

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

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

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ  
И ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ГРУНТОЦЕМЕНТА  
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

**Москва 2020**

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| 1 Область применения .....   | 1  |
| 2 Нормативные ссылки .....   | 2  |
| 3 Термины и определения .....  | 8  |
| 4 Общие положения .....  | 10 |
| 5 Прочностные и деформационные характеристики грунтоцемента,<br>применяемые для расчета методом конечных элементов конструкций из<br>грунтоцемента .....       | 12 |
| 6 Подготовка образцов в лабораторных условиях и хранение .....   | 14 |
| 7 Отбор образцов из конструкций, транспортировка и хранение.....   | 19 |
| 8 Контрольные образцы.....   | 21 |
| 9 Методы испытания грунтоцементов .....  | 22 |
| 9.1 Общие положения .....  | 22 |
| 9.2 Метод одноосного сжатия.....   | 24 |
| 9.3 Метод испытания на растяжение при раскалывании .....   | 27 |
| 9.4 Метод трехосного сжатия.....   | 30 |
| 10 Оценка результатов испытаний .....  | 34 |
| Приложение А Методика определения частного коэффициента на<br>характеристики грунтоцемента, полученные по результатам<br>испытаний лабораторных образцов ..... | 36 |
| Приложение Б Формы заполнения журналов испытаний грунтоцемента на<br>определение прочностных и деформационных свойств.....                                     | 38 |
| Приложение В Формы протоколов испытаний грунтоцемента .....  | 39 |
| Приложение Г Принятые обозначения .....  | 42 |

|  |    |
|--|----|
| Приложение Д Прочностные и деформационные характеристики<br>грунтоцемента, полученные на образцах, изготовленных в<br>лабораторных условиях..... | 43 |
| Приложение Е Определение расхода материалов для изготовления опытных<br>образцов грунтоцемента.....  | 44 |
| Приложение Ж Определение переходного коэффициента к прочности<br>грунтоцемента в возрасте 28 сут .....   | 46 |
| Приложение И Примеры разрушений образцов при испытаниях на объемное<br>сжатие.....   | 47 |
| Библиография.....  | 48 |

## Введение

Настоящее методическое пособие (далее – пособие) разработано в развитие СП 22.13330.2016 «СНиП 2.02.01-83\* Основания зданий и сооружений», СП 45.13330.2017 «СНиП 3.02.01-87 Земляные сооружения, основания и фундаменты», СП 291.1325800.2017 «Конструкции грунтоцементные армированные. Правила проектирования».

Пособие предназначено для специалистов и руководителей проектно-изыскательских и строительных организаций, учреждений и служб заказчика (инвестора) и других заинтересованных организаций, с целью обеспечения их организационно-методическими материалами, которые позволяют разрабатывать и применять высокоэффективные технологические процессы проектирования предприятий, зданий и сооружений, обеспечивающие качество и конкурентоспособность этих объектов.

Пособие по определению механических характеристик грунтоцемента в лабораторных условиях рассматривает методы определения характеристик прочности и деформируемости грунтоцементных конструкций, выполненных по технологиям глубинного перемешивания, струйной цементации и пр., и включает:

- требования по подготовке опытных образцов в лабораторных условиях;
- требования по отбору образцов из конструкций, транспортировке и хранению;
- требования, предъявляемые к контрольным образцам;
- методики испытаний образцов на одноосное сжатие, трехосное сжатие и растяжение при раскалывании;
- требования к оборудованию и приборам для проведения испытаний на одноосное сжатие, трехосное сжатие и растяжение при раскалывании;
- требования к проведению испытаний на одноосное сжатие, трехосное сжатие и растяжение при раскалывании;

- требования к обработке результатов испытаний образцов грунтоцемента на одноосное сжатие, трехосное сжатие и растяжение при раскалывании;
- требования к оценке результатов испытаний образцов.

При разработке настоящего пособия использовались ГОСТ 10180–2012, ГОСТ 18105–2018, ГОСТ 24452–80, ГОСТ 21153.0–75, ГОСТ 21153.2–84, ГОСТ 21153.3–85 и зарубежные нормативные документы в качестве базы для гармонизации [1] – [6], а также учитывались профильные исследования и разработки НИИОСП им. Н.М. Герсевича в этой области за последние несколько десятков лет [7] – [11].

Пособие разработано авторским коллективом АО «НИЦ «Строительство» – НИИОСП им. Н.М. Герсевича (руководители темы – кандидаты техн. наук *И.В. Колыбин, Д.Е. Разводовский*, руководитель разработки – канд. техн. наук *А.В. Скориков*, отв. исп. – инж. *А.А. Брыксина*).

## **1 Область применения**

Рекомендации настоящего пособия распространяются на определение прочностных и деформационных свойств грунтоцементных конструкций на стадии проектирования и изготовления конструкций, выполненных по технологиям глубинного перемешивания, струйной цементации и пр., обеспечивающих улучшение строительных свойств грунтов.

Проверка эффективности проектных параметров грунтоцементных конструкций осуществляется в рамках опытно-производственных работ.

При проектировании грунтоцементных конструкций применительно к гидротехническим сооружениям, сооружениям водного транспорта, мелиоративных систем, магистральных трубопроводов, автомобильных и железных дорог и аэродромов, линий связи и электропередачи, а также кабельных линий другого назначения, кроме требований настоящих рекомендаций, следует выполнять требования соответствующих сводов правил, учитывающих специфику проектирования этих сооружений.

## **2 Нормативные ссылки**

В настоящем пособии использованы ссылки на следующие нормативные документы:

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

ГОСТ 18105–2018 Бетоны. Правила контроля и оценки прочности

ГОСТ 24452–80 Бетоны. Методы определения призмочной прочности, модуля упругости и коэффициента Пуассона

ГОСТ 21153.0–75 Породы горные. Отбор проб и общие требования к методам физических испытаний

ГОСТ 21153.2–84 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном сжатии

ГОСТ 21153.3–85 Породы горные. Методы определения предела прочности при одноосном растяжении

ГОСТ 5180–2015 Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик

ГОСТ 12071–2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов

ГОСТ 12536–2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава

ГОСТ 12248–2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 20522–2012 Грунты. Методы статистической обработки результатов испытаний

ГОСТ 21153.8–88 Породы горные. Метод определения прочности при объемном сжатии

ГОСТ 23732–2011 Вода для бетонов и строительных растворов. Технические условия

ГОСТ 30459–2008 Добавки для бетонов и строительных растворов. Определение и оценка эффективности

ГОСТ 25100–2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 28570–2019 Бетоны. Методы определения прочности по образцам, отобраным из конструкций

ГОСТ 30416–2012 Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения

ГОСТ 31108–2016 Цементы общестроительные. Технические условия

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

СП 24.13330.2011 «СНиП 2.02.03–85 Свайные фундаменты» (с изменениями № 1, № 2, № 3)

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

СП 291.1325800.2017 Конструкции грунтоцементные армированные.  
Правила проектирования

**П р и м е ч а н и е** – При пользовании настоящим пособием целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии 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 стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанием выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего пособия в ссылочном стандарте, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт 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 использованы следующие термины с соответствующими определениями

#### 3.1

**бытовое давление;  $\sigma_{1g}$ :** Вертикальное эффективное напряжение в массиве грунта на данной глубине от веса вышележащих слоев грунта.

[ГОСТ 12248–2010, пункт 3.6]

**3.2 дилатансия:** Процесс увеличения пористости в зоне сдвига с развитием отрицательного избыточного порового давления в недренированных условиях.



### 3.3

**девиатор напряжений:** Разность между главными эффективными напряжениями ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ).

[ГОСТ 12248–2010, пункт 3.4]

**3.4 дезагрегация грунта:** Измельчение грунта на куски величиной от 4 до 6 см.

**3.5 гомогенизация грунта:** Перемешивание грунта для создания однородной структуры.

### 3.6

**грунтоцемент, ГЦ:** Грунт, закрепленный путем его перемешивания с цементным раствором методом струйной цементации или глубинного перемешивания и имеющий механические характеристики, заданные проектом.

[СП 291.1325800.2017, пункт 3.5]

**3.7 керн:** Образец, извлеченный из скважины посредством колонкового бурения, представляет цилиндрический столбик породы или материала, достаточно прочный, чтобы сохранять монолитность.

### 3.8

**прочность грунтоцемента:** Количественный показатель прочности на одноосное сжатие закрепленного грунта, воспринимающего осевую статическую нагрузку до состояния разрушения.

[СП 291.1325800.2017, пункт 3.9]

**3.9 проба грунтоцемента:** Объем грунтоцемента одного состава, из которого одновременно изготавливают одну или несколько серий опытных или контрольных образцов.

**3.10 серия образцов:** Несколько образцов, изготовленных из одной пробы грунтоцемента или отобранных из одной конструкции, твердеющих в одинаковых условиях и испытанных в одном возрасте для определения фактических характеристик.

**3.11 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.

#### **4 Общие положения**

4.1 Настоящее пособие распространяется на определение в лабораторных условиях значений прочности и деформируемости грунтоцементов испытаниями на:

- одноосное сжатие;
- трехосное сжатие;
- растяжение при раскалывании.

4.2 Испытания проводятся на опытных образцах, подготовленных в лаборатории и на опытно-производственном участке, и контрольных образцах, отобранных из конструкций.

4.3 Испытания опытных образцов проводят в соответствии с программой дополнительных изыскательских работ с комплексом лабораторных и опытных полевых работ по устройству грунтоцементных конструкций согласно СП 291.1325800.

Исследования на опытных образцах, подготовленных в лаборатории, проводят с целью определения расхода вяжущего и планирования работы на опытно-производственном участке.

Цель работ на опытно-производственном участке: отработка технологических параметров выбранного метода закрепления грунтов, определение фактических размеров грунтоцементных конструкций, прочностных и деформационных характеристик грунтоцемента.

На прочностные и деформационные характеристики, полученные по опытным образцам, изготовленным в лабораторных условиях, необходимо определять переходной коэффициент, учитывающий реальные инженерно-геологические условия (приложение А).

Лабораторные образцы грунтоцемента рекомендуется изготавливать для каждого грунтового слоя, для которого проектом предусмотрено закрепление, если нет сопоставимого опыта. В случае наличия сопоставимого опыта лабораторные образцы следует изготавливать только для слабых грунтов (текучепластичные глины и суглинки, пластичные супеси с показателем текучести более 0,5, торфы, илы, сапропели).

4.4 При установлении метода испытания грунтоцементов следует учитывать назначение конструкции по СП 291.1325800, категорию проектируемого сооружения по СП 22.13330, контролируемые параметры грунтоцемента по СП 45.13330.

4.5 Общие требования к лабораторным испытаниям, оборудованию и приборам, лабораторным помещениям приведены в ГОСТ 30416. Дополнительные требования приводятся в отдельных методах испытаний настоящего пособия.

4.6 В процессе испытаний грунтов ведут журналы по формам, а при автоматизации процесса испытаний и обработки данных с помощью компьютерных программ результаты опыта выводятся на компьютере в форме паспорта (протокола) испытания. Формы заполнения журналов и образцы протоколов приведены в приложениях Б и В.

4.7 При двухэтапном проектировании предшествующие проектированию изыскания и специальные исследования по подбору рецептуры растворов для цементации грунтов способами струйной технологии и буросмесительными и определению физико-механических характеристик закрепленных грунтов следует уточнять по результатам закрепления грунтов в лабораторных и полевых условиях (приложение А).

4.8 Инженерно-геологические изыскания должны выполняться по специально разработанной дополнительной программе изысканий и соответствовать требованиям СП 22.13330, СП 24.13330 и СП 291.1325800.

4.9 Оценивать качество грунтоцементных конструкций и приемку работ по устройству оснований и фундаментов при строительстве новых зданий и сооружений, а также для реконструируемых, в том числе при расширении объема и изменении назначения эксплуатации, следует в соответствии с требованиями СП 45.13330. Отбор образцов из конструкций следует проводить с учетом требований разделов 7 и 8.

4.10 Принятые в настоящем пособии обозначения приведены в приложении Г.

## **5 Прочностные и деформационные характеристики грунтоцемента, применяемые для расчета методом конечных элементов конструкций из грунтоцемента**

5.1 Грунтоцемент, как конструкционный материал, в зависимости от своих деформационных и прочностных характеристик может рассматриваться как закрепленный грунт с улучшенными характеристиками, так и собственно конструкционный материал. В геотехнических расчетах методом конечных элементов (МКЭ) с построением плоских 2D и пространственных 3D расчетных схем грунтоцемент описывается различными моделями материала, в основе которых заложены следующие критерии прочности:

- критерий Мора-Кулона (применяемый для дисперсных, скальных и полускальных грунтов);
- критерий Хока-Брауна (применяемый для изотропных скальных грунтов).

Для упрощенных расчетов допустимо применение линейно-упругой модели, характерной для жестких конструкционных материалов.

5.2 Для применения, указанных в 5.1 критериев, необходимы следующие характеристики грунтоцемента:

- деформационные: модуль деформации, модуль упругости, коэффициент поперечной деформации (Пуассона);

- прочностные: предел прочности на одноосное сжатие  $R_{stb}$ , сцепление, угол внутреннего трения, константа материала для ненарушенного образца породы  $m_i$ .

Константа материала  $m_i$  для ненарушенного образца породы определяется по следующей зависимости:

$$m_i = \frac{R_{stb}}{R_{tt}}, \quad (1)$$

где  $R_{stb}$  – прочность образца грунтоцемента на одноосное сжатие, кПа, определяемая по 9.2.

$R_{tt}$  – прочность образца грунтоцемента на растяжение, кПа, определяемая по 9.3.

5.3 Деформационные и прочностные характеристики при формировании МКЭ модели – входные параметры, определяющие поведение материала.

Прочностные характеристики грунтоцемента учитываются также при оценке несущей способности основания и фундаментов по материалу.

Предварительную оценку величин сцепления и угла внутреннего трения следует определять по СП 291.1325800.

Для грунтоцемента с большим содержанием глинистых частиц допускается применять значения по приложению Д.

## **6 Подготовка образцов в лабораторных условиях и хранение**

6.1 Изготовление опытных образцов грунтоцемента в лабораторных условиях производится по следующей схеме:

- дезагрегация и гомогенизация природного грунта;
- подготовка раствора вяжущего по заданному водоцементному соотношению (В/Ц);
- перемешивание грунта с раствором связующего для приготовления однородной смеси грунтоцемента (около 10 мин);
- выдержка смеси до формовки;
- заполнение форм смесью.

6.2 Отбор природного грунта для изготовления грунтоцементных образцов проводится по ГОСТ 12071. Образцы грунта разделяются по геологическим слоям. Разновидность и исходные классификационные показатели устанавливаются по ГОСТ 25100. Физические свойства и состав определяются по ГОСТ 5180, ГОСТ 12536.

6.3 При подготовке для испытаний грунты растирают, просеивают через сито 5 мм. Если известно, что размер зерна меньше 5 мм и образец не содержит никаких включений, эту процедуру можно пропустить. Производится контрольное определение влажности по ГОСТ 5180. Если влажность образца грунта изменилась по сравнению с природной, содержание воды в образце грунта следует довести до естественной влажности. Допускается увеличивать расход воды на приготовление вяжущего раствора на долю потери влажности грунта.

6.4 Требуемое количество грунта рассчитывается исходя из объема образцов и количества необходимых образцов-близнецов в серии (приложение Е). Для каждого определения в серии должны быть не менее трех образцов. Общее количество серий образцов определяется числом определяемых параметров по 5.2. Рекомендуется предусматривать дополнительное количество проб грунта в случае последующих или повторных испытаний.

6.5 При получении грунтоцемента на песчаных грунтах следует перемешать грунт и вяжущее вручную в миске для смешивания и быстро заполнить этой смесью пресс-форму, чтобы исключить расслоение материала.

Для песчаных грунтов, склонных к дилатансии, следует не допускать чрезмерного вибрационного воздействия, которое может приводить к уменьшению прочности.

При изготовлении образцов из глинистых грунтов (при перемешивании), смесь может образовывать комки которые следует размять.

6.6 Для устройства образцов грунтоцемента применяются минеральные вяжущие по ГОСТ 31108, разновидности портландцемента по соответствующим нормативным документам (НД), а также микроцементы по соответствующим техническим условиям или СТО на них, зарегистрированным в реестре Минстроя.

Требуемое количество вяжущего определяется коэффициентом содержания вяжущего  $a_w$  (или расходом вяжущего) и количеством образцов. Для получения суспензии вяжущего используются водопроводная вода и цемент.

П р и м е ч а н и е – Применение шлако-щелочных вяжущих, эффективных в глинистых грунтах, в настоящем пособии не рассматривается.

Минимальная оптимальная дозировка вяжущего определяется путем подбора, для этого готовят 3 – 4 пробные смеси, отличающиеся по содержанию вяжущего на 10 % – 15 %. Минимальную дозировку вяжущего, обеспечивающую требуемые механические показатели грунтоцемента, принимают за минимальную оптимальную.

Вода для приготовления смеси должна соответствовать требованиям ГОСТ 23732.

Погрешность дозировки для воды и цемента допускается не более 3 %.

6.7 Для достижения определенных целей, таких как ускорение или замедление скорости отвердевания, можно использовать химические добавки,

которые следует вводить непосредственно в вяжущее. При необходимости с химическими добавками в соответствии с приложением В СП 291.1325800.2017.

Добавки для улучшения свойств растворов (ГОСТ 30459) готовятся заранее в виде раствора повышенной концентрации и вводятся в воду затворения в количестве, обеспечивающем рабочую концентрацию их в нагнетаемом растворе.

6.8 Оптимальная продолжительность смешивания грунта и суспензии вяжущего варьируется в зависимости от: разновидности и количества грунта, типа и количества вяжущего вещества и консистенции грунтоцементной смеси. Вяжущее необходимо тщательно перемешать с грунтом для получения однородной смеси, как правило, в течение 5 – 10 мин. Перемешивание может производиться, как механизировано, так и вручную.

Смеситель должен быть способен равномерно перемешивать грунт и вяжущее. Объем чаши должен обеспечивать изготовление серии образцов-близнецов для испытания их при заданных параметрах.

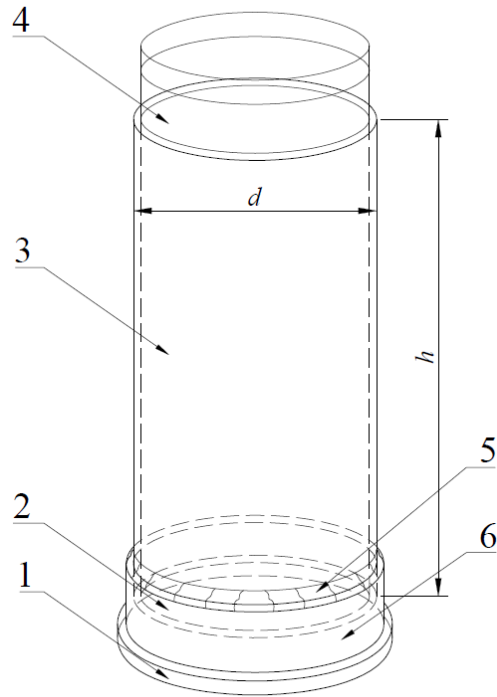
Для приготовления вяжущего используется емкость (обычно металлическая чаша) и резиновый шпатель или ложка для смешивания вяжущего и воды.

6.9 Образцы-цилиндры изготавливают в полых цилиндрических формах с двумя вкладышами. Соотношение высота:диаметр образца назначается равной  $2,0 \pm 0,2$ . Стандартные размеры форм для изготовления образца диаметром 50 мм и высотой 100 мм приведены на рисунке 1. В качестве материала для формы обычно используют чугун, пластик, латунь, бронза.

Внутренняя поверхность формы опытных образцов закрывается вкладышем из двух слоев полимерной пленки для обеспечения возможности удаления образца из формы после отверждения и возможной усадки образца. Вкладыш (поз. 3 на рисунке 1) вставляют так, чтобы он выступал из формы на 1,5 – 2 см. Внутреннюю поверхность формы и вкладыши, перед укладыванием смеси, смазывают керосином или машинным маслом.

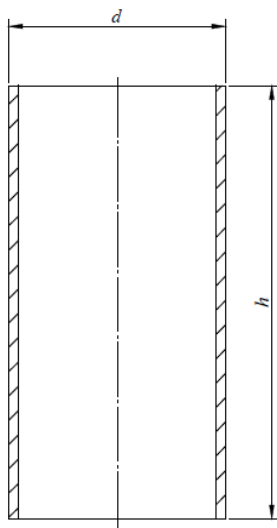


а

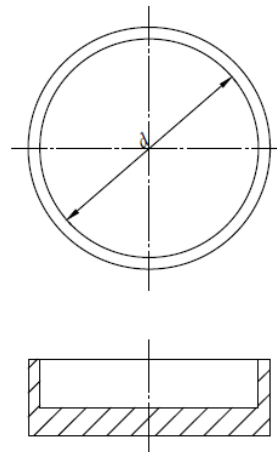
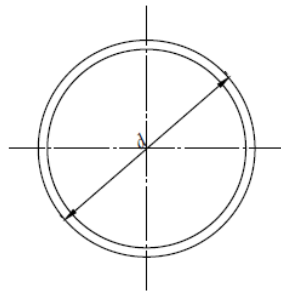


б

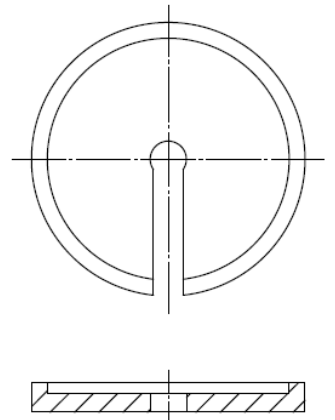
Форма



Колпачок



База



а – в сборе; б – эскизы основных деталей;

1 – база; 2 – защитная изоляция торца; 3 – форма; 4 – защитная изоляции по периметру формы в два слоя; 5 – герметик по периметру; 6 – колпачок

**Рисунок 1 – Форма для изготовления образцов грунтоцемента в лабораторных условиях**

6.10 Форма заполняется грунтоцементом послойно. После заполнения каждого слоя необходимо удалять воздушные пузырьки постукиванием или вибрацией. Процедура удаления воздуха прекращается после того, как на поверхности слоя перестают появляться пузырьки воздуха.

6.11 Содержание воды в стабилизированном грунте следует измерять для каждой смесительной чаши и сравнивать содержание воды до и после смешивания.

6.12 Когда прочность образца становится достаточной, образец извлекается из формы и тщательно отторцовывается. Извлеченный из формы образец следует поместить в полиэтиленовый пакет или обернуть листом из высокополимерной пленки и положить в контейнер для завершения процесса твердения. Чтобы избежать возможной деформации, обернутые образцы не следует укладывать друг на друга.

6.13 Образцы грунтоцемента, предназначенные для определения характеристик прочности и деформируемости хранят 28 сут. Рекомендуется предусматривать контрольные образцы для определений параметров в возрасте 56 сут для грунтоцементов на песчаных грунтах и 90 сут – на глинистых грунтах.

Для получения ориентировочных значений показателя прочности при сжатии в более ранние сроки твердения образцы хранят 7 сут. Определение прочности в пересчете на 28 сут рекомендуется проводить по приложению Ж.

#### П р и м е ч а н и я

1 Запечатанную форму и/или образец следует помещать в контейнер с контролируемой температурой и влажностью.

2 Запечатанную форму и/или образец следует помещать в эксикатор (относительная влажность выше 95 %), который должен быть убран в комнату с контролируемой температурой. Не рекомендуется хранить образцы под водой.

## 7 Отбор образцов из конструкций, транспортирование и хранение

7.1 Способ отбора образцов грунтоцемента должен обеспечить изготовление образцов необходимой численности, размеров. Пробы грунтоцемента для физических испытаний отбирают в виде керна буровых скважин.

7.2 Отбор кернов из конструкции рекомендуется выполнять колонковым алмазным бурением с двойной или тройной трубой диаметром от 66 до 116 мм.

7.2 Количество и расположение грунтоцементных элементов для испытаний назначается проектной организацией, но должно быть не менее двух на каждые сто элементов, расположенных в одинаковых грунтовых условиях согласно СП 45.13330.

7.4 Объем керна, отбираемый из конструкций в пробу, зависит от вида испытаний и линейных размеров образцов, определяемых по таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Номинальные размеры образцов и их количество в пробе

| Вид испытания грунтоцемента   | Диаметр образца $d$ , мм | Высота образца $h$ , мм | Количество образцов в пробе, шт, не менее |
|-------------------------------|--------------------------|-------------------------|---|
| 1 Одноосное сжатие            | Не менее 50              | $2d \pm 0,2$            | 3   |
| 2 Растяжение при раскалывании | 75                       | $d$                     | 3   |
| 3 Трехосное сжатие            | 38; 44; 50; 70           | $2d \pm 0,2$            | 9   |

П р и м е ч а н и е – Максимальный линейный размер неоднородностей в образце должен быть не более 1/10 стороны диаметра; следует отбирать не менее одной пробы для каждого инженерно-геологического элемента; если мощность инженерно-геологического элемента более 5 м, следует отбирать по три образца с каждого метра на всю глубину слоя.

7.5 Для хранения и транспортирования керны грунтоцемента сразу после отбора заворачивают полиэтиленовой пленкой или другими водонепроницаемыми материалами, не вступающими по взаимодействия с грунтоцементом.

Керны маркируются этикетками, на которых следует указывать:

- наименование организации, проводящей конструкции;

- наименование объекта;
- номер грунтоцементного элемента по проекту;
- номер образца;
- глубину отбора образца;
- дату изготовления конструкции;
- дату отбора образца.

Этикетки должны заполняться четко, графитовым карандашом, исключающим возможность обесцвечивания или расплывания записей.

7.6 Керны грунтоцемента, предназначенные для транспортирования в лаборатории, необходимо упаковывать в ящики.

Керны укладывают в ящики со слоем стружки или опилок на дне толщиной не менее 5 см. При укладке монолиты отделяют плотным слоем заполнителя толщиной 3 – 4 см от стен ящика и толщиной 2 – 3 см друг от друга.

В качестве заполнителя используют влажные древесные опилки, стружку или аналогичные им по свойствам материалы (листы пенопласта, воздушно-пузырчатая полиэтиленовая пленка).

Под крышку ящика следует положить ведомость образцов, упакованную в полиэтиленовую пленку или целлофановый пакет. Ящики следует пронумеровать, нанести надписи «Верх», «Хрупкое» или «Не бросать» (особенно если перевозят сторонние организации), и адреса получателя и отправителя.

7.7 Помещения (камеры) для хранения отобранных проб должны быть защищены от солнечных лучей и сквозняков и иметь температуру в пределах  $(10 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

## 8 Контрольные образцы

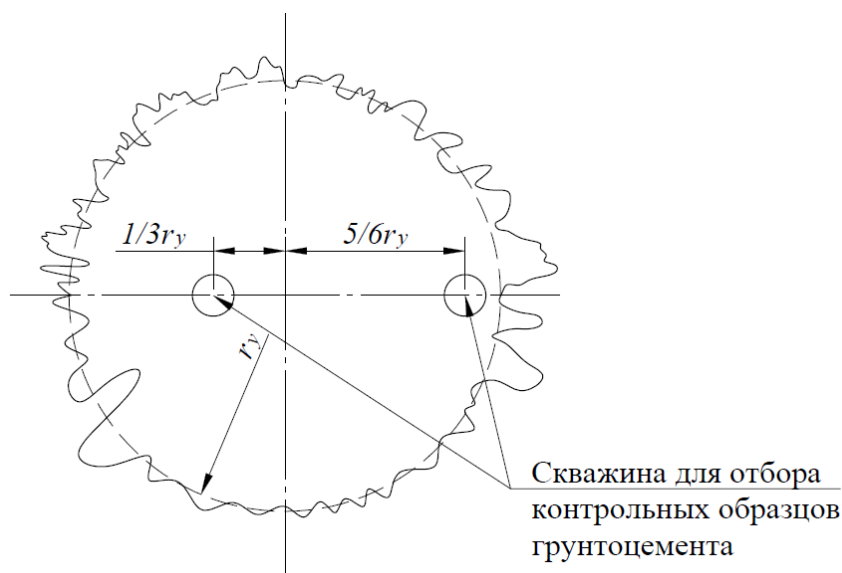
8.1 Контроль качества гунтоцементных конструкций осуществляется путем отбора проб при вскрытии закрепленных элементов контрольными шурфами или отбора керна при бурении контрольных скважин.

Форма и размеры образцов, в зависимости от метода определения механических характеристик, определяются по 7.4.

8.2 Контрольные образцы отбираются из конструкций не ранее чем через 14 сут для грунтоцементов, изготовленных по технологии струйной цементации и 7 сут – для грунтоцементов, изготовленных по технологии глубинного перемешивания. Способ отбора образцов указан в 7.2.

Образцы из неармированных грунтоцементных конструкций следует отбирать согласно СП 45.13330 через каждый метр по глубине и не менее чем в двух точках в горизонтальном сечении на расстоянии от  $1/3$  и  $5/6$  условного/приведенного радиуса закрепления (рисунок 2).

**П р и м е ч а н и е** – При бурении контрольных скважин следует учитывать предельные отклонение от вертикали по таблице 12.1 СП 45.13330.2017.



**Рисунок 2** – Схема отбора контрольных образцов грунтоцемента из конструкций

8.3 Транспортирование и хранение образцов выполняется по 7.5 – 7.7.

## 9 Методы испытания грунтоцементов

### 9.1 Общие положения

9.1.1 Подготовка опытных и контрольных образцов грунтоцемента для испытаний проводится в соответствии с приложением Б ГОСТ 30416–2012.

9.1.2 Нагрузки, задаваемые при испытаниях, должны назначаться с учетом передаваемых на основание давлений и глубины отбора образцов грунтоцемента.

Испытательное оборудование должно обеспечивать создание максимального усилия, которое не менее чем на 20 % – 30 % превышает предельную нагрузку на образец при разрушении.

9.1.3 Статистическую обработку результатов параллельных определений характеристик физико-механических свойств грунтоцементов следует проводить по 10.4.

9.1.4 Погрешность измерений при испытаниях не должна превышать значения, указанные в таблице 2.

т а б л и ц а 2 – Минимальные значения погрешностей измерений

| Измеряемый параметр                              | Значение погрешности |
|--|----------------------|
| 1 Геометрические размеры образца, мм             | 0,1                  |
| 2 Вертикальная деформация образца, мм            | 0,01                 |
| 3 Относительная вертикальная деформация образца  | 0,001                |
| 4 Относительная объемная деформация образца      | 0,005                |
| 5 Прикладываемая нагрузка от ступени нагрузки, % | 5                    |

9.1.5 Все образцы одной серии должны быть испытаны в расчетном возрасте в течение не более 1 ч (методами одноосного сжатия и растяжения) не более  $\pm 1$  суток методом трехосного сжатия.

9.1.6 Перед установкой образца в испытательную машину удаляют частицы грунтоцемента, оставшиеся от предыдущего испытания на опорных плитах испытательной машины.

9.1.7 Шкалу силоизмерителя испытательной машины выбирают из условия, что ожидаемое значение разрушающей нагрузки должно быть в интервале от 20 % до 80 % максимальной нагрузки, допускаемой выбранной шкалой.

9.1.8 Нагружение образцов проводят непрерывно с постоянной скоростью нарастания нагрузки до его разрушения. При этом время нагружения образца до его разрушения должно быть не менее 60 с.

9.1.9 Максимальное усилие, достигнутое в процессе испытания, принимают за разрушающую нагрузку.

9.1.10 Испытания грунтоцементов проводят в помещениях с температурой воздуха  $(22 \pm 2)$  °С.

9.1.11 Результаты лабораторных испытаний заносят в журналы (ведомости) по приложению Б и они должны дополнительно содержать данные о месте отбора образцов (монолитов) и другие необходимые характеристики грунтоцемента.

Страницы журнала должны быть пронумерованы. Журнал должен быть подписан руководителем лаборатории и исполнителями.

9.1.12 Протокол испытания должен включать в себя:

- идентификацию образца (номер пробы, номер испытания, глубину отбора, и т.п.);
- начальные размеры образца;
- использованный метод испытаний;
- таблицу результатов испытаний (нагрузки-деформации);
- график испытаний;
- числовые значения полученных величин.

При необходимости допускается приводить и другую (дополнительную) информацию, пример оформления протокола приведен в приложение В.

## **9.2 Метод одноосного сжатия**

### **9.2.1 Сущность метода**

Одноосное сжатие проводится для определения предела прочности на одноосное сжатие  $R_{stb}$ .

Дополнительно может быть определен модуль деформации, модуль упругости, коэффициент поперечной деформации (Пуассона).

Предел прочности на одноосное сжатие  $R_{stb}$  определяют как отношение приложенной к образцу вертикальной нагрузки, при которой происходит разрушение образца, к площади его первоначального поперечного сечения.

Образец должен быть в форме цилиндра размерами по таблице 1.

**П р и м е ч а н и е** – Допускается испытание образцов в форме прямоугольного параллелепипеда (квадратного сечения) стороной квадрата от 50 до 100 мм и отношением высоты к диаметру, равным 1,8 – 2,2. Максимальный линейный размер зерен (неоднородностей) в образце должен быть не более 1/10 стороны квадрата образца.

### **9.2.2 Оборудование и приборы**

Испытание грунтоцемента на одноосное сжатие проводится на оборудовании, в состав которого должны входить:

- механизм для вертикального нагружения образца;
- устройство для измерения вертикальной деформации образца;
- устройство для измерения поперечной деформации образца (по заданию).

**П р и м е ч а н и е** – Точность измерения вертикальной нагрузки на образец должна составлять 0,001.

Для равномерной передачи нагрузки верхняя плита должна быть оснащена шарнирным устройством, обеспечивающим плотный контакт с верхним торцом образца.



Стальная плита должна быть толщиной не менее  $0,3$  диаметра  $d$  (стороны квадрата) образца и диаметром, на  $3 - 5$  мм превышающим диаметр (диагональ квадрата  $d\sqrt{2}$ ) образца.

### 9.2.3 Проведение испытания

Нагружение образца грунтоцемента проводят равномерно, без ударов, увеличивая нагрузку непрерывно с заданной скоростью нагружения или ступенями. Скорость непрерывного нагружения образца грунтоцемента должна составлять в зависимости от значения  $R_{stb}$  –  $0,1$  МПа/с, а при ступенчатом нагружении – приниматься равной  $10\%$  значения  $R_{stb}$ .

Нагружение образца грунтоцемента проводят с заданной скоростью приращения относительной вертикальной деформации образца, выбирая ее в зависимости от предполагаемой прочности грунтоцемента  $R_{stb}$  так, чтобы время проведения испытания составило  $0,5 - 5$  мин, что обычно соответствует скорости  $0,5\% - 2\%$  за  $1$  мин. Более низкую скорость выбирают для образцов с меньшими деформациями при разрушении.

Вертикальные деформации образца измеряют с погрешностью, указанной в таблице 2, и регистрируют их в процессе нагружения не менее чем при  $10$  значениях напряжения до разрушения.

Испытание проводят до разрушения образца, т.е. до достижения максимального значения вертикальной нагрузки.

Для определения модуля деформации и модуля упругости грунтоцемента испытание не доводят до разрушения образца, останавливая его при напряжении  $50\% - 60\%$  значения  $R_{stb}$ . При необходимости проводят разгрузку образца в той же последовательности, что и нагрузку.

Для определения коэффициента поперечной деформации и коэффициента Пуассона грунтоцемента в процессе испытания измеряют поперечные деформации образца при нагружении и разгрузке.

## 9.2.4 Обработка результатов

Предел прочности на одноосное сжатие  $R_{stb}$ , МПа, грунтоцемента вычисляют с точностью 0,1 МПа по формуле

$$R_{stb} = 10 \frac{F}{A_0}, \quad (2)$$

где  $F$  – нагрузка, при которой происходит разрушение, кН;

$A_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца грунтоцемента, см<sup>2</sup>.

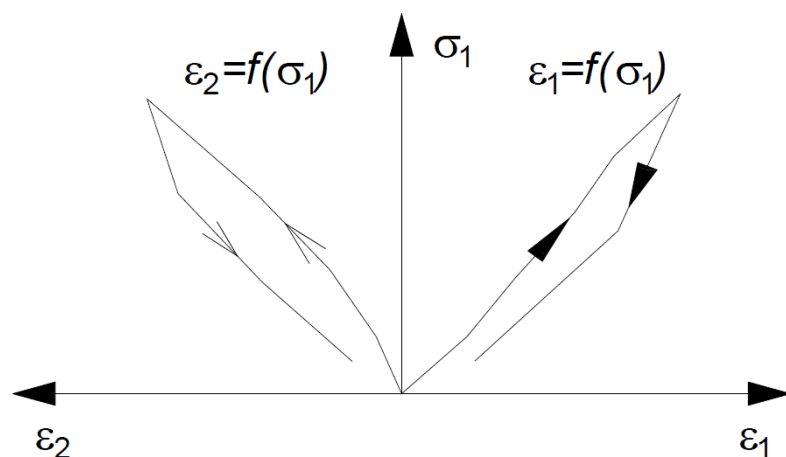
Для вычисления деформационных характеристик грунтоцемента по значениям вертикальных и поперечных деформаций образца, соответствующих различным вертикальным напряжениям  $\sigma_1$ , строят графики зависимости  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$  и  $\varepsilon_2 = f(\sigma_1)$  (см. рисунке 3), где  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  – продольные и поперечные относительные деформации образца.

Модуль деформации  $E$  и коэффициент поперечной деформации  $\vartheta$  в заданном диапазоне напряжений  $\Delta\sigma$  вычисляют по нагрузочным ветвям зависимостей  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$  и  $\varepsilon_2 = f(\sigma_1)$  по формулам:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_1}; \quad (3)$$

$$\vartheta = \frac{\Delta\varepsilon_2}{\Delta\varepsilon_1}. \quad (4)$$

Модуль упругости  $E_{ur}$  и коэффициент Пуассона  $\vartheta_{ur}$  вычисляют в этом же диапазоне напряжений по формулам (3) и (4), в которых значения  $\Delta\varepsilon_1$  и  $\Delta\varepsilon_2$  принимают по разгрузочным ветвям зависимостей  $\varepsilon_1 = f(\sigma_1)$  и  $\varepsilon_2 = f(\sigma_1)$ .



**Рисунок 3 – Пример графического оформления результатов испытания для определения деформационных характеристик грунтоцемента**

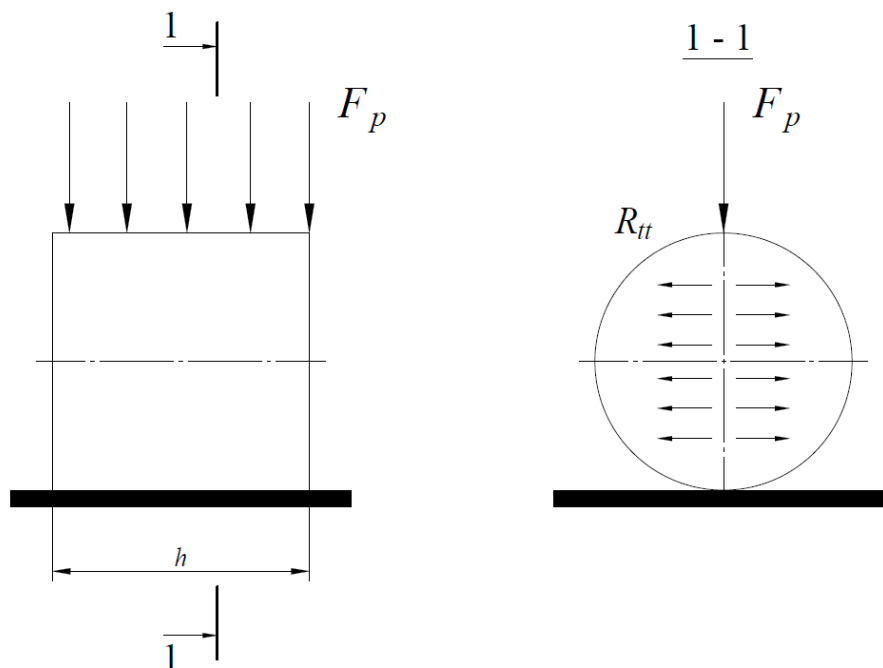
### **9.3 Метод испытания на растяжение при раскалывании**

#### **9.3.1 Сущность метода**

Метод предназначен для проведения испытаний с целью определения предела прочности грунтоцемента на одноосное растяжение  $R_{tt}$  при раскалывании по заданному сечению образца.

Испытания проводятся на цилиндрических образцах. Испытание каждого образца заключается в измерении значения разрушающей силы, приложенной через стальные встречно направленные плиты или клинья нагрузочного устройства к образующим образца на его диаметральном сечении, ориентированном заданным способом относительно отбора керна из конструкции (рисунок 4).

Предел прочности на одноосное растяжение  $R_{tt}$  определяют как отношение приложенной к образцу разрывающей нагрузки по главной оси, при которой происходит разрушение образца, к площади его поперечного сечения.



**Рисунок 4 – Схема метода испытания образцов на растяжение при раскалывании**

### **9.3.2 Оборудование и приборы**

Испытание грунтоцемента на одноосное растяжение проводится на оборудовании, в состав которого должны входить:

- механизм для вертикального нагружения образца;
- цилиндрический сегментный шарнир, применяют как обязательный при отсутствии на испытательной машине верхней подвесной сферической плиты и располагают между опорой испытательной машины и плитой (клином).

**П р и м е ч а н и е** – Точность измерения вертикальной нагрузки на образец должна составлять 0,001.

Для равномерной передачи нагрузки верхняя плита должна быть оснащена шарнирным устройством, обеспечивающим плотный контакт с верхним торцом образца.

Стальная плита должна быть толщиной не менее 0,3 диаметра  $d$  (стороны квадрата) образца и диаметром, на 3 – 5 мм превышающим диаметр (диагональ квадрата  $d\sqrt{2}$ ) образца.

### 9.3.3 Проведение испытаний

Между опорными пластинами испытательной машины и образцом устанавливают прокладку из фанеры (использовать не более двух раз) или картона (использовать не более одного раза) длиной не менее длины образца, шириной  $(15 \pm 1)$  мм и толщиной  $(4 \pm 1)$  мм для равномерной передачи усилия на образец.

Образец между опорными пластинами следует располагать так, чтобы верхняя и нижняя линии диаметральной плоскости образца совпадали с центром опорных поверхностей с точностью до  $\pm 1$  мм. С помощью держателя или временных опор проверяют, чтобы образец был отцентрирован при первоначальном приложении нагрузки.

Нагружение образца грунтоцемента раскалывающей нагрузкой проводят равномерно, без ударов, увеличивая нагрузку непрерывно с заданной скоростью нагружения или ступенями. Скорость непрерывного нагружения образца грунтоцемента должна составлять, в зависимости от значения  $R_{tt}$ , от 0,01 до 0,05 МПа/с (меньшие значения скорости нагружения соответствуют меньшим значениям прочности грунтоцемента), а при ступенчатом нагружении – приниматься равной 5 % – 10 % значения  $R_{tt}$ .

Испытание проводят до разрушения образца, т.е. до достижения максимального значения вертикальной нагрузки на растяжение.

### 9.3.4 Обработка результатов

Предел прочности на одноосное растяжение  $R_{tt}$ , МПа, грунтоцемента вычисляют с точностью 0,1 МПа по формуле

$$R_{tt} = 10 \frac{F_p}{A_0}, \quad (5)$$

где  $F_p$  – нагрузка, при которой происходит разрушение растяжением, кН;

$A_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца грунтоцемента, см<sup>2</sup>.

## 9.4 Метод трехосного сжатия

### 9.4.1 Сущность метода

Метод для определения характеристик прочности и деформируемости в условиях осесимметричного нагружения цилиндрических образцов. Сущность метода заключается в разрушении образца нагрузкой, приложенной вертикально к торцам цилиндрического образца через плоские плиты в условиях всестороннего сжатия гидростатическим или пневматическим способом при

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 = \sigma_3,$$

где  $\sigma_1$  – максимальное главное вертикальное напряжение;

$\sigma_2, \sigma_3$  ( $\sigma_{2,3}$ ) – минимальные главные напряжения, они же всестороннее сжатие.

Испытания образцов проводят до разрушения образца, приложением вертикальной нагрузки при заданном всестороннем давлении (давлении в камере)  $\sigma_{2,3}$  на образец.

**П р и м е ч а н и е** – При соответствующем обосновании могут быть приняты другие траектории нагружения образца грунтоцемента при испытаниях, в том числе с контролем остаточных деформаций.

Испытания проводят не менее чем для трех идентичных образцов исследуемого грунтоцемента при заданных значениях всестороннего давления (давления в камере) на образец  $\sigma_{2,3}$ .

Предварительное обжатие образцов грунтоцемента всесторонним давлением выполняют до восстановления природной плотности в один этап в течении не менее 15 мин.

Испытания проводят по неконсолидированной схеме, без водонасыщения. При соответствующем обосновании возможно проведение испытаний по консолидированной схеме.

## 9.4.2 Оборудование и приборы

Испытание грунтоцемента на трехосное сжатие проводится на оборудовании, в состав которого должны входить:

- камера трехосного сжатия с набором жестких сплошных штампов и уплотнителей к ним;
- устройство для создания, поддержания и измерения давления в камере;
- механизм для вертикального нагружения образца;
- устройства для измерений вертикальных и объемных деформаций образца, вертикальной нагрузки.

**П р и м е ч а н и е** – Точность измерения вертикальной нагрузки на образец должна составлять 0,001.

Принципиальную схему камеры трехосного сжатия следует принимать по ГОСТ 12248 и ГОСТ 21153.8.

Измерительные устройства (приборы), дополнительно к 9.1.4, должны обеспечивать погрешность измерений не более:

- 1 кПа – при измерении напряжения от веса штампа;
- 2 % заданного – при измерении давления в камере.

## 9.4.3 Проведение испытаний

Образец грунтоцемента устанавливается в резиновую оболочку. Диаметр резиновой оболочки в нерастянутом состоянии должен составлять 0,95 – 1,0 диаметра образца, толщина – не более 1 % диаметра образца и модуль упругости при растяжении – не более 1600 кПа (для оболочки из латексной резины модуль упругости равен 1400 кПа).

Образец изолируют от жидкости, передающей гидростатическое давление, вместе с приложенными к его торцам стальными плитами (при изоляции боковых

поверхностей образца и плит трубчатой резиной), либо отдельно от них сплошным покрытием образца двух-трехкратным слоем клея.

Изолированный образец устанавливают в рабочую полость камеры объемного сжатия в сборе с плитами или прокладывая их между торцами образца и опорными торцами нагрузочных элементов камеры.

После установки образца грунтоцемента проводят следующие операции:

- корпус камеры с поднятым в верхнее положение и зафиксированным штоком устанавливают на основание и проверяют положение штока по отношению к центру образца;
- корпус камеры закрепляют на основании;
- заполняют камеру рабочей жидкостью или воздухом (в случае пневмонагружения);
- устанавливают устройство для измерения вертикальной деформации образца;
- записывают начальные показания всех измерительных устройств.

Предварительное обжатие образцов грунтоцемента всесторонним давлением проводят в один этап в течении 15 мин.

Показания прибора для измерения вертикальной деформации образца грунтоцемента записывают не реже чем через 1 % деформации при кинематическом режиме или в конце каждой ступени нагрузки при статическом режиме нагружения.

Поддерживая заданное значение бокового давления с погрешностью, указанной в 9.1.4, нагружают образец вдоль оси до разрушения в кинематическом режиме (скорость нагружения 0,1 – 0,5 МПа/с) или ступенями – статический режим.

В статическом режиме вертикальное давление на образец передается ступенями, равными 10 % заданного всестороннего давления в камере. Критерий завершения ступени нагружения – достижение скорости деформации. Скорость деформации выбирается в зависимости от предполагаемого поведения материала вязкого или хрупкого и определяется по таблице 3.



Т а б л и ц а 3 – Значения скорости деформации

| Прочность грунтоцемента на одноосное сжатие $R_{stb}$ , МПа | Скорость деформации, мм/с |
|---|---------------------------|
| <2  | 0,01                      |
| 2–7   | 0,1                       |
| >7  | 1                         |

П р и м е ч а н и е – Образцы с малым сроком твердения следует испытывать на меньших скоростях нагружения. Грунтоцементы с большим содержанием песчаных частиц при значениях прочности на одноосное сжатие 5 МПа и более рекомендуется испытывать со скоростью нагружения 1 мм/с.

Приложение вертикальной нагрузки обеспечивается непрерывным приращением вертикальной деформации образца грунтоцемента  $\varepsilon_1$  со скоростью 0,5 % – 2 % в 1 мин.

Момент разрушения фиксируют по максимальному значению осевой нагрузки.

По результатам обработки испытаний грунтоцемента в условиях трехосного сжатия для каждого из образцов составляется протокол испытания, в котором дополнительно к 9.1.12 фиксируется:

- максимальное вертикальное напряжение при разрушении  $\sigma_{1,max}$ ;
- осевая деформация образца при разрушении  $\varepsilon_{1,max}$ ;
- давление всестороннего обжатия  $\sigma_3$ ;
- модуль деформации  $E$ , МПа;
- модуль деформации при разгрузке / повторном нагружении  $E_{ur}$ , МПа.

При необходимости определяют влажность испытанного образца. Для этого выбирают обломки образца без следов проникновения рабочей жидкости, помещают их в бюксы не позже чем через 10 мин после выполнения испытаний. Дальнейшие операции – по ГОСТ 5180. Влажность фиксируют в журнале испытаний.

#### 9.4.4 Обработка результатов

По результатам испытания образца грунтоцемента в условиях трехосного сжатия вычисляют:

- предел прочности грунтоцемента при объемном сжатии  $R_{stb}^{объемн}$ , МПа, при заданном значении всестороннего обжатия  $\sigma_3$  по формуле

$$R_{stb}^{объемн} = 10 \frac{\sigma_{1,max}}{A_0}, \quad (6)$$

где  $\sigma_{1,max}$  – максимальное вертикальное напряжение при разрушении, кН;

$A_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца грунтоцемента, см<sup>2</sup>.

**Построение паспорта прочности грунтоцементов и определение прочностных характеристик следует проводить по ГОСТ 21153.8. Определение деформационных характеристик – выполнять в соответствии с ГОСТ 12248.**

### 10 Оценка результатов испытаний

10.1 Разрушенный образец подвергают визуальному осмотру. В журнале испытаний отмечают:

- наличие крупных (объемом более 1 см<sup>3</sup>) раковин и каверн внутри образца;
- наличие зерен заполнителя размером более 0,25*d*, комьев грунта, следов расслоения.

Результаты испытаний образцов с перечисленными дефектами структуры и характером разрушения в процессе отбора образца или при транспортировании, не учитывают.

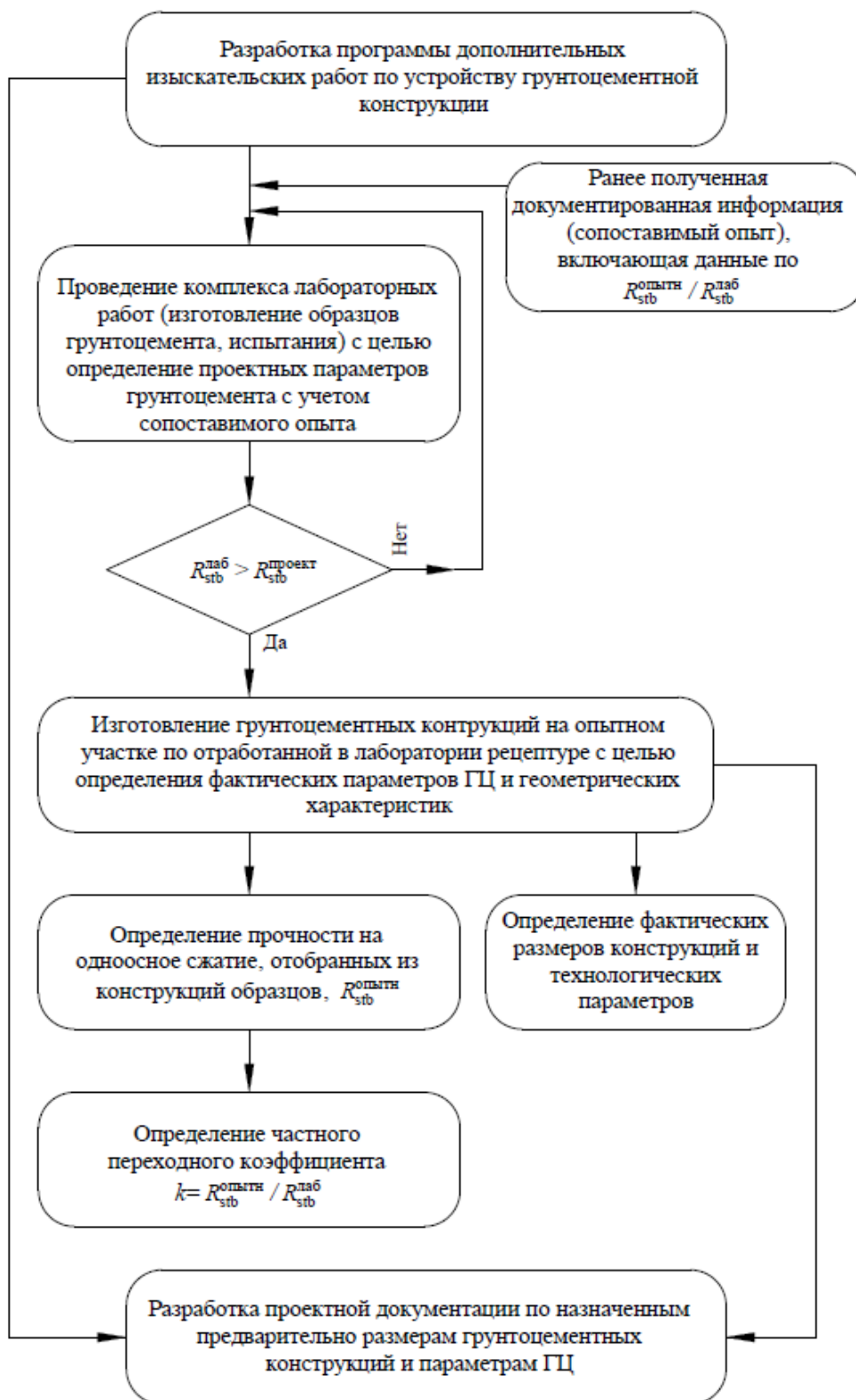
10.2 Результат испытаний на растяжение при раскалывании не учитывают, если разрушение образца произошло не в рабочей зоне или плоскость разрушения образца наклонена к его горизонтальной оси более чем на 15 °.

10.3 Характерные виды разрушения образцов грунтоцемента при испытании на трехосное сжатие приведены в приложении И.

10.4 Статистическую обработку результатов испытаний следует выполнять в соответствии с требованиями ГОСТ 20522 для грунтоцементов, прочность которых до 5 МПа, и по ГОСТ 28570 для грунтоцементов, прочность которых более 5 МПа.

## Приложение А

### Методика определения частного коэффициента на характеристики грунтоцемента, полученные по результатам испытаний лабораторных образцов



Т а б л и ц а А.1 – Рекомендуемые значения  $R_{stb}^{опытн} / R_{stb}^{лаб}$

| Грунт                             | Глинистые грунты | Песчаные грунты | Подводное закрепление |
|-----------------------------------|------------------|-----------------|-----------------------|
| $R_{stb}^{опытн} / R_{stb}^{лаб}$ | 0,5 ... 0,2      | 1 ... 0,5       | 1                     |

## Приложение Б

### Формы заполнения журналов испытаний грунтоцемента на определение прочностных и деформационных свойств

#### Журнал испытания грунтоцемента методом одноосного сжатия

Журнал № 1

Номер образца \_\_\_\_\_

| Дата<br>испытания | Разрушающая сила $F$ , МПа |                                   | Относительная<br>вертикальная<br>деформация в<br>момент<br>разрушения $\varepsilon$ | Предел прочности образца<br>грунтоцемента на одноосное<br>сжатие $R_{sib}$ , МПа, в состоянии |                 | Примечание |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|---|-----------------|------------|
|                   | при природной<br>влажности | в<br>водонасыщенном<br>состоянии* |   | природной<br>влажности  | водонасыщенном* |            |
| 1                 | 2                          | 3                                 | 4   | 5   | 6               | 7          |

\* При необходимости.

Журнал № 2

Номер образца \_\_\_\_\_

| Нагрузка<br>$P$ , кН | Напряжение<br>$\sigma$ , МПа | Показания датчиков<br>деформаций |       |       |                  |       |       | Средние значения<br>показаний датчиков<br>деформаций |                  | Приращение<br>показаний датчиков<br>деформаций |                  | Относительные<br>деформации образцов<br>$\varepsilon \cdot 10^{+5}$ |                  |
|----------------------|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|--|------------------|--|------------------|---|------------------|
|                      |                              | продольны<br>$e$                 |       |       | поперечны<br>$e$ |       |       | продольны<br>$e$                                     | поперечны<br>$e$ | продольны<br>$e$                               | поперечны<br>$e$ | продольны<br>$e$  | поперечны<br>$e$ |
|                      |                              | $h_1$                            | $h_2$ | $h_i$ | $d_1$            | $d_2$ | $d_i$ | $\bar{h}$  | $\bar{d}$        | $\Delta h$                                     | $\Delta d$       | $\varepsilon_1$   | $\varepsilon_2$  |
| 1                    | 2                            | 3                                | 4     | 5     | 6                | 7     | 8     | 9  | 10               | 11   | 12               | 13  | 14               |

#### Журнал испытания грунтоцемента методом трехосного сжатия

Номер образца \_\_\_\_\_

| Дата<br>испытания | Время<br>снятия<br>отсчета $t_i$ ,<br>ч | Давление<br>в<br>камере $\sigma_3$ ,<br>МПа | Вертикальная нагрузка          |   |                         | Вертикальные деформации    |  |   |
|-------------------|---|---|--------------------------------|---|-------------------------|----------------------------|--|---|
|                   |   |   | Осевая<br>нагрузка<br>$F$ , кН | Площадь<br>образца<br>$A_i$ , см <sup>2</sup> | Давление<br>$p_i$ , МПа | Показания<br>по<br>прибору | Деформация<br>с поправкой<br>$\Delta h$ , мм | Относительная<br>деформация $\varepsilon_1$ |
| 1                 | 2                                       | 3   | 4                              | 5   | 6                       | 7                          | 8  | 9   |

Окончание

| Объемные деформации  |   |   | Вертикальное<br>напряжение $\sigma_1$ ,<br>МПа | Примечание |
|----------------------|---|---|--|------------|
| Показания по прибору | Объемная деформация с<br>поправкой $\Delta V$ , см <sup>3</sup> | Относительная<br>деформация $\varepsilon_v$ |  |            |
| 10                   | 11  | 12  | 13   | 14         |

#### Журнал испытания грунтоцемента методом растяжения раскалыванием

Номер образца \_\_\_\_\_

| Дата<br>испытания | Разрушающая сила $F$ , МПа |                                   | Предел прочности образца<br>грунтоцемента на одноосное<br>растяжение $R_t$ , МПа, в состоянии |                 | Примечание |
|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|---|-----------------|------------|
|                   | при природной<br>влажности | в<br>водонасыщенном<br>состоянии* | природной<br>влажности  | водонасыщенном* |            |
| 1                 | 2                          | 3                                 | 4   | 5               | 6          |

\* При необходимости.

## Приложение В

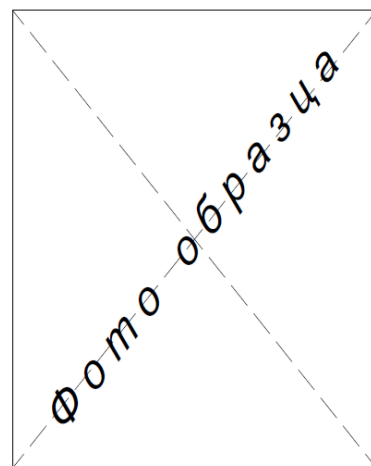
### Формы протоколов испытаний грунтоцемента

#### ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 000

Результаты испытания грунтоцемента методом одноосного сжатия

**Организация (лаборатория):**  
**Объект строительства:**  
**Основание:** договор №  
**№ регистрации ИЦ:**  
**НД на испытание:**  
**Дата проведения испытания:**  
**Оборудование:**  
**Сертификат о калибровке №:**

Лабораторный номер образца  
 Объем образца, мм<sup>3</sup>  
 Диаметр образца, мм  
 Высота образца, мм  
 Масса образца, г  
 Режим нагружения  
 Скорость нагружения, мм/мин  
 Дата изготовления образца  
 Возраст образца, сут  
 Абс.отм. отбора образца



| Физические свойства грунта           |              |                                   | Результаты испытания     |  |  |                           |  |                      |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--|---------------------------|--|----------------------|
| Плотность образца, г/см <sup>3</sup> | Влажность, % | Соотношение «Вода: Грунт: Цемент» | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность образца на одноосное сжатие, МПа | Средняя прочность на одноосное сжатие, МПа | Модуль деформации* Е, МПа | Модуль деформации при рагрузке/повторном нагружении* Е <sub>ur</sub> , МПа | Коэффициент Пуассона |
|                                      |              |                                   |                          |  |  |                           |  |                      |
|                                      |              |                                   |                          |  |  |                           |  |                      |
|                                      |              |                                   |                          |  |  |                           |  |                      |

\* При необходимости.

Составил: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

## ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 000

### Результаты испытания грунтоцемента методом трехосного сжатия

**Организация (лаборатория):**

**Объект строительства:**

**Основание:** договор №

**№ регистрации ИЦ:**

**НД на испытание:**

**Дата проведения испытания:**

**Оборудование:**

**Сертификат о калибровке №:**

Лабораторный номер образца

Объем образца, мм<sup>3</sup>

Диаметр образца, мм

Высота образца, мм

Масса образца, г

Режим нагружения

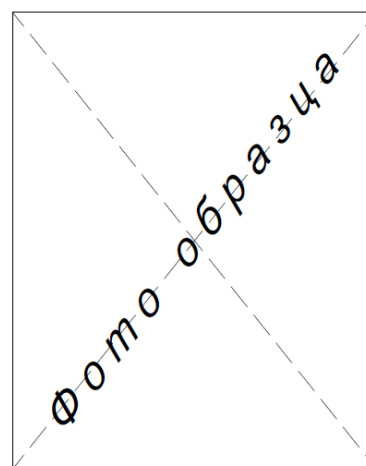
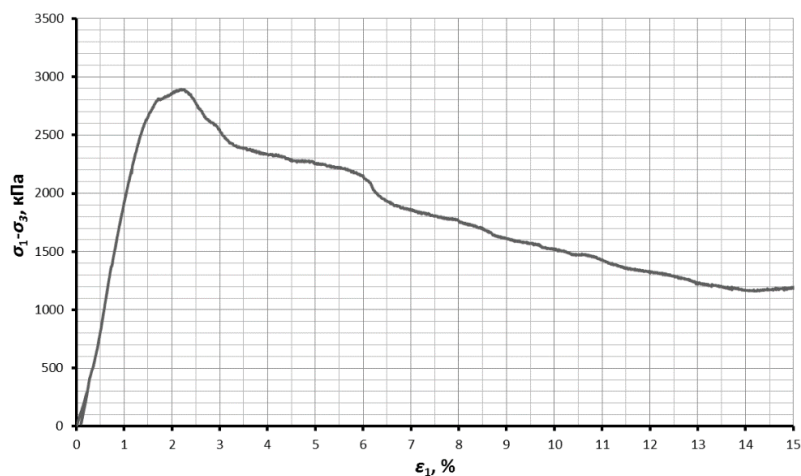
Скорость нагружения, мм/мин

Дата изготовления образца

Возраст образца, сут

Абс.отм. отбора образца

| Физические свойства грунтоцемента    |              |                                   | Результаты испытания                          |  |   |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|---|--|---|
| Плотность образца, г/см <sup>3</sup> | Влажность, % | Соотношение «Вода: Грунт: Цемент» | Всестороннее давление $\sigma_3$ , кПа        | Разрушающее давление, $\sigma_{1,max}$ , кПа | $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ , кПа                                 |
|                                      |              |                                   |   |  |   |
|                                      |              |                                   | Деформация при разрушении $\varepsilon_1$ , % | Модуль деформации $E$ , МПа                  | Модуль деформации при разгрузке/повторном нагружении $E_{ur}$ , МПа |
|                                      |              |                                   |   |  |   |



Составил: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_



# ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 000

Результаты испытания грунтоцемента методом растяжения при раскалывании

**Организация (лаборатория):**

**Объект строительства:**

**Основание:** договор №

**№ регистрации ИЦ:**

**НД на испытание:**

**Дата проведения испытания:**

**Оборудование:**

**Сертификат о калибровке №:**

Лабораторный номер образца

Объем образца, мм<sup>3</sup>

Диаметр образца, мм

Высота образца, мм

Масса образца, г

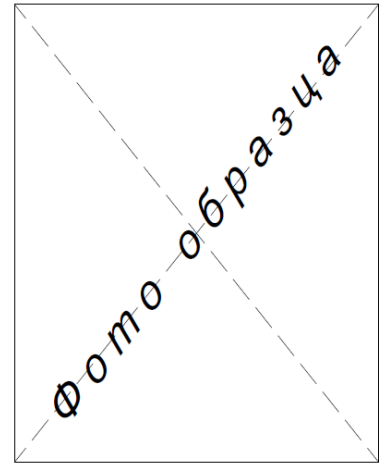
Режим нагружения

Скорость нагружения, мм/мин

Дата изготовления образца

Возраст образца, сут

Абс.отм. отбора образца



| Физические свойства грунтоцемента    |              |                                   | Результаты испытания     |  |                                      |
|--------------------------------------|--------------|-----------------------------------|--------------------------|--|--------------------------------------|
| Плотность образца, г/см <sup>3</sup> | Влажность, % | Соотношение «Вода: Грунт: Цемент» | Разрушающая нагрузка, кН | Прочность образца на растяжение $R_{tt}$ , МПа | Средняя прочность на растяжение, МПа |
|                                      |              |                                   |                          |  |                                      |
|                                      |              |                                   |                          |  |                                      |
|                                      |              |                                   |                          |  |                                      |

Составил: \_\_\_\_\_

Проверил: \_\_\_\_\_

## Приложение Г

### Принятые обозначения

В настоящем пособии использованы следующие обозначения:

Г.1 В/Ц – водоцементное отношение, определяемое по формуле

$$\text{В/Ц} = \frac{W_m(1+C)-w}{C}, \quad (\text{Г.1})$$

где  $W_m$  – влажность грунтоцементной смеси  $W_m = (1 \div 1,3)w_L$ ,

$w_L$  – влажность на границе текучести, %, ГОСТ 5180,

$w$  – влажность грунта природного сложения, %, ГОСТ 5180,

$C$  – количество цемента от массы сухого грунта  $m_D$ , %.

Г.2  $a_w$  – коэффициент содержания вяжущего, %, определяемый по формуле

$$a_w = \frac{m_H}{m_D} \cdot 100 \%, \quad (\text{Г.2})$$

где  $m_H$  – вес вяжущего, г,

$m_D$  – вес сухого грунта, г.

Г.3  $d$  – диаметр образца грунтоцемента, мм.

Г.4  $R_{stb}$  – прочность грунтоцемента на одноосное сжатие, кН/м<sup>2</sup>.

Г.5  $R_{tt}$  – прочность грунтоцемента на одноосное растяжение, кН/м<sup>2</sup>.

Г.6  $\sigma_{1,\max}$  – вертикальные напряжения разрушения, кН/м<sup>2</sup>, при заданных давлениях бокового обжатия  $\sigma_{2,3}$ , кН/м<sup>2</sup>.

Г.7  $\varepsilon_{1,\max}$  – осевая деформация образца при разрушении.

## Приложение Д

### Прочностные и деформационные характеристики грунтоцемента, полученные на образцах, изготовленных в лабораторных условиях

Т а б л и ц а Д.1 – Ориентировочные значения прочностных и деформационных характеристик грунтоцементов с большим содержанием глинистых частиц

| Параметры грунтоцементов, изготовленных на основе тяжелых суглинков с числом пластичности<br>$I_p=12-13$ |   |  |  |                                       |                                 |
|--|---|--|--|---------------------------------------|---------------------------------|
| Характеристика<br>грунтоцементной<br>смеси   | Нормативное<br>сопротивление<br>сжатию, МПа | Модуль<br>деформации<br>элемента<br>закрепления<br>$E$ , МПа | Нормативный<br>угол<br>внутреннего<br>трения $\varphi$ | Нормативное<br>сцепление $c$ ,<br>МПа | Константа<br>материала<br>$m_i$ |
| Расход цемента<br>$a_w=30\% - 50\%$ ,<br>влажность<br>$W=40\% - 45\%$                                    | 0,8 – 1,2                                   | 80 – 110   | 23 °   | 0,3                                   | 2,2                             |
| Расход цемента<br>$a_w=90\% - 110\%$ ,<br>влажность<br>$W=78\% - 83\%$                                   | 1,5 – 3,0                                   | 100 – 180  | 18 °   | 1,2                                   | 8,2                             |

## Приложение Е

### Определение расхода материалов для изготовления опытных образцов грунтоцемента

Т а б л и ц а Е.1

|   |   |  |   |  |
|---|---|--|---|--|
| Характеристики<br>образца   | Тип связующего  |  | Добавка <sup>1)</sup>                   |  |
|   | Содержание<br>вяжущего $A_w$ , %                              |  | Количество<br>добавки <sup>2)</sup> , % |  |
|   | Содержание<br>вяжущего, кг/м <sup>3</sup>                     |  | Число образцов, $n$                     |  |
|   | Тип воды для<br>затворения раствора                           |  | Размеры формы<br>(объем формы $V$ )     | $d$ см $\times$ $h$ см<br>(      см <sup>3</sup> ) |
|   | Коэффициент<br>содержания<br>вяжущего <sup>1)</sup> $a_w$ , % |  |   |  |
|   | Срок твердения, дни   |  |   |  |
| Влажность<br>грунта   | Номер контейнера<br>(пробы)                                   |  |   |  |
|   | $m_a$ , г   |  |   |  |
|   | $m_b$ , г   |  |   |  |
|   | $m_c$ , г   |  |   |  |
|   | $w$ , %   |  |   |  |
|   | среднее $\bar{w}$ , %   |  |   |  |
| Требуемое<br>количество<br>материалов на<br>одну партию   | Грунт, $m_T$ , г  |  | Вяжущее, $m_H$ , г                      |  |
|   | Вода <sup>1)</sup> , $m_W$ , г                                |  | Добавка <sup>1)</sup> , $m_A$ , г       |  |
| Влажность<br>закрепленного<br>грунта  | Номер контейнера<br>(пробы)                                   |  |   |  |
|   | $m_a$ , г   |  |   |  |
|   | $m_b$ , г   |  |   |  |
|   | $m_c$ , г   |  |   |  |
|   | $w$ , %   |  |   |  |
|   | среднее $\bar{w}$ , %   |  |   |  |
| <p><sup>1)</sup> В случае применения.<br/> <sup>2)</sup> Отношение с учетом массы вяжущего.<br/>                 П р и м е ч а н и е – Объем пробы грунтоцементной смеси должен превышать требуемый для изготовления всех серий опытных образцов не менее чем в 1,2 раза.</p> |   |  |   |  |

Требуемый объем компонентов определяется по следующим зависимостям:

1) Грунт  $m_T$ , г

Плотность водонасыщенного грунта,  $\rho_T$ , г/см<sup>3</sup>

$$\rho_T = \{1 + \bar{w}/100\} / \{1/\rho_s + \bar{w}/100\};$$

$$m_T = n \cdot V \cdot \rho_t \cdot k,$$

где  $k$  – поправочный коэффициент, обычно 1,1 ... 1,2.

2) Расход вяжущего  $m_H$ , г

Вес сухого грунта  $m_D$ , г

$$m_D, \text{ г} = m_T / (1 + \bar{w}/100);$$

$$m_H, \text{ г} = m_D \cdot A_w / 100.$$

Содержание вяжущего  $A_w$ , кг/м<sup>3</sup>

$$A_w = \{10\rho_T / (1 + \bar{w}/100)\} \cdot a_w.$$

3) Расход воды для вяжущего раствора  $m_w$ , г

$$m_w = m_H \cdot a_w / 100.$$

4) Расход добавки  $m_A$ , г

$$m_A = m_H \cdot \text{количество добавки, \%} / 100.$$

## Приложение Ж

### Определение переходного коэффициента к прочности грунтоцемента в возрасте 28 сут

Пересчет прочности грунтоцемента в зависимости от прочности образца в возрасте 28 сут следует выполнять по формуле (Ж.1). Переходный коэффициент  $k_t$  для грунтоцементов на глинистых грунтах рекомендуется назначать в диапазоне значений (рисунок Ж.1), определяемых формулами (Ж.2) и (Ж.3), на песчаных грунтах – по формуле (Ж.4).

$$R_{stb} = k_t R_{28}; \quad (\text{Ж.1})$$

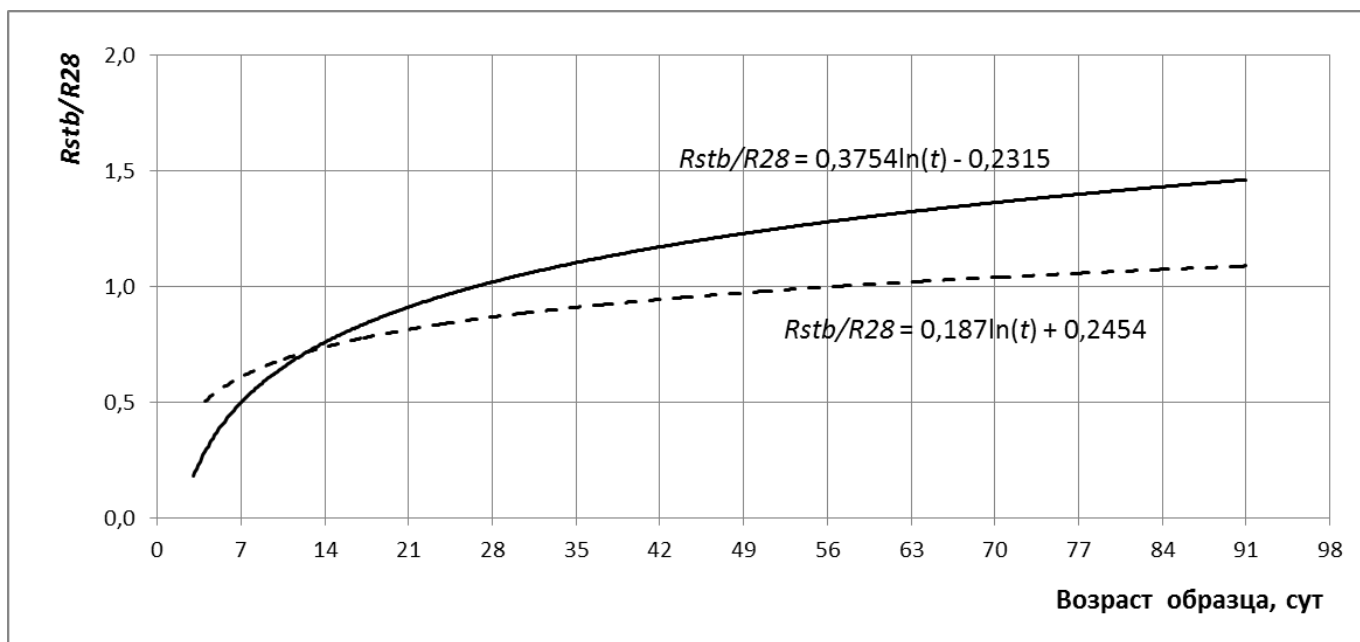
$$k_t = 0,375 \ln(t) - 0,232; \quad (\text{Ж.2})$$

$$k_t = 0,187 \ln(t) + 0,245; \quad (\text{Ж.3})$$

$$k_t = 0,7 \log(t); \quad (\text{Ж.4})$$

где  $R_{28}$  – прочность грунтоцемента в возрасте 28 сут,

$t$  – возраст образца, сут.

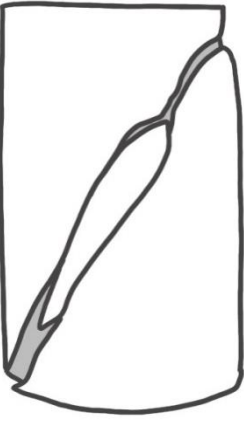
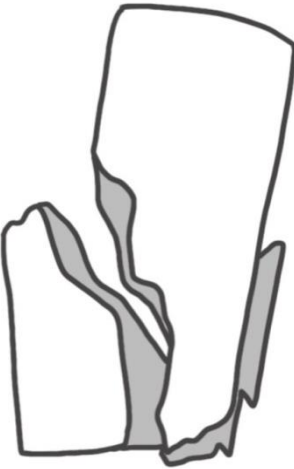
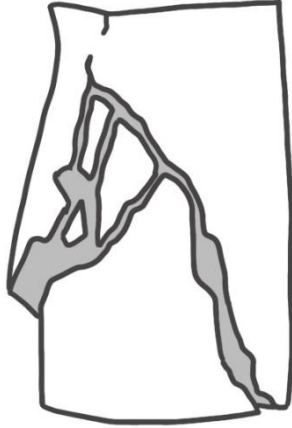
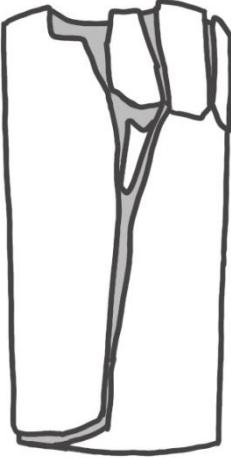
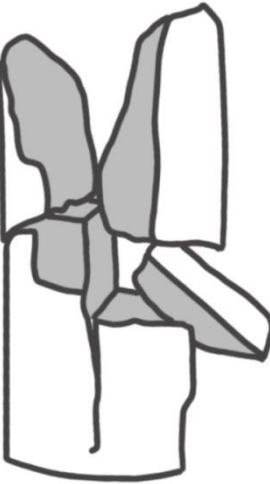
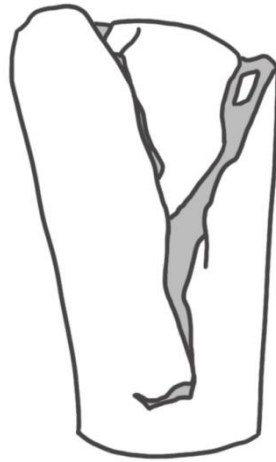


Сплошная линия – экспериментальные данные, полученные для глинистых грунтов [11], пунктирная линия – зависимость, принятая в СП 291.1325800.

**Рисунок Ж.1** – Кривая зависимости прочности образца грунтоцемента от времени твердения соотнесенной к прочности образца в возрасте 28 сут

## Приложение И

### Примеры разрушений образцов при испытаниях на объемное сжатие

|  |  |  |
|--|--|--|
|   |   |   |
| А – сдвиг  | Б – скалывание по одной поверхности скольжения                                     | В – скалывание по двум поверхностям скольжения                                       |
|  |  |  |
| Г – осевое расщепление   | Д – множественное разрушение   | Е – У-форма разрушения   |

## Библиография

- [1] ASCE G-I Grouting Committee. Jet Grouting Task Force. Jet Grouting Guide Specification (Revised August 2016)
- [2] ASTM D1633 – 17 Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders
- [3] ASTM D1632 Standard Practice for Making and Curing Soil-Cement Compression and Flexure test Specimens in the Laboratory
- [4] Practice for making and curing stabilised soil specimens without compaction. JGS T 821-1990. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1990
- [5] BS EN 12716:2001 Execution of special geotechnical works – Jet-grouting, 2001
- [6] EN 14679:2005 Execution of special geotechnical work – Deep mixing, 2005
- [7] Рекомендации по определению нормативных и расчетных значений характеристик прочности глинистых грунтов малой степени литификации по физическим характеристикам, НИИОСП им. Н.М. Герсевича, М., 1981
- [8] Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83), НИИОСП им. Н.М. Герсевича, М., 1986
- [9] СН 25-74 Инструкция по применению грунтов, укрепленных вяжущими материалами для устройства оснований и покрытий автомобильных дорог и аэродромов
- [10] ВСН 40-88 Проектирование и устройство фундаментов из цементогрунта для малоэтажных сельских зданий
- [11] НИОКР по теме: «Исследование возможности эффективного применения нелинейных критериев прочности к задачам расчета неоднородных искусственных оснований из закрепленного грунта и разработка рекомендаций по определению параметров критерия прочности», НИИОСП им. Н.М. Герсевича, М., 2019



Ключевые слова: грунтоцемент, струйная цементация, глубинное перемешивание, прочность на сжатие, одноосное сжатие, трехосное сжатие, растяжение

---