УДК 624.138.4 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.166.2016.92923

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ ПЕСЧАНЫХ И ПЫЛЕВАТО-ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ СИЛИКАТИЗАЦИЕЙ

**Ассист. А. М. Левенко**

# ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАКРІПЛЕННЯ ПІЩАНИХ І ПИЛУВАТО-ГЛИНИСТИХ ГРУНТІВ СИЛІКАТИЗАЦІЄЮ

**Асист. Г. М. Левенко**

# RESEARCH FIXABILITY CONTAMINATE ACID SANDY AND SILTY-CLAY SOILS SILICATION

**Levenko Ganna**

*Проведены исследования песчаных и пылевато-глинистых грунтов, загрязненных перуксусной кислотой. Определены физические характеристики грунтов естественного состояния после попадания в них кислоты и после химического закрепления их силикатом*

*натрия. Определен коэффициент Пуассона закисленных и закрепленных грунтов. Получен радиус закрепления грунтов в зависимости от плотности раствора силиката натрия.*

***Ключевые слова**: силикатизация, коэффициент Пуассона, химическое набухание.*

*Проведено дослідження піщаних і пилувато-глинистих ґрунтів, забруднених пероцтевою кислотою. Визначено фізичні характеристики ґрунтів природного стану після потрапляння в них кислоти і після хімічного закріплення їх силікатом натрію. Визначено коефіцієнт Пуассона закислених і закріплених ґрунтів. Отримано радіус закріплення ґрунтів залежно від щільності розчину силікату натрію.*

***Ключові слова**: силікатизація, коефіцієнт Пуассона, хімічне набухання.*

*The main task of chemical grouting is to strengthen the bonds between the soil particles by chemical reagents. There are many different ways to the chemical grouting. Some widely and commonly used in construction, is used in some rare and exceptional cases.*

*Modern requirements for different approaches to address technological problems require that, before the effect of the measures applied on the ecological environment. A widely used method to combat chemical methods is swelling injection grouting bases.*

*Currently, widespread contamination problem grounds soil is under the foundations of buildings and industrial facilities. Investigations of sandy and silty-clay soils contaminated with peracetic acid. The physical characteristics of the soils natural state, after being hit by them after the acid and chemical fastening them with sodium silicate. Detected zakislochenih Poisson's ratio and grouting. Prepared grouting radius depending on the density of the sodium silicate solution.*

***Keywords**: silikatyzation, Poisson's ratio, chemical swelling.*

**Введение.** Основная задача химического закрепления грунтов заключается в усилении связей между частицами грунта с помощью химических реагентов. Существует большое количество различных способов химического закрепления грунтов. Некоторые широко распространены и часто используются в строительстве, некоторые же применяются в редких, исключительных случаях.

В настоящее время широко распространена проблема загрязнения грунтов оснований именно под фундаментами промышленных зданий и сооружений. Очень часто, попадая в грунты основания, сточные воды различного рода производств приводят к такому явлению, как «химическое набухание» [6, 7]. Этот процесс имеет сложный физико-химический характер и может приводить к крайне негативным последствиям как для фундаментов, так и для системы «основание – фундамент – сооружение» в целом.

**Анализ последних исследований и публикаций.** В последнее время химическое закрепление стали применять для стабилизации поведения грунтов оснований в случае их загрязнения промышленными стоками [1, 4, 8].

Современные требования к подходам по решению различных техногенных проблем требуют обязательного учета влияния применяемых мер на экологическое состояние окружающей среды [3]. Широко распространенными методами по борьбе с химическим набуханием являются методы инъекционного закрепления грунтов оснований [4].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья.** В процессе работы исследовались песчаные и пылевато-глинистые грунты, закисленные перуксусной кислотой, на закрепляемость растворами силиката натрия различной плотности.

Исходные характеристики исследуемых грунтов приведены в табл. 1.

Все четыре группы грунтов замачивались растворами перуксусной кислоты в концентрации 1 %, 2 %, 3 %. Результаты исследования механических характеристик грунтов после закисления приведены в табл. 1.

Таблица 1

Механические характеристики исследуемых грунтов

| Грунт | Некоторые механические характеристики грунтов до закисления | Некоторые механические характеристики грунтов после закисления |
|---|---|---|
| Песок пылеватый, кварцевый | $\varphi \approx 36{,}3°$<br>$E \approx 31.5 МПа$<br>$C \approx 8{,}0 кПа$<br>$R = 270 кПа$ | $\varphi \approx 33{,}0° - 35{,}6°$<br>$E \approx 21{,}5 - 22{,}03 МПа$<br>$C \approx 2{,}0 - 6{,}0 кПа$<br>$R = 186 кПа$ |
| Супесь буровато-жёлтая, пластичная | $\varphi \approx 32{,}1°$<br>$E \approx 22{,}6 МПа$<br>$C \approx 5{,}0 кПа$<br>$R = 230 кПа$ | $\varphi \approx 27{,}8° - 31{,}3°$<br>$E \approx 19{,}9 - 21{,}9 МПа$<br>$C \approx 3{,}0 - 4{,}3 кПа$<br>$R = 123 кПа$ |
| Суглинок тяжелый, желто-коричневый, тугопластичный | $\varphi \approx 33{,}2°$<br>$E \approx 26{,}7 МПа$<br>$C \approx 9{,}4 кПа$<br>$R = 256 кПа$ | $\varphi \approx 26{,}7° - 29{,}3°$<br>$E \approx 16{,}9 - 24{,}8 МПа$<br>$C \approx 5{,}2 - 6{,}3 кПа$<br>$R = 196 кПа$ |
| Глина полутвердая, серая | $\varphi \approx 26{,}4°$<br>$E \approx 22{,}4 МПа$<br>$C \approx 39 кПа$<br>$R = 532 кПа$ | $\varphi \approx 22{,}0° - 24{,}2°$<br>$E \approx 18{,}9 - 21{,}9 МПа$<br>$C \approx 32{,}0 - 35{,}3 кПа$<br>$R = 216 кПа$ |

Для лабораторного закрепления грунтовых образцов использовались растворы силиката натрия, приготовленные на основе силиката натрия по ГОСТ130-78-81. Стекло жидкое натриевое, с силикатным модулем 2,7.

Рабочие растворы имели плотность $1{,}10 г/см^3$, $1{,}15 г/см^3$, $1{,}20 г/см^3$, $1{,}25 г/см^3$. Диапазон плотностей рабочих растворов обусловлен более ранними исследованиями возможности образования гелей на основе перуксусной кислоты и силиката натрия [5].

Гель кремниевой кислоты образовывался в результате протекания следующей реакции:

$$2CH_3\text{-}C(=O)\text{-}O\text{-}OH + 2nNa_2SiO_3 \longrightarrow nNa_2O\cdot(SiO_2)n + 4CO_2 + 4H_2O \quad .(1)$$

(перуксусная кислота) (силикат натрия) (гель кремниевой кислоты)

Время гелеобразования во многом зависит от объемных соотношений **Ω** – перуксусная кислота/силикат натрия [5], плотности силиката натрия и концентрации кислоты.

Порядок и результаты исследований возможности образования силикатных гелей, времени их образования, а также рабочие объемные соотношения для **Ω** изложены в работе [5].

На основе полученных данных при закреплении групп грунтовых образцов использовались оптимальные соотношения **Ω**, позволяющие выполнить лабораторные испытания по закреплению закисленного грунта.

Для проведения исследований по закрепляемости грунтов использовался прибор для лабораторного химического закрепления ЛПЗ-2 (рис. 1).

а)

б)

Рис. 1. Прибор для лабораторного химического закрепления ЛПЗ-2:
а – общий вид прибора; б – закрепленные образцы грунта в кольцах

Грунты всех четырех групп закреплялись по традиционной пропиточной безразрывной технологии с помощью прибора для лабораторного закрепления ЛПЗ-2.

Используемые параметры закрепления всех четырех групп грунтовых образцов указаны в табл. 2.

После закрепления выполнялись испытания закрепленных образцов грунта на прочность при сжатии при помощи ручного пресса (рис. 2).

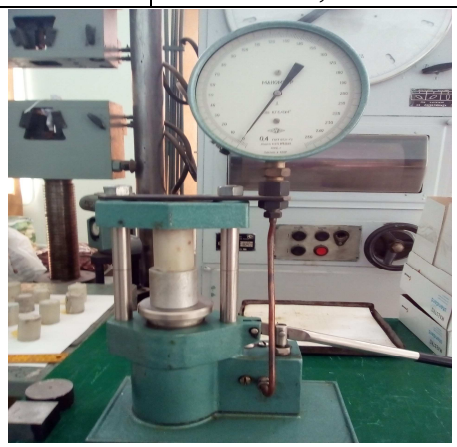
Таблица 2

Параметры закрепления

| Параметр | Численное значение |
|---|---|
| Плотность растворов силиката натрия, $г/см^3$ | 1,10 ; 1,15 ; 1,20 ; 1,25 |
| Концентрация растворов перуксусной кислоты, % | 1%, 2%, 3% |
| Интервал объемных соотношений компонентов **Ω** | 4,5 – 16,0 |

| | |
|---|---|
| Давление нагнетания растворов, $кгс/см^2 (атм)$ | 1,0 – 2,0 |
| Высота образцов, см | 6,0 |
| Диаметр образцов, см | 4,1 |

а)



б)

в)

Рис. 2. Испытания грунта на сжатие: а – образцы грунта перед испытанием;
б – образец грунта в прессе в процессе испытания;
в – образец грунта после проведения испытания

Механические испытания полученных закрепленных образцов и исследования выполнялись через 28 суток после проведения закрепления.

Исследования были направлены на определение прочности закрепленного грунта и определение радиуса его закрепления для каждого интервала соотношений **Ω** [5].

Объемные отношения компонентов **Ω** менялись в интервалах:

| Плотность силиката натрия $\rho_c$, г/см$^3$ | Интервал объемных соотношений Ω |
|---|---|
| 1,05 | 2,0-4,5 |
| 1,10 | 4,5-8,0 |

| | |
|---|---|
| 1,15 | 6,5-10,5 |
| 1,20 | 7,5-13,5 |
| 1,25 | 12,5-16,0 |

В результате испытаний образцов закреплённого грунта установлено, что с увеличением плотности силиката натрия и концентрации перуксусной кислоты увеличивается R - расчетное сопротивление грунта.

Как видно из табл. 3, механические характеристики грунтов после закрепления значительно повышаются по сравнению с состоянием после закисления. Грунты приобретают прочность на сжатие, превышающую значение прочности грунтов в естественном состоянии (до закисления).

Таблица 3

Некоторые механические характеристики грунтов после закрепления

| Грунт | Механические характеристики грунтов после закрепления | | | |
|---|---|---|---|---|
| | *φ, град* | *E, МПа* | *C, кПа* | R, кПа |
| Песок пылеватый, кварцевый | 39,8 | 38,9 | 8,2 | 351- 456 |
| Супесь пластичная | 23,9 | 42 | 39,2 | 243- 321 |
| Суглинок тяжелый, тугопластичный | 24,3 | 38 | 38,9 | 220 - 370 |
| Глина полутвердая, серая | 26,3 | 37,9 | 39,2 | 470 - 560 |

От проникающей способности инъецируемого раствора зависит (при прочих равных условиях) радиус и однородность закреплённого грунтового массива. Характеристикой проникающей способности закрепляющего раствора является его плотность. Снижение плотности используемых растворов позволяет расширить диапазон охвата закрепляемых грунтов по их проницаемости и гранулометрическому составу.

По результатам исследования закрепляемость всех четырех групп образцов получены зависимости радиуса закрепления от плотности растворов силиката натрия (рис. 3). Графика отражает зависимость радиуса закрепления от плотности силиката натрия.

В процессе проведения испытаний было определено, что при закреплении двух групп образцов – глины и суглинка – раствором силиката натрия плотностью $\rho_c$=1,25 г/см$^3$ закрепление не произошло.

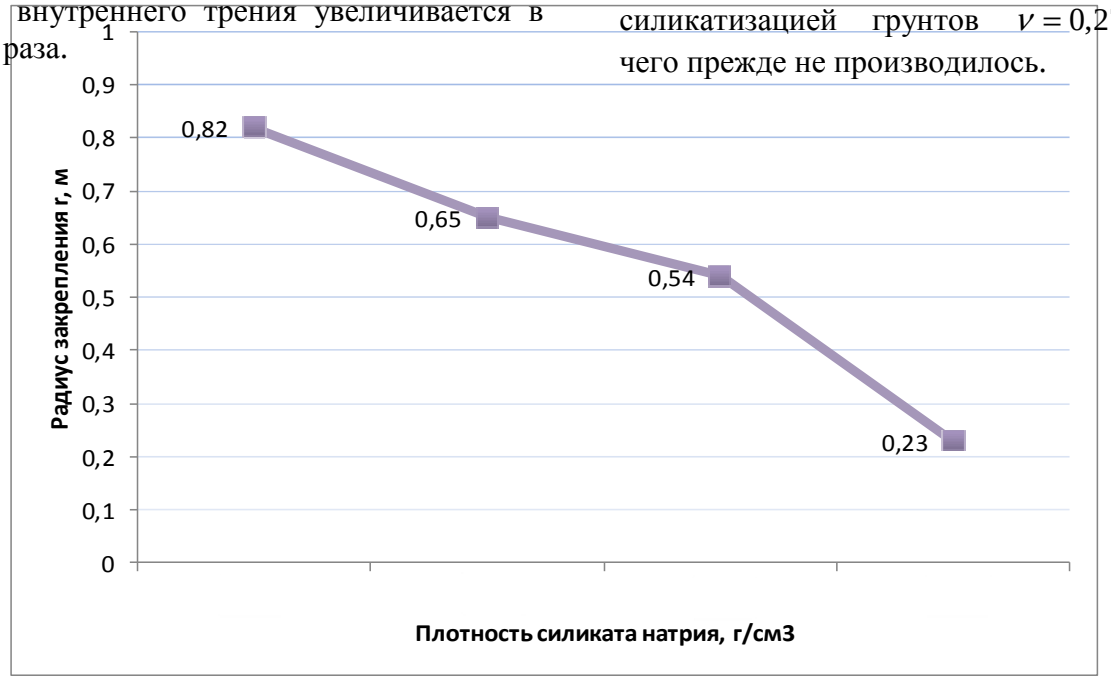
Из графика видно, что с понижением плотности растворов силиката натрия радиус закрепления увеличивается. Инъецирование силиката натрия с плотностью 1,05 г/см$^3$ не производилось по причине малой площадки «буферности» [5].

В процессе исследований также был определен коэффициент Пуассона $\nu$ как для закисленных грунтов, так и для закрепленных, чего прежде не производилось. Полученные результаты приведены в табл. 4.

**Выводы из разработки и перспективы, дальшейшее исследование в данном направлении.** В результате исследований установлено, что расчетное

сопростивление грунтов R увеличивается в 1,81-3,01 раза, удельное сцепление *C* увеличивается в 9,6 раза, модуль деформации *E* увеличивается в 2,48 раза, угол внутреннего трения увеличивается в 1,56 раза.

По результатам испытаний был определен коэффициент Пуассона $\nu$ как для закисленных перуксусной кислотой грунтов $\nu = 0{,}35 - 0{,}50$, так и для закрепленных силикатизацией грунтов $\nu = 0{,}27 - 0{,}36$, чего прежде не производилось.




1,10 1,15 1,20 1,25

Рис. 3. Графика зависимости радиуса закрепления от плотности силиката натрия

Таблиця 4

Коэффициент Пуассона четырех групп грунтов

| Грунт | Коэффициент Пуассона | | |
|---|---|---|---|
| | до закрепления в естественном состоянии | после закисления | после закрепления |
| Песок пылеватый, кварцевый | 0,30 | 0,35 | 0,27 |
| Супесь пластичная | 0,34 | 0,39 | 0,30 |
| Суглинок тяжелый, тугопластичный | 0,36 | 0,41 | 0,30 |
| Глина полутвердая, серая | 0,42 | 0,50 | 0,36 |

***Список использованных источников***

1. Мишурова, Т. В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми промстоками, в условиях действующего производства [Текст]: дисс… канд. техн. наук: 05.23.02 / Т. В. Мишурова. – Днепропетровск, 2001. – 171 с.

2. Сорочан, Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах [Текст] / Е.А. Сорочан. – М.: Стройиздат, 1989. – 312 с.

3. Хансиварова, Н. М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лессовой геологической среды [Текст] / Н. М. Хансиварова, В. И. Коробкин, Р. М. Филь // Новое в экологии: сб. докладов Междунар. эколог. конгресса; Балт. гос. техн. ун-т. – СПб., 2000. – Т. 2. – С. 369-372.

4. Бронжаев, М. Ф. Химическое закрепление закислоченного грунта на Славянском ПО "ХИМПРОМ" [Текст] / М. Ф. Бронжаев // Коммунальное хозяйство городов. – К.: Техніка, 1996. – С. 95-98.

5. Левенко, А. М. Исследование силикатных гелей на основе перуксусной кислоты по всему диапазону их образования [Текст] / А. М. Левенко, М. Ф. Бронжаев // Зб. наук. праць. Сер. Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2013. – Вип. 3 (38). – Т. 1. – С. 68-75.

6. Соколович, В. Е. Химическое пучение глинистых и песчаных грунтов. Основания, фундаменты и механика грунтов [Электронный ресурс] / В. Е. Соколович. – Режим доступу: http://stroikmb.ru/a104.php.

7. Guneya, Y. Dursun Sar, Murat Cetin, Mustafa Tuncan. Impact of cyclic wetting–drying on swelling behavior of lime-stabilized soil // Building and Environment**.** February 2007. - Vol. 42. - Issue 2. – P. 681-688.

8. Amer Ali Al-Rawasa, A.W. Hagoa ,Hilal Al-Sarmib. Effect of lime, cement and Sarooj (artificial pozzolan) on the swelling potential of an expansive soil from Oman Building and Environment. - May 2005. - Vol. 40. - Issue 5. – P. 681–687.

Левенко Ганна Михайлівна, асистент кафедри механіки грунтів, фундаментів та інженерной геології Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова. Тел.: (057) 707 31 12. E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Levenko Ganna, assistant of department of Soil Mechanics, Foundation and Geology O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv. Tel.: (057) 707 31 12. E-mail: levenkoanna@mail.ru.

Стаття прийнята 12.12.2016 р.