

УДК 624.138.4

А.А.ГОРЮШКО, М.Ф.БРОНЖАЕВ, канд. техн. наук,

Т.В.МИШУРОВА, канд. техн. наук

*Харьковская национальная академия городского хозяйства*

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИУСА ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ  
ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ ПО ОДНОРАСТВОРНОЙ  
ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ ТЕХНОЛОГИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ГИДРООРТОФОСФАТНОЙ КОАГУЛИРУЮЩЕЙ ДОБАВКИ  
В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ**

Приводятся результаты исследования радиуса закрепления просадочных лессовых грунтов по однорастворной двухкомпонентной технологии с применением гидроортофосфатной коагулирующей добавки и растворов силиката натрия плотностью 1,09 и 1,19 г/см<sup>3</sup>.

Актуальность проблемы борьбы с просадочностью лессовых грунтов, залегающих в основаниях зданий и инженерных сооружений, обуславливается широким распространением этих грунтов на территории Украины и тем, что при дополнительном увлажнении просадочного лессового грунта начинают реализовываться его просадочные свойства и резко уменьшается прочность. При этом основание теряет устойчивость, происходит его интенсивная осадка и, как следствие, здание или сооружение полностью или частично разрушается.

Познание природы просадочности лессовых грунтов позволило разработать эффективные инженерные методы борьбы с этим явлением. В основном эти методы сводятся к преобразованию неустойчивой специфической структуры лесса в устойчивое недеформируемое состояние. При этом стремятся повысить плотность лёссового просадочного грунта и увеличить прочность связей минеральных частиц.

Физико-химический процесс закрепления лесса основан на хорошей проникающей способности силикатного раствора, имеющего небольшую вязкость (2-3 МПа·с), в грунт и на быстром образовании цементирующей грунт пленки геля кремниевой кислоты благодаря реакции раствора силиката натрия с солями грунта. При использовании однорастворной двухкомпонентной технологии дополнительная коагулирующая солевая добавка вводится непосредственно перед инъецированием.

При соприкосновении раствора силиката натрия с коагулянтм начинается химическая реакция образования геля кремниевой кислоты. Время схватывания силиказоля (превращение его в силикагель) регулируется количеством предложенной коагулирующей добавки в определенном объемном соотношении с силикатом натрия. Далее по-

лученный силиказоль инъецируют в закрепляемый грунт, на частицах и стенках капилляров которого через расчетный промежуток времени образуется пленка геля кремниевой кислоты. Эта пленка в первое время имеет толщину в несколько микрон и поэтому не препятствует прохождению нагнетаемого раствора и только через несколько часов, благодаря более интенсивному процессу гелеобразования вследствие диффузии, происходит закупорка капилляров гелем кремниевой кислоты, и проницаемость грунта резко уменьшается. Несмотря на малую толщину пленки геля кремниевой кислоты, она все же достаточно прочна, чтобы сохранить грунт уже в первый период насыщения раствором в его естественном ненарушенном состоянии. Этому способствует также весьма незначительная величина набухания лессового грунта [1, 2].

Закрепляющие растворы должны придавать грунту связность и некоторую прочность. Указанным требованиям удовлетворяют силиказоли – однородные растворы, которые получаются от смешения раствора силиката натрия (основного раствора) и коагулянта (раствора-отвердителя). Растворами-отвердителями могут служить кислоты и соли, обладающие буферными свойствами. Здесь в качестве отвердителя была применена солевая коагулирующая добавка (гидроортофосфат натрия), а не непосредственно ортофосфорная кислота. Использование солевой добавки является более целесообразным по двум критериям: во-первых, она обладает значительными буферными свойствами, во-вторых – более экономична.



Рис.1 – Прибор ЛПЗ-2

Использование гидроортофосфата натрия в качестве дополнительной коагулирующей добавки придает образовавшемуся раствору свойство буферной зоны, то есть позволяет регулировать время гелеобразования.

Эксперимент по исследованию радиуса закрепления при использовании односторонней двухкомпонентной технологии проводился на усовершенствованном приборе для лабораторного химического закрепления грунтов [3, 4]. Усовершенствованный прибор, показанный на рис.1, состоит из набора толстостенных колец, а также из сетчатых горизонтальных перегородок, расположенных между каждым кольцом. В существующем приборе были выполнены дополнитель-

ные отверстия в горизонтальных сетчатых перегородках, в которые были вмонтированы металлические патрубки.



Рис.2 – Испытываемые образцы

Данное усовершенствование позволило в дальнейшем, при проведении опытов, наблюдать за временем прохождения закачиваемого раствора на участках длиной 60 мм и исследовать отобранный из патрубков фильтрат. В кольца были помещены образцы отобранного грунта с определенными ранее физико-механическими характеристиками. Во избежание проникания силиказоля в местах неплотного прилегания образцов к поверхности колец, эти места были герметизированы силиконовым клеем (рис.2).

В ходе работы испытывались образцы лессовидного просадочного грунта (первый тип по просадочности), имеющего физико-механические характеристики, представленные в табл.1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики просадочного грунта до закрепления

Наименование физико-механических характеристик грунтов	Значение
Удельный вес $\gamma$ , кН/м <sup>3</sup>	16,8
Пористость $n$ , %	42
Относительная просадочность $\varepsilon_{sl}$	0,017
Модуль деформации $E^{мод}$ , МПа	6,2
Удельное сцепление $C$ , кПа	45
Угол внутреннего трения $\varphi$ , град	26
Предел прочности при одноосном сжатии, МПа	-

В качестве составляющих компонентов крепящего раствора были использованы растворы: силиката натрия плотностью  $\rho_c=1,09$  и  $1,19$  г/см<sup>3</sup>, коагулирующей солевой добавки – гидроортофосфата натрия.

Испытания проводили при нормальных условиях.

Согласно технологической схеме (рис.3), приготовленный ранее раствор подавали под воздействием давления величиной 2 атм в прибор ЛПЗ-2 (6) из рабочей емкости (5). Постоянное давление поддерживали при помощи рессивера (3). Как видно на рис.1, по высоте прибора

имеются выходные патрубки, с помощью которых фиксировали появление раствора на определенном уровне, после чего патрубков закрывали в целях избежания потерь давления. Технологические параметры закрепления, принятые в эксперименте, показаны в табл.2.

Таблица 2 – Технологические параметры закрепления

Наименование, ед. изм.	Величина, интервал
Плотность раствора силиката натрия $\rho_c$ , г/см <sup>3</sup>	1,09
	1,19
Массовая доля соли гидроортофосфата натрия $W$ , %	1,17
Интервал объемного соотношения исходных компонентов, О/С	1,0 ... 5,0
Давление нагнетания $P$ , кгс/см <sup>2</sup>	1,0 ... 2,0
Температура силиката натрия $t$ , °С	20
Диаметр образца $d$ , мм	40
Высота образца $h$ , мм	60

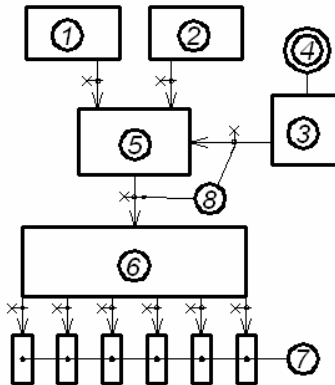


Рис. 3 – Технологическая схема лабораторного закрепления грунтов:  
 1 – емкость для приготовления рабочих растворов силиката натрия;  
 2 – емкость для приготовления рабочих растворов солевых добавок;  
 3 – ресивер; 4 – манометры;  
 5 – рабочая емкость нагнетания и дозировки; 6 – прибор ЛПЗ-2;  
 7 – емкость для сбора фильтрата;  
 8 – запорный вентиль.

Целью проведения данного эксперимента было определение радиуса закрепления грунта при инъецировании в него силиказоля подобранным составом с тем, чтобы силиказоль сохранял свои крепящие свойства.

По результатам проведенных опытов был построен график зависимости радиуса закрепления от времени инъецирования силиказоля (рис.4). Кривые на этом графике отражают как зависимости для силиката натрия с плотностями 1,09 и 1,19 г/см<sup>3</sup> с солевыми добавками (кривые 1, 3), так и без них (кривые 2, 4). Радиус закрепления при ис-

пользовании раствора силиката натрия с плотностями 1,09 и 1,19 г/см<sup>3</sup> и дополнительной солевой добавки увеличился в среднем на 2,4%. Что касается времени инъецирования, то при закачивании в прибор крепящего раствора с использованием силиката плотностью 1,19 г/см<sup>3</sup>, (кривые 3, 4) заметное увеличение радиуса закрепления наблюдалось в течение первых 25 минут, а при пересечении этой временной отметки кривая, отображающая данный процесс, становится более пологой. Следовательно, увеличение времени инъецирования более 25 минут в данном случае нерационально. При инъецировании силиката натрия плотностью 1,09 г/см<sup>3</sup>, с дополнительными соевыми добавками и без них (кривые 1, 2) в интервале времени 25-45 минут радиус закрепления увеличился в среднем на 0,07 м.

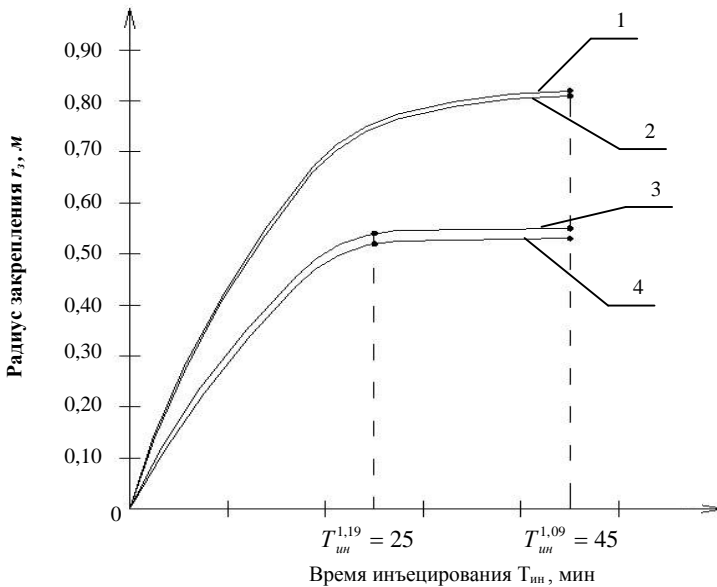


Рис. 4 – График зависимости радиуса закрепления от времени инъецирования силиказоля: 1 – для силиката натрия с  $\rho_c=1,09$  г/см<sup>3</sup> + раствор соли; 2 – для силиката натрия с  $\rho_c=1,09$  г/см<sup>3</sup>; 3 – для силиката натрия с  $\rho_c=1,19$  г/см<sup>3</sup> + раствор соли; 4 – для силиката натрия с  $\rho_c=1,19$  г/см<sup>3</sup>.

Был построен также график зависимости радиуса закрепления грунта от плотности силиката натрия (рис.5), из которого следует, что использование низкоплотностного крепящего раствора позволяет уве-

личить радиус закрепления в 1,5 раза.

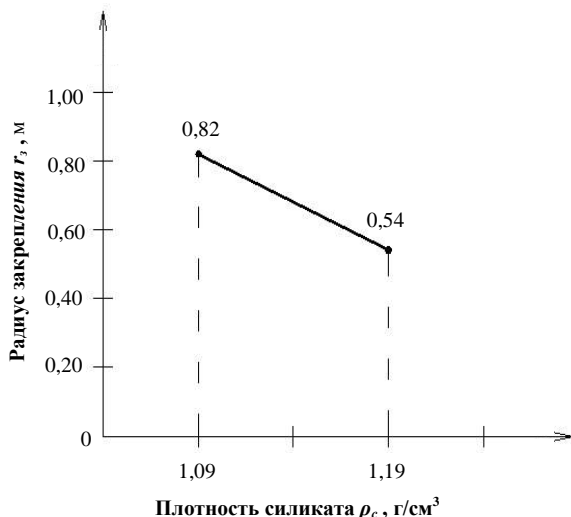


Рис.5 – График зависимости радиуса закрепления от плотности раствора силиката

Таким образом, при проведении данных исследований было получено увеличение радиуса закрепления просадочного лессового грунта  $r_z$  на 34% при использовании раствора силиката натрия плотностью 1,09 г/см<sup>3</sup> и дополнительной коагулирующей добавки, что можно увидеть на графике (рис.5).

Используемая дополнительная солевая добавка придает инъеклируемому раствору свойство буферности, т.е. увеличивает время схватывания, что позволяет прокачать его на большее расстояние.

1.Ржаницын Б.А. Химическое закрепление грунтов в строительстве. – М.: Стройиздат, 1986. – 263 с.

2.Соколович В.Е. Химическое закрепление грунтов. – М.: Стройиздат, 1980. – 118 с.

3.Бронжаев М.Ф. Метод расчета параметров химического закрепления грунтовых массивов, загрязненных фосфорнокислыми промстоками: Дисс... канд. техн. наук: 05.23.02. – Днепропетровск, 1997. – 179 с.

4.Мишурова Т.В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми промстоками, в условиях действующего производства: Дисс... канд. техн. наук: 05.23.02. – Днепропетровск, 2001. – 171 с.

Получено 09.09.2006