

*Левенко Г.М.*

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ОСОБЛИВОСТІ БУДІВНИЦТВА НА ҐРУНТАХ, ЩО НАБРЯКАЮТЬ. МОЖЛИВІСТЬ ЗАКРІПЛЕННЯ НАБРЯКАЮЧИХ ҐРУНТІВ

*Досвід експлуатації багатьох підприємств показав, що внаслідок аварійних замочувань ґрунтів промисловими стоками в основи споруд потрапляють хімічно активні розчини різних концентрацій, під впливом яких ґрунти суттєво змінюють свої властивості. Так, у результаті фізико-хімічних процесів і обмінних реакцій відбувається збільшення об'єму ґрунтів, так зване «хімічне набрякання». Під час проектування або реконструкції будівель і споруд на ґрунтах, що набрякають, необхідно чітко уявляти картину їх поведінки, щоб у подальшому мати можливість прогнозувати поведінку системи «основа – фундамент – споруда». Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки основ, що забруднені промисловими стоками, є ін'єкційні методи закріплення, зокрема силікатизація.*

**Ключові слова:** силікатизація, хімічне набрякання, пероцтова кислота, міцність закріпленого ґрунту.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень і публікацій.** Більшість досліджень, проведених до останнього часу [1–4], було присвячено вивченню закономірностей разового набрякання, тобто набрякання в одному циклі зволоження. Значно меншою мірою вивчені закономірності циклічного набрякання, тобто поведінки ґрунтів у багаторазовому зволоженні і висушуванні. Тим часом ґрунти, що залягають в основі промислових будівель з мокрим циклом виробництва, знаходяться в умовах мінливого режиму зволоження.

Поведінка ґрунтів у цих умовах визначається закономірностями їх циклічного, а не разового набрякання. Згідно з дослідженнями [5; 6] циклічне зволоження і висушування призводить до суттєвого збільшення показників набрякання порівняно з разовим набряканням. При цьому відносне збільшення значень показників набрякання залежить від типу структурних зв'язків і зростає зі збільшенням міцності останніх.

У разі періодичного замочування-висушування вологість набрякання зростає приблизно до вологості на межі текучості, і чим вищий ступінь міцності структурних зв'язків і менша початкова пористість і вологість зразка, тим більше число циклів зволоження-висушування необхідне для досягнення граничної величини набрякання.

У разі попадання води у ґрунти, що набрякають, відбуваються як вертикальні, так і горизонтальні деформації. За випробування такого ґрунту в жорсткому кільці, коли відсутні горизонтальні деформації, виникає горизонтальний тиск, що діє на стінки кільця. Отже, на огорожувальні конструкції (фундаменти, підпірні стінки, тунелі тощо), які влаштовуються в ґрунтах, що набряка-

ють, за їх зволоження діятимуть додаткові тиски, спричинені набряканням ґрунту.

На основі випробувань, проведених у різних приладах, виявлені закономірності розвитку горизонтального тиску під час набрякання ґрунту [7]. Горизонтальний тиск залежить від щільності і вологості ґрунту: зі збільшенням щільності він зростає, а зі збільшенням вологості зменшується. Так, під час випробування зразків Хвалінських глин порушеної структури без зовнішнього навантаження горизонтальний тиск за щільності сухого ґрунту  $p_d = 1,30 \text{ т/м}^3$  дорівнює 40 кПа, а за  $p_d = 1,87 \text{ т/м}^3$  – 220 кПа. За щільності  $p_d = 1,30 \text{ т/м}^3$  горизонтальний тиск для зразків з вологістю 8% становив 170 кПа, а з вологістю 25% – 120 кПа.

**Формулювання цілей статті.** На сучасному етапі будівництва вирішення різних техногенних завдань обов'язкове з урахуванням впливу прийнятих рішень на екологічний стан навколишнього середовища. Це питання є особливо актуальним для районів з великою часткою хімічної і харчової промисловості.

Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки ґрунтів основ, забруднених промисловими стоками, є ін'єкційні методи закріплення [8; 9].

Закріплення ґрунтів, що зазнають забруднення промисловими стоками, являє собою комплекс різних заходів, які враховують вирішення питань як технічних, так і екологічних. У проведенні робіт із закріплення ґрунтів, забруднених промисловими стоками, необхідно враховувати певні вимоги [8]:

1. У проведенні робіт із закріплення забруднених масивів ґрунтів необхідно враховувати екологічний стан ділянки, що закріплюється, намагатись мінімізувати внесення хімічних речовин, необхідних для проведення робіт.

Таблиця 1

## Параметри закріплення

Найменування параметра	Чисельне значення параметрів
Щільність розчинів силікату натрію, $\rho / \text{см}^3$	1,10 ; 1,15 ; 1,20 ; 1,25
Концентрація розчинів пероцтової кислоти, %	1%, 2%, 3%
Інтервал об'ємних співвідношень компонентів $\Omega$	4,5–16,0
Тиск нагнітання розчинів, $\text{кгс} / \text{см}^2(\text{атм})$	1,0–2,0
Висота зразків, см	6,0
Діаметр зразків, см	4,1
Інтервали гелеутворення	1–60 хв.

2. Запропонована методика закріплення має забезпечувати стабілізацію деформацій як підстав системи «основа – фундамент – споруда».

3. Після проведення робіт механічні та деформаційні показники закріпленого масиву мають підвищуватися.

4. Обов'язково необхідно забезпечувати суцільність закріплення масиву забрудненого ґрунту по всьому його об'єму.

Умовою вибору тієї чи іншої технології закріплення служить умова *одночасного* виконання всіх перерахованих вимог. Це є максимально оптимальним методом для пошуку і вибору найбільш ефективного способу хімічної стабілізації ґрунтових масивів, забруднених промисловими стоками [7; 8; 9]. Таким чином, під час проектування споруд на ґрунтах, що набрякають, виникає необхідність вибору способу покращення їх будівельних властивостей, а потім у межах обраного варіанту – розробці проекту, тобто визначення конфігурації і розмірів, необхідних для зміцнення деформаційної міцності основи, що, в свою чергу, визначає довжину, крок і кількість армуючих елементів; потужність і частоту розташування спеціального обладнання; концентрацію, розподіл і витрату закріплюючих реагентів тощо.

**Виклад основного матеріалу.** Останнім часом хімічне закріплення стали застосовувати для стабілізації поведінки ґрунтів основ у разі їх забруднення промисловими стоками.

Сучасні вимоги до підходів щодо вирішення різних техногенних проблем вимагають обов'язкового врахування впливу вживаних заходів на екологічний стан навколишнього середовища. Широко розповсюдженими методами боротьби з хімічним набряканням є методи ін'єкційного закріплення ґрунтів основ.

Були виконані лабораторні роботи з дослідження закріплюваності хімічними розчинами на основі силікату натрію і пероцтової кислоти.

У процесі роботи досліджувалися піщані і пілувато-глинисті ґрунти, закислені пероцтовою кислотою, на закріплюваність розчинами силікату натрію різної щільності.

По черзі здійснювалося закріплення чотирьох груп ґрунтів. Основні розрахункові параметри закріплювальних складів для кожної з чотирьох груп зразків були однаковими ( $\text{тг}$ ,  $\Omega$ ,  $\rho$ ,  $\text{рк}$ ).

Характеристики міцності і деформаційні характеристики були визначені на стандартних компресійних приладах КППР-1М і приладах одноплощинного зрізу ПГС-2М.

Використані параметри закріплення всіх чотирьох груп ґрунтових зразків вказані в табл. 1.

У табл. 2 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп до закислення (у природному стані) та після їх закислення.

Зразки ґрунтів закріплювалися за ін'єкційною та бурозмішувальною технологіями. Початок гелеутворення, який планувався за час, що перевищує 5 хвилин.

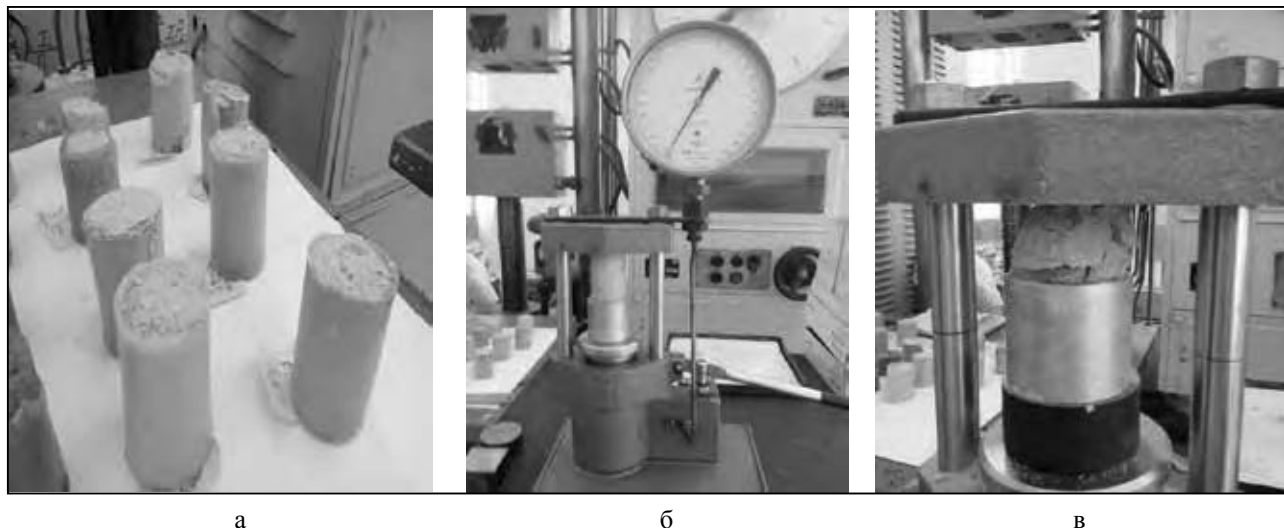
Зразки силікатизованого ґрунту зберігалися в повітряно-вологодому стані 28 діб, потім випробувалися на міцність у стисненні за допомогою ручного пресу (рис. 1 б, в).

Таблиця 2

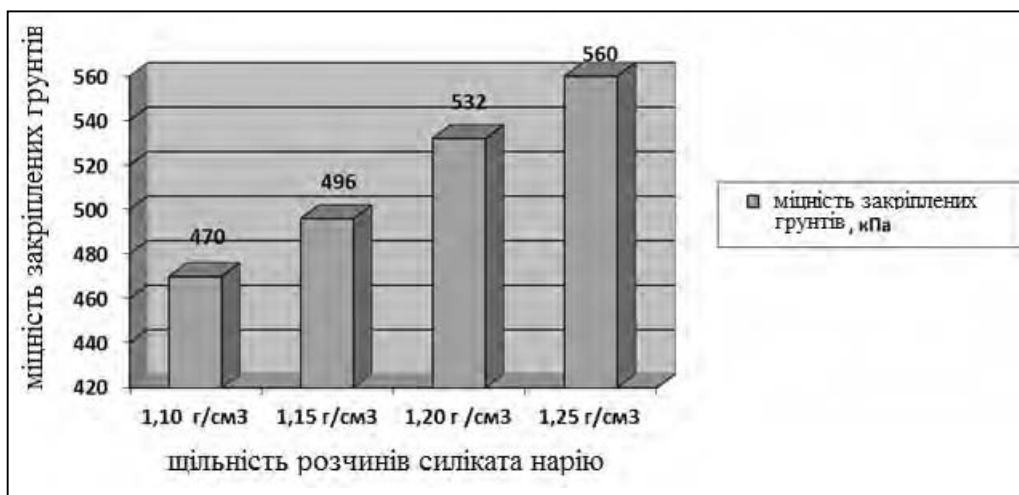
## Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення і після

Найменування ґрунтів	Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення	Деякі механічні характеристики ґрунтів після закислення
Ґрунт I	$\phi \approx 36,3^\circ$ $E \approx 31,5 \text{ МПа}$ $C \approx 8,0 \text{ кПа}$ $R = 270 \text{ кПа}$	$\phi \approx 33,0^\circ - 35,6^\circ$ $E \approx 21,5 - 22,03 \text{ МПа}$ $C \approx 2,0 - 6,0 \text{ кПа}$ $R = 186 \text{ кПа}$
Ґрунт II	$\phi \approx 32,1^\circ$ $E \approx 22,6 \text{ МПа}$ $C \approx \oplus 5,0 \text{ кПа}$ $R = 230 \text{ кПа}$	$\phi \approx 27,8^\circ - 31,3^\circ$ $E \approx 19,9 - 21,9 \text{ МПа}$ $C \approx 3,0 - 4,3 \text{ кПа}$ $R = 123 \text{ кПа}$
Ґрунт III	$\phi \approx 33,2^\circ$ $E \approx 26,7 \text{ МПа}$ $C \approx 9,4 \text{ кПа}$ $R = 256 \text{ кПа}$	$\phi \approx 26,7^\circ - 29,3^\circ$ $E \approx 16,9 - 24,8 \text{ МПа}$ $C \approx 5,2 - 6,3 \text{ кПа}$ $R = 196 \text{ кПа}$
Ґрунт IV	$\phi \approx 26,4^\circ$ $E \approx 22,4 \text{ МПа}$ $C \approx 39 \text{ кПа}$ $R = 332 \text{ кПа}$	$\phi \approx 22,0^\circ - 24,2^\circ$ $E \approx 18,9 - 21,9 \text{ МПа}$ $C \approx 32,0 - 35,3 \text{ кПа}$ $R = 216 \text{ кПа}$

У табл. 3 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп після їх закріплення.



**Рис. 1. Випробування ґрунту на стиск.**  
 а) зразки ґрунту перед випробуванням; б) зразок ґрунту в пресі під час випробування;  
 в) зразок ґрунту після проведення випробування



**Рис. 2. Залежність міцності закріпленого ґрунту від щільності розчину силікату натрію**

Таблиця 3  
**Деякі механічні характеристики ґрунтів після закріплення**

Найменування ґрунтів	Механічні характеристики ґрунтів після закріплення			
	$\varphi$ , град	$E$ , МПа	$\tilde{N}$ , кПа	$R_{ст}$ , кПа
Ґрунт I	39,8	38,9	8,2	351–456
Ґрунт II	23,9	42	39,2	243–321
Ґрунт III	24,3	38	38,9	220–370
Ґрунт IV	26,3	37,9	39,2	470–560

Після обробки отриманих результатів були побудовані діаграми залежності міцності закріпленого ґрунту від щільності застосованих розчинів силікату натрію (рис. 2).

**Висновки.** Після проведення закріплення ґрунтів міцність їх підвищується, механічні характеристики поліпшуються. У деяких випадках механічні характеристики закріпленого ґрунту перевищують їх значення в природному стані. У глини міцність ґрунту  $R_{ст}$  збільшується в 1,81–3,01 раза. Питоме зчеплення  $C$  у супісків збільшується в 9,6 раза, а модуль деформації  $E$  збільшується в 2,48 раза. Кут внутрішнього тертя  $\varphi$  усіх вивчених ґрунтів у середньому збільшується в 1,56 раза.

Запропонована у роботі рецептура може бути використана як самостійний спосіб закріплення ґрунтів, не схильних до хімічної дії.

**Список літератури:**

1. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. Москва: Стройиздат, 1989. С. 312.
2. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В., Гринь В. И. Разрушение строительных конструкций цеха жидкого каустика, вызванное проливами щелочи в грунты основания. Труды научно-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников. Харьков: ХГАГХ «Строительство и экология», 1996. С. 16–17.
3. Хансиварова Н.М., Коробкин В.И., Филь Р.М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лёссовой геологической среды. Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Сб. докл. Междунар. экологического конгресса. Т. 2. / под ред. Н.И. Иванова. Балт. гос. техн. ун-т, С-Пб., 2000. С. 369–372.
4. Евдокимова Л.А. Изменение химико-минерального состава глинистых грунтов при обработке их кремнефтористоводородной кислотой. Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. Москва: Наука, 1982. С. 28–32.
5. Герсеванов Н.М. Основы динамики грунтовой массы. Ред. строит., мат. М.–Л., 1937. С. 242.
6. Нгуен Нгок Бик. Циклическое набухание глинистых грунтов: дисс. канд. геолого-минералог. наук: 05.23.02. Москва, 1984. С. 140.
7. Сорочан Е.А. Строительство сооружений на набухающих грунтах. Москва: Стройиздат, 1989. С. 312.
8. Преснов О.М., Лобанов В.С., Емельянов А.Н. Проблемы строительства на набухающих глинистых грунтах. Молодежь и наука: сб. материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 155-летию со дня рождения К.Э. Циолковского. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012.
9. Мишурова Т.В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми проточками, в условиях действующего производства: дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.02. Днепропетровск, 2001. С. 171.

**ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА НА НАБУХАЮЩИХ ГРУНТАХ.  
ВОЗМОЖНОСТЬ ЗАКРЕПЛЕНИЯ НАБУХАЮЩИХ ГРУНТОВ**

*Опыт эксплуатации многих предприятий показал, что в результате аварийных замачиваний грунтов промышленными стоками в основания сооружений попадают химически активные растворы различных концентраций, под влиянием которых грунты существенно меняют свои свойства. Так, в результате физико-химических процессов и обменных реакций происходит увеличение объема грунтов, так называемое «химическое набухание». При проектировании или реконструкции зданий и сооружений на набухающих грунтах необходимо четко представлять картину их поведения, чтобы в дальнейшем иметь возможность прогнозировать поведение системы «основание – фундамент – сооружение». Наиболее действенным способом стабилизации поведения оснований, загрязненных промышленными стоками, являются инъекционные методы закрепления, в частности силикатизация.*

**Ключевые слова:** силикатизация, химическое набухание, перуксусная кислота, прочность закрепленного грунта.

**FEATURES OF CONSTRUCTION ON SWELLING SOILS.  
THE POSSIBILITY OF FIXING SWELLING SOILS**

*Operating experience of many enterprises has shown that as a result of emergency soaking of soils with industrial effluents chemically active solutions of various concentrations get into the foundations of structures, under the influence of which soils significantly change their properties. So as a result of physical and chemical processes and exchange reactions, an increase in the volume of soils, the so-called "chemical swelling" occurs. When designing or reconstructing buildings and structures on swelling soils, it is necessary to have a clear picture of their behavior in order to be able to predict the behavior of the base – foundation – structure system. The most effective way to stabilize the behavior of bases contaminated with industrial effluents is injection methods of consolidation, in particular, silicatization.*

**Key words:** silicatization, chemical swelling, peracetic acid, strength of the fixed soil.