

Свод правил СП 22.13330.2016
"ОСНОВАНИЯ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ"
Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*

С изменениями:

(20 ноября 2018 г., 24 января, 22 ноября 2019 г., 27 декабря 2021 г., 07 декабря 2023 г.)

6.9 Закрепленные грунты

6.9.1 Закрепление грунтов производят в целях улучшения их физико-механических свойств для существующих и вновь строящихся зданий и сооружений.

Для существующих зданий возможность и способ закрепления грунтов основания следует устанавливать с учетом характера деформаций основания и категории технического состояния сооружений (см. приложение Д).

Закрепление грунтов может выполняться отдельными элементами, массивами и сочетаниями элементов и массивов закрепленного грунта различной формы в плане и по глубине.

Основания из закрепленных грунтов используются в качестве искусственных оснований фундаментов, а также временных ограждающих конструкций котлованов, противофильтрационных завес и других заглубленных конструкций.

6.9.2 Для закрепления грунтов в зависимости от цели закрепления и инженерно-геологических условий применяют следующие способы:

инъекционный - закрепление грунта нагнетанием в грунт под давлением растворов на основе органических, неорганических полимеров или цементов через инъекторы, манжетные колонны или скважины в одном из следующих режимов: пропитки, пропитки с применением виброцементации, гидроразрыва, заполнительной цементации пустот, полостей, трещин, локальных участков зон разуплотнения в массивах грунта и контактных зонах "конструкции-грунт";

глубинное перемешивание/буромесительный - формирование элементов закрепленного грунта заданной формы в плане и по глубине буровым инструментом за счет механического разрушения грунта без извлечения его на поверхность и смешивания с раствором вяжущего ("мокрый" способ) или сухим вяжущим ("сухой" способ), используемый для водонасыщенных грунтов;

струйная цементация/гидроструйный - формирование элементов закрепленного грунта заданной формы в плане и по глубине буровым инструментом за счет разрушения грунта без извлечения его на поверхность и смешивания с раствором вяжущего с использованием струи высокого давления (раствора-воздуха-воды), реализуемый одним из следующих способов: однокомпонентный (применение инъекционного раствора), двухкомпонентный (применение струи воздуха и инъекционного раствора), трехкомпонентный (применение струи воздуха, воды и инъекционного раствора);

термический - путем спекания грунта в скважине высокотемпературными газами или с помощью электронагрева грунта;

электрохимический - способ комбинированного применения электрического тока и химических растворов, вводимых в грунт под давлением при одновременном воздействии постоянного электрического тока.

Способ закрепления, рецептура растворов и технологические параметры должны обеспечивать необходимые расчетные физико-механические характеристики закрепленного грунта или массива и удовлетворять требованиям по охране окружающей среды.

6.9.3 Инъекционные способы закрепления грунтов в режиме пропитки при инъекции через скважины, инъекторы и манжетные колонны (разрыв обоймы выполняется с одномоментным созданием повышенного по отношению к режиму пропитки давлением) следует применять в следующих условиях:

силикатизация и смолизация - в песках с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 80 м/сут;

силикатизация - в просадочных грунтах при коэффициенте фильтрации не менее 0,2 м/сут и коэффициенте водонасыщения $S_r \leq 0,7$, в песках с учетом положений ГОСТ Р 59705 при коэффициенте фильтрации не менее 0,5 м/сут и не более 80 м/сут;

цементация - в соответствии с положениями ГОСТ Р 59538: в крупнообломочных грунтах, крупнозернистых и гравелистых песках при коэффициенте фильтрации не менее 80 м/сут, растворами на основе цемента типа "И", в песках разной крупности при коэффициенте фильтрации от 10 до 80 м/сут растворами на основе цемента типа ИТДВ и ИОТДВ;

виброинъекция - в песках с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 80 м/сут растворами на основе цемента в соответствии с положениями ГОСТ Р 59538 для цементации (А.1, приложение А) и ГОСТ Р 59705 - для силикатизации.

6.9.4 Инъекционный способ закрепления грунтов в режиме гидроразрыва при инъекции через инъекторы и манжетные колонны и в режиме дополнительной цементации по 6.9.2 следует применять в соответствии с положениями ГОСТ Р 59538, ГОСТ Р 59704 и ГОСТ Р 59706 в грунтах любого типа с применением растворов на основе цемента типа И. Применение растворов на основе цементов типа ИТДВ и ИОТДВ должно быть обосновано проектом и подтверждено результатами опытных работ, выполняемых на этапе изысканий, и соответствовать положениям ГОСТ Р 59538, ГОСТ Р 59704, ГОСТ Р 59706, СП 45.13330 и 6.9.3 в части применения таких растворов.

6.9.5 Буросмесительный способ допускается применять в любых грунтах (глинистых, песчаных, лессовых, илах), за исключением торфов и сапропелей. Возможность применения глубинного способа укрепления заторфованных грунтов с повышенным (более 10%) содержанием органических примесей устанавливается лабораторными исследованиями коррозионной стойкости грунтоцемента. Возможность применения метода в условиях высокой агрессивности грунтовых вод должна быть подтверждена исследованиями в лабораторных условиях с применением специальных устойчивых к агрессии вяжущих.

Для буросмесительного закрепления грунтов ("мокрым" и "сухим" способом) следует применять растворы на основе цемента типа И по ГОСТ Р 59538 или сухое вяжущее на основе цемента или извести в соответствии с положениями настоящего раздела и ГОСТ Р 59706.

6.9.6 Для гидроструйного закрепления грунтов (струйная цементация) следует применять растворы на основе портландцемента или инъекционных растворов типа И по ГОСТ Р 59538, в соответствии с положениями ГОСТ Р 59706 и дополнительными положениями настоящего раздела.

6.9.7 Термический способ следует применять для закрепления лессовых просадочных грунтов с коэффициентом водонасыщения $S_r \leq 0,5$.

6.9.8 Для закрепления грунтов следует использовать в качестве крепителей водные растворы силиката натрия по ГОСТ Р 59705, растворы на основе цемента по ГОСТ Р 59538, ГОСТ Р 59704, ГОСТ Р 70308.

Закрепление грунтов с использованием крепителей, растворов на основе других органических и неорганических полимеров допускается при условии соблюдения следующих положений:

- соблюдение положений ГОСТ Р 59706 и ГОСТ Р 70695 в части характеристик закрепленного грунта;

- применение материалов, исключаящих негативное влияние на окружающую среду и здоровье людей с соблюдением санитарных требований и требований охраны труда как при производстве работ, так и на весь, определенный действующими документами по стандартизации или заданный при проектировании жизненный цикл объекта;

- применение материалов, обеспечивающих определенные действующими документами по стандартизации или проектом противоаварийных, или иных временных работ базовые по ГОСТ Р 59706 (за исключением модуля деформации - если это обосновано проектом) характеристики закрепленных грунтов;

- для проектов противоаварийных мероприятий возможность выполнения при необходимости (обосновывается проектом) работ по обеспечению требований [2] на весь период жизненного цикла сооружения, предусмотренного ГОСТ 27751.

Для регулирования процессов схватывания и гелеобразования или предварительной обработки закрепленного грунта применяют рецептурные добавки.

6.9.9 Рецептуры растворов для цементации грунтов способами инъекции, буросмесительными и по струйной технологии и физико-механические характеристики закрепленных грунтов следует уточнять по результатам закрепления в лабораторных и полевых условиях. Допускается определение вида и расхода вяжущего на основании имеющихся данных для аналогичных грунтовых условий.

6.9.10 Изыскания при проектировании оснований из закрепленных грунтов способом инъекции должны выполняться по специально разработанной дополнительной программе изысканий. Материалы инженерно-геологических изысканий помимо характеристик, указанных в 5.1.16, должны содержать данные о коэффициенте фильтрации грунта, химическом составе водных вытяжек грунтовых вод. В программу должны быть включены дополнительные требования по проведению в рамках изысканий при необходимости лабораторных исследований (определяется на этапе проектирования в зависимости от уровня ответственности объекта и (или) объектов окружающей застройки) и полевых опытных работ.

6.9.11 Проектирование закрепления грунтов следует выполнять в соответствии с положениями ГОСТ Р 59538, ГОСТ Р 59704, ГОСТ Р 59705, ГОСТ Р 59706, ГОСТ Р 70308, ГОСТ Р 70695, СП 45.13330, СП 291.1325800 и дополнительных положений настоящего раздела.

При проектировании закрепления грунтов при новом строительстве способами глубинного перемешивания и струйной цементации для более равномерного распределения нагрузки на закрепленное основание может быть предусмотрено устройство распределяющей подушки по верху элементов закрепленного грунта.

При проектировании для всех способов закрепления следует назначать базовые характеристики закрепленного грунта:

- плотность - ρ_{stb} ;
- предел прочности на одноосное сжатие - R_{stb} ;
- условный радиус закрепления - r_{stb} ;
- глубина закрепления - h_{stb} ;
- условные границы закрепления - a_{stb} , b_{stb} .

Модуль деформации - E_{stb} как базовый показатель может быть назначен при необходимости для грунтов/массивов из элементов закрепленного грунта, закрепленных растворами на основе цемента для способов: глубинное перемешивание, струйная цементация, инъекция в режиме гидроразрыва, других способов закрепления, если это предусмотрено проектом.

Дополнительные характеристики закрепленного грунта назначаются при проектировании на основании базовых характеристик и определяются:

- для грунтов, закрепленных растворами на основе цемента по технологии пропитки (типы ИТДВ и ИОТДВ), глубинного перемешивания и струйной цементации - по СП 291.1325800.2017 (раздел 5);

- для других технологий закрепления и инъекционных растворов - на основании опытных работ.

6.9.12 Принятые при проектировании значения расчетных характеристик закрепленного грунта (контролируемые параметры) должны быть подтверждены результатами опытно-производственных и контрольных работ, выполняемых на всем протяжении закрепления. Контролируемые параметры закрепления и объемы опытно-производственных и контрольных работ назначаются при проектировании и должны обеспечивать возможность достоверной оценки соответствия требованиям проекта.

6.9.13 Расчет искусственных оснований из закрепленного грунта должен выполняться по 1-й и 2-й группе предельных состояний для сооружений геотехнических категорий 2 и 3 в обязательном порядке. Для сооружений геотехнической категории 1 выполнение расчета по 1-й группе предельных состояний определяется требованиями, изложенными в разделе 5.

Численное моделирование элементов закрепленных грунтов, выполненных по различным технологиям, выполняют с использованием расчетных моделей, в основе которых заложены критерии прочности Мора-Кулона или Хока-Брауна.

6.9.14 При проектировании искусственных оснований из элементов закрепленного грунта для сооружений класса КС-3 следует предусматривать полевые испытания статической нагрузкой как отдельных элементов, так и фрагментов закрепленного массива. Для сооружений класса КС-2 - если это предусмотрено проектом.

Размеры штампов следует определять размерами элементов закрепленного грунта.

6.9.15 Проектом закрепления грунтов должны быть предусмотрены опытно-производственные работы по закреплению. Для объектов пониженного уровня ответственности, класса КС-1 по ГОСТ 27751 при геотехнической категории 1 опытно-производственные работы допускается не предусматривать. Для остальных объектов на этапе проектирования назначаются расчетные технологические параметры. Рабочие технологические параметры уточняются и назначаются по результатам опытно-производственных работ.

Проектом закрепления грунтов должны быть предусмотрены контрольные работы, предусматривающие оценку качества закрепления как в процессе работ, так и после их завершения в объемах, предусмотренных СП 45.13330.

6.9.16 При проектировании для элемента закрепленного грунта следует назначать следующие границы закрепления.

Для инъекционных способов закрепления:

расчетный радиус - расстояние от оси скважины/инъектора до границы закрепления, за пределами которой характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании в зависимости от вида и свойств раствора, фильтрационных характеристик грунта и подтверждается по результатам опытных работ;

расчетная глубина - расстояние от верхней до нижней границы закрепления в пределах сечения с расчетным радиусом, за пределами которых характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании по глубине погружения инъекторов и (или) глубине установки манжетных колонн или скважин с учетом пропитки под ними.

Для буросмесительного способа закрепления:

расчетный радиус - расстояние от оси элемента закрепленного грунта до границы закрепления, за пределами которой характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании по размерам бурового инструмента (диаметр буросмесителя);

расчетная глубина - расстояние от верхней до нижней границы закрепления в пределах сечения с расчетным радиусом, за пределами которых характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании по глубине погружения буросмесителя.

Для струйной цементации:

расчетный радиус - расстояние от оси грунтоцементного элемента до границы закрепления, за пределами которой характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании по расчетной границе грунтоцементного элемента в плане на основании положений настоящего раздела и опытным работам, выполненным при изысканиях, если они были предусмотрены проектом;

расчетная глубина - расстояние от верхней до нижней границы закрепления в пределах сечения с расчетным радиусом, за пределами которых характеристики грунта принимаются равными природным, назначается при проектировании по глубине погружения бурового инструмента, формирующего элемент закрепленного грунта с учетом размыва грунта без формирования расчетного радиуса в нижней и верхней точках остановки монитора (до выполнения опытных работ допускается принимать 0,5 м в нижней и от 0,0 до 0,5 м в верхней точке).

До опытных работ допускается назначать значения характеристик по таблице 6.13.

6.9.17 Расчетное сопротивление одноосному сжатию (R_r), закрепленного всеми способами грунта по результатам испытаний образцов, следует определять по формуле

$$R_r = R_{stb}/\gamma_{SS}, \quad (6.39)$$

где R_{stb} - нормативное сопротивление закрепленного грунта сжатию, МПа;

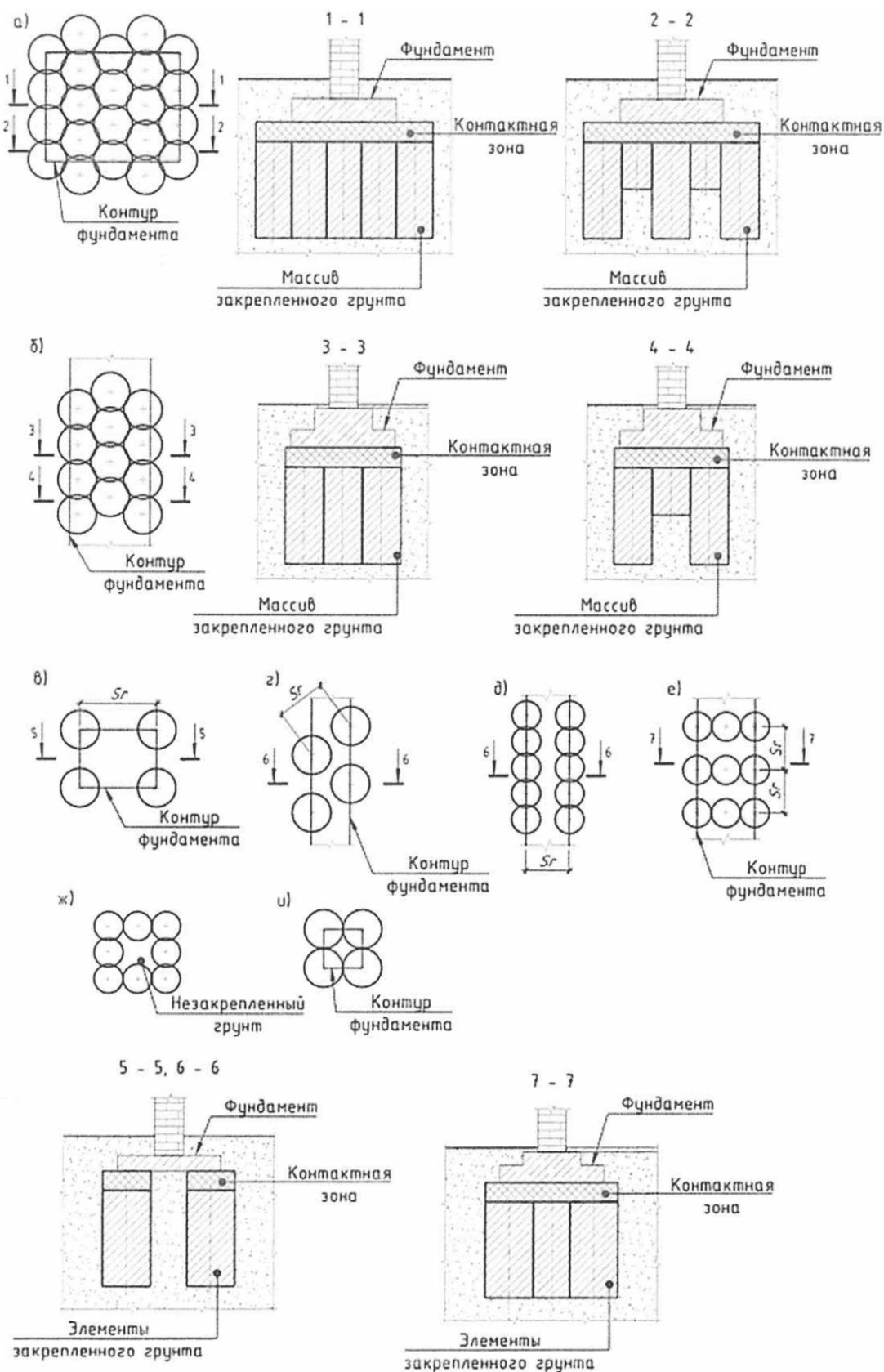
γ_{SS} - коэффициент надежности по материалу, принимаемый по результатам работ при расчете по первому предельному состоянию и контролю по образцам, отобранным из элемента закрепленного грунта, равным 1,5 для элементов закрепленного грунта, выполненных по технологиям инъекции и глубинного перемешивания, равным 1,75 - для элементов закрепленного грунта, выполненных по методу струйной цементации и (или) при контроле по грунтоцементной пульпе. При контроле по образцам, изготовленным в лаборатории для всех способов и режимов закрепления в зависимости от коэффициента вариации прочности по методике ГОСТ 20522. При расчете по второму предельному состоянию γ_{SS} следует принимать равным 1.

Значение нормативного сопротивления закрепленного грунта сжатию принимается равным среднему значению прочности на одноосное сжатие образцов, отобранных из элемента закрепленного грунта в одной горизонтальной плоскости не менее чем в 3-х точках от оси элемента до точки, соответствующей 5/6 радиуса и определенному по методике ГОСТ 20522.

Таблица 6.13

Параметры песчаных и лессовых грунтов, закрепленных инъекцией химических и цементных растворов				
Способ закрепления	Грунт	Коэффициент фильтрации, м/сут	Радиус закрепления грунта, м	Нормативное сопротивление сжатию R, МПа
Силикатизация двухрастворная на основе силиката натрия и хлористого кальция	Песок	10 - 20	0,2 - 0,3	1 - 1,5
		20 - 50	0,3 - 0,6	1,5 - 2,5
		50 - 80	0,6 - 1,0	2,5 - 8,0
Силикатизация однорастворная с H_2SiF_6	Песок	1,0 - 10	0,3 - 0,5	1 - 2
		10 - 50	0,5 - 0,8	2 - 5
Силикатизация однорастворная двухкомпонентная с отвердителем: алюминат натрия или ортофосфорная кислота	Песок	0,5 - 1,0	0,3 - 0,5	0,1 - 0,5
		1,0 - 5,0	0,5 - 0,8	
Силикатизация газовая на основе силиката натрия и газа CO_2	Песок	0,5 - 5,0	0,3 - 0,5	1 - 2
		5 - 20	0,5 - 0,8	2,0 - 3,5
Силикатизация однорастворная однокомпонентная	Лесс	0,2 - 0,5	0,3 - 0,5	0,5 - 2,0
		0,5 - 2	0,5 - 0,8	2,0 - 3,5
Силикатизация газовая на основе силиката натрия и газа CO_2	Лесс	0,1 - 0,5	0,4 - 0,6	0,5 - 2,0
		0,5 - 2	0,6 - 1,0	2,0 - 3,5
Смолизация однорастворная двухкомпонентная на основе карбамидной смолы и кислого отвердителя	Песок	0,5 - 5	0,3 - 0,5	0,5 - 1,5
		5 - 20	0,5 - 0,65	1,5 - 3,0
		20 - 50	0,65 - 0,85	3,0 - 4,5
Цементация растворами типа ИТДВ и ИОТДВ по ГОСТ Р 59538	Песок	1 - 80	0,1 - 0,5	0,5 - 3,0

6.9.18 Расположение элементов закрепленного грунта в плане искусственных оснований может производиться по схемам, приведенным на рисунке 6.13.



а, б - сплошное из рядом расположенных элементов; в, г - отдельно стоящих элементов; д, е, ж - отдельно расположенных рядов сплошных элементов

Рисунок 6.13 - Принципиальные схемы расположения элементов закрепленного грунта в плане

6.9.19 Геометрические параметры элементов (радиус закрепления) должны подтверждаться результатами опытно-производственных работ. Глубина закрепления назначается предварительно на основании данных инженерно-геологических изысканий, выбранного способа закрепления конструкций проектируемых фундаментов, проектных нагрузок и требований норм по предельно допустимым деформациям и уточняется по результатам расчетов.

6.9.20 Расчет основания по предельным состояниям проводят в соответствии с требованиями разделов 5 и 6. По результатам расчета и работ на опытном участке, при необходимости, проводят корректировку геометрических параметров массива и отдельных элементов закрепленного грунта.

6.9.21 В проекте закрепления должна быть определена последовательность устройства элементов в плане и по глубине массива и технологические параметры (скорость проходки буросмесителя/форсунки, интенсивность подачи раствора, режимы инъекции, давление), позволяющие обеспечить требуемую форму, размеры и прочность закрепляемого элемента.

6.9.22 По результатам опытно-производственных работ уточняют технологические параметры и назначают прочностные и деформационные характеристики. При необходимости выполняют корректировку проекта с уточнением фактических параметров закрепленного грунта.

6.9.23 Технология производства работ по созданию закрепленного массива грунта должна обеспечивать минимизацию негативного воздействия на основание фундаментов возводимого или существующего сооружения.

6.9.24 Выбор метода закрепления грунтов следует выполнять с учетом оценки конструктивной и экономической эффективности. Оценку допускается выполнять в соответствии с приложением Р, при этом обязательным условием оценки вариантов технических решений по закреплению грунтов следует считать обеспечение конструктивной безопасности объекта/основания.

6.9.25 Критерии конструктивной эффективности должны обеспечивать выбор оптимального решения, исходя из обеспечения безопасной эксплуатации объекта в соответствии с требованиями допустимых показателей по несущей способности и деформируемости отдельных элементов или объекта в целом. Критерии экономической эффективности должны обеспечивать минимизацию затрат для принятого варианта усиления в сравнении с другими вариантами при условии обеспечения требований конструктивной безопасности.

6.9.26 В качестве расчетных показателей критериев конструктивной эффективности следует принимать значения E , R (модуль деформации и прочность на одноосное сжатие растворов, применяемых для закрепления), E_s , R_s (модуль деформации и прочность на одноосное сжатие элемента закрепленного грунта или массива из отдельных элементов закрепленного грунта).