ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ГАЗОВОЙ СИЛИКАТИЗАЦИИ ПЕСЧАНЫХ И ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1973

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Введение	3
1. Общие положения	5
2. Материалы	6
3. Изыскательские работы	7
4. Лабораторные исследования грунтов и материалов	9
5. Состав проекта	9
Основные указания по проектированию	10
6. Оборудование	13
7. Производство работ	19
Погружение и извлечение инъекторов	19
Нагнетание реагентов	20
Вспомогательные работы	21
8. Техника безопасности	21
9. Контроль качества и документация	23
Приложения 1—7	25

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ГАЗОВОЙ СИЛИКАТИЗАЦИИ ПЕСЧАНЫХ И ЛЁССОВЫХ ГРУНТОВ

МОСКВА СТРОЙИЗДАТ 1973

УДК 624.138.232 : 666.112.2

Рекомендации по газовой силикатизации песчаных и лёссовых грунтов. М., Стройиздат, 1973. 32 с. (Науч.-исслед. ин-т оснований и подземных сооружений Госстроя СССР).

В Рекомендациях изложен способ газовой силикатизации для закрепления песчаных и лёссовых грунтов. В результате газовой силикатизации грунт приобретает достаточно высокую прочность, водоустойчивость и водонепроницаемость. Способ газовой силикатизации предназначается для усиления грунтов основания, для проходки горных выработок в песчаных грунтах и создания противофильтрационных завес в аллювиальных отложениях.

«Рекомендации по газовой силикатизации песчаных и лёссовых грунтов» разработаны НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР (д-р техн. наук В. Е. Соколович, ст. науч. сотр. М. Н. Ибрагимов и мл. науч. сотр. И. Б. Вебер).

В разработке способа газовой силикатизации лёссовых грунтов принимали участие аспиранты В. А. Губкин и А. И. Халикулов.

Замечания и предложения направлять по адресу: Москва, 109389, 2-я Институтская ул., 6, НИИ оснований и подземных сооружений, лаборатория закрепления грунтов.

Табл. 7

© Стройиздат, 1973

Р $\frac{0324\text{-}563}{047(01)\text{-}73}$ Инструкт.-нормат., 1 вып. — 18-73

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ГАЗОВОЙ СИЛИКАТИЗАЦИИ ПЕСЧАНЫХ И ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ

Редактор издательства Е. А. Мельникова
Технический редактор Т. В. Кузнецова
Корректор Е. Н. Кудрявцева

Сдано в набор 18/V 1973 г. Подписано к печати 27/VII 1973 г. Т-09553
Формат 84×108$^1/_{32}$. Бумага типографская № 2. 1,68 усл. печ. л. (уч.-изд. 1,75 л.)
Тираж 12 000 экз. Изд. № XII-4182. Зак. № 438. Цена 9 коп.

Стройиздат
103777, Москва, Кузнецкий мост, 9

Владимирская типография Союзполиграфпрома
при Государственном комитете Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
Гор. Владимир, ул. Победы, д. 18-б.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающий объем работ по химическому закреплению слабых песчаных и просадочных лёссовых грунтов сопряжен с необходимостью изыскания и разработки новых, более совершенных и экономичных способов закрепления.

В результате проведенных исследований в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР в течение 1968—1971 гг. были разработаны новые глубинные способы химического закрепления песчаных и лёссовых грунтов с помощью газовой силикатизации.

Способ газовой силикатизации обеспечивает быстрое и эффективное закрепление грунтов при меньшем расходе раствора силиката натрия по сравнению с обычной силикатизацией.

В мировой практике были известны способы химического закрепления грунтов, в которых введенный в поры грунта раствор силиката натрия отверждался последующим нагнетанием углекислого газа.

В отличие от известных способов закрепления грунтов растворами силиката натрия с последующим отверждением их углекислым газом настоящий способ газовой силикатизации разрабатывался в направлении повышения его эффективности за счет активизации закрепляемого грунта обработкой его углекислым газом. Способ газовой силикатизации впервые применен также для закрепления лёссовых грунтов.

Предлагаемый способ газовой силикатизации состоит в том, что в грунт, подлежащий закреплению, через забитые в него инъекторы или пробуренные и специально оборудованные скважины нагнетается углекислый газ для предварительной активизации грунта, затем нагнетается раствор силиката натрия и, наконец, вторично углекислый газ для отверждения раствора силиката натрия. Грунты приобретают прочность, водоустойчивость и водонепроницаемость.

В процессе предварительной активизации карбонатных песков и карбонатных лёссовых грунтов углекислым газом на поверхности карбонатных частиц образуется слой бикарбоната кальция, который частично отверждает раствор силиката натрия.

Окончательное отверждение раствора силиката натрия осуществляется при повторном нагнетании углекислого газа. Прочность закрепления карбонатных песков при предварительной их обработке углекислым газом повышается на 30—50%.

При предварительной обработке углекислым газом бескарбонатных песчаных грунтов достигается подкисление пленочной или поровой воды, что также способствует более полному отверждению раствора силиката натрия. В этом случае прочность закрепления песка повышается на 20—25%.

При предварительной активизации закрепляемых грунтов происходит замещение воздуха на углекислый газ в трехфазной системе грунта. Это обстоятельство обеспечивает более равномерное распределение в грунтах нагнетаемого раствора и его проникание в поры микроагрегатов лёссовых грунтов за счет вакуумирования, возникающего вследствие активного поглощения раствором силиката натрия угольной кислоты.

Процесс самовакуумирования приводит к образованию системы пленок, замыкающих поровое пространство закрепляемого грунта, вследствие чего при неполном заполнении пор грунта обеспечивается высокая водонепроницаемость.

При обычной силикатизации лёссовых грунтов активными компонентами, содержащимися в лёссе, отверждается около 30—50% введенного в грунт раствора силиката натрия.

Неотвержденный раствор силиката натрия может вымываться грунтовыми водами. По лабораторным данным, при полном выщелачивании свободного раствора силиката натрия из закрепленного грунта происходит ослабление цементирующего геля кремневой кислоты, вследствие чего прочность закрепления может снизиться до 30% первоначальной.

С помощью газовой силикатизации решается вопрос интенсификации процесса силикатизации лёссовых грунтов и улучшения технологии силикатизации за счет перемещения и более полного отверждения силикатного

раствора с достижением большего объема закрепления. Кроме того, как показали лабораторные и полевые исследования, способом газовой силикатизации с предварительной активизацией грунта можно закреплять лёссовые сильновлажные грунты, для которых обычная силикатизация не пригодна.

Важным преимуществом способа газовой силикатизации является отсутствие токсичных компонентов, что позволяет проводить работы в горных выработках и в закрытых помещениях.

Способ газовой силикатизации в 2—3 раза экономичнее способа смолизации, широко применяемого для закрепления грунтов, и успешно применялся для усиления слабых грунтов в основании существующих зданий и сооружений на ряде объектов.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Способ газовой силикатизации применяется:

для закрепления бескарбонатных и карбонатных песчаных грунтов с неограниченным содержанием карбонатов с различной степенью влажности $0 \leqslant G \leqslant 1$, с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 20 *м/сут;*

для закрепления лёссовых грунтов со степенью влажности не выше 0,75, с коэффициентом фильтрации не ниже 0,1 *м/сут;*

для закрепления загипсованных грунтов с неограниченным содержанием гипса, с коэффициентом фильтрации от 0,5 до 20 *м/сут.*

1.2. Способ газовой силикатизации применим для грунтов различного химико-минералогического состава, за исключением грунтов, насыщенных производственными щелочными сточными водами со значением $pH > 10$.

1.3. Способ газовой силикатизации грунтов может использоваться:

для повышения несущей способности слабых грунтов, залегающих в основании строящихся или существующих сооружений;

для проходки горных выработок;

для придания грунтам водонепроницаемости при создании противофильтрационных завес в основании гидротехнических сооружений.

Работы по закреплению грунтов способом газовой силикатизации производятся по проекту, составленному в соответствии с главой 5 настоящих Рекомендаций.

2. МАТЕРИАЛЫ

2.1. При газовой силикатизации песков и лёссов применяются раствор силиката натрия ($Na_2O\ nSiO_2$) определенного модуля и концентрации и углекислый газ в баллонах.

2.2. Силикат натрия либо доставляется к месту работ в виде раствора плотностью 1,4—1,5 *г/см*^{3}, либо приготавливается на месте путем разварки силикат-глыбы в автоклавах или силикаторазварках.

2.3. В зависимости от исходных материалов силикат натрия выпускается содовый и содово-сульфатный.

2.4. Раствор силиката натрия — жидкое стекло должно отвечать требованиям ГОСТ 13078—67*. По физико-химическим показателям жидкое стекло должно соответствовать нормам, указанным в табл. 1.

Таблица 1

Показатели	Нормы для силиката натрия	
	содовое	содово-сульфатное
Внешний вид	Густая жидкость желтого или серого цвета без механических включений, видимых невооруженным глазом	Густая жидкость от желтого до коричневого цвета без механических включений, видимых невооруженным глазом
Содержание кремнезема в %	31—33	28,5—29,5
Содержание окиси железа и окиси алюминия в %, не более	0,25	0,4
Содержание окиси кальция в %, не более	0,2	0,25
Содержание серного ангидрида в пересчете на серу в %, не более	0,06	0,4
Содержание окиси натрия в %	10—12	10—11
Силикатный модуль[1]	2,65—3,4	2,65—3,4
Плотность в *г/см*^{3}	1,36—1,5	1,43—1,5

[1] Силикатным модулем называется отношение числа грамм-молекул кремнезема (SiO_2) к числу грамм-молекул окиси натрия (Na_2O).

2.5. Для закрепления грунтов применяют растворы силиката натрия с силикатным модулем не ниже 2,65.

2.6. Для закрепления песков методом газовой силикатизации в зависимости от их проницаемости рекомендуется применять растворы силиката натрия следующих концентраций (по плотности) (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент фильтрации песка в *м/сут*	Плотность раствора силиката натрия (*г/см*³) при модуле	
	2,6—3	3,0—3,5
0,5—1	1,19	1,15
1—5	1,25	1,19
5—20	1,3	1,25

2.7. При закреплении лёссовых грунтов методом газовой силикатизации в зависимости от требований к прочности, предъявляемых проектом, применяются растворы силиката натрия плотностью 1,09—1,15 *г/см*³.

2.8. Количество исходного концентрированного раствора силиката натрия $Q_к$, необходимое для приготовления заданного объема раствора рабочей концентрации, определяется по формуле

$$Q_к = \frac{\delta_р - 1}{\delta_к - 1} Q_р, \qquad (1)$$

где Q —объем раствора силиката натрия рабочей концентрации в *л*;

$\delta_к$ — плотность концентрированного раствора силиката натрия в *кг/л*;

$\delta_р$ — плотность раствора силиката натрия рабочей концентрации в *кг/л*.

После разведения жидкого стекла необходимо проверить его концентрацию ареометром.

2.9. При разведении жидкого стекла в растворах образуется взвесь, поэтому перед нагнетанием в мелкие пески и лёссы рекомендуется раствор отстаивать до осаждения взвеси.

3. ИЗЫСКАТЕЛЬСКИЕ РАБОТЫ

3.1. Изыскательские работы производятся для получения материалов об инженерно-геологическом строении и гидрогеологических условиях строительного участка,

необходимых для составления проекта закрепления грунтов. В состав изыскательских работ входят и опытные работы по закреплению грунтов.

3.2 Инженерно-геологические и гидрогеологические исследования производят бурением скважин или проходкой шурфов, с отбором проб в количестве 1—2 *кг* основных разновидностей грунта и грунтовой воды в объеме 0,5 *л*.

В песках отбирают образцы нарушенной структуры, в лёссах — ненарушенной структуры естественной влажности, для чего образцы-монолиты сразу же после отбора парафинируют и отправляют в лабораторию для испытаний.

3.3. Количество скважин и шурфов и их расположение на площадке назначают в зависимости от сложности геологического строения и размеров сооружения. Расстояние между разведочными выработками должно быть не более 15 *м*.

3.4. На участках, представленных мелкими пылеватыми песками, производится пробная закачка воды через инъекторы, забитые в нескольких точках, для предварительной оценки водопроницаемости.

3.5. Опытные работы по закреплению грунтов осуществляются путем нагнетания закрепляющих реагентов через инъекторы, забитые в двух-трех точках.

Через сутки после нагнетания производится проходка шурфа или бурение скважин и отбор закрепленного грунта. Отобранные образцы испытывают в лаборатории на прочность при сжатии и при необходимости определяют водопроницаемость.

Определение прочности при сжатии производится на гидравлическом прессе путем раздавливания образцов со скоростью загружения 0,1 *кгс/см*^{2} *· сек*.

3.6. Данные инженерно-геологического обследования и опытного закрепления грунтов должны содержать:

план площадки в масштабе 1 : 200 с нанесенными контурами сооружения и точками разведочных выработок;

каталог выработок с указанием глубин;

чертежи колонок по отдельным выработкам;

инженерно-геологические продольные и поперечные профили в масштабе 1:100 (вертикальный) и 1:200 (горизонтальный);

таблицы и графики с результатами исследований грунтов и полевых испытаний на закрепляемость.

4. ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОВ И МАТЕРИАЛОВ

Для установления возможности закрепления и определения необходимых для проектирования данных в лабораторных условиях проводятся следующие испытания:

4.1. Определение водопроницаемости песка, лёсса и закрепленного грунта (см. прил. 1).

4.2. Определение гранулометрического состава по ГОСТ 12536—67.

4.3. Определение пористости.

4.4. Определение pH грунта и грунтовой воды.

4.5. Определение карбонатов (см. прил. 2).

4.6. Определение модуля раствора силиката натрия (см. прил. 3).

4.7. Испытание грунтов на закрепляемость (см. прил. 4).

5. СОСТАВ ПРОЕКТА

5.1. Проект производства работ по закреплению грунтов составляется на основании следующих материалов:

инженерно-геологических исследований строительной площадки;

технических данных о зданиях и сооружениях, о расположении подземных коммуникаций (водопровод, канализация, кабельная сеть, газопроводы и др.);

результатов лабораторных и опытно-производственных работ по закреплению грунтов.

5.2. Проект газовой силикатизации грунтов должен содержать:

план расположения инъекторов;

разрезы по отдельным сечениям с указанием направления забивки инъекторов, глубин их погружения, количества заходок и расположения их по глубине;

данные об объеме работ по закреплению грунтов и о контрольных выработках;

данные о количестве химических реагентов на одну заходку и на весь закрепляемый массив;

указания по режиму нагнетания;

требования к силикатизированному грунту — прочность, монолитность, водоустойчивость, водонепроницаемость, непросадочность;

схему организации работ (порядок нагнетания реа-

гентов, количество одновременно работающих инъекторов, перечень и характеристика оборудования, указания по монтажу, а также потребность в рабочей силе и основных материалах);

пояснительную записку, содержащую указания по технологии производства работ и контролю качества закрепления;

смету, калькуляцию и единичные расценки;

календарный план.

Основные указания по проектированию

5.3. Радиус закрепления грунта от одного инъектора назначается в зависимости от коэффициента фильтрации по табл. 3.

Таблица 3

Грунты	Коэффициент фильтрации в *м/сут*	Радиус закрепления в *м*
Средние и мелкие пески	20—5	1—0,8
	5—1	0,8—0,5
	1—0,5	0,5—0,3
Лёссовые грунты	2—1	1,0—0,9
	1—0,5	0,9—0,6
	0,5—0,1	0,6—0,3

5.4. Для сплошного закрепления массива грунта инъекторы располагаются в шахматном порядке. Расстояние между рядами инъекторов d определяется по формуле

$$d = 1{,}5r, \tag{2}$$

а расстояние между инъекторами в ряду по формуле

$$d = 1{,}73r, \tag{3}$$

где r — радиус закрепления от одного инъектора.

5.5. Глубина, объем и конфигурация закрепления назначаются на основании оценки инженерно-геологических условий площадки, величин и характера нагрузки.

5.6. Для предотвращения выбивания раствора с поверхности оставляется защитный слой грунта толщиной не менее 1,5 *м*.

5.7. Нагнетание реагентов в грунт производится за-

ходками. Величина одной заходки равна длине перфорированной части инъектора плюс 0,5 радиуса закрепления.

5.8. В однородных по водопроницаемости грунтах нагнетание производится заходками сверху вниз. Если коэффициент фильтрации с глубиной увеличивается, то закрепление производится снизу вверх.

В неоднородных грунтах с частой слоистостью (в песках), отличающихся по водопроницаемости более чем на один порядок, нагнетание реагентов производят раздельно по слоям; слой грунта с большей водопроницаемостью закрепляется в первую очередь.

5.9. Перерыв во времени между нагнетанием углекислого газа для предварительной активизации грунта и силикатного раствора должен быть не более 30 *мин.*

5.10. Перерывы во времени между нагнетанием силикатного раствора и углекислого газа не должны превышать значений, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Грунт	Скорость грунтовых вод в *м/сут*	Перерыв в часах
Пески	0—0,5 0,5—5	1 0,5
Лёссы	—	0,5

5.11. Количество силикатного раствора рабочей концентрации $Q_р$, необходимое для закрепления грунта через одну заходку, определяется по формуле

$$Q_р = \pi r^2 l n a, \qquad (4)$$

где $Q_р$ — объем силикатного раствора рабочей концентрации в *л*;

r — радиус закрепления в *м*;

l — длина заходки в *м;*

n — пористость грунта в %;

a — коэффициент, равный для песка 7, для плывунов 8, для лёссов 6.

5.12. Количество концентрированного силикатного раствора $Q_к$, необходимое для закрепления грунта через заходку, определяется по формуле

$$Q_к = \pi r^2 l A m, \qquad (5)$$

где A — расход концентрированного силикатного раствора на 1 $м^3$ грунта в $л$ приводится в (прил. 7) в зависимости от вида и пористости закрепляемого грунта и плотности рабочего раствора;

m — коэффициент, $(см^3)^{-1}$.

5.13. Количество углекислого газа $Б$ в ($кг$), необходимое для предварительной активизации грунта, рассчитывается по формуле (6), для отверждения силикатного раствора в порах грунтов — по формуле (7)

$$Б = Vnc\rho; \qquad (6)$$

$$Б = VnB\rho, \qquad (7)$$

где V — объем закрепляемого грунта в $м^3$;

n — пористость грунта в %;

ρ — плотность углекислого газа, равная 1,98 $кг/м^3$;

c — коэффициент, равный 0,025;

B — коэффициент, равный для песка 0,08, для плывунов 0,1, для лёсса 0,04.

5.14. Давление при нагнетании раствора силиката натрия должно быть менее предельного, при котором могут возникнуть разрывы закрепляемого пласта и прорывы раствора за пределы закрепляемого контура.

В песчаных грунтах ориентировочные величины давления нагнетания раствора силиката натрия по глубине указаны в табл. 5.

Таблица 5

Глубина от поверхности в $м$	Максимальное давление в $атм$
2—4	3—5
4—10	5—7

В лёссах величина давления нагнетания жидкого стекла не должна превышать 5 $атм$.

5.15. Давление при нагнетании газа для активизации песка должно быть не более 1,5—2,0 $атм$, а при закачке газа для отверждения силикатного раствора — не более

величины давления при нагнетании силикатного раствора.

5.16. Нагнетание углекислого газа в лёссовые грунты производится под давлением, не превышающим давление при нагнетании силикатного раствора, и не должно быть выше 2 *атм.*

5.17. Прочность закрепленного грунта назначается при проектировании, причем она должна быть не выше величин, указанных в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент фильтрации в *м/сут*	Предел прочности при сжатии через одни сутки в *кгс/см²*
Средние и мелкие пески:	
20—5	8—12
5—0,5	12—15
Лёссовые грунты:	
>0,1	8—12

6. ОБОРУДОВАНИЕ

6.1. Для газовой силикатизации грунтов используются:

инъекторы;

пневматические молотки и бетоноломы для забивки инъекторов;

гидравлические домкраты грузоподъемностью 5—10 *т* или шарнирный станок конструкции А. Г. Медведева грузоподъемностью 10 *т* (см. рис. 5) для извлечения инъекторов из грунта;

шнековый станок БСН-241 для бурения скважин;

насосы и пневматические установки для нагнетания раствора в грунт;

баллоны с сжатым углекислым газом, снабженные редукторами;

рычажные весы для контроля за расходом потребляемого углекислого газа.

шланги, соединительные части, краны;

контрольно-измерительная аппаратура (манометры, термометры, ареометры);

емкости для приготовления и хранения растворов;

компрессор производительностью не менее 1 $м^3/мин$ и давлением 5—6 *атм.*

6.2. Для газовой силикатизации грунтов могут быть использованы инъекторы различных типов и конструкций:

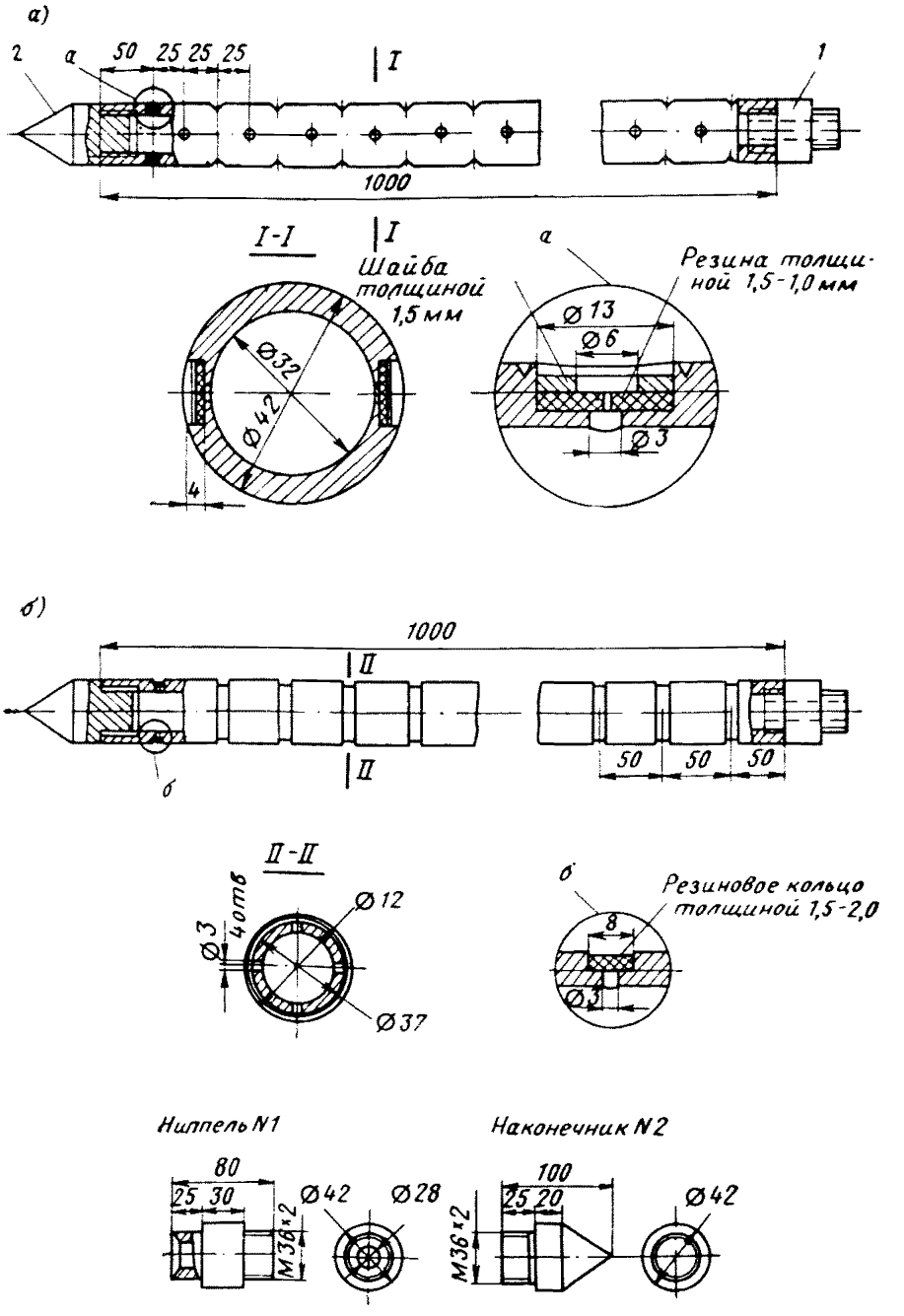

Рис. 1. Инъектор

а — с резиновыми клапанами в отверстиях; *б* — с резиновыми кольцами в пазах

а) инъектор с перфорированным звеном, изготовленный из цельнотянутых толстостенных труб диаметром 32—42 *мм*. Перфорированное звено имеет длину 0,5—1 *м*, диаметр отверстий 3 *мм* (рис. 1). Отверстия могут быть защищены от засорения грунтом резиновыми клапанами (рис. 1, *а*) или резиновыми кольцами (рис. 1, *б*).

Инъектор погружается в грунт забивкой отбойным молотком. Этот инъектор применяется для закрепления песчаных и лёссовых грунтов на глубину до 10—12 *м*;

б) инъектор с тампоном (рис. 2). Инъектор состоит из наружной перфорированной трубы *1* и внутренней трубы *2* с тампонами.

Наружная труба (рис. 3) изготовляется из газопроводной или пластмассовой трубы диаметром 32—42 *мм* секциями по 2—3 *м*, которые при наращивании соединяются с помощью соединительных муфт. По длине трубы через каждые 16,5 *см* имеются по четыре отверстия диаметром 4—5 *мм*, закрытые резиновыми манжетами. Нижний конец выполнен в виде сопла с шариковым прижимным клапаном.

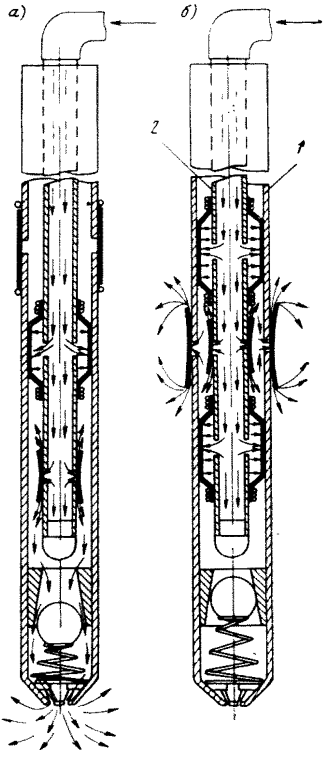

Рис. 2. Общая схема инъектора с манжетами

а — при погружении; *б* — при инъекции; *1*—наружная труба; *2*—внутренняя труба

Внутренняя (передвижная) труба (рис. 4) предназначена для подачи реагентов в закрепляемую зону грунта. Она изготовляется из газоводопроводной трубы диаметром $^1/_2''$. Нижний конец ее заглушен. На концевой части трубы просверлены на некотором расстоянии друг от друга три ряда отверстий, из которых отверстия среднего ряда, являющиеся выходными, закрыты манжетом из эластичного материала, а отверстия крайних рядов тампонами из резины.

Инъектор с манжетами погружается в грунт сразу на проектную глубину с помощью сжатого воздуха или опускается в предварительно пробуренную скважину. Процесс погружения инъектора с помощью воздуха изображен на рис. 2, *а*. Сжатый воздух подается в инъектор

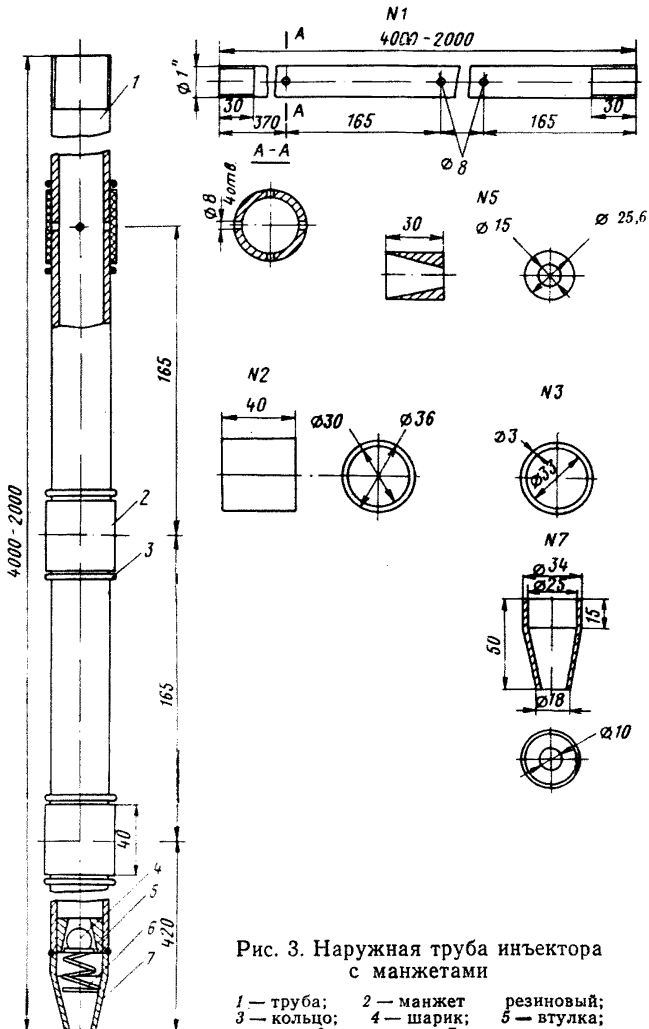

Рис. 3. Наружная труба инъектора с манжетами

1 — труба; *2* — манжет резиновый; *3* — кольцо; *4* — шарик; *5* — втулка; *6* — пружина; *7* — сопло

по внутренней трубе с одним верхним разжимающимся уплотнителем и струей выходит через сопло, благодаря чему инъектор без больших усилий задавливается в грунт. Способ погружения инъектора с

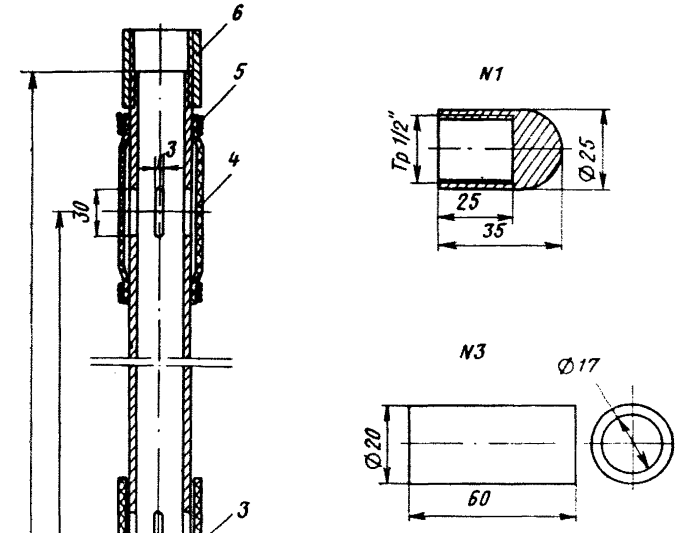

Рис. 4. Внутренняя труба инъектора с манжетами

1 — заглушка; *2* — труба; *3*—манжет резиновый; *4* — тампон; *5* — скрутка; *6* — соединительная муфта

помощью воздуха применим в песках, не содержащих крупных включений (гравия, строительного мусора и т. д.). Глубина погружения — до 6—8 *м*.

Принцип нагнетания химических растворов через инъектор состоит в следующем (рис. 2, *б*). Внутрь манжетной трубы опускается труба с тампонами, которые при нагнетании раствора разжимаются, ограничивая тем самым обрабатываемую зону по высоте.

Для каждого реагента (силиката натрия и углекислого газа) используются самостоятельные подводящие трубы с уплотнителями.

Использование инъектора с манжетами позволяет производить контроль качества закрепления в любой зоне инъекции путем повторного нагнетания раствора силиката натрия.

6.3. Для погружения инъектора методом забивки используются бетоноломы и пневматические молотки по табл. 7

Таблица 7

Марка	Вес в *кг*	Расход воздуха в $м^3/мин$	Рабочее давление в *атм*
ОМСП-5	10	1	4
ОМ-2	9	1	4
ОМ-506	19	1,6	5,5

6.4. Для нагнетания раствора в грунт применяются плунжерные насосы ПС-4Б, НС-3, НД и др. Могут быть использованы также пневматические установки, представляющие собой цилиндрические емкости объемом 500 или 1000 *л*, рассчитанные на давление до 8 *атм*. Емкость оборудуется водомерным стеклом, манометром, предохранительным клапаном, впускным и выпускным кранами.

6.5. Контрольно-измерительная аппаратура включает:

весы на 150 *кг* ШМ-1501 для замера веса расходуемого углекислого газа;

редуктор для регулирования давления углекислого газа УР-2 и КРР-50;

манометры, рассчитанные на давление до 30 *атм* с точностью до 0,5 *атм;*

ареометры для измерения концентраций растворов силиката натрия по удельному весу от 1 до 1,4 $г/см^3$;

термометры со шкалой до 100° С для измерения температуры химических растворов;

измерительный бачок.

6.6. Разводящая сеть состоит из:

резиновых шлангов с тканевыми прокладками с внутренним диаметром 25 и 12—19 *мм,* рассчитанных на давление до 30 *атм;*

частей для шлангов и насосов, инъекторов и газовых редукторов (штуцера, ниппели, хомуты и т. д.).

7. ПРОИЗВОДСТВО РАБОТ

7.1. Газовая силикатизация грунтов производится строго по проекту; изменения и отклонения от проекта допускаются лишь с ведома проектной организации и оформляются актом.

7.2. Основными элементами производства работ по газовой силикатизации грунтов являются: погружение инъектора, приготовление раствора жидкого стекла, нагнетание реагентов, извлечение инъекторов.

Погружение и извлечение инъекторов

7.3. В зависимости от геологических условий площадки и применяемой конструкции погружение инъекторов в грунт может осуществляться одним из следующих трех приемов:

а) забивкой отбойным молотком на глубину до 10—12 *м*. Применяются инъекторы забивные;



Рис. 5. Шарнирный станок для извлечения инъекторов

1 — гайка; *2*—зажимная втулка; *3* — винт; *4* — упор; *5* — пята

б) с помощью сжатого воздуха. Способ применим в мелких и средних песках, не содержащих крупных включений (крупного гравия, строительного мусора и т. д.), с различной степенью водонасыщенности, глубина погру-

жения до 6—8 *м*. Используется инъектор с манжетами (см. рис. 2);

в) опусканием в готовую скважину. Глубина пробуренной скважины в сухих грунтах без крепления стенок может достигать 14—16 *м*. Применяется инъектор с манжетами (см. рис. 2). Пространство между инъектором и стенками скважины заполняется песком.

7.4. В процессе погружения инъекторов в грунт необходимо вести журнал (прил. 6), в котором следует отмечать номер скважины, глубину погружения инъектора и первого манжета.

7.5. Для извлечения инъекторов из грунта могут быть использованы гидравлические домкраты грузоподъемностью 5—10 *т*, винтовой шарнирный станок (рис. 5) или другие установки.

Нагнетание реагентов

7.6. Нагнетание реагентов при закреплении грунтов производится в следующей последовательности: углекислый газ, силикатный раствор и вновь углекислый газ.

7.7. Углекислый газ закачивается в грунт из баллона через понижающий редуктор.

7.8. Нагнетание раствора силиката натрия в грунт производится при помощи насосов или пневматических установок. Инъектор после нагнетания раствора промывается водой в объеме 5—10 *л*.

7.9. Перерывы между нагнетанием реагентов должны быть непродолжительными, не превышающими величин, указанных в табл. 4.

7.10. Норма силикатного раствора, нагнетаемого в одну заходку, контролируется по объему, а углекислого газа — по весу.

7.11. Давление при нагнетании реагентов устанавливается проектом в соответствии с данными пп. 5.14—5.15 настоящих Рекомендаций и корректируется при пробном нагнетании раствора в грунт.

7.12. Нагнетание реагентов может производиться одновременно через несколько инъекторов. Расстояние между инъекторами, через которые одновременно нагнетаются реагенты, должно быть не менее шести радиусов закрепления.

7.13. Если при нагнетании раствор силиката натрия выбивается на поверхность по затрубному пространству,

нагнетание следует немедленно прекратить и обнаруженные места выхода раствора затампонировать подручным материалом (ветошью, глиной и т. д.).

7.14. Если в грунте или в фундаменте обнаруживаются разрыхленные зоны или пустоты, в результате чего при нагнетании значительно понижается давление и увеличивается поглощение раствора, нагнетание необходимо прекратить, разрыхленные зоны зацементировать.

Вспомогательные работы

7.15. Вспомогательные работы включают промывку и прочистку оборудования, тампонаж скважин, подогрев силикатного раствора и устройство тепляков в зимнее время.

7.16. Промывать и прочищать инъекторы необходимо сразу же после их извлечения из грунта.

7.17. Насосы, шланги, емкости должны промываться водой после окончания работ каждой смены. Технический осмотр насосов производится ежедневно. Необходимо систематически проверять исправность газового редуктора, манометров.

7.18. При температуре воздуха ниже +10° С силикатный раствор должен подогреваться до температуры 40—60° С.

7.19. Если газовая силикатизация применяется для борьбы с фильтрацией грунта, то оставшиеся после извлечения инъекторов скважины необходимо затампонировать цементно-песчаным раствором или пластичной глиной.

8. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

8.1. При газовой силикатизации грунтов необходимо соблюдать правила по технике безопасности для работ на паровых, компрессорных, гидравлических и электрических установках, а также для общестроительных и горных работ.

8.2. Производство работ в стесненных закрытых помещениях необходимо проводить с применением принудительной вентиляции. Допустимая норма присутствия CO_2 в воздухе 0,5%.

Для определения содержания углекислого газа в воздухе используется предохранительная бензиновая

(шахтная) лампа. При содержании в воздухе 3—4% CO_2, бензиновая лампа начинает гаснуть, а при содержании 1,5% CO_2 потухшую лампу трудно зажечь.

Нормальное горение бензиновой лампы, поставленной в нижней части помещения, указывает на отсутствие опасных для людей концентраций углекислого газа.

8.3. Рабочие, занятые на работах по газовой силикатизации, должны быть обеспечены предохранительными очками и спецодеждой (брезентовый костюм, рукавицы, резиновая обувь).

8.4. При попадании раствора жидкого стекла на тело необходимо смыть раствор водой. При попадании раствора жидкого стекла в глаза необходимо промыть глаза сначала водой, а затем 2%-ным раствором борной кислоты и немедленно обратиться к врачу.

8.5. К работе по газовой силикатизации могут быть допущены лица, прошедшие обучение.

Баллон с углекислым газом должен быть снабжен стальным колпачком, исправным редукционным вентилем с предохранительным клапаном с заглушкой, навернутой на боковой штуцер вентиля.

Баллоны должны иметь в своей верхней сферической части клеймо (марку завода-изготовителя, номер баллона, год изготовления, вес баллона, рабочее и пробное гидравлическое давление в *кгс/см*^{2}, штамп ОТК, штамп инспектора, срок следующего испытания).

Баллоны с CO_2 нельзя держать вблизи паровых труб, радиаторов отопления, электропроводов, нагревательных приборов. Расстояние от таких источников тепла должно быть не менее 1 *м*. Расстояние от печей и других сильных источников тепла должно быть не менее 5 *м*. Баллоны с углекислотой должны быть защищены от непосредственного действия солнечных лучей. Перед подачей CO_2 необходимо баллон установить на весы вертикально, устроить ограждение в виде рамы, чтобы предупредить опрокидывание.

Для подачи углекислоты из баллона вентиль у баллона надо открывать медленно, ни в коем случае не допуская ударов. Если вентиль не провертывается рукой, следует пользоваться для открытия вентиля гаечным ключом. Баллон, у которого вентиль не открывается даже с помощью ключа, подлежит возврату на базу с надписью «Полный, вентиль не работает».

Категорически запрещается самостоятельно исправлять вентиль баллона и резьбовые соединения.

Ремонтировать газопроводы и арматуру, а также подтягивать муфтовые соединения под давлением запрещается.

Все виды ремонтных работ должны производиться только после предварительного снижения давления до атмосферного. Манометр на редукторе должен быть исправным и непросроченным. Перед началом работ необходимо периодически проверять работу предохранительного клапана. Категорически запрещается регулировать предохранительный клапан путем подвешивания дополнительного груза на его рычаг.

9. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И ДОКУМЕНТАЦИЯ

9.1. В процессе производства работ по газовой силикатизации грунтов ведется постоянный контроль качества силикатного раствора (его модуля и концентрации) и качества закрепления грунтов.

9.2. Качество закрепления (прочность, монолитность и водопроницаемость) в зависимости от его назначения проверяют следующими способами:

бурением контрольных скважин диаметром не меньше 127 *мм* с отбором кернов;

вскрытием шурфов с отбором образцов и описанием характера закрепления;

определением водопроницаемости или удельного водопоглощения;

наблюдением за изменением режима грунтовых вод.

9.3. Количество контрольных скважин должно составлять 5—10% общего количества точек инъекции, а количество шурфов назначается из расчета одного шурфа на 100—200 $м^3$ закрепленного грунта.

Места расположения контрольных выработок и их глубина устанавливаются заказчиком.

9.4. К контрольному бурению и вскрытию шурфов приступают не менее чем через сутки после окончания работ по закреплению.

При бурении и вскрытии шурфов отбирают образцы закрепленного грунта с указанием мест отбора для последующих их испытаний. Монолиты и керны закрепленного грунта при отборе парафинируют во избежание высушивания. Изготовленные из монолитов образцы испы-

тывают в лаборатории на одноосное сжатие (см. прил. 5).

9.5. Общий эффект от химического закрепления грунтов основания существующих сооружений оценивается по результатам наблюдений за осадками фундаментов.

9.6. При производстве работ по газовой силикатизации грунтов должны составляться следующие документы, предъявляемые при сдаче работ:

планы и профили закрепленного массива с обозначением местоположения инъекторов;

журнал работ по газовой силикатизации грунтов;

данные контрольных испытаний образцов;

данные анализа силикатного раствора;

журнал наблюдений за изменением уровня грунтовых вод в пьезометрах (для гидротехнических сооружений);

данные наблюдений за осадками фундаментов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ ПЕСКА, ЛЕССА И ЗАКРЕПЛЕННОГО ГРУНТА

1. Определение коэффициента фильтрации песков производится в трубке Г. Н. Каменского или в любом другом известном приборе.

2. Определение коэффициента фильтрации лёсса рекомендуется производить в приборе конструкции Л. И. Курденкова путем фильтрации силикатного раствора удельного веса 1,13 *г/см*^{3} через образец грунта естественной структуры и влажности диаметром 5 *см* и высотой 6 *см*. Прибор (рис. 6) состоит из стакана, на боковой поверхности которого вмонтирован патрубок. Стакан закрывается с обоих концов крышками, которые стягиваются четырьмя сквозными болтами. В крышках имеются патрубки, через которые фильтрующая жидкость поступает в образец и выводится наружу.

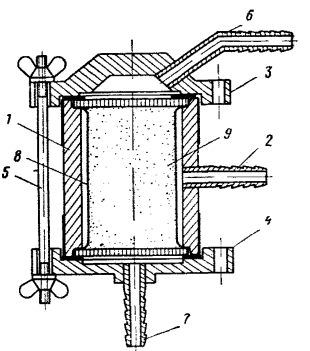

Рис. 6. Прибор для определения коэффициента фильтрации грунта

1 — стакан; *2* — патрубок; *3*, *4* — крышка; *5* — болт с гайкой; *6*, *7* — патрубок; *8* — резиновая обойма; *9* — грунт

В стакан вмонтирована обойма *8* из эластичной резины, предназначенная для бокового обжатия образца и предотвращения пристенной фильтрации.

Через подводящий патрубок первоначально пропускается порция раствора силиката натрия объемом 5 *см*^{3} для фиксации структуры образца. Создав в обжимающей обойме избыточное давление, в несколько раз превышающее давление, при котором производят испытание, начинают фильтровать раствор через образец. Профильтровавшийся раствор собирается в мерный цилиндр. Замер производится через 5 *мин* после начала фильтрации, а затем через 15 *мин*. Коэффициент фильтрации K определяют по формуле

$$K = \frac{QL}{WH}, \qquad (8)$$

где W — площадь фильтрации в *см*^{2};
H — напор, под которым происходит фильтрация, в *см*;
L — длина пути фильтрации в грунте в *см*;
Q — расход воды через сечение W в *см*^{3}/*сек*.

Умножив полученную величину на 864, получаем значение коэффициента фильтрации в размерности *м/сут*.

3. Испытание закрепленных песчаных и лёссовых грунтов на водопроницаемость осуществляется в том же приборе при градиентах напора менее 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ КАРБОНАТОВ В ГРУНТАХ

Примерное содержание карбонатов ($CaCO_3$) в грунте определяют по характеру вскипания пробы при действии 10%-ной соляной кислоты. При сильном и продолжительном вскипании содержание карбонатов выше 5%, при явном и кратковременном вскипании — 3—4%, при слабом и кратковременном вскипании —1—2%, при отсутствии вскипания — менее 1%.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОДУЛЯ РАСТВОРА СИЛИКАТА НАТРИЯ

Для определения модуля раствора силиката натрия рекомендуется пользоваться экспресс-методом, разработанным для этих целей в НИИ оснований и подземных сооружений Госстроя СССР.

Определение силикатного модуля проводится следующим образом.

Около 2 *мл* раствора силиката натрия с удельным весом 1,19 *г/см*^{3} или 4 *мл* силиката натрия с удельным весом 1,09 *г/см*^{3} наливается в фарфоровую чашку объемом 150—200 *мл*, стенки которой предварительно покрываются слоем парафина 2—3 *мм*. К этой пробе приливается около 30 *мл* дистиллированной воды и несколько капель индикатора метилового красного, после чего производится титрование нормальным раствором соляной кислоты

до исчезновения желтой окраски индикатора. В нейтрализованный раствор добавляется 3—4 *г* кристаллического фтористого натрия и дополнительно несколько капель метилового красного. Раствор перемешивается пластмассовой палочкой (не содержащей кремнеземистого заполнителя) и титруется нормальным раствором соляной кислоты до исчезновения желтой окраски индикатора. Титрование заканчивается в тот момент, когда две последние капли кислоты окрасят раствор в бледно-розовый цвет и окраска сохранится в течение 5 *мин.*

Количество нормальной соляной кислоты в миллилитрах, израсходованное на первое титрование, умноженное на коэффициент 31, будет выражать содержание Na_2O в миллиграммах.

Количество нормальной соляной кислоты в миллилитрах, пошедшее на второе титрование (осаждение кремневой кислоты) в присутствии избытка кристаллического фтористого натрия, умноженное на коэффициент 15, будет соответствовать количеству кремневой кислоты в миллиграммах.

Модуль M рассчитывается по формуле

$$M = \frac{A}{D} 1{,}032, \tag{9}$$

где A — содержание SiO_2 в *мг*;

D — содержание Na_2O в *мг;*

1,032 — отношение молекулярного веса окиси натрия к молекулярному весу кремнезема.

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

ИСПЫТАНИЕ ГРУНТОВ НА ЗАКРЕПЛЯЕМОСТЬ

Лабораторное опробование песчаных грунтов на закрепляемость рекомендуется проводить на приборе (рис. 7), состоящем из штатива с двумя стойками, на одной из которых крепится металлическая трубка, а на другой мерный цилиндр из оргстекла объемом до 1 *л*, рассчитанный на давление до 8—10 *атм.*

Металлическая трубка диаметром 40—50 *мм*, высотой 200—250 *мм* снизу закрывается навинчиваемой крышкой со штуцером. Внутреняя стенка трубки предварительно парафинируется.

Грунт загружается в трубку с послойным уплотнением, плотно закрывается крышкой с помощью прижимно-

го кулачка. К крышке подводятся две резиновые трубки, одна из которых соединяется с газовым баллоном через редуктор, другая — с мерным цилиндром, в который залит раствор силиката натрия.

Через грунт нагнетается сначала углекислый газ в объеме 0,5 *л* (при отсутствии расходомера объем ориентировочно устанавливается по времени нагнетания: 1—2 *мин* при давлении 0,2 *атм*), затем 80—100 *см*^{3} раствора силиката натрия и вновь углекислый газ в объеме 1,5 *л*.

Грунт после закрепления извлекается из трубки, подогретой до размягчения парафина, распиливается на образцы и подвергается испытанию на прочность при сжатии и на размокаемость.

Испытание лёссовых грунтов на закреплямость проводится в том же приборе, что и испытание на водопроницаемость.

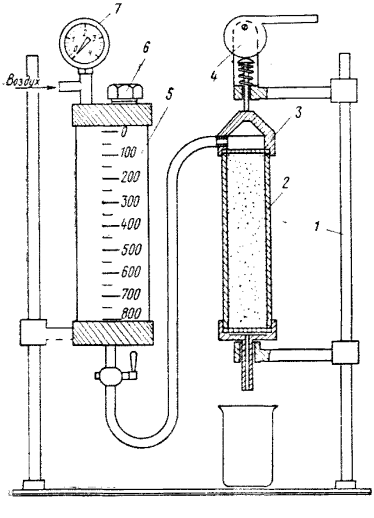

Рис. 7. Прибор для лабораторного закрепления грунта

1 — штатив; *2* — трубка для грунта; *3* — крышка; *4* — уплотнитель кулачковый; *5* — цилиндр мерный; *6*—отверстие с пробкой; *7* — манометр

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

ОТБОР И ИЗГОТОВЛЕНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ЗАКРЕПЛЕННОГО ГРУНТА НЕНАРУШЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Для изготовления образцов из монолита исследуемого материала предварительно выпиливают пластины-заготовки произвольной конфигурации. При этом выравниваются только две параллельные грани. Затем в эту заготовку погружают кольцо, диаметр которого превышает диаметр требуемого образца в 1,5 раза (при этом наличие зазоров между грунтом и кольцом порядка 2—5 *мм* не ухудшает качества пробы).

Высота кольца составляет приблизительно 0,5 высоты отбираемого образца. Для образцов закрепленного грунта малой влажности, т. е. более хрупких, отношение диаметра кольца к диаметру пробоотборника должно быть 1,5:1. Для образцов большей влажности, а значит и более пластичных, отношение диаметра кольца к диаметру пробоотборника может быть уменьшено. Это отношение регулируется и в зависимости от высоты отбираемого образца. С увеличением ее при $\frac{h}{d} > 1{,}5$ отношение диаметра кольца к диаметру пробоотборника должно быть 1,5. Поэтому наличие колец в каждом конкретном случае в зависимости от влажности грунта и высоты отбираемого образца позволит более рационально использовать пластины-заготовки и сократить трудозатраты.

В пластину-заготовку внутри кольца погружают пробоотборник, представляющий собой металлический цилиндр, у которого передняя заостренная часть (10—15 *мм* по высоте) на 1 *мм* у́же по внутреннему диаметру, чем остальная часть. Погружение пробоотборника производится быстрым и плавным давлением. Для погружения кольца, а затем и пробоотборника может быть использовано любое устройство, обеспечивающее достаточное усилие при равномерном поступательном вертикальном движении. Извлечение цилиндрического образца из пробоотборника осуществляется с помощью выталкивателя, диаметр которого меньше внутреннего диаметра пробоотборника на 1—2 *мм*. Перед использованием пробоотборника необходимо смазывать техническим вазелином.

Образцы имеют цилиндрическую форму с соотношением высоты к диаметру $h:d = 15:20$. В качестве нормы рекомендуется цилиндр диаметром 40 *мм*. Отклонения от этих рекомендаций допускаются в пределах ± 2 *мм* (диаметр) и до 10% в отношении высоты к диаметру.

Торцевые поверхности образца должны быть параллельны друг другу (небольшая непараллельность — до 1,5 *мм* по диаметру — допускается в случае испытания образцов на установке с верхним легкоподвижным шарниром). Торцевые поверхности образца не должны иметь выпуклости более 0,1 *мм*. Влажность и объемный вес образцов должны соответствовать естественному состоянию в месте взятия пробы.

Способ отбора образцов разработан в Ростовском Промстройниипроекте инженерами В. Н. Барановым и А. Ф. Селезневым.

ЖУРНАЛ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ ПО

Погружение инъектора					Нагнетание					
					Активизация углекислым газом					
дата	смена	№ скважины	№ заходки	глубина погружения в *м*	количество газа в *кг*	давление в *атм*	нагнетание в *ч-мин*		плотность раствора в *г/см³*	
							начало	конец		

ГАЗОВОЙ СИЛИКАТИЗАЦИИ (ФОРМА)

реагентов								
Силикатного раствора				Углекислого газа				Примечание
объем раствора на 1 заходку в *л*	давление нагнетания в *атм*	нагнетание в *ч-мин*		количество в *кг*	давление в *атм*	нагнетание в *ч-мин*		
		начало	конец			начало	конец	

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

НОРМЫ РАСХОДА КОНЦЕНТРИРОВАННОГО СИЛИКАТНОГО РАСТВОРА НА ЗАКРЕПЛЕНИЕ 1 *м³* ГРУНТА

Плотность силикатного раствора в *г/см³*		Пористость грунта в %	Расход концентрированного раствора в *л* на закрепление 1 *м³* грунта (А)		
концентрированного	рабочего		песков	плывунов	лёссов
1,49	1,13	44	—	—	104
		46	—	—	109
		48	—	—	114
		50	—	—	118
	1,19	34	92,4	105,6	—
		36	98	112	—
		38	102,9	117,6	—
		40	108,5	124	—
		42	113,4	129,6	—
		44	119,7	136,8	—
	1,25	34	121,1	138,4	—
		36	128,8	147,2	—
		38	135,8	155,2	—
		40	142,8	163,2	—
		42	149,8	171,2	—
		44	156,8	179,2	—
	1,3	34	145,6	166,4	—
		36	154	176	—
		38	163,1	186,4	—
		40	171,5	196	—

Плотность силикатного раствора в *г/см³*		Пористость грунта в %	Расход концентрированного раствора в *л* на закрепление 1 *м³* грунта (А)		
концентрированного	рабочего		песков	плывунов	лёссов
		42	179,9	205,6	—
		44	188,3	215,2	—
1,47	1,13	44	—	—	107
		46	—	—	112
		48	—	—	117
		50	—	—	122
	1,19	34	95,9	109,6	—
		36	102,2	116,8	—
		38	107,8	123,2	—
		40	113,4	129,6	—
		42	119	136	—
		44	124,6	142,4	—
	1,25	34	126,7	144,8	—
		36	133,7	152,8	—
		38	141,4	161,6	—
		40	149,1	170,4	—
		42	156,1	178,4	—
		44	163,8	187,2	—
	1,3	34	151,9	173,6	—
		36	161	184	—
		38	177,1	202,4	—
		40	178,5	204	—
		42	187,6	214,4	—
		44	196,7	224,8	—

Продолжение приложения 7

Плотность силикатного раствора в $г/см^3$		Пористость грунта в %	Расход концентрированного раствора в $л$ на закрепление 1 $м^3$ грунта (А)		
концентрированного	рабочего		песков	плывунов	лёссов
1,45	1,13	44	—	—	110
		46	—	—	115
		48	—	—	120
		50	—	—	125
	1,19	34	100,8	115,2	—
		36	106,4	121,6	—
		38	112	128	—
		40	118,3	135,2	—
		42	123,9	141,6	—
		44	130,2	148,8	—
	1,25	34	132,3	151,2	—
		36	140	160	—
		38	147,7	168,8	—
		40	155,4	177,6	—
		42	163,1	186,4	—
		44	170,8	195,2	—
	1,3	34	158,2	180,8	—
		36	168	192	—
		38	177,1	202,4	—
		40	186,9	213,6	—
		42	196	224	—
		44	205,1	234,4	—
1,43	1,13	44	—	—	113
		46	—	—	118
		48	—	—	123
		50	—	—	128
	1,19	34	105	120	—
		36	111,3	127,2	—
		38	117,6	134,4	—
		40	123,9	141,6	—
		42	130,2	148,8	—
		44	135,8	155,2	—

Продолжение приложения 7

Плотность силикатного раствора в $г/см^3$		Пористость грунта в %	Расход концентрированного раствора в $л$ на закрепление 1 $м^3$ грунта (А)		
концентрированного	рабочего		песков	плывунов	лёссов
1,43	1,25	34	138,6	158,4	—
		36	146,3	167,2	—
		38	154,7	176,8	—
		40	163,1	186,4	—
		42	170,8	195,2	—
		44	179,2	204,8	—
	1,3	34	165,9	189,6	—
		36	175,7	200,8	—
		38	185,5	212	—
		40	195,3	223,2	—
		42	205,1	234,4	—
		44	214,9	245,6	—
1,41	1,13	44	—	—	116
		46	—	—	121
		48	—	—	126
		50	—	—	131
	1,19	34	110,6	126,4	—
		36	116,9	133,6	—
		38	123,2	140,8	—
		40	129,5	148	—
		42	136,5	156	—
		44	142,8	163,2	—
	1,25	34	144,9	165,6	—
		36	154	176	—
		38	162,4	185,6	—
		40	170,8	195,2	—
		42	179,2	204,8	—
		44	187,6	214,4	—
	1,3	34	174,3	199,2	—
		36	184,1	210,4	—
		38	194,6	222,4	—
		40	205,1	234,4	—
		42	214,9	245,6	—
		44	225,4	257,6	—

gost.e-ecolog.ru