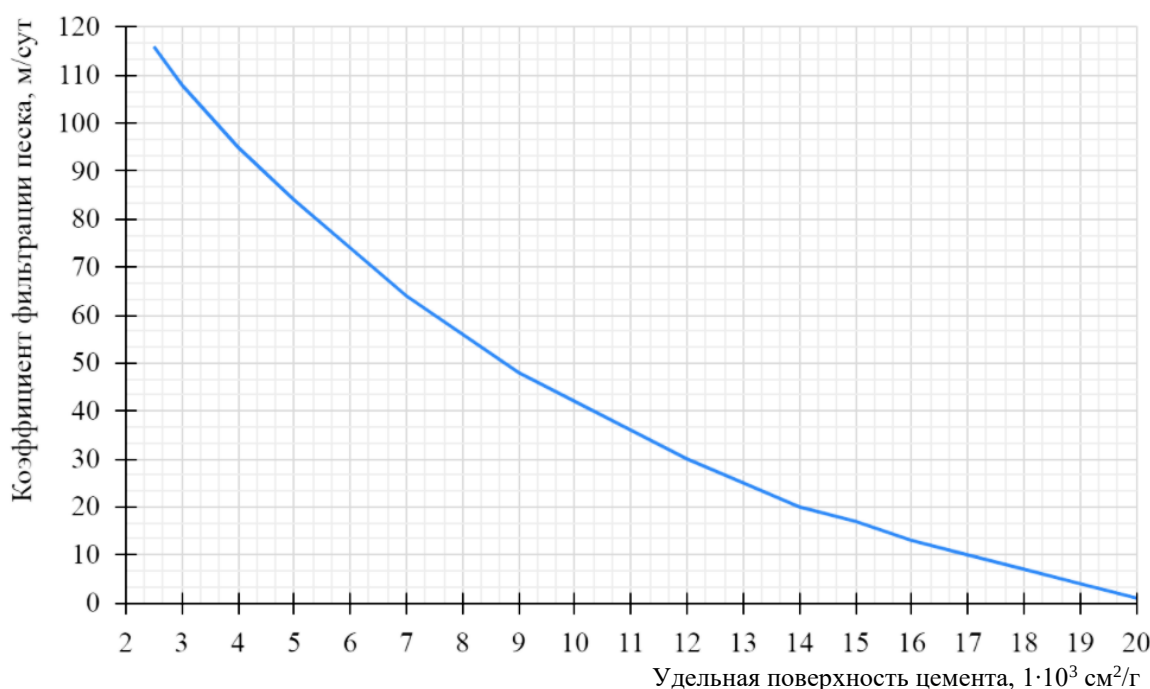


Рисунок 5.11– Проникающая способность цементного раствора в зависимости от удельной поверхности цемента и коэффициента фильтрации, K_f песка

5.8.3 Для определения значений нормируемых технологических параметров закрепления следует руководствоваться положениями настоящего пособия.

Предельное давление зависит от глубины инъекции и физических свойств грунта и не зависит от проницаемости грунта, вида и вязкости раствора. Величину предельного давления, исключающего гидроразрывы в грунте, рекомендуется определять по формуле

$$P = \frac{(\sigma_{z.g.} + \sigma_{z.p.})\mu}{(1-\mu)} + C, \quad (5.20)$$

где $\sigma_{z.g.}$ – вертикальное напряжение от веса вышележащего грунта; $\sigma_{z.p.}$ – вертикальное дополнительное напряжение на рассматриваемой глубине от внешней нагрузки; μ — коэффициент Пуассона; c – сцепление грунта.

5.8.4 В проекте следует предусматривать контроль соответствия нормируемых показателей качества физико-механических характеристик и геометрических параметров закрепленного грунта и его элементов проектным значениям.

5.8.5 Выбор микроцемента для закрепления грунта в зависимости от его характеристик, проектных требований и инженерно-геологических условий рекомендуется выполнять по методике приложения Б.

5.8.6 Расстояние между инъекторами или инъекционными скважинами следует предварительно назначать в зависимости от коэффициента фильтрации грунта по значению условного диаметра по таблице 5.18 и уточнять по результатам опытных работ.

При сплошном закреплении грунтов скважины (инъекторы) в плане располагаются рядами в шахматном порядке. Расстояние между скважинами $L_{ск}$ в плане следует определять по формуле

$$L_{ск} = 1,73r. \quad (5.21)$$

При многорядном закреплении (рисунок 5.3) расстояние между рядами $L_{ряд}$ определяют по формуле

$$L_{ряд} = 1,5r, \quad (5.22)$$

где r – расчетный радиус закрепления от единичной инъекции в захватку/горизонт, м.

Объем закрепленного грунта $V_{з.гр}$ от инъекции раствора в одну захватку в скважине (инъекторе/манжете) следует определять по формуле

$$V_{з.гр} = \pi r^2 h, \quad (5.23)$$

где h – величина захватки, м; r – расчетный радиус закрепления, м.

Объем раствора $Q_{о.х.р}$ на захватку следует определять по формуле

$$Q_{ц.р} = V_{з.гр} n_r a k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (5.24)$$

где n_r – пористость грунта, дол. ед;

a – коэффициент заполнения пор раствором; $a = 0,8$ – для растворов типа ИОТДВ на основе цемента;

$k_1 = 1,1$ – коэффициент распространения раствора за пределы расчетного контура (радиуса) закрепления;

$k_2 = 1,2$ – коэффициент разжижения цементного раствора грунтовой водой;

k_3 – коэффициент водоотделения (отжатие воды из цементного раствора при инъекции под давлением);

k_4 – коэффициент однородности прочности закрепления грунта в условных границах в зависимости от В/Ц цементного раствора принимается по таблице 5.31.

Т а б л и ц а 5.31 – Рекомендуемые значения коэффициентов водоотделения и однородности прочности закрепленного грунта в зависимости от В/Ц раствора

В/Ц раствора	1	2	3	4	5
Коэффициент k_3	1	1,2	1,35	1,5	1,6
Коэффициент k_4	1	1,05	1,12	1,2	1,29

5.8.7 Рабочие технологические параметры и нормируемые показатели качества определяют по результатам опытных работ и назначают для производства работ. При производстве работ значения рабочих технологических параметров и нормируемых показателей могут корректироваться по результатам контрольных работ для отдельных элементов закрепленного грунта и искусственного основания в целом, если это удовлетворяет требованиям проекта, с внесением изменений в проектную документацию и ППР.

5.8.8 Проектирование искусственных оснований из элементов закрепленного грунта микроцементами выполняется в соответствии с СП 291.13258000 и настоящим пособием. В качестве армирующих элементов следует использовать металлические трубы-инъекторы или манжетные колонны.

5.9 Проектирование укрепления грунтов методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва

5.9.1 Нормируемые показатели качества и контролируемые параметры при проектировании цементации грунтов в режиме гидроразрыва [13], [14], [25]–[30]:

- расчетные условные границы элемента/ячейки закрепления, глубина закрепления;

- нормируемые показатели качества элемента/ячейки закрепления: интегральный модуль деформации E_{stb} , интегральная плотность ρ , интегральный коэффициент пористости e ;

- номинальный состав раствора – расчетные характеристики раствора: R – прочность на сжатие, E – модуль деформации/упругости, В/Ц раствора, иные базовые и, при необходимости, дополнительные характеристики раствора, назначаемые в соответствии с 5.4 и требованиями нормативных документов;

- технологические параметры цементации: d – диаметр инъекционных форсунок инъектора/манжетной колонны, расстояние между горизонтами инъекционных отверстий/форсунок по длине манжетной колонны, количество отверстий/форсунок в одном горизонте, давление разрыва

обоймы, давление инъекции, объем раствора и расход цемента на 1 м, количество циклов инъекции;

- расчетные характеристики армирующих элементов при применении армирования (не извлекаемые манжетные колонны).

Давление, при котором происходят гидроразрыв в грунте, зависит от глубины инъекции и свойств грунта, не зависит от проницаемости грунта, вида и вязкости раствора и может быть определено для зоны инъекции, расположенной выше уровня подземных (УПВ) вод по формуле

$$P_{kp} = \rho \cdot h \cdot v + C, \quad (5.25)$$

где ρ – средневзвешенное значение плотности грунтов по проектной глубине укрепления, т/м³; h – глубина горизонта инъекции от поверхности, м; C – удельное сцепление грунта, кПа; v – коэффициент бокового давления – для песчаных грунтов 0,25...0,37, глинистых в зависимости от их консистенции 0,11...0,82.

Давление разрушения обоймы зависит от ее характеристик – нормируемых показателей качества (толщины, однородности по глубине и прочности), а также от НДС окружающего грунта. При нормируемой толщине обоймы 30...40 мм и прочности 2...3 МПа разрушение происходит, как правило, при давлении от 2 до 4 МПа и должно уточняться по результатам работ на опытном участке.

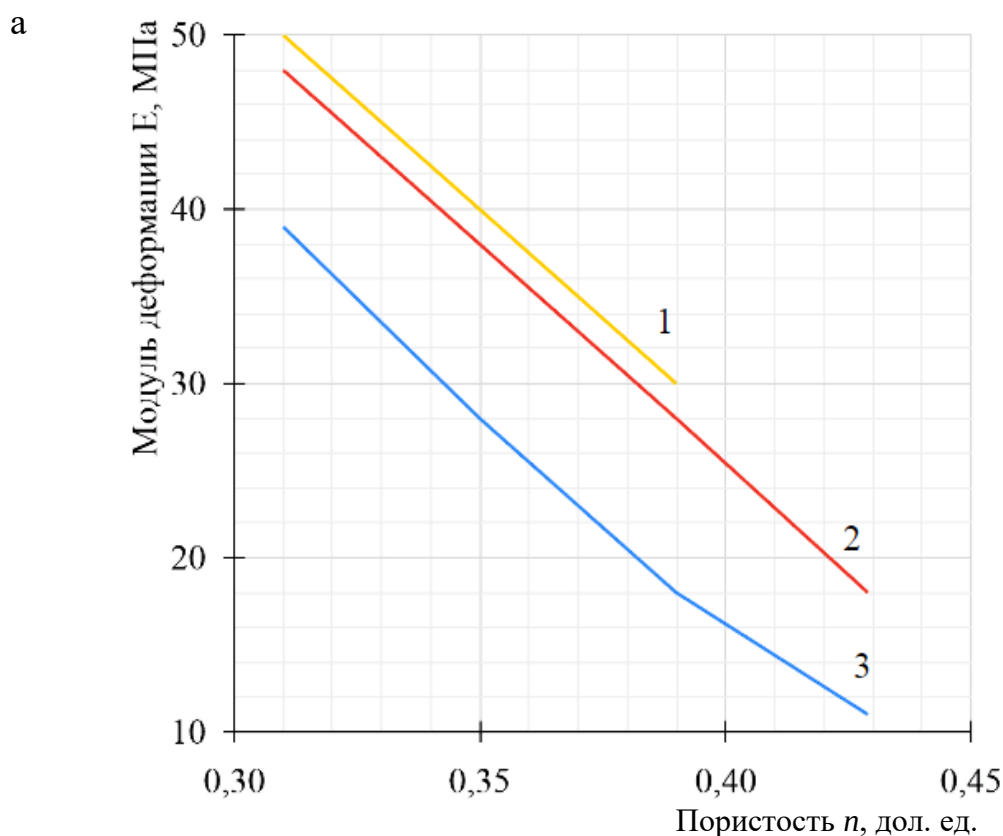
5.9.2 Нормируемое значение модуля деформации E_{stb} искусственного основания, укрепленного методом инъекции в режиме гидроразрыва определяется напряженно-деформированным состоянием укрепленного грунта по результатам опытных работ. При этом интегральное значение модуля деформации должно определяться по результатам испытаний массива укрепленного грунта статическими и динамическими нагрузками в точке инъекции и на границе расчетной зоны укрепления от одной точки инъекции. В качестве методов приложения нагрузок следует использовать штамповые испытания на поверхности и на расчетных (заданных проектом) глубинах, а также статическое и динамическое зондирование участков укрепляемого массива между инъекционными скважинами. При этом в расчетах, за значение модуля деформации укрепленного грунта следует принимать значение модуля, определенное в точке инъекции и на расстоянии 0,5 условного радиуса зоны укрепления от точки инъекции. За значение модуля деформации грунта между точками инъекции следует принимать значение модуля деформации, определенное на границе зоны укрепления от одной точки инъекции или при значительном шаге скважин (более 1,5 значения условного радиуса), значение модуля, определенное на расстоянии равном 1/2 максимальному расстоянию между скважинами.

5.9.3 При возможности выполнения опытных работ на этапе проектирования в рамках инженерных изысканий определение модуля деформации укрепленного массива грунта выполняют по 5.9.2.

При невозможности выполнения опытных работ на этапе проектирования, расчетное значение модуля деформации укрепленного массива грунта может выполняться следующими методами:

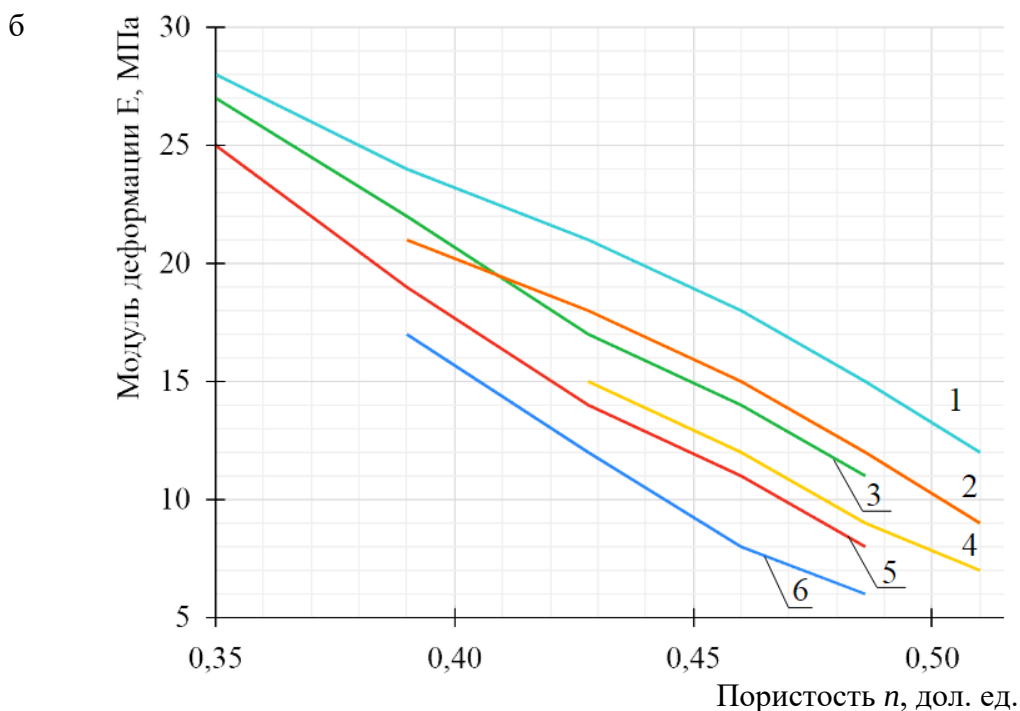
- оценкой изменения напряженно-деформированного состояния грунта методами численного моделирования или аналитическими методами (в том числе, по методике, приведенной в [25], [31]);
- предварительной оценкой изменения пористости укрепляемого массива грунта по приведенной ниже методике.

Предварительная оценка модуля деформации укрепленного массива грунта на этапе проектирования выполняется по изменению пористости грунта естественного сложения на основании оценки включения в массив дополнительного объема цементного раствора. Значения модуля деформации в этом случае определяют по графикам на рисунке 5.12 на основании значения требуемой интегральной пористости массива с учетом добавления цементного камня в расчетном объеме и измененной пористости грунта внутри участка укрепления.



1 – гравелистый, крупный средний; 2 – мелкий; 3 – пылеватый

Рисунок 5.12, лист 1



а – номограмма зависимости нормативного модуля деформации E песчаного грунта от пористости n ; б – номограмма зависимости нормативного модуля деформации E глинистых нелессовых грунтов четвертичных отложений от пористости n ;
 1 – глина полутвердая; 2 – глина тугопластичная; 3 – супесь; 4 – глина мягкопластичная; 5 – суглинок полутвердый; 6 – суглинок мягкопластичный

Рисунок 5.12, лист 2 – Значения модуля деформации основания, укрепленного методом гидроразрыва

5.9.3 Расчет объема раствора и количества циклов инъекций для улучшения свойств грунта и повышения модуля деформации до расчетных показателей выполняют в следующей последовательности:

- определяют объем грунта естественного сложения, назначаемый для улучшения свойств в зависимости от назначенного шага скважин и глубины зарепления H_z

$$V_r = \pi R^2 H_z; \quad (5.26)$$

- определяют по рисунку 5.12 значение разности пористости Δn естественного грунта n укрепленного n_y , для повышения плотности и модуля деформации грунта до расчетной

$$\Delta n = n - n_y; \quad (5.27)$$

- определяют расчетный объем гидроразрывов в грунте в границах проектируемого элемента укрепления грунта от 1 скважины в зоне-захватки, повышающий модуль деформации грунта до требуемого расчетом

$$V_p = \Delta n V_r; \quad (5.28)$$

- определяют объем разрывов в грунте в зоне-захватки от 1-й (разовой) инъекции раствора

$$V_{p.п.и.} = abhR, \quad (5.29)$$

где a – число разрывов вокруг скважины в пределах R ; b , h – толщина и ширина одиночных разрывов;

- определяют количество циклов инъекции Z для укрепления грунта в зоне захватки до расчетного модуля деформации

$$Z = V_p / V_{p.л.и}; \quad (5.30)$$

- определяют объем раствора V_1 разовой инъекции в зоне захватки в пределах границы элемента укрепления грунта

$$V_1 = V_{p.л.и} k_1 k_2 k_3 k_4, \quad (5.31)$$

где $k_1 = 1,1$ – коэффициент выхода раствора за границы расчетного элемента; $k_2 = 1,2$ – коэффициент снижения плотности раствора в водонасыщенных грунтах; $k_3 = 1,1 \dots 1,5$ – коэффициент отжатия из раствора воды до начала схватывания; $k_4 = 1,1 \dots 1,5$ – коэффициент усадки раствора в зависимости от показателей раствора.

- определяют объем раствора инжецируемого в грунт через скважину в пределах R

$$V = V_1 Z m, \quad (5.32)$$

где m – количество зон-захваток в скважине.

При расчете объема раствора на этапе проектирования допускается руководствоваться данными, приведенными в таблице 5.32.

Т а б л и ц а 5.32 – Интегральные значения параметров гидроразрыва в зависимости от типа грунта и инжецируемого раствора

Наименование грунта	Нагнетаемый раствор		Минимальное значение разрыва, см
	Тип раствора И	плотность, т/м ³	
Песок средней крупности, средней плотности	Цементный	1,71	1,9
	Глиноцементный	1,26	0,8
	Глиносиликатный	1,36	0,4
	Бентонитосиликатный	1,10	0,3
Насыпной неуплотненный песчаный грунт	Цементный	1,61	1,0–3,0*
Насыпные неуплотненные суглинки	Цементный	1,53	0,5–2,5*
Суглинки мягкой и текучепластичной консистенции	Цементный	1,45	2–6 **
*Минимальные и максимальные сечения соответствуют минимальным и максимальным расходам раствора.			
** Инъекция раствора через скважины с прорезанными в стенках щелями.			

5.9.4 Нормируемые значения показателей элемента укрепленного грунта (сцепление, угол внутреннего трения) на этапе проектирования определяют по таблицам приложения А СП 22.13330.2011 как для типов грунтов с проектным значением пористости/коэффициента пористости.

5.9.5 Контролируемые показатели искусственного основания – количество инжецируемого раствора в расчетную область, прочностные и деформационные характеристики раствора, измененные характеристики грунта в расчетной области. Для достижения расчетных показателей –

нормируемых показателей качества искусственного основания необходимо вести контроль в процессе производства работ по этим показателям для определения необходимого количества циклов инъекций. Эти работы следует выполнять в рамках авторского надзора и технического сопровождения проектной организации (элемент наблюдательного метода проектирования).

5.9.6 Рабочие технологические параметры и нормируемые показатели качества определяют по результатам опытных работ и назначают для производства работ. При производстве работ значения рабочих технологических параметров и нормируемых показателей могут корректироваться по результатам контрольных работ для отдельных элементов закрепленного грунта и искусственного основания в целом, если это удовлетворяет требованиям проекта, с внесением изменений в проектную документацию и ППР.

5.9.7 Проектирование искусственных оснований из элементов укрепленного инъекцией в режиме гидроразрыва грунта выполняется в соответствии с СП 22.13330, СП 291.1325800 и настоящим пособием. В качестве армирующих элементов следует использовать металлические трубы-инъекторы и манжетные колонны, оставляемые в грунте после завершения инъекции.

5.10 Состав проекта

5.10.1 Основные материалы для проектирования – инженерно-геологические изыскания, результаты лабораторных и опытных работ (если это предусмотрено проектом), показатели /факторы воздействия на основание от проектируемого объекта и природного и/или техногенного воздействия, уровень ответственности сооружений и геотехническая категория.

5.10.2 Проектная документация должна разрабатываться в соответствии с требованиями нормативных документов и положений настоящего пособия, в том числе, содержать следующие материалы:

раздел «Конструктивные решения» (КР, текстовая часть):

- лабораторные работы (если это предусмотрено проектом и положениями норм и пособия);
- опытные работы;
- технико-экономическое обоснование геотехнической схемы укрепления грунта и способа закрепления для выбора оптимального решения и обеспечения надежности и безопасной эксплуатации здания/сооружения в соответствии с методикой оценки эффективности (СП 22.13330, [20]);
- нормируемые показатели качества растворов и закрепленного грунта/массива (для цементации инъекцией в режиме гидроразрыва);
- особые требования по контрольным работам;
- особые требования по технике безопасности и охране труда при производстве работ;
- расчетное обоснование назначаемых нормируемых показателей закрепленного грунта/массива (для инъекции в режиме гидроразрыва);

- расчетное обоснование выбранной конструктивной схемы укрепления грунтов;

раздел «Конструктивные решения» (КР, графическая часть):

- общие требования с указанием нормируемых показателей объекта, закрепленных грунтов/массивов для инъекций в режиме гидроразрыва, исходных материалов, нагрузок и воздействий, исходных материалов, ведомостей объемов работ и материалов, объемов опытных работ;

- сводный план укрепления грунтов/защитных мероприятий/искусственного основания из элементов закрепленного грунта с разбивкой по участкам/захваткам/секциям/очередям, указанием участков опытных и контрольных работ;

- инженерно-геологические разрезы/профили (для линейных сооружений) с указанием границ закрепления грунтов по всем характерным сечениям с изменяющимися геологическими и конструктивными условиями, опытными и контрольными работами;

- планы, разрезы, фрагменты и сечения по участкам/захваткам/секциям/очередям;

- ведомости параметров закрепления по участкам/захваткам/секциям/очередям;

- сводную спецификацию на материалы по объекту;

раздел «Проект организации работ» (ПОР, текстовая и графическая части):

- строительный генеральный план на работы сводный с разбивкой по участкам/захваткам/секциям/очередям, опытными и контрольными работами;

- технические условия и регламент на производство работ;

- масштабные инженерно-геологические разрезы и планы с нанесением контуров и размеров закрепленного массива;

- данные об общем количестве необходимых для выполнения работ материалов и составах растворов;

- данные о пространственном расположении скважин в массиве в плане и по глубине (вертикальные, наклонные) с указанием их диаметров, размера зон, обрабатываемых раствором;

- данные о номенклатуре, характеристиках и количестве необходимых для выполнения работ механизмов и оборудования;

- смету, калькуляцию и единичные расценки;

- календарный план подготовительных, опытных, инъекционных и контрольных работ.

5.11 Требования к составу и объему лабораторных и опытных работ на площадке

5.11.1 Лабораторные работы должны предусматриваться (выполняться в период проектирования) в обязательном порядке при укреплении грунтов методами инъекции в режиме пропитки растворами на основе микроцемента (растворы типа ИОТДВ), при укреплении грунтов всеми методами, в случае

наличия органических включений более 10 %, агрессивных к растворам на основе цемента грунтов и подземных вод.

5.11.2 Объемы лабораторных работ должны включать, в соответствии с настоящим пособием, требуемое:

- количество опытных образцов растворов, закрепленных грунтов, но не менее пяти образцов для каждого вида грунта и раствора;
- количество циклов испытания образцов грунта (песка) нарушенной структуры на проницаемость растворами на основе микроцемента (растворы типа ИОТДВ), но не менее трех для каждого типа грунта и состава раствора;
- количество испытаний на коррозионную устойчивость закрепленного грунта, но не менее трех;
- количество образцов испытаний на закрепляемость грунта с органическими включениями, но не менее трех.

5.11.3 Лабораторные исследования выполняются в соответствии с требованиями нормативных документов (соответствующих сводов правил и стандартов) и настоящим пособием.

5.11.4 Опытные работы по закреплению грунтов выполняются в объеме и по регламенту, предусмотренному нормативными документами и следующими положениями:

- опытные работы по закреплению грунтов всеми методами выполняются в период проектно-изыскательских работ для объектов повышенного уровня ответственности класса КС-3, объектов 3-й геотехнической категории и в иных случаях, если это предусмотрено проектом;
- опытные работы выполняются в подготовительный период строительства до начала основных работ для объектов любого уровня ответственности и геотехнической категории;
- опытные участки и объемы работ указываются в проекте, но должны составлять не менее 5 % общего объема закрепления;
- опытные участки должны проектироваться в местах изменений грунтовых условий, наличия «переслаивания» грунтов разных типов, изменения нагрузочного эффекта на основание;
- при работах на опытных участках предусматриваются в полном объеме все виды контроля по проекту;
- результат опытных работ – технологический регламент работ с указанием рабочих параметров, обеспечивающих нормируемые показатели качества укрепления;
- опытные работы могут быть предусмотрены в границах участка производства работ, если они не окажут влияния на существующие объекты, располагающиеся в зоне влияния работ, но должны выполняться в таких же грунтовых условиях и не далее 10 м от объекта;
- укрепленные на опытных участках грунты могут быть использованы в качестве элементов закрепления, если они удовлетворяют требованиям проекта.

6 Производство работ и контроль качества

6.1 Основные положения по производству работ и контролю качества

6.1.1 Работы по укреплению грунтов должны выполняться в соответствии с требованиями нормативных документов и положений настоящего пособия.

6.1.2 Производство работ по укреплению грунтов должно выполняться на основании разработанного и утвержденного проектной организацией, ведущей авторский надзор и сопровождение строительства ППР.

ППР должен разрабатываться в соответствии с СП 48.13330 в полном объеме и содержать:

- календарный план производства работ;
- строительный генеральный план на работы по укреплению грунтов, совмещенный (при необходимости) с общим строительным генеральным планом строительства с указанием очередей, захваток, участков опытных и контрольных работ;
- график поступления на объект материалов и оборудования;
- график движения рабочих кадров по объекту;
- график движения основных строительных машин и расположения складов материалов, смесительных узлов и временных трубопроводов;
- технологические карты на выполнение работ;
- схемы размещения геодезических знаков;
- пояснительную записку, содержащую: решения по производству подготовительных, опытных, основных и контрольных работ; решения по прокладке временных сетей водо-, тепло-, энергоснабжения и освещения строительной площадки и рабочих мест; обоснования и мероприятия по применению мобильных форм организации работ, режимов труда и отдыха; решения по производству работ, включая зимнее время; потребность в энергоресурсах; потребность и привязка городков строителей и мобильных (инвентарных) зданий; мероприятия по обеспечению сохранности материалов, изделий, конструкций и оборудования на строительной площадке; природоохранные мероприятия; мероприятия по охране труда и безопасности в строительстве; технико-экономические показатели.

Дополнительно ППР должен включать:

- регламент проведения опытно-производственных работ;
- требования к работам по инъекции основного периода;
- контрольные работы по оценке качества закрепления;
- характеристики применяемого оборудования для обеспечения заданных проектом нормируемых показателей качества, сроков и объемов работ.

Работы по укреплению грунтов выполняются при техническом сопровождении и авторском надзоре проектной организации в рамках наблюдательного метода проектирования.

6.1.3 Контроль качества проводят в соответствии с требованиями СП 45.13330, СП 48.13330 и настоящим подразделом.

Работы по контролю качества должны включать:

- а) входной контроль поступающих материалов – проверка соответствия их нормативным документам, проверка соблюдения требований их хранения;
- б) оперативный контроль – разметка скважин, их расположение в плане, диаметр и глубина, отклонение от оси, нормируемые показатели технологического регламента приготовления раствора и инъекции;
- г) оперативный и приемочный контроль нормируемых показателей качества закрепленного грунта.

6.1.4 Качество укрепленных грунтов следует оценивать по следующим контролируемым показателям:

- однородность закрепления по показателю качества – по интегральному значению прочности на одноосное сжатие для каждого метра закрепления по глубине;
- однородность закрепления по отсутствию незакрепленных участков в плане и по глубине;
- формы и размеры элемента закрепленного грунта/массива из элементов закрепленного грунта на соответствие требуемым показателям качества, прочностные и противотфильтрационные характеристики закрепленных грунтов должны соответствовать нормативным документам и требованиям проекта;

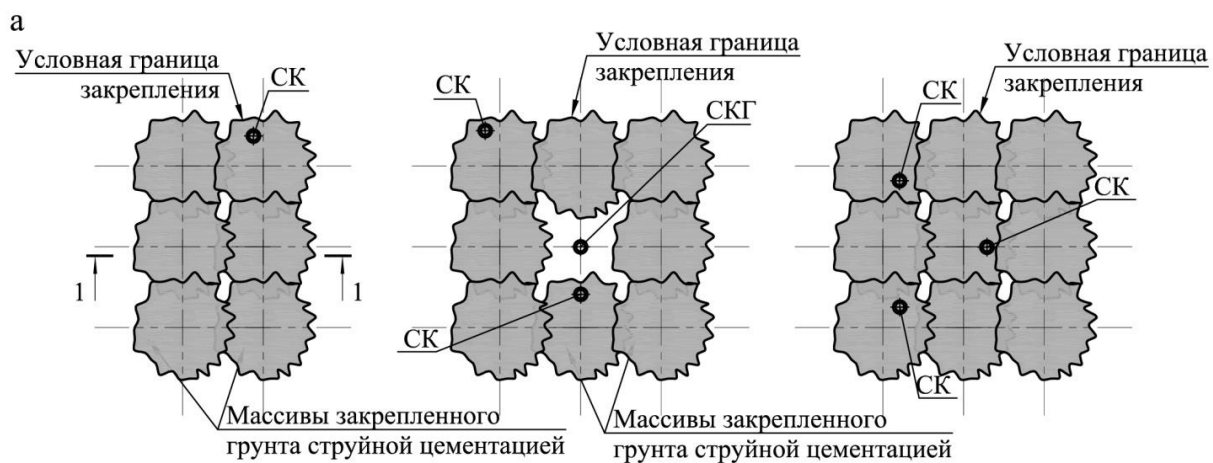
6.1.5 Основной обязательный метод контроля качества – контроль по образцам, отобраным из контрольных шурфов или при бурении контрольных скважин.

6.1.6 Количество контрольных скважин должно быть не менее двух на каждые 100 элементов закрепленного грунта, расположенных в одинаковых грунтовых условиях и не менее 10 на объект. Места контрольных скважин указываются в проекте и могут уточняться в процессе работ в рамках авторского надзора и/или технического сопровождения.

6.1.7 Контрольные работы по оценке качества искусственного основания или отдельных элементов могут включать испытания штампами, если это предусмотрено проектом.

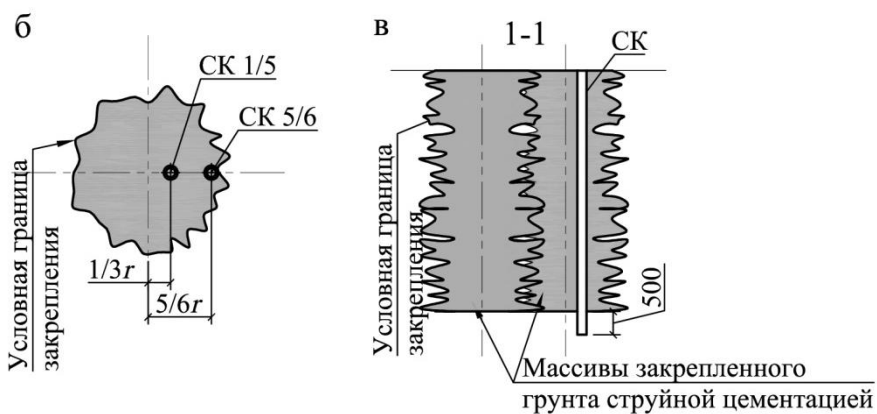
6.1.8 Контроль качества искусственных оснований может выполняться геофизическими методами исследования в соответствии с рекомендациями [11]. Объемы работ по контролю назначаются проектом, но должны охватывать не менее 10 % общего объема закрепления грунтов. Для использования методов геофизического контроля проектом должна быть предусмотрена установка на этапе производства работ труб (скважинные методы контроля) и армирующих элементов в контрольных точках (метод УЗК).

Схемы расположения контрольных скважин и полевых исследований грунтов штампами и зондированием для рассматриваемых методов приведены на рисунке 6.1.



СК – скважина контроля закрепленного грунта; СКГ – скважина контроля грунта с измененными, в результате устройства элементов закрепленного грунта, свойствами

Рисунок 6.1, лист 1



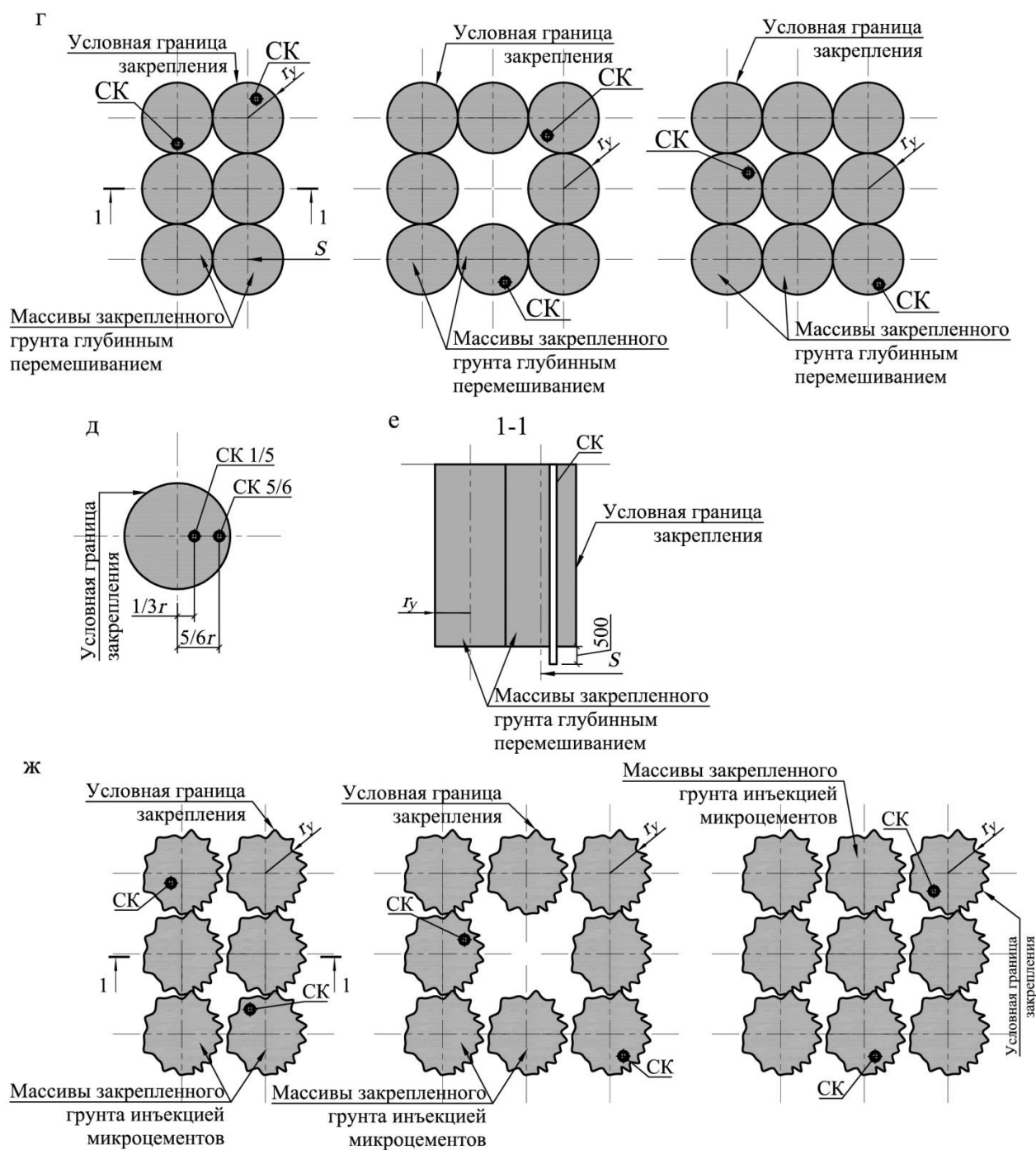


Рисунок 6.1, лист 2

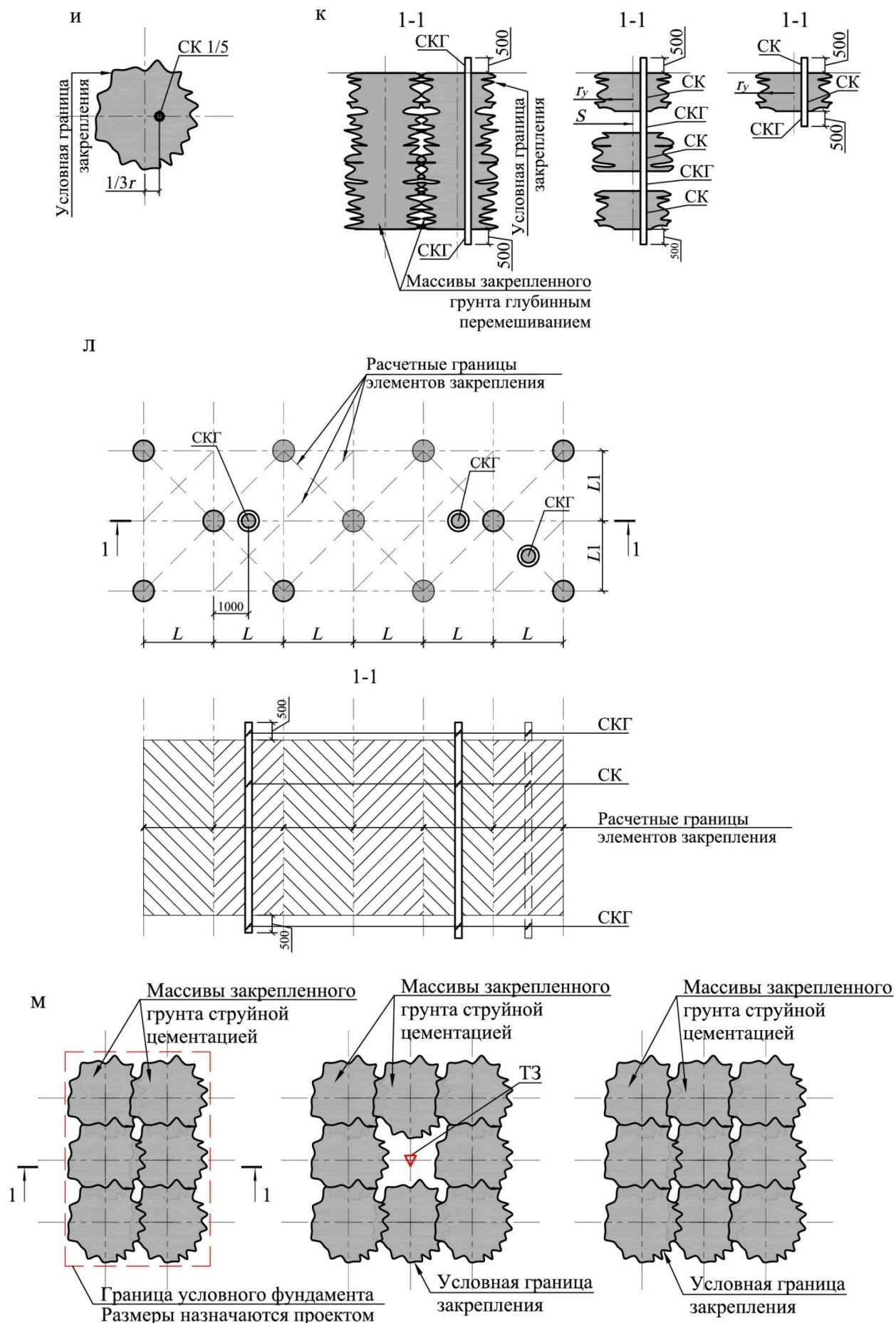


Рисунок 6.1, лист 3

Условные обозначения:

-  - скважина каротажная (электрокаротаж);
-  - скважина разведочная;
-  - шурф;
-  - точка динамического зондирования (ТЗ);
-  - точка статического зондирования;
-  - точка электрического зондирования;
-  - штамповые испытания с использованием различных видов штампов (Ш)

а – контроль в массиве грунта закрепленного струйной цементацией; б, д, и – отбор контрольных образцов в пределах одного элемента массива; в – сечение по массиву грунта закрепленного струйной цементацией; г – контроль в массиве грунта закрепленного цементацией глубинным перемешиванием; е – сечение по массиву грунта закрепленного струйной цементацией глубинным перемешиванием; ж – контроль в массиве грунта закрепленного инъекцией микроцемента; и – сечение по массиву грунта закрепленного инъекцией микроцемента; к – размещение контрольных скважин на схеме рабочих инъекционных скважин; л, м, н, п, р – схемы контроля зондированием

Рисунок 6.1, лист 5 – Рекомендуемые схемы контроля для различных методов укрепления грунтов

6.1.9 При работах по укреплению грунтов всеми методами для существующих зданий и сооружений или находящихся в зоне влияния геотехнических работ (в том числе, факторов технологического воздействия) следует в обязательном порядке предусматривать геотехнический мониторинг, включающий геодезические наблюдения и мониторинг технического состояния сооружений и подземных инженерных сетей.

6.2 Закрепление грунтов методом струйной цементации

6.2.1 Методом струйной цементации закрепляют любые грунты различной степени водонасыщения (для песков) и консистенции (для связных грунтов) – супесчаные, суглинистые и глинистые, получая требуемые показатели закрепления:

- а) прочность, модуль деформации, другие прочностные и деформационные характеристики;
- б) водонепроницаемость;
- в) однородность закрепления в плане и по глубине;
- г) расчетные границы закрепления с условным радиусом в плане и по глубине.

Струйная цементация грунтов выполняется с использованием растворов типа И на основе цемента.

6.2.3 Струйная цементация грунтов выполняется в следующей последовательности:

а) бурение направляющей лидерной скважины без обсадки на проектную глубину, превышающую, как правило, на 1 м отметку низа элемента закрепленного грунта;

б) размыв грунта с формированием элемента закрепленного грунта в проектных границах с условным радиусом по мере перемещения (вверх/вниз) монитора с вращением инструмента за счет перемешивания грунтового шлама с цементным раствором.

6.2.4 Закрепление грунтов методом струйной цементации, в зависимости от грунтовых условий, а также требуемой прочности, фильтрационных и иных требуемых свойств создаваемой грунтоцементной конструкции и ее назначения, производят по одной из следующих технологий:

а) однокомпонентная (*jet-1*): размыв грунта производится струей цементного раствора;

б) двухкомпонентная (*jet-2*): для увеличения условного радиуса закрепления дополнительно используется энергия сжатого воздуха, создающего искусственный воздушный поток вокруг струи раствора;

в) трехкомпонентная (*jet-3*): разрушение грунта производится водной струей в искусственном воздушном потоке, а цементный раствор подается в виде отдельной струи.

6.2.5 Для закрепления грунтов по струйной технологии применяют раствор типа И, на основе цемента, с В/Ц 0,6 – 1,2 с добавками и без. Растворы с В/Ц < 0,6 не рекомендуется применять из-за высокой вязкости раствора для подачи по трубопроводам небольшого диаметра, а также быстрого износа сопел монитора абразивными частицами цемента. Растворы с В/Ц > 1 применяют при невозможности или нецелесообразности применения трехкомпонентной технологии, но при необходимости дополнительного количества воды для разрушения и перемешивания грунтоцементной пульпы при формировании ГЦЭ. Значения характеристик грунтоцемента снижаются на 10 % – 20 % от приведенных в разделах 5 и 6.

6.2.6 На этапе разработки проектной рабочей документации назначаются расчетные параметры – нормативные показатели инъекции, включая номинальный состав раствора.

Первый этап работ на площадке – работы на опытных участках, требования к которым определены в 5.11. В процессе проведения опытных работ выполняют контроль геометрических параметров закрепленного грунта, качества (прочность и однородность) закрепленного грунта, их соответствие проектным требованиям. По результатам работ на опытных участках определяются рабочие параметры цементации.

6.2.7 По результатам опытно-производственных работ, при необходимости, выполняется корректировка РД, а участок грунтоцементных элементов, выполненный в процессе опытно-производственных работ при его соответствии проектным требованиям, может быть использован в качестве элемента геотехнической конструкции.

6.2.8 При работах на опытных участках рекомендуется придерживаться следующих дополнительных положений:

- расход цемента, оптимальный для устройства грунтоцементных элементов диаметром от 0,6 до 1,2 м, – 350–500 кг/пог. м;
- скорость подъема монитора варьируется в зависимости от вида и свойств грунта в пределах 0,25–0,5 м/мин с частотой вращения от 10 до 30 об/мин;
- давление подачи цементного раствора в зависимости от вида и характеристик грунта от 10 до 70 МПа при расходе от 60 до 250 л/мин, давление сжатого воздуха для *jet-2* и *jet-3* – не менее 0,8 МПа;
- размыв глинистых грунтов производят при пониженной скорости подъема монитора до 0,25 м/мин и повышенных оборотах монитора до 30 об/мин при максимальном давлении струи;
- размыв песчаных грунтов производят при пониженном до 10 МПа давлении и повышенном до 250 л/мин расходе, и повышенной скорости подъема монитора до 0,5 м/мин, а также при небольших оборотах монитора до 10 об/мин.

6.2.9 Машины и механизмы включают комплекс по приготовлению инъекционного раствора с насосом высокого давления для подачи раствора к точке инъекции и буровой агрегат.

6.2.10 Контроль качества следует проводить в соответствии с СП 45.13330, [23], СП 48.13330, [24], подразделом 6.1 и настоящим подразделом. Работы по контролю качества и соответствия нормируемых показателей качества фактическим данным должны включать:

- а) входной контроль;
- б) оперативный контроль;
- в) приемочный контроль.

Качество закрепленных методом струйной цементации грунтов следует оценивать по следующим нормируемым показателям:

- однородности закрепления по интегральному показателю качества прочности (отклонение от проектных требований в сторону меньших значений не более 10 %);
- однородности закрепления, по отсутствию незакрепленных участков в плане и по глубине (назначается проектом, но не более 20 % на контролируемый участок – 1 м, один элемент);
- форма и размер ГЦЭ/массива из грунтоцементных элементов с требуемым показателем качества (назначаются проектом, но не более предельных отклонений в сторону уменьшения измеряемых величин более 10 %);
- изменение значений характеристик грунта между ГЦЭ в сторону ухудшения (назначаются проектом, но не более предельных отклонений в сторону уменьшения измеряемых величин более 10 %).

6.2.11 Обязательный вид работ по контролю качества – контроль по образцам, отобраным из контрольных шурфов или контрольных скважин.

6.2.12 Количество и расположение ГЦЭ для контроля назначается проектной организацией, но должно быть не менее двух на каждые 100 элементов, расположенных в одинаковых грунтовых условиях и не менее 10 на объект. Рекомендуемая схема контрольных скважин и шурфов показана на рисунке 6.1.

6.2.13 Контрольные работы по оценке качества ГЦЭ могут включать испытания штампами как отдельных элементов, так и участка из нескольких элементов закрепленного грунта если это предусмотрено проектом, рассматривая массив как условный фундамент с расчетными условными границами.

6.2.14 Контроль качества укрепленных методом струйной цементацией грунтов может дополняться зондированием участков между ГЦЭ вне условных границ закрепления и геофизическими методами исследования в соответствии с требованиями настоящего подраздела. Объемы работ по контролю назначаются проектом, но должны охватывать не менее 10 % общего объема закрепления грунтов. Рекомендуемые места расположения точек зондирования и направления профилей для геофизических исследований показаны на рисунках 5.5 и 6.1.

Для выполнения геофизического контроля проектом должна быть предусмотрена установка необходимых инструментов контроля (скважинные методы контроля) и/или армирующих элементов в контрольных точках для оценки качества грунтоцемента в отдельном ГЦЭ методами УЗК длины свай.

6.2.15 Обязательный элемент контроля при струйной цементации грунтов – геотехнический мониторинг сооружений, если выполняется укрепление грунтов в основании сооружения или сооружение находится в зоне влияния работ. Границы зоны влияния должны указываться в проекте и учитывать технологический фактор воздействия при размыве грунта струей высокого давления и длительным (в течение нескольких суток) временем схватывания и набора прочности закрепленного грунта. Объемы и продолжительность работ по геотехническому мониторингу должны назначаться программой/проектом мониторинга, который должен быть неотъемлемой частью проекта.

6.3 Закрепление грунтов методом глубинного перемешивания

6.3.1 Методом глубинного перемешивания закрепляют пески, слабые текучие и текучепластичные глинистые грунты, лессы и илы, получая требуемые параметры/показатели закрепления:

- а) прочность, модуль деформации, другие прочностные и деформационные характеристики;
- б) водонепроницаемость;
- в) однородность закрепления в плане и по глубине;
- г) фиксированные границы закрепления в плане и по глубине.

Цементация грунтов методом глубинного перемешивания выполняется с использованием растворов на основе цемента типа И.

6.3.2 Закрепление грунтов – создание элемента закрепленного грунта (ГЦЭ) методом глубинного перемешивания выполняется в следующей последовательности:

а) бурение скважины расчетного диаметра на проектную глубину с промывкой или без водой или цементным раствором;

б) подъем с вращением бурового инструмента с инъекцией раствора/сухого вяжущего и формирование элемента закрепленного грунта за счет перемешивания грунтового шлама с цементным раствором;

в) повторный цикл/циклы погружения и извлечения смесителя, если это предусмотрено техническим решением по проекту.

Перед началом производства работ выполняют опытные ГЦЭ с проектным типом вяжущего и его расчетной дозировкой с последующим испытанием отобранных кернов из контрольных скважин для установления соответствия однородности и прочности закрепленного грунта в ГЦЭ проектным требованиям.

По результатам опытных работ назначают рабочий состав грунтоцемента.

6.3.3 Расчетный номинальный состав грунтоцемента указывают в проекте (на стадиях ПД и РД и в ППР).

Рабочий состав грунтоцемента указывают в откорректированных, при необходимости, по результатам опытных работ РД и ППР.

Основные технологические параметры изготовления ГЦ:

- скорость погружения/извлечения бурового инструмента (смесителя);
- частота вращения буросмесителя (угловая скорость);
- количество циклов погружения/извлечения буросмесителя;
- расход подаваемого раствора/сухого вяжущего и воды;
- давление нагнетания раствора/воды.

6.3.4 Скорость погружения и извлечения бурового инструмента и частота вращения буросмесителя должны обеспечивать получение однородной структуры разрушенного грунта с раствором – грунтоцементной смеси.

Скорость погружения/извлечения бурового инструмента (смесителя) принимают в зависимости от вида укрепляемого грунта и других технологических параметров по результатам опытных работ, предшествующих массовому устройству грунтоцементных элементов.

6.3.5 Технологические параметры изготовления грунтоцементных элементов разделяют на расчетные и рабочие.

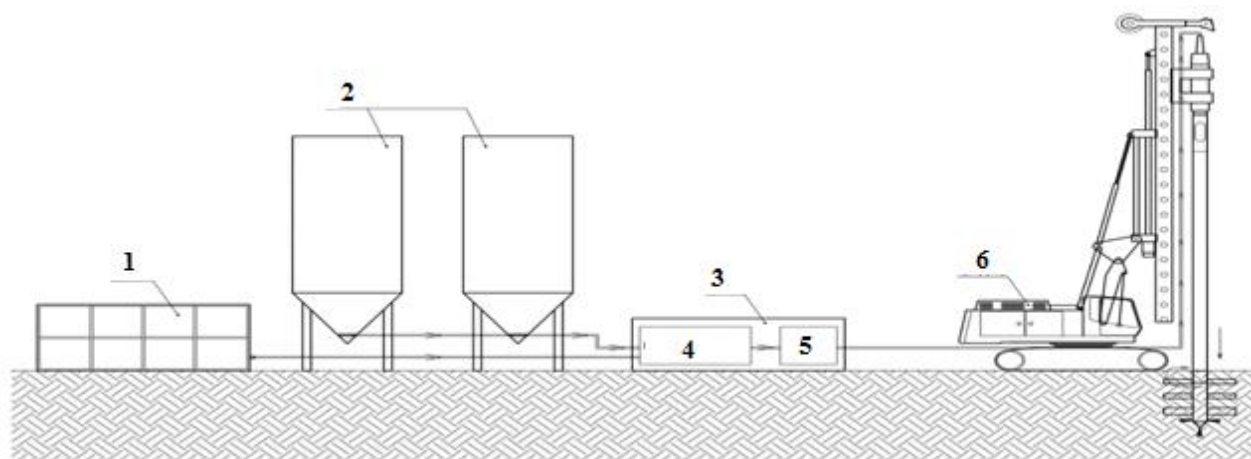
6.3.6 Расчетные значения технологических параметров назначают проектом.

6.3.7 Рабочие параметры определяют по результатам опытных работ и назначают для производства работ на конкретной площадке в составе ППР. В процессе производства работ значения рабочих параметров могут корректироваться по результатам контрольных работ для отдельных ГЦЭ,

участков или всей площадки в целом с соответствующим внесением изменений в ППР.

6.3.8 В качестве вяжущего при укреплении грунта используется цементный раствор с водоцементным отношением 0,5–0,7 или сухой цемент, или известь. В отдельных случаях водоцементное отношение раствора может быть увеличено. При необходимости в цементный раствор могут быть введены заполнители в виде песка, глины и других инертных материалов и добавки. Состав грунтоцементного раствора подбирается в лаборатории.

6.3.9 В состав оборудования для перемешивания входит буровая установка на гусеничном шасси с мачтой и буровым инструментом, растворный узел со смесительной установкой для приготовления цементного раствора, насос для подачи раствора в буросмеситель; силос для складирования цемента и емкость для воды. Технологическая схема укрепления грунтов по технологии метода глубинного перемешивания грунтов (МГПГ) представлена на рисунке 6.2.



1 – емкость для воды; 2 – комплект силосов для вяжущего и добавок; 3 – смесительный узел; 4 – растворосмеситель; 5 – насос; 6 – буровая установка

Рисунок 6.2 – Технологическая схема глубинного перемешивания грунта по технологии МГПГ

6.3.10 Работы по закреплению грунтов буросмесительным способом по технологии глубинного перемешивания грунтов (ГПГ) следует выполнять буросмесительными установками, оборудованными смесителем лопастного типа.

6.3.11 Оборудование для глубинного перемешивания должно соответствовать следующим требованиям:

- длина штанги и диаметр лопастного (или иного вида) смесителя должны обеспечивать изготовление элементов проектных размеров и получение качественной грунтоцементной смеси, отвечающей проектным требованиям;

- буровая установка, используемая для устройства ГЦЭ МГПГ должна обеспечивать параметры режима работы, рекомендуемые значения которых

для различных видов грунта приведены в таблице 6.5. Технологические параметры буровой машины после изготовления и испытания опытных ГЦЭ на строительной площадке должны уточняться и при необходимости корректироваться;

- максимальный принудительный ход подачи смесителя должен быть равен длине изготавливаемого ГЦЭ, что соответствует наиболее оптимальному технологическому варианту, при котором обеспечивается изготовление ГЦЭ непрерывным движением смесителя и равномерным составом и прочностью грунтоцемента;

- в стесненных условиях допустимо применение буровых установок с ходом подачи меньше глубины укрепления, при этом должна обеспечиваться оперативная стыковка и расстыковка буровых труб, достаточная механическая прочность соединений на осевые усилия и вращающие моменты любого знака, а также их герметичность при давлении раствора до 2 МПа;

- шаг подачи смесителя, регулируемый (желательно фиксированный) в целях обеспечения высокого качества перемешивания определяется по результатам опытных работ, но не должен превышать 30 мм/об.

Т а б л и ц а 6.5 – Контролируемые параметры режима работы буровой установки

Контролируемые параметры режима работы буровой установки	Грунты			
	пески, супеси	суглинки, глины	лессы	илы
Скорость вращения смесителя, об/мин	50–80	40–60	80–120	30–200
Шаг подачи смесителя, мм/об	8–10	5–8	5–10	5–20
Скорость погружения, м/мин	0,4–0,8	0,2–0,5	0,4–1,2	0,3–2,0
Количество циклов погружения/извлечения	1–	2–3	1–3	1–3

6.3.12 Технологический режим, связанный с частотой вращения и линейной скоростью перемещения смесителя, последовательностью нагнетания и расхода цементного раствора, числом дополнительных (перемешивающих) проходов смесителя, назначается проектом на основании результатов опытно-производственных работ или по аналогии с идентичными грунтовыми условиями.

6.3.13 Контроль качества следует проводить в соответствии с требованиями СП 45.13330, [20], СП 48.13330, [21] и настоящего подраздела. Работы по контролю качества и соответствия нормируемых показателей качества фактическим данным должны включать:

- а) входной контроль;
- б) оперативный контроль;
- в) приемочный контроль.

Качество закрепленных методом глубинного перемешивания грунтов следует контролировать по следующим нормируемым показателям:

- однородность закрепления – по интегральному показателю прочности (отклонения от проектных требований в сторону меньших значений не более 10 %);

- однородность закрепления – по отсутствию незакрепленных участков в плане и по глубине (назначается проектом, но не более 20 % на контролируемый участок – 1 м, один элемент).

6.3.14 Обязательный вид работ по контролю качества – контроль по образцам, отобранным из контрольных скважин.

6.3.15 Количество и расположение ГЦЭ для контроля назначаются проектной организацией, но должно быть не менее двух на каждые 100 элементов, расположенных в одинаковых грунтовых условиях и не менее 10 на объект. Рекомендуемая схема контрольных скважин и шурфов показана на рисунке 6.1

6.3.16 Контрольные работы по оценке качества ГЦЭ могут дополнительно включать испытания штампами как отдельных элементов, так и участка из нескольких элементов закрепленного грунта, если это предусмотрено проектом, рассматривая массив как условный фундамент с расчетными границами.

6.3.17 Контроль качества укрепленных методом струйной цементацией грунтов может дополняться геофизическими методами исследования отдельных ГЦЭ. Объемы работ по контролю назначаются проектом, но должны охватывать не менее 5 % общего объема ГЦЭ. Для выполнения геофизического контроля проектом должна быть предусмотрена установка в ГЦЭ необходимых инструментов контроля (скважинные методы контроля) и/или армирующих элементов по оси ГЦЭ методами УЗК длины свай.

6.3.18 Обязательный элемент контроля при струйной цементации грунтов – геотехнический мониторинг сооружений, если выполняется укрепление грунтов в основании сооружения или сооружение находится в зоне влияния работ. Границы зоны влияния должны указываться в проекте и учитывать технологический фактор воздействия при размыве грунта струей высокого давления и длительным (в течение нескольких суток) временем схватывания и набора прочности закрепленного грунта. Объемы и продолжительность работ по геотехническому мониторингу должны назначаться программой/проектом мониторинга, который должен быть неотъемлемой частью проекта.

6.4 Закрепление грунтов инъекцией в режиме пропитки растворами на основе микроцемента (цемент типа ОТДВ)

6.4.1 Методом инъекции в режиме пропитки растворами на основе цемента типа ИОТДВ (микроцемент) закрепляют пески с коэффициентом фильтрации от 10 до 80 м/сут.

Нормируемые показатели качества:

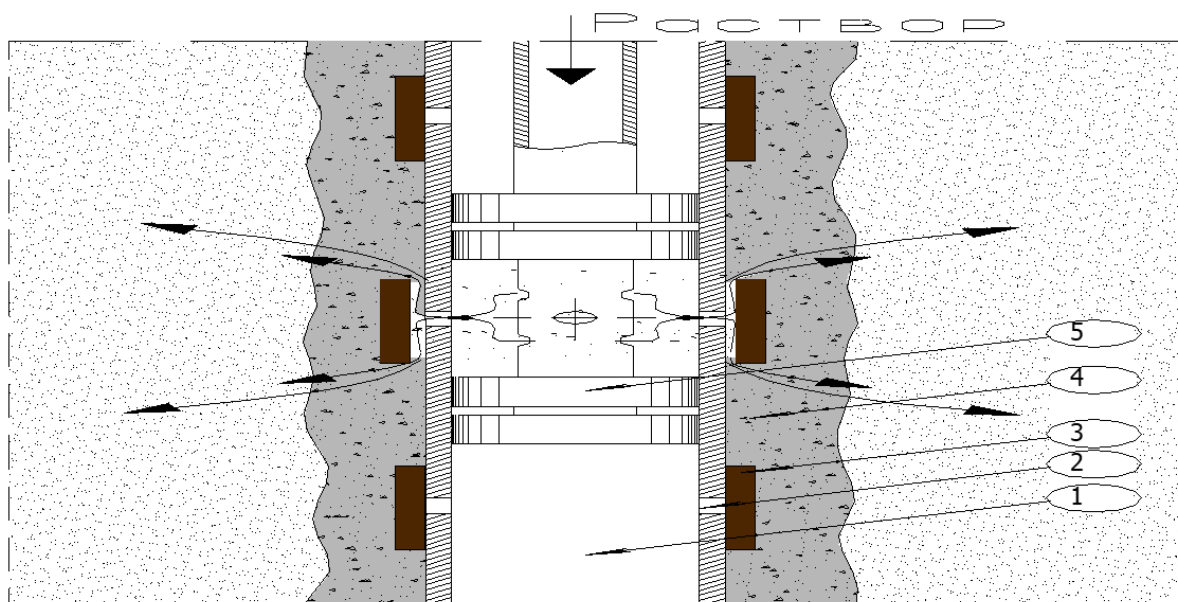
- а) прочность, модуль деформации, другие прочностные и деформационные характеристики;
- б) водонепроницаемость;

- в) однородность закрепления в плане и по глубине;
- г) расчетные границы закрепления с условным радиусом в плане и по глубине.

6.4.2 Производство работ выполняется в следующей последовательности:

- подготовительные и вспомогательные работы;
- бурение и оборудование инъекционных скважин – установка манжетных колонн;
- нагнетание растворов в грунты;
- ликвидация инъекционных скважин;
- работы по контролю качества закрепления.

6.4.3 Инъекция в грунт растворов выполняется с использованием манжетных колонн. В качестве манжетных колонн используются трубы из металла или полимерных материалов. Типовая конструкция скважины с манжетной колонной приведена на рисунке 6.3.



1 – труба металлическая, 2 – отверстие, 3 – резиновый манжет, 4 – обойма, 5 – тампон самоуплотняющийся

Рисунок 6.3 – Скважина инъекционная с установленной манжетной колонной

6.4.4 Для получения нормируемых показателей качества закрепленного грунта отверстия для инъекции на манжетной колонне располагаются в интервале 30–50 см.

Увеличение расстояния более 50 см может приводить к неоднородности закрепления по глубине и может применяться при необходимости прерывистых по глубине элементов закрепленного грунта. Меньшее (чем 30 см) расстояние допускается при значениях расчетного условного радиуса инъекции менее 30 см при необходимости закрепления грунтов с коэффициентом фильтрации менее 10 м/сут. Диаметр манжетной колонны, как правило, следует назначать в диапазоне 40–60 мм, с учетом диаметра

паккерующего устройства с двойным замком для инъекции в расчетный горизонт. Диаметр скважины под манжетную колонну назначают на 40–100 мм больше диаметра манжетной колонны для формирования обоймы вокруг нее и возможностью последующего разрыва для инъекции в грунт.

Допускается выполнять инъекцию с использованием иньекторов/манжетных колонн, погруженных в песок методом вдавливания, а в водонасыщенные пески – методом гидроразрыва с /или без высокочастотных вибраторов. В этом случае, обойма – плотно примыкающий к колонне песок. Конструкция иньектора/колонны, как правило, остается типовой. Иньекторы, погружаемые в песок методом вдавливания, выполняются из металла с шагом горизонтов инъекции 10–30 см.

Диаметр отверстий для инъекции растворов типа ИОТДВ, как правило, не отличается от типовых размеров для манжетных колонн, используемых при цементации в режиме гидроразрыва. Для иньекторов диаметры могут быть уменьшены и составлять 10–20 мм.

6.4.5 Технологический регламент закрепления песков растворами типа ИОТДВ по манжетной технологии состоит из следующих операций:

бурение скважины диаметром 80–150 мм (в зависимости от глубины) с промывкой глинистым раствором или водой;

установка в скважину манжетной колонны и заполнение обойменным раствором;

выдержка скважины 2–3 сут для набора прочности обоймы;

иньекция раствора через каждый манжет в соответствии с регламентом, назначенным проектной документацией;

ликвидация скважины путем заполнения безусадочным раствором.

6.4.6 Для создания обоймы используют растворы на основе цемента типа И с рекомендуемыми составами, приведенными в таблице 6.6. Составы растворов указываются в ППР.

Т а б л и ц а 6.6 – Рекомендуемые составы обойменного раствора

Назначение раствора	Состав на 1м ³					
	В/Ц	Цемент, кг	Вода, л	Бентонит, кг	Добавки, л/кг	Плотность г/см ³
Обойменный	3,7	150–250	930	30	–	1,16
	2,3	350	800	240	–	1,25

6.4.7 Растворы для инъекции назначаются проектом и должны соответствовать нормируемым показателям, приведенным в разделе 5.

6.4.8 На этапе разработки ПД и РД назначаются расчетные параметры – нормативные показатели инъекции, включая номинальный состав раствора.

На площадке перед началом основных работ выполняются работы на опытных участках, требования к которым определены в подразделе 5.11. В процессе проведения опытных работ производят контроль геометрических параметров закрепленного грунта, качества (прочность и однородность)

закрепленного грунта, их соответствие проектным требованиям. По результатам работ на опытных участках назначаются рабочие параметры инъекции.

6.4.9 По результатам опытно-производственных работ, при необходимости, выполняется корректировка РД, а участок грунтоцементных элементов, выполненный в процессе опытно-производственных работ при его соответствии проектным требованиям, может быть принят в качестве элемента геотехнической конструкции.

6.4.10 Приготовление цементных растворов из микроцементов производят в высокоскоростных смесителях с числом оборотов не менее 1000 об/мин, обеспечивающих интенсивное разрушение агрегированных структур и слипшихся мельчайших частиц цемента. Продолжительность перемешивания смеси до достижения постоянной плотности и вязкости раствора составляет не менее 3 мин.

6.4.11 Контроль качества состава инъекционного раствора после приготовления – обязательная операция и должен проводиться измерением плотности раствора с помощью ареометра или весового плотномера.

6.4.12 Инъекцию следует выполнять с соблюдением следующих требований:

а) давление не должно приводить к разрывам в грунте (быть менее давления разрыва);

б) инъекция выполняется до полного поглощения проектного объема или до «отказа», когда величина расхода раствора в течение 5 мин не превышает 0,2 л/мин при максимально допустимом давлении, предусмотренном проектом;

в) в условиях наличия неоднородных по проницаемости слоев, в начале выполняют инъекцию слоя с большей водопроницаемостью.

6.4.13 Инъекционные работы следует производить методом последовательного сближения скважин, начиная с максимальных расстояний, при которых гидравлическая связь между ними при заданных проектом значениях давления отсутствует и с соблюдением интервалов между одновременно обрабатываемыми участками, не приводящими к технологическим осадкам фундаментов (при инъекции под фундаменты существующих сооружений или сооружений, находящихся в зоне влияния работ).

6.4.14 Контроль качества закрепленных грунтов по однородности выполняют в части: однородности закрепления, формы и размеров закрепленного массива, прочностных, деформационных, водопроницаемости и других физико-механических свойств закрепленных грунтов и обеспечивают следующими мероприятиями:

а) вскрытием контрольных шурфов (обязательный метод контроля) при глубине, как правило, не более 3м (количество шурфов определяется уровнем ответственности сооружения, назначается проектом, но должно быть не менее одного на участок с одним и тем же типом грунта и одной

конструктивной системой надземных и подземных конструкций сооружения и не менее пяти на объект;

б) бурением контрольных скважин с отбором, оценкой однородности закрепления и испытанием проб – обязательный метод контроля, количество и места расположения контрольных скважин назначаются проектной организацией, но не менее двух на каждые 100 элементов, расположенных в одинаковых грунтовых условиях и не менее 10 на объект;

в) исследованиями водопроницаемости массива гидравлическим опробованием в пробуренных скважинах, если это предусмотрено проектом – дополнительный метод контроля;

г) исследованиями закрепленных массивов геофизическими методами – обязательный метод контроля;

д) испытаниями массива укрепленных грунтов штампами, если это предусмотрено проектом – дополнительный метод контроля.

6.5 Укрепление грунтов раствором типа И методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва

6.5.1 Методом инъекции в режиме гидроразрыва растворами на основе цемента типа И укрепляют любые грунты различной степени водонасыщения (для песков) и консистенции (для связных грунтов) – супесчаные, суглинистые и глинистые, получая требуемые показатели укрепления:

а) интегральный модуль деформации, другие прочностные и деформационные характеристики массива;

б) уменьшение коэффициента фильтрации массива и снижение суффозионных процессов в массиве;

в) изменение НДС массива, пористости грунта между включениями цементного камня;

г) расчетные границы укрепления с условными границами в плане и по глубине.

6.5.2 Производство работ выполняется в следующей последовательности:

- подготовительные и вспомогательные работы;
- бурение и оборудование инъекционных скважин – установка манжетных колонн;
- инъекция раствора в грунт по горизонтам в очередности и количестве циклов инъекции, предусмотренных проектом;
- ликвидация инъекционных скважин;
- работы по контролю качества закрепления.

6.5.3 Инъекция в грунт выполняется с применением манжетных колонн (подраздел 6.4). Манжетные типовые колонны – с расстоянием между горизонтами отверстий 33–50 см. Увеличение или уменьшение расстояния при закреплении инъекцией в режиме гидроразрыва не рекомендуется.

6.5.4 Инъекция в режиме гидроразрыва выполняется при давлении, превышающим структурную прочность грунта в точке инъекции по двум технологическим режимам:

режим 1 – инъекция проводится при постоянном давлении и меняющемся расходе раствора, снижающемся до нуля при наступлении отказа в поглощении. Технологический цикл предполагает кольцевой процесс подачи раствора с отводом излишков обратно к насосу.

режим 2 – инъекция проводится при постоянном расходе раствора и нерегулируемом давлении, которое может возрасти в зависимости от грунтовых условий, вида и свойств раствора до проектных значений.

Нормируемые показатели инъекции должны назначаться проектом в зависимости от выбранного режима.

6.5.5 Установка манжетных колонн в скважины выполняется в соответствии с подразделом 6.4, заполнение скважины обойменным раствором выполняется по двум технологическим схемам:

- схема 1 – бурение скважины с промывкой до проектной отметки – заполнение скважины обойменным раствором через буровую колонну снизу-вверх при достижении бурового инструмента проектной отметки до появления обойменного раствора в устье и вытеснения бурового раствора из скважины (в случае бурения с промывкой буровым раствором) – подъем бурового инструмента на поверхность – спуск манжетной колонны в скважину – при необходимости долив в устье скважины обойменного раствора и тампонирующее устье растворами требуемой прочности для предотвращения выхода инъекционного раствора на поверхность вдоль манжетной колонны;

- схема 2 – бурение скважины с промывкой буровым раствором до проектной отметки – подъем бурового инструмента на поверхность – спуск манжетной колонны в скважину до проектной отметки – инъекция обойменного раствора через нижний горизонт отверстий с вытеснением из скважины бурового раствора и появлением в устье обойменного раствора (при необходимости тампонаж устья скважины растворами требуемой прочности для предотвращения выхода инъекционного раствора на поверхность вдоль манжетной колонны) – промывка нижней манжеты колонны водой.

6.5.6 Работы по укреплению грунтов инъекцией в режиме гидроразрыва, как правило, выполняются в несколько циклов (1–5). Для возможности многократной инъекции раствора в одну точку регламентом производства работ должна быть предусмотрена промывка отверстий водой после каждого цикла инъекции. При этом объем воды для промывки должен быть минимальным и подаваться при давлении не более давления инъекции или отказа.

6.5.7 Назначенные на этапе разработки ПД и РД расчетные параметры – нормативные показатели инъекции, включая номинальный состав раствора и должны подтверждаться или корректироваться по результатам опытных

работ, на основании которых назначаются рабочие параметры инъекции и рабочий состав обойменного и инъекционного растворов.

6.5.8 Оборудование для производства работ должно состоять из комплекса по приготовлению инъекционного раствора с насосом, обеспечивающим давление до 5–12 МПа для подачи раствора к точке инъекции.

6.5.9 При инъекции в режиме гидроразрыва манжетные колонны остаются в грунте и могут использоваться в качестве армирующих элементов массива.

6.5.10 Контроль качества проводят в соответствии с требованиями СП 45.13330, СП 48.13330 и настоящим подразделом. Контроль качества включает:

- а) входной контроль;
- б) оперативный контроль;
- в) приемочный контроль за нормируемыми показателям закрепленного грунта.

6.5.11 При выполнении работ по гидроразрывной технологии следует контролировать выход раствора на поверхность, в том числе, вдоль манжетной колонны, в подземные коммуникации и сооружения.

6.5.12 Контрольные работы по оценке качества должны включать обязательные методы контроля – контрольные шурфы (при возможности их выполнения), контрольное бурение с отбором образцом грунта и определением нормируемых показателей качества и исследования свойств массива методами статического или динамического зондирования, геотехнический мониторинг существующих сооружений и объектов в зоне влияния геотехнических работ.

6.5.13 Контрольные работы по оценке качества грунта, укрепленного методом манжетной инъекции в режиме гидроразрыва, могут включать испытания штампами на отдельных участках.

6.5.14 Объемы работ по контролю назначаются проектом, но должны охватывать не менее 10 % общего объема закрепления грунтов. Для использования методов геофизического контроля проектом должна быть предусмотрена установка, на этапе производства работ, труб (скважинные методы контроля) и армирующих элементов в контрольных точках (метод УЗК).

6.5.15 Объемы контрольных работ назначаются проектной организацией, исходя из следующих положений:

- количество шурфов – не менее пяти на объект или не менее одного на каждые 200 скважин;
- количество скважин – не менее десяти на объект или не менее трех на каждые 200 скважин;
- количество штамповых испытаний (при назначении проектом) – не менее трех;

- количество точек зондирования - не менее 10 на объект или не менее трех на каждые 200 скважин;

- количество геофизических профилей (при назначении проектом) по участку площадью 10×10м – не менее двух, количество контрольных участков – не менее пяти на объект.

6.6 Охрана труда и мероприятия по охране окружающей среды

6.6.1 При производстве буровых и инъекционных работ, кроме требований настоящего пособия, необходимо выполнять требования [32] и [33].

6.6.2 Производство работ разрешается только при наличии проекта производства работ, в котором должны быть указаны основные технологические параметры, последовательность и продолжительность выполнения отдельных операций.

6.6.3 Производство работ в зоне расположения подземных коммуникаций (электрических кабелей, трубопроводов и др.) допускается только с письменного разрешения организации, ответственной за эксплуатацию этих коммуникаций.

К разрешению должна быть приложена схема с указанием расположения и глубины заложения коммуникаций, составленная на основании исполнительных чертежей.

До начала работ на поверхности грунта должны быть установлены знаки, указывающие места расположения подземных коммуникаций.

6.6.4 К производству работ могут быть допущены только специально обученные рабочие, ознакомленные с особенностями технологии и прошедшие специальный инструктаж.

6.6.5 Все виды работ должны производиться при строгом соблюдении специальных правил техники безопасности и выдерживании контрольных сроков ревизии и ремонта оборудования.

6.6.6 Инъекционные насосы для растворов и воды, применяемые в работе, должны быть снабжены манометрами, которые подлежат периодической проверке, и предохранительными клапанами, отрегулированными на соответствующие давления.

6.6.7 На участок, где ведутся работы, не допускаются лица, непосредственно не связанные с выполнением этих работ.

6.6.8 Устранение неисправностей, разъединение и подсоединение рукавов и другие монтажно-ремонтные работы допускается производить только при остановленных насосах и сброшенном давлении.

Во время работы запрещается переставлять, перегибать и натягивать высоконапорные рукава. Высоконапорные рукава должны быть размещены с возможностью свободного перемещения.

6.6.9 Не допускается свободный выпуск пульпы и неиспользованных растворов на поверхность.

Изливающаяся из скважины пульпа и остатки растворов должны перехватываться и отводиться в специальные шламоприемники.

6.6.10 В случае засорения сопла перед его прочисткой насос должен быть остановлен, а давление в магистралях сброшено.

6.6.11 Используемые в работе напорные рукава должны иметь не менее, чем двукратный запас прочности и подвергаться после монтажа и в дальнейшем при работе не реже, чем через каждые три месяца контрольному испытанию рабочим давлением в течение 30 мин.

6.6.12 В ППР по укреплению грунтов следует предусматривать необходимые мероприятия, предотвращающие влияние на окружающую застройку, загрязнение территории, поверхностных и подземных вод в соответствии с действующими нормативными документами.

6.6.13 Весь технологический процесс и вспомогательные и подготовительные работы должны исключать негативные воздействия на геотехническую среду – недопустимые осадки и смещения прилегающего грунтового массива, расположенных поблизости зданий, их фундаментов и инженерных коммуникаций, вибрационные и иные воздействия.

6.6.14 Уровни шума и вибрации от оборудования не должны превышать допустимые значения, установленные в нормативных документах.

6.6.15 Грунтовые и поверхностные воды должны отводиться в соответствии с утвержденными техническими условиями эксплуатирующих организаций. Производственные отходы (пульпа, строительный мусор и неиспользованные растворы) должны утилизироваться в виде затвердевших растворов в соответствии с утвержденным регламентом.

6.6.16 Производственные сточные воды, содержащие глинистый и цементный растворы, бензин, масла и тому подобное, должны быть пропущены через грязеотстойники, уловители и биофильтры для очистки от вредных примесей.

6.6.17 Выезды со строительной площадки должны быть оборудованы пунктами мойки колес автотранспорта (с организованным отводом воды).

7 Геотехнический мониторинг

7.1 Геотехнический мониторинг при укреплении грунтов – один из методов контроля и должен выполняться в соответствии с требованиями СП 22.13330, СП 45.13330, СП 305.1325800 и положениями настоящего раздела.

7.2 Геотехнический мониторинг следует проводить как за вновь строящимся объектом, реконструируемым/ремонтируемым или находящимся в зоне влияния.

7.3 Геотехнический мониторинг следует проводить по СП 305.1325800 следующими методами:

- визуально-инструментальным;
- геодезическим;
- параметрическим;
- геофизическим;
- гидрогеологическим.

7.4 Визуально-инструментальный метод мониторинга должен включать наблюдения:

- за трещинами конструкций существующих сооружений;
- за дневной поверхностью в зоне влияния работ (трещины в отстойке, просадки, провалы, оседания грунта);
- за отклонением от вертикали несущих конструкций инструментальными методами (отвесы, акселерометры).

7.5 Геодезический метод мониторинга должен включать наблюдения:

- за осадками фундаментов;
- за отклонением от вертикали несущих конструкций.

7.6 Параметрический метод мониторинга выполняется, как правило, для объектов повышенного уровня ответственности класса КС-3 и для объектов класса КС-2 3-й геотехнической категории и должен включать:

- наблюдения за деформациями грунта в активной зоне (сжимаемой толще);
- измерения напряжений в массиве.

7.7 Геофизические методы мониторинга должны включать наблюдения за изменениями геологической и геотехнической среды.

7.8 Гидрогеологические методы мониторинга должны включать наблюдения за изменениями уровня подземных вод.

7.9 Объемы работ и периодичность устанавливаются проектом на основании требований СП 22.13330, СП 45.13330, СП 305.1325800.

Работы по мониторингу должны выполняться по программе, являющейся неотъемлемой частью проектной документации.

7.10 Геотехнический мониторинг должен включать наблюдения за контролируемыми параметрами, которые соответствуют определенному методу мониторинга. Допустимые отклонения от этих параметров должны назначаться проектом в соответствии с требованиями нормативных документов.

7.11 Для существующих сооружений результатом каждого цикла мониторинга должна быть оценка технического состояния на основании наблюдений всеми методами. По результатам проведенного цикла мониторинга проектная организация, выполняющая техническое сопровождение работ/авторский надзор должна, в рамках проведения третьего этапа наблюдательного метода проектирования, подтверждать актом возможность продолжения работ по укреплению грунтов. При необходимости, проектная организация выполняет корректировку проекта.

7.12 Учитывая скрытый характер работ по укреплению грунта и продолжительность стабилизации НДС после окончания работ, мониторинг следует выполнять по схеме:

- два цикла до начала работ по укреплению грунтов;
- в процессе работ с периодичностью назначаемой проектом;
- не менее двух циклов после окончания работ.

Приложение А

Методика выбора микроцемента (растворы типа ИОТДВ) и определения расчетного условного радиуса при закреплении грунта в режиме пропитки

А.1 Выбор микроцемента для закрепления исследуемого песка можно ориентировочно производить по двум предлагаемым способам с последующим уточнением лабораторными и опытно-производственными работами.

По первому способу выбор микроцемента производят по соотношению определенных размеров частиц закрепляемого песка и определенных размеров частиц микроцемента (таблица А.1)

Т а б л и ц а А.1

Автор	Соотношение диаметра частиц песка и цемента
Кинг-Буш	$D_{10}/d_{95} > 8$
А.Н. Адамович	$D_{15}/d_{85} > 10$
С.В. Алексеев	$D_{15}/d_{85} > 11$
Обозначения: D_{10} и D_{15} – диаметр частиц песка массовым содержанием 10 % и 15 % соответственно; d_{95} и d_{85} – диаметр частиц цемента массовым содержанием 95 % и 85 % соответственно.	

По второму способу выбор микроцемента производят по показателю зависимости степени дисперсности цемента, определяемому по удельной поверхности частиц цемента, и коэффициента фильтрации закрепляемого песка K_f (рисунок А.1). В каждом конкретном случае для цемента с его определенной удельной поверхностью устанавливается нижняя граница K_f , ниже которой он не пригоден для закрепления.

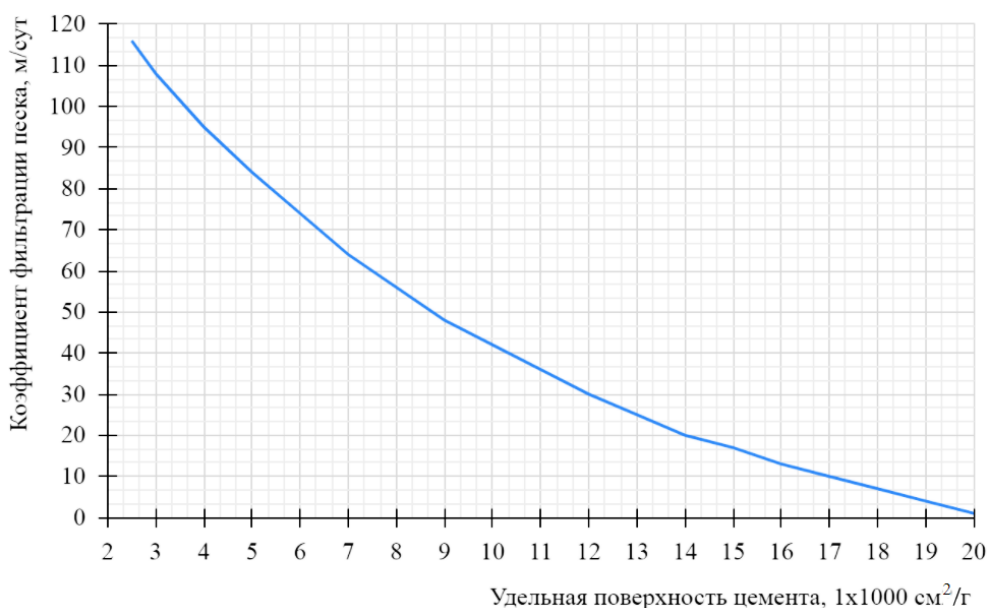


Рисунок А.1 – График зависимости проникающей способности цементного раствора от удельной поверхности цемента и K_f песка

А.2 Определение объема цементного раствора, необходимого для обеспечения расчетного радиуса закрепления песка

А.2.1 Понижение концентрации цементного раствора, нагнетаемого в песок, связано с процессами отфильтровывания осаждения цементных частиц из раствора. Вблизи скважины отфильтровываются из раствора под давлением потока наиболее крупные фракции. С удалением от скважины, когда скорость потока в порах замедляется и переходит из турбулентного в ламинарное (линейное) движение, начинается осаждение (седиментация) цементных частиц. По мере продолжительности инъекции концентрация понижается и может настолько понизиться, что раствор неспособен не только цементировать песок, но и сам твердеть.

А.2.2 Расход цементного раствора $Q_{ц,р}$ для обеспечения заданного радиуса закрепления с учетом результатов опытных работ рассчитывают по формуле

$$Q_{ц,р} = \pi \cdot R_p^2 \cdot h \cdot n_{гa} K_a, \quad (A.1)$$

где R_p – расчетный радиус закрепленного грунта, м;

h – интервал закрепления по высоте, м;

$n_{г}$ – пористость песка, дол. ед.;

$a = 0,8$ – коэффициент заполнения пор цементным раствором;

K_a – коэффициент дополнительной компенсации объема раствора, рассчитывают по формуле

$$K_a = V_p / V_3 = R_p^2 \cdot / \cdot (R_3 - m)^2, \quad (A.2)$$

где V_p – расчетный объем закрепленного грунта, м³;

V_3 – объем закрепленного грунта, определенный измерением на опытном участке или расчетом через измеренный радиус закрепления;

R_3 – радиус закрепленного грунта;

m – разница расчетного и измеренного на опытном участке радиуса закрепления ($m = R_p - R_3$), м.

А.2.3 Коэффициент K_a зависит не только от разницы расчетного и полученного объема (или радиуса закрепления), но и от величины расчетного радиуса закрепления. Влияние разницы радиусов расчетного и закрепленного песка на отношение объемов расчетного и закрепленного представлено на рисунке А.2. При фиксации на опытных работах разницы между расчетным и фактическим радиусами закрепления можно установить, руководствуясь рисунком А.2, во сколько раз следует увеличивать объем нагнетаемого раствора для получения расчетного объема закрепления.

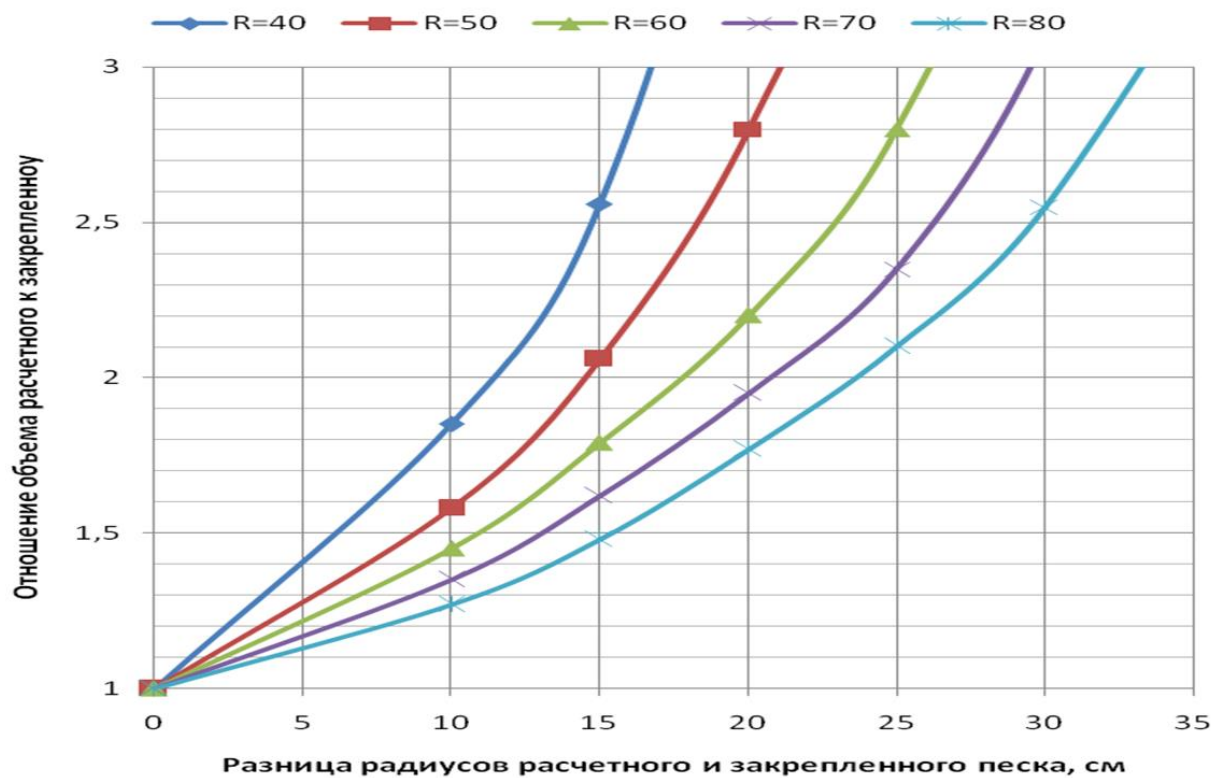


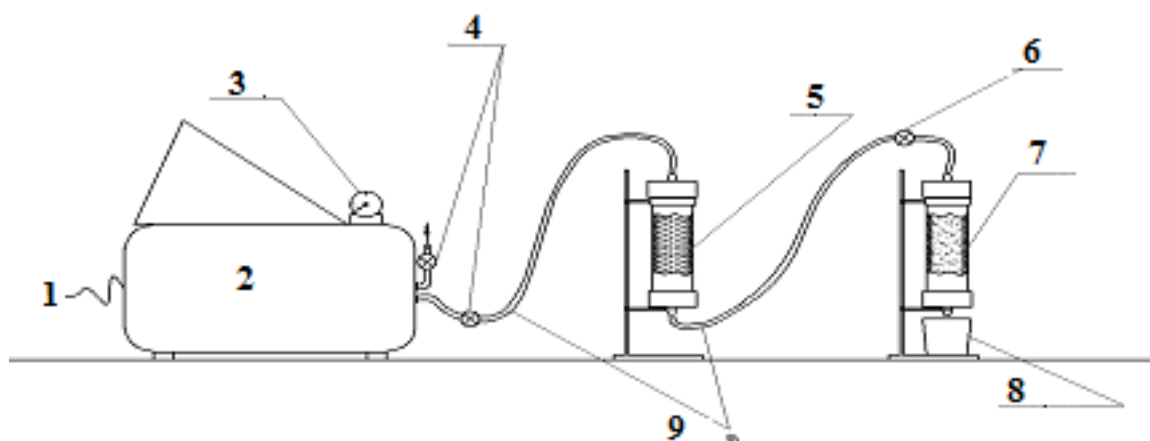
Рисунок А.2 – Отношение расчетного объема песка к закрепленному цементным раствором в зависимости от разницы радиуса расчетного ($R = 40; 50; 60; 70; 80$ см) и получаемого закрепленного песка

Приложение Б

Методика лабораторных работ по определению проницаемости песков растворами на основе микроцементов (растворы типа ИОТДВ)

Б.1 Методика исследования проницаемости растворов ОТДВ в песок в трубках

Проницающая способность цементного раствора определяется в лабораторной установке, принципиальная схема которой приведена на рисунке Б.1, Установка состоит из фильтрационного прибора и портативного компрессора, обеспечивающего давление воздуха до 0,5 МПа.



1 – сеть; 2 – компрессор; 3 – манометр; 4 – вентиль для регулирования давления воздуха; 5 – трубка с раствором; 6 – вентиль подачи раствора; 7 – трубка с грунтом; 8 – емкость для фильтра; 9 – соединительные шланги

Рисунок Б.1 – Принципиальная схема лабораторной установки для пропитки песка цементным раствором

Фильтрационный прибор (рисунок Б.2) состоит из трубки, в которую засыпается до нужной степени и гранулометрического состава исследуемый песок, мерного цилиндра из толстостенного оргстекла объемом 1 л, рассчитанного на давление порядка 1 МПа. В мерную трубку заливают исследуемый цементный раствор. Расход его при нагнетании в песок под давлением воздуха фиксируется по мерной шкале во времени. Трубка с песком и мерный цилиндр с раствором крепятся на самостоятельных штативах.

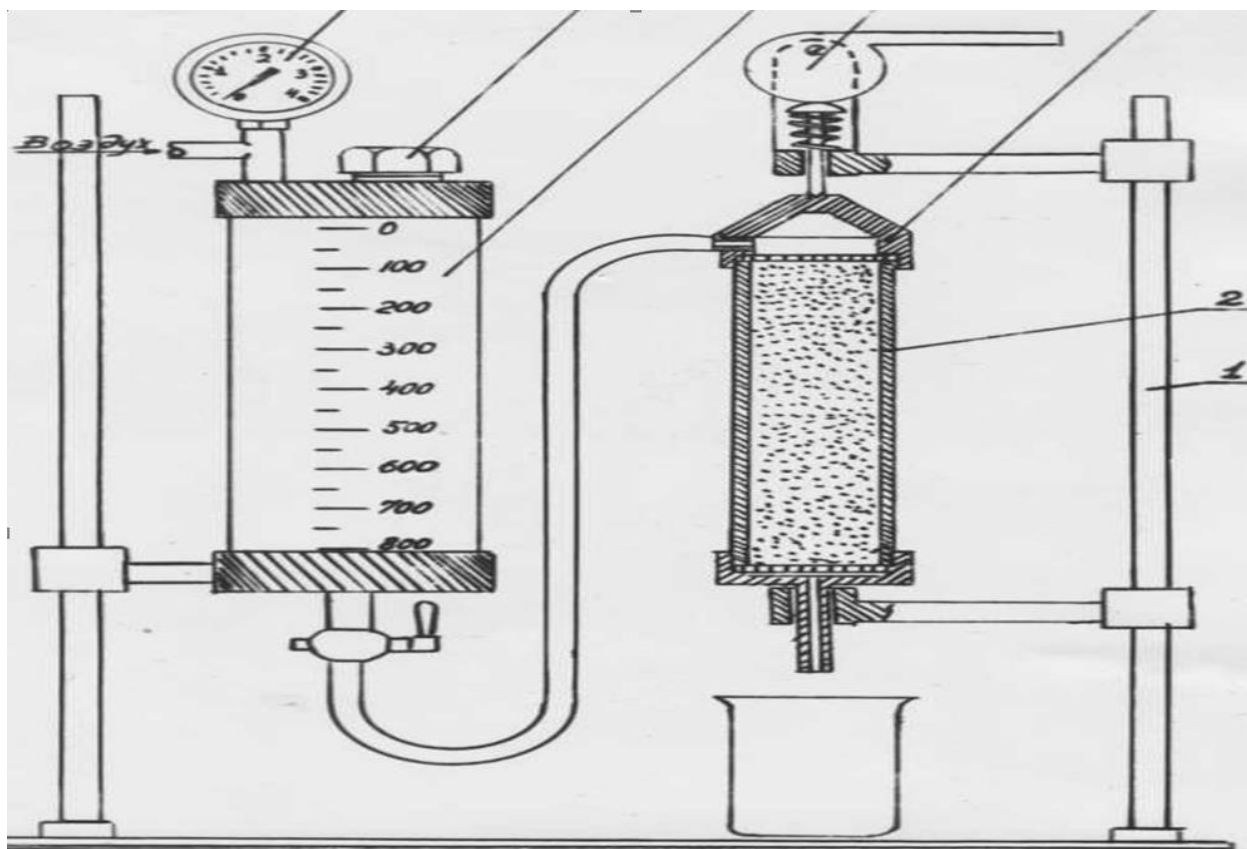


Рисунок Б.2– Лабораторный прибор для пропитки песка раствором

Для исследования проникающей способности цементного раствора в песок разной водопроницаемости применяют металлические трубки диаметром 50–100 мм и высотой 250–500 мм. Внутреннюю поверхность трубки предварительно обрабатывается тонким слоем парафина или иной смазки, не вступающей в реакцию с грунтом и раствором для исключения адгезии цементного раствора с металлом. Трубку заполняют песком с послойным уплотнением. Плотность укладки рассчитывают по расходу массы песка в расчетном объеме трубки. Определяют коэффициент фильтрации K_f песка в трубке по номограмме зависимости от плотности укладки – по результатам, полученным при предварительных опытах по определению коэффициента фильтрации конкретного песка в трубке Каменского при разной плотности укладки. После чего трубку плотно закрывают крышкой прижимным кулачком. К крышке подводится соединительный шланг диаметром 15–25 мм, соединяющий трубку с мерным цилиндром, заполненным цементным раствором заданного состава. К мерному цилиндру подключается лабораторный компрессор и с его помощью проводится нагнетание раствора в образец грунта.

Степень проницаемости раствора заданного состава (В/Ц) в песок с установленным K_f определяется по следующим критериям:

При полной прокачке через песок (в трубке) с заданным коэффициентом фильтрации порции цементного раствора заданного состава, равной двойному объему пор в песке, и, при этом, давление не превышает 0,5 МПа,

то такой песок считается хорошо проницаемым для раствора заданного состава, а раствор пригодным для его закрепления.

Если объем прокаченного раствора заданного состава составляет 80 % – 90 % объема пор в песке при давлении нагнетания 0,5 МПа, то песок с коэффициентом фильтрации для раствора заданного состава считается предельным для проницаемости и закрепления.

Если объем прокаченного раствора (заданного состава) составляет менее 20 % объема пор в песке при давлении нагнетания 0,5 МПа, то песок с коэффициентом фильтрации для раствора заданного состава считается трудно проницаемым и непригодным для закрепления.

Б.2 Методика исследования проницаемости растворов ОТДВ в песок в лабораторных лотках

Исследование проникающей способности растворов в песок в лотках позволяет оценивать характер, форму и размеры распространения цементного раствора в пространстве (емкости), не ограниченном стенками, как это имеет место в трубках.

Исследование проникающей способности цементных растворов в песок в лотках проводят после исследования в трубках, в которых устанавливается для каждого оптимального состава раствора типа ИОТДВ минимальный порог водопроницаемости K_f песка и возможности по его пропитки и закрепления.

Исследования проводят в лотке размером не менее 800×800×800мм с прозрачными стенками (рисунок Б.3).



Рисунок Б.3– Лоток с песком для инъекционного закрепления песчаного грунта

Исследуемый песок засыпают в лоток послойно по 5 см с уплотнением до требуемой плотности. Над песком укладывают слой глины с уплотнением или формируют экран из непроницаемого материала без нарушения сложения толщи закрепляемого песка. Закрывают лоток щитом с сечением равным сечению лотка и пригружают грузом, массой большей чем усилие, возникающее от инъекции. Погружение в песок трубки-инъектора для инъекции цементного раствора выполняют через отверстие в центре щита. Через инъектор прокачивают расчетный объем цементного раствора, обеспечивающий пропитку пор песка в расчетном объеме грунта в лотке. Не ранее чем через 7 суток твердения цементного раствора в порах незакрепленный грунт из лотка послойно извлекают, закрепленный монолит исследуют с измерениями размеров и определением прочности.

Приложение В

Рекомендуемая методика подбора состава для цементации методом глубинного перемешивания

В.1 Требования настоящего приложения устанавливают правила подбора, назначения и передачи в производство состава ГЦ при изготовлении ГЦЭ.

В.1.1 Подбор состава ГЦ включает определение:

- номинального состава и расчетных дозировок;
- рабочего состава и рабочих дозировок.

В.1.2 Подбор состава ГЦ выполняют для каждого объекта, где проектом предусмотрено закрепление грунтов методом ГПГ. Для объекта подбор состава ГЦ выполняется для каждого инженерно-геологического элемента, который подлежит закреплению.

В.1.3 Подбор состава ГЦ должен выполняться в специализированной лаборатории по заданию проектной организации.

В.1.4 Результаты подбора состава ГЦ, соответствующего требованиям задания, должны быть оформлены в виде карты подбора состава и утверждены главным инженером организации – производителя работ, руководителем организации, исполнителем проводившим подбор состава в лаборатории с подписью начальника лаборатории.

В.2 Задание на подбор состава ГЦ

В.2.2 Задание на подбор состава ГЦ должно содержать:

- нормируемые показатели качества ГЦ: прочность на одноосное сжатие R_n , плотность ρ , иные (c , ϕ , E), если это предусмотрено заданием;
- показатели качества грунтоцементной смеси: водотвердое отношение $(Ц+Г) \cdot В$, где Ц – цемент, Г – грунт, В – вода, подвижность ГЦС – П, влажность грунтоцементной смеси W_m ;
- показатели однородности прочности ГЦ, а также соответствующий им средний уровень прочности R_n и плотности ρ , допускаемые отклонения от этого уровня;
- ограничения по составу ГЦ и применяемым материалам.

В.3 Подбор номинального состава ГЦ и расчетных дозировок

Подбор номинального состава ГЦ выполняют в следующей очередности:

- выбор и определение характеристик исходных материалов: грунт, цемент, добавки;
- назначение начального состава;
- назначение пробных составов с параметрами дозировок цемента, воды, добавок, варьирующих в интервале отклонений до 30 % начального состава;
- изготовление пробных замесов начального и пробных составов, отбор проб, испытание ГЦС, изготовление образцов и их испытание по

нормируемым показателям качества в марочном (90 дн) и проектном/нормируемом (14, 28 дн) возрасте.

- обработка полученных результатов с установлением зависимостей, отражающих влияние параметров состава на нормируемые показатели качества ГЦС и ГЦ и предназначенных для назначения номинального состава, а также назначения и корректировки расчетных дозировок ГЦ;

- назначение номинального состава бетона и расчетных дозировок.

Начальный состав ГЦ рассчитывают по фактическим характеристикам исходных материалов по следующей методике:

W_m – влажность ГЦС рассчитывается по формуле

$$W_m = (1,1 \div 1,2) W_L, \quad (B.1)$$

где W_L – влажность на границе текучести закрепляемого грунта.

ρ_{dm} – плотность грунтоцементной смеси в сухом состоянии, т/м³, определяемая по формуле

$$\rho_{dm} = \frac{\rho_w}{1 + \rho_s W_m \frac{1}{\rho_w}}, \quad (B.2)$$

W_m – влажность ГЦС, дол. ед.;

ρ_s – плотность частиц грунта, т/м³;

F – площадь сечения ГЦЭ, м²;

C – количество цемента, дол. ед. массы сухого грунта, определяемое по результатам лабораторных работ и указаниям настоящего пособия;

ρ_w – плотность воды, принимаемая в расчетах равной 1 т/м³;

$\mathcal{L}$ – длина ГЦЭ, м.

Определяют объем замещаемого грунта

$$h_n = \left[1 - \frac{\rho_{dm}}{\rho_d(1+C)} \right] \mathcal{L}. \quad (B.3)$$

Определяют количество цемента

$$G = c \rho_d F (\mathcal{L} - h_n). \quad (B.4)$$

Определяют водоцементное соотношение

$$\alpha = \frac{W_m(1+C) - W}{C}, \quad (B.5)$$

где W – влажность грунта природная, дол. ед.

В качестве варьируемых параметров состава используют параметры, оказывающие влияние на свойства ГЦС и нормируемые показатели качества ГЦ: содержание цемента – C ; влажность ГЦС – W_m ; содержание песка и др. добавок; В/Ц раствора.

Пробные составы рассчитывают аналогично начальному, при значениях варьируемых параметров состава, отличающихся от принятых при расчете начального состава в меньшую и большую сторону на 10 % – 30 %. Количество пробных составов по каждому из этих параметров должно быть не менее двух соответственно в большую сторону и не менее одного – в меньшую сторону.

Материалы следует дозировать по массе с погрешностью не более 5 %.

Приготовление опытных замесов производят в лабораторном смесителе принудительного действия или вручную на предварительно увлажненном противне с перемешиванием в течение 3–5 мин.

Выполнение опытных замесов начинают с перемешивания сухих материалов, а затем постепенно добавляют в замес назначенное по расчету количество воды, раствора и добавки.

После окончания перемешивания отбирают пробы для проверки других свойств смеси подвижности. При этом определение подвижности начинают не ранее 15 мин после начала перемешивания смеси с водой.

Если свойства смеси не соответствуют требованиям подвижности задания на подбор состава а производят корректировку составов до получения в замесе каждого состава смеси с заданными свойствами.

После получения ГЦС с заданными свойствами определяют ее плотность и для каждого состава рассчитывают фактический расход материалов на 1 м³ ГЦС по формулам:

$$S = \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum g} g_s; \quad (\text{B.6})$$

$$C = \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum g} g_c; \quad (\text{B.7})$$

$$W = \frac{\rho_{\text{см}}}{\sum g} g_w, \quad (\text{B.8})$$

где S, C, W – расход соответственно грунта цемента, воды, кг/м³;

g_s, g_c, g_w – масса соответственно грунта цемента, воды в замесе, кг;

$\rho_{\text{см}}$ – плотность ГЦС, кг/м³;

Mg – суммарная масса всех материалов в замесе, кг.

Из подготовленной смеси разных составов изготавливают контрольные образцы этих составов и определяют прочность по ГОСТ 10180: в марочном (90 дн) и нормируемом (14, 28 дн) возрасте.

Режим твердения образцов НВУ: $T = 18\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 80\text{ \%}$.

По результатам испытаний начального и пробного составов устанавливают необходимые зависимости свойств ГЦ и ГЦС от параметров состава и расхода материалов, а также строят график зависимости прочности от содержания цемента.

По графику зависимости прочности ГЦ от содержания цемента определяют значение, соответствующее проектной прочности.

По определенному по графику значению содержания цемента при соответствующем В/Т (водотвердое отношение – $V \div (Г+Ц)$) изготавливают и испытывают не менее пяти образцов ГЦС.

При положительных результатах испытаний подобранный состав ГЦС принимают за расчетный состав. По расчетному составу назначают расчетные дозировки составляющих, определяемые по формуле

$$D_e = VP_e. \quad (\text{B.9})$$

Приложение Г

Пример определения нормируемых показателей качества при закреплении грунтов методом инъекции в режиме гидроразрыва

Г.1 Исходные данные

Г.1.1 Объект 2-й геотехнической категории, здание с конструктивной системой из монолитных перекрытий и вертикальных несущих конструкций в виде пилонов и колонн, семь надземных этажей и два подземных уровня. Объект встраивается в существующую застройку. В зону влияния попадают эксплуатируемые здания разной этажности и конструктивных систем. Дополнительные осадки не зданий окружающей застройки и проектируемого объекта не должны превышать нормативных значений. Для обеспечения требуемых расчетных характеристик основания для объекта модуль деформации основания должен быть не ниже 30 МПа.

Г.1.2 Инженерно-геологические условия площадки – грунты, которые необходимо укрепить находятся в толще с переслаивающимися слоями:

ИГЭ-1 – пески пылеватые, рыхлые, влажные

$$C = 0 \text{ кПа}, E = 10 \text{ МПа}, \varphi = 20^\circ, e = 0,77;$$

ИГЭ-2 – пески средней крупности, рыхлые, влажные

$$C = 0 \text{ кПа}, E = 14 \text{ МПа}, \varphi = 17^\circ, e = 0,75;$$

ИГЭ-3 – пески средней крупности, рыхлые, водонасыщенные

$$C = 0 \text{ кПа}, E = 16 \text{ МПа}, \varphi = 23^\circ, e = 0,70-0,72.$$

Г.2 Технические решения

Г.2.1 Укрепление грунтов проектируется методом многоразовой манжетной инъекции в режиме гидроразрыва растворами типа И.

Определение требуемых нормативных показателей инъекции модуль деформации ($E = 30 \text{ МПа}$) выполняют в следующей последовательности:

- определяют средневзвешенное значение коэффициента пористости для ИГЭ 1 – ИГЭ 3 – $e_1 = 0,75$;

- по таблицам ГОСТ 25100 определяют требуемое расчетное значение коэффициента пористости после манжетной инъекции – $e_1 = 0,60$, удовлетворяющее условию средневзвешенного значения модуля деформации $E = 30 \text{ МПа}$ (определяют по СП 22.13330.2016 (таблица Б.1);

При расчетной пористости грунта $e_2 = 0,6$ для грунтов ИГЭ 1 – ИГЭ 3 значение средневзвешенного модуля деформации определяем по формуле

$$E_{\text{мас}} = (E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_3 h_3) / H_{\Sigma}, \quad (\text{Г.1})$$

где $E_{3a} = 23 \text{ МПа}$, $E_{5a} = 35 \text{ МПа}$, $E_{6a} = 35 \text{ МПа}$ – расчетные модули деформации укрепленных грунтов, определенные по СП 22.13330.2016 (таблица Б.1) при коэффициенте пористости $e = 0,6$;

$h_1 = 1,0 \text{ м}$, $h_2 = 2,0 \text{ м}$, $h_3 = 8,0 \text{ м}$ – мощности слоев грунта;

$$E_{\text{мас}} = (23 \cdot 1 + 35 \cdot 2 + 35 \cdot 8) / 11 = 33,9 \text{ МПа}.$$

Условие расчетного значения модуля деформации $E_{\text{мас}} \geq E = 30 \text{ МПа}$ выполнено.

Для укрепления грунтов до расчетной пористости определяем пористость до n_1 и после укрепления:

$$\begin{aligned} n_1 &= e_1 / (1 + e_1); \\ n_1 &= 0,75 / (1 + 0,75) = 0,42; \\ n_2 &= e_2 / (1 + e_2); \\ n_2 &= 0,6 / (1 + 0,6) = 0,37; \\ \Delta n &= n_1 - n_2; \\ \Delta n &= 0,05. \end{aligned}$$

С учетом расположения скважин по сетке с шагом 3–4 м, объем грунта обрабатываемый одной скважиной манжетной инъекции составит 14 м^3 .

Исходя из обрабатываемого объема грунта $V_{\text{гр}} = 14 \text{ м}^3$, а также объема пор для заполнения раствором определяем объем раствора, который нужно инъецировать в грунт для снижения коэффициента пористости с 0,75 до 0,6, по формуле

$$\begin{aligned} V_{\text{раств. на 1м}} &= V_{\text{гр}} \cdot d_n; \\ V_{\text{раств. на 1м}} &= 14 \cdot 0,05 = 0,7 \text{ м}^3. \end{aligned}$$

Исходя из полученных результатов, определяют объемы пор для заполнения инъекционными растворами на одну зону манжеты. При использовании манжетных колонн с горизонтами инъекции 0,5 м получают, что объем раствора на 1 горизонт составляет $0,7/2 = 0,35 \text{ м}^3$. С учетом суммарного коэффициента на потери (принимая равным $\kappa=1,7$), компенсирующим технологические потери раствора при инъекции, а также при распространении раствора в грунте за границы расчетной области, получаем расчетный расход инъекционного раствора – 600 л/манж/горизонт.

Определение расчетного модуля деформации искусственного основания может выполняться и по методикам расчета армированных оснований по разделу 10 СП 22.13330.2016 принимая за значение модуль деформации условного элемента искусственного основания с размерами в сечении, равными условному радиусу закрепления песков микроцементными. Допускается определение модуля искусственного основания по модифицированной модели Хирча как для мелкозернистого бетона в зависимости от объемов и характеристик инъецируемых растворов. При этом в обоих случаях полученное значение модуля не должно превышать значение, определенное по методике настоящего пособия в зависимости от проектируемой пористости укрепляемого грунта, а сама пористость после укрепления должна подтверждаться контрольными работами на участке.

Библиография

- [1] Методические рекомендации по геотехническим мероприятиям инженерной защиты территории от проявления карстово-суффозионных процессов, АО «НИЦ «Строительство», НИИОСП им. Н. М. Герсееванова, Минстрой России, 2017
- [2] Пособие по производству работ при устройстве оснований и фундаментов (к СНиП 3.02.01-83). НИИОСП им. Н.М. Герсееванова, М. 1986
- [3] Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). НИИОСП им. Н.М. Герсееванова, М. 1985
- [4] Рекомендации по струйной технологии сооружения противофильтрационных завес, фундаментов, подготовки оснований и разработки мерзлых грунтов. ВНИИОСП, Москва, 1989
- [5] Рекомендации по применению свай, устраиваемых с использованием струйной геотехнологии. НИИОСП, Лаб.№38, Москва
- [6] Руководство по проектированию илцементных оснований и фундаментов портовых сооружений. 1983
- [7] Рекомендации по уплотнению просадочных грунтов большой мощности гидровзрывным методом. ЦНИИСК, Москва, 1984
- [8] Рекомендации по проектированию и устройству фундаментов из цементогрунта. НИИОСП, 1986
- [9] ВСН 40-88. Проектирование и устройство фундаментов из цементогрунта для малоэтажных сельских зданий. Москва, 1987
- [10] Инструкция по изготовлению и применению грунтобетона в строительстве (СН 23-58). 1958
- [11] НИР по договору №140/2020 от 20.05.2020г. Методические рекомендации. Методы контроля качества искусственных оснований из закрепленных грунтов. АО «НИЦ «Строительство», 2020
- [12] Рекомендации по определению коэффициентов фильтрации лессовых грунтов зондированием. 1979
- [13] НИР по теме: «Выполнение работ по мониторингу и анализу Российских и международных нормативных, технических и методических документов в области проектирования и производства работ по устройству искусственных оснований из закрепленных и армированных грунтов и подготовка предложений по корректировке и дополнению отечественной системы нормативных документов на основе мирового опыта», № 141/2019г., НИИОСП им. Н.М.Герсееванова, АО «НИЦ «Строительство»
- [14] Ибрагимов М.Н., Семкин В.В. Закрепление грунтов инъекцией цементных растворов. АСВ, 2012
- [15] Аншин Л.З., Семкин В.В., Шапошников А.В. Проектируем здания. АСВ, 2015г.
- [16] Ибрагимов М.Н., Семкин В.В., Шапошников А.В. Цементация грунтов инъекцией растворов в строительстве. АСВ, 2017

- [17] Фурсов Л.Ф. Инъектирование и инъекционные растворы. С-Петербург, 2010 г.
- [18] BS EN 12716:2001 - Execution of special geotechnical works. Jet-grouting
- [19] EN 12715:2000 Execution of special geotechnical work – Grouting
- [20] СТО НОСТРОЙ 2.3.18-2011 Освоение подземного пространства. Укрепление грунтов инъекционными методами в строительстве
- [21] EN 14679:2005 Execution of special geotechnical work – Deep mixing
- [22] НИР по договору №573/2015 - ФАУ ФЦС - АО «НИЦ «Строительство» по теме: «Исследование современных методов закрепления грунтов в практике строительства и разработка рекомендаций по усилению грунтов основания при помощи насыщения (пропитки) особо тонкодисперсными вяжущими веществами (ОТДВ) на основе портландцемента»
- [23] Руководство по проектированию илцементных оснований и фундаментов портовых сооружений, НИИОСП, 1983
- [24] НИР по договору № 135/2019 от 20.05.2019г. «Инженерный метод оценки проникающей способности дисперсных грунтов растворами на минеральной и полимерной основах», АО «НИЦ «Строительство», 2019
- [25] Петрухин В.П., Шулятьев О.А., Мозгачева О.А. Новые способы геотехнического проектирования и строительства. // М. АСВ, 2015
- [26] Руководство по проектированию илцементных оснований и фундаментов портовых сооружений, НИИОСП, 1983
- [27] СТО НОСТРОЙ 2.5/126-2013 Устройство грунтовых анкеров, нагелей и микросвай. Правила и контроль выполнения, требования к результатам работ
- [28] СТО 36554501-007-2006 Проектирование и устройство геотехнического барьера вертикального или наклонного методом компенсационного нагнетания
- [29] Токин А.Н. Фундаменты из цементогрунта., М. Стройиздат, 1984
- [30] Шулятьев О.А., Мозгачева О.А. Снижение осадки фундамента за счет изменения напряженно-деформированного состояния основания путем инъекции твердеющего раствора. // М. АСВ
- [31] Шулятьев О.А. Изменение напряженно-деформированного состояния массива грунта или его уплотнение при инъекции // Основание, фундаменты и механика грунтов. – 2016. – № 3
- [32] СНиП 12-03-2001 Безопасность труда в строительстве. Часть 1. Общие требования
- [33] СНиП 12-04-2002 Безопасность труда в строительстве. Часть 2. Строительное производство