

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА

ЛЕВЕНКО ГАННА МИХАЙЛІВНА



УДК 624.131.52

**ЗАКРІПЛЕННЯ ҐРУНТОВИХ ОСНОВ, ЩО ЗАБРУДНЕНІ
ПЕРУКСУСНОЮ КИСЛОТОЮ**

05.23.02 – основи і фундаменти
19 – архітектура та будівництво

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Полтава - 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Бронжаєв Михайло Федорович,
Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова,
доцент кафедри механіки ґрунтів, фундаментів, та інженерної геології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Головко Сергій Іванович,
ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»,
професор кафедри основ і фундаментів

кандидат технічних наук, доцент
Храпатова Ірина Вікторівна,
Харківський національний університет будівництва та архітектури,
доцент кафедри геотехніки та підземних споруд

Захист відбудеться 5 грудня 2018 р. о 13 год 30 хв., на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 44.052.02 при Полтавському національному технічному університеті імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24, ауд. 218

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка за адресою: 36011, м. Полтава, Першотравневий проспект, 24 та на сайті університету <https://pntu.edu.ua>

Автореферат розіслано «3» листопада 2018 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради,
к.т.н., доцент



Т.А. Галінська

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасному світі питання забруднення навколишнього середовища стоять дуже гостро. Останнім часом вони почали виходити на перше місце в світових відносинах і при співробітництві різних світових господарських об'єктів. Держави виділяють значні кошти як на заходи щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища, так і на боротьбу з їх наслідками.

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».

У даний час у харчовій промисловості широке застосування отримала миюча й дезинфікуюча речовина Oxonia Active-150, основа якої – 25%-ва перуксусна кислота. Дана речовина в результаті витоків, викидів стічних вод, потрапляючи в ґрунтову основу, вступає в реакцію з хімічно активними речовинами ґрунту, що призводить до набрякання ґрунтових основ.

При проектуванні або реконструкції будівель і споруд на ґрунтах, що набрякають необхідно чітко уявляти картину їхньої 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. Закріплення таких основ являє собою комплекс різних заходів, що враховують вирішення питань як технічних, так і екологічних.

Викладене вище свідчить про необхідність вирішення **актуальної наукової проблеми**, яка пов'язана з експериментальним обґрунтуванням і розробкою науково обґрунтованого методу закріплення масивів ґрунтів, що були забруднені стоками харчової промисловості, зокрема, перуксусною кислотою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана в Харківському національному університеті міського господарства імені О.М. Бекетова в складі держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України: «Освоєння підземного простору міст. Ґрунтовий масив під впливом негативних дій» (2013-2014, № державної реєстрації 0112U001566); «Урахування складних інженерно-геологічних умов при розрахунку і проектуванні основ і фундаментів будівель та споруд» (2015-2017, № державної реєстрації 0015U004843).

Метою роботи є вивчення змін фізико-механічних властивостей ґрунтових основ, забруднених перуксусною кислотою, і розробка способу їх закріплення. У зв'язку з поставленою метою вирішувалися наступні **завдання**:

- визначення впливу розчинів перуксусної кислоти на фізико-механічні властивості піщаних і глинистих ґрунтів;
- підбір рецептури, що дозволяє отримати надійне закріплення ґрунтів у розглянутих умовах, виявлення умов і меж використання рецептури, що дозволяють задовольнити всі вимоги, необхідні для закріплення закисленого ґрунту та визначення умов застосування силікатних розчинів і розробка рекомендацій для найбільш ефективного використання способу закріплення;

- створення моделі поведінки ґрунтової основи фундаментів забрудненої перуксусною кислотою в умовах реконструкції;
- експериментальні дослідження фізико-механічних властивостей закислених ґрунтів, закріплених силікатнц-перуксусними розчинами.

Об'єкт дослідження – деформування ґрунтових основ фундаментів під впливом розчинів перуксусної кислоти.

Предмет дослідження – мінливість фізико-механічних характеристик ґрунтових основ, забруднених кислотними стічними водами харчової промисловості.

Методи дослідження. Експериментальні методи дослідження впливу розчинів перуксусної кислоти на властивості ґрунтів основ; стандартні методи визначення фізичних і механічних властивостей ґрунтів; математичне моделювання напружено – деформованого стану системи «основа – фундамент» з використанням методу скінчених елементів (МСЕ).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- уперше встановлено загальну схему реакції утворення силікатно-перуксусних гелів та рекомендовано визначено найбільш ефективні співвідношення компонентів однорозчинної, двокомпонентної технології закріплення ґрунтових основ, забруднених перуксусною кислотою;
- уперше запропонована модель поведінки ґрунтової основи, забрудненої перуксусною кислотою в умовах реконструкції;
- удосконалено розрахунок параметрів хімічного закріплення ґрунтових основ фундаментів, забруднених перуксусною кислотою;
- уперше досліджено фізико-механічних властивостей закислених ґрунтів, закріплених силікатнц-перуксусними розчинами.

Практичне значення отриманих результатів полягає у:

- підвищенні якості хімічного закріплення ґрунтів, забруднених кислотними промисловими стоками, в разі застосування рекомендованих рецептур;
- поліпшенні екологічного стану забруднених масивів ґрунтів за рахунок очищення їх від забруднювача;
- запропоновано модель поведінки ґрунтової основи, забрудненої перуксусною кислотою;
- розробленні складу робочих закріплюючих розчинів, що дозволяють надавати забрудненим масивам ґрунтів міцність, що наближена до природних значень та довговічність.

Результати досліджень використані в роботі ПРАТ «УКРГІДРОПРОЕКТ» при реконструкції гідротехнічних споруд Дніпровського каскаду ГЕС та ГАЕС та при реконструкції Дністровських ГЕС та ГАЕС. Економічний ефект від упровадження результатів досліджень склав від 50 до 70 грн. за 1 м³ закріпленого ґрунту, що складає 5% загальної вартості робіт.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційне дослідження є самостійно підготовленою науковою працею, в якій викладено авторський підхід до вирішення питання про закріплення ґрунтових основ, закислених промисловими стоками виробництв харчової промисловості. Особистий внесок здобувача в наукових роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у:

- постановці наукової задачі та мети дослідження [1];
- виконанні лабораторних досліджень і розробці методик [2, 3, 4, 5, 6, 7,];
- виконанні теоретичного аналізу отриманих результатів і виборі найбільш ефективних закріплювальних складів. Встановленні загальної схеми реакції утворення силікатно-перуксусних гелів по всьому діапазону та розробці рекомендацій найбільш ефективних співвідношень компонентів однорозчинної, двокомпонентної технології закріплення ґрунтів, забруднених перуксусною кислотою [8, 9, 10, 11];
- розробці розрахунково-теоретичної методики поліпшення будівельних властивостей піщаних і глинистих ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти [9, 12].

Апробація результатів дисертації. Включені в дисертацію результати досліджень оприлюднені на наступних конференціях: Міжнародна науково-технічна конференція ПАО «УКРГІДРОПРОЕКТ» (Харків, 20-24 трав. 2013 р.), Харків, 2013; 8-а Всеукраїнська науково-технічна конференція «Механіка ґрунтів, геотехніка і фундаментобудування» (Полтава, 11-13 лист 2013 р.). Полтава, 2013; Міжнародна науково-практична конференція з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті». Харків 2015; Дев'ята Всеукраїнська науково-технічна конференція "Механіка ґрунтів, геотехніка і фундаментобудування" (Дніпро, 3-7 жовт 2016 р.). Дніпро, 2016; Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених «Буд-майстер-клас-2016» (Київ, 16-18 лист. 2016 р.). Київ, 2016; Всеросійська науково-технічна конференція з геотехніки «Інженерно-геотехнічні вишукування. Проектування, будівництво та експлуатація основ фундаментів і підземних споруд» (Санкт-Петербург, 2-3 лют. 2017 р.). СПб., 2017; X Всеукраїнська студентська науково-технічна конференція «Сталий розвиток міст» (82-а студентська науково-технічна конференція) (Харків, 25-27 квіт 2017 р.). Харків, 2017; 6th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport, Engineering Structures and Buildings”. Transbud-2017. Kharkiv, Ukraine, April 19-21, 2017; International Scientific and Technical Conference «GEOTECHNICS - XXI» (Dedicated to 120th Anniversary of Professor Platonov). Poltava, October 24 - 29, 2017; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук» (Люблін, Республіка Польща, 27–28 груд 2017 р.). Люблін, Республіка Польща. 2017.

Публікації. За темою дисертації опубліковано 12 наукових статей, 6 з яких у виданнях, що входять до затвердженого ВАК України переліку наукових видань, де можуть публікуватися основні результати дисертаційних робіт, у тому числі 4 у співавторстві, 4 статей опубліковано в наукометричній базі **Index Copernicus**, 1 стаття опублікована в наукометричній базі **Scopus**.

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків та списку використаних джерел. Обсяг роботи становить 150 с., з них 117 сторінок основного тексту, малюнків 62, таблиць 23, список використаних джерел 124 позиції.

Структура досліджень подана на рис. 1.

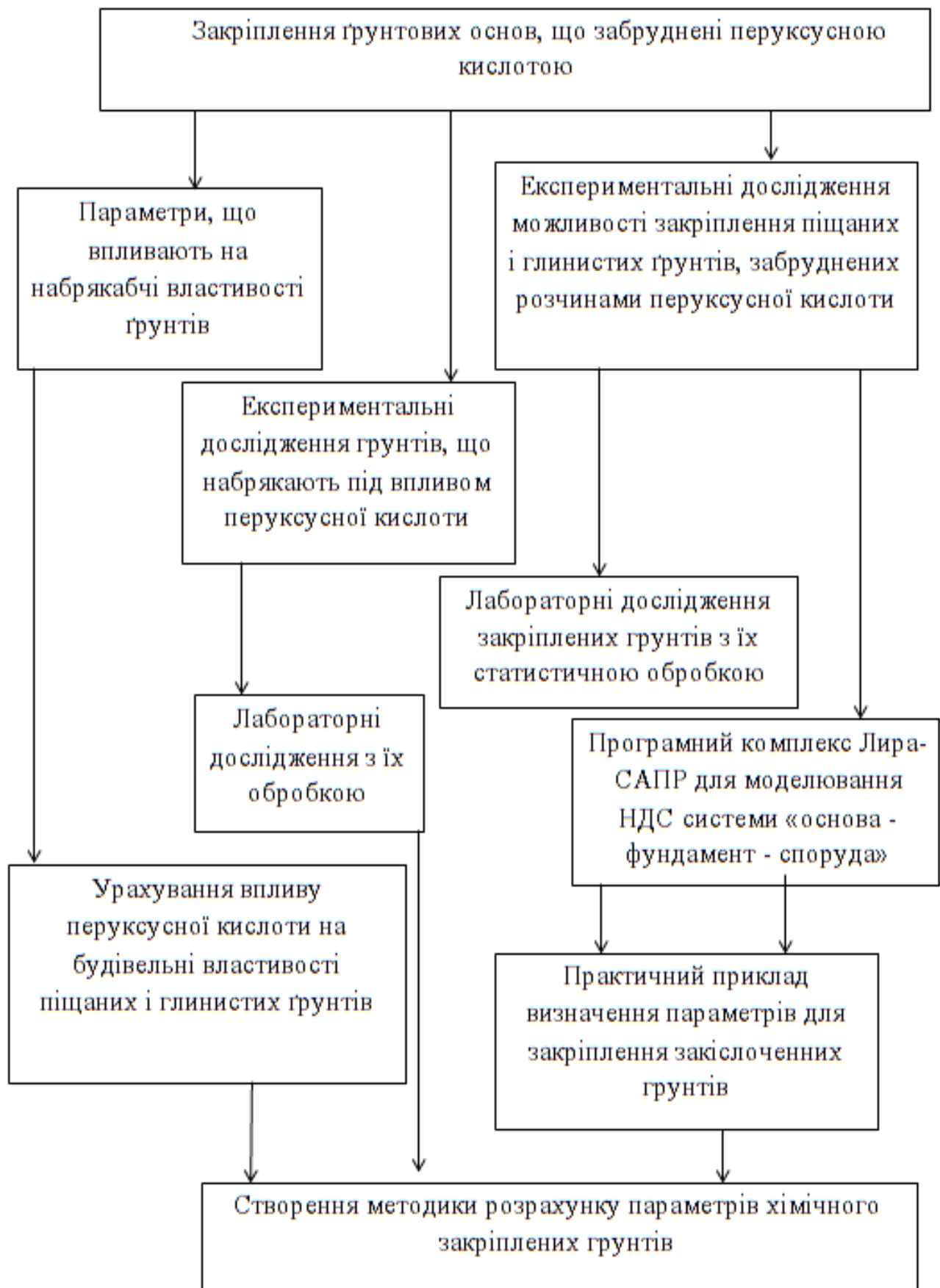


Рисунок 1 – Структурно-логічна схема роботи

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ ДИСЕРТАЦІЇ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено мету й завдання дослідження, схарактеризовано наукову новизну та практичну цінність роботи, надано її загальну характеристику.

У **першому розділі** проаналізовано результати дослідження впливу промислових стоків виробництв харчової промисловості на набрякаючі властивості піщаних і глинистих ґрунтів. З'ясовано, що набрякання глинистих ґрунтів має складний фізико-механічний характер. Фізична природа і механізм процесу набрякання глинистих ґрунтів отримали певне висвітлення в роботах таких авторів, як: В.П. Ананьєв, К. Терцагі, М.М. Герсєванов, Н.М. Хансєварова, Є.А. Сорочан, О.В.Мальцев, І.І. Горькова, Т.І. Покровський, І.В. Храпєтова та ін. Проаналізовано підходи різних авторів до проблеми класифікації набрякаючих ґрунтів за певними критеріями, оцінку ступеня набрякання, існуючі підходи до проектування основ будинків і споруд, складених набрякаючими і просідаючими ґрунтами.

Мірою кількісної оцінки структурної нестійкості ґрунтів, переважно, є відносна деформація, яка визначається за результатами випробувань ґрунтів у приладах компресійного стиску

$$\varepsilon = \frac{h - h'}{h}, \quad (1)$$

де h' - висота зразка після закінчення випробування, см; h – висота зразка до початку випробувань, см. Використання цієї величини дозволяє вирішити ряд практичних завдань у межах існуючих норм. З'ясовано, що аналізуючи поведінку набрякаючих ґрунтів при механічних випробуваннях, можна вважати, що між напруженим і деформованим станами і фізичними параметрами ґрунту існують функціональні залежності

$$\varepsilon(\sigma, \rho_d, \omega, \theta, a) = 0, \quad \gamma(\sigma, \rho_d, \omega, \theta, a) = 0, \quad (2)$$

де ρ_d - щільність скелету; ω - вологість; θ - температура; a - прискорення часток.

На основі випробувань, проведених у різних приладах, виявлені закономірності розвитку горизонтального тиску при набряканні ґрунту. Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки ґрунтів основ, забруднених промисловими стоками, є ін'єкційні методи з закріплення. При проведенні робіт по закріпленню ґрунтів, забруднених промисловими стоками, необхідно враховувати такі вимоги: екологічний стан ділянки, що закріплюється, мінімізація внесення хімічних речовин, необхідних для проведення робіт; забезпечення стабілізації деформацій системи «основа – фундамент - споруда». Умовою вибору тієї чи іншої технології закріплення служить одночасне виконання всіх перерахованих вимог. Це є максимально оптимальним методом для пошуку та вибору найбільш ефективного способу хімічної стабілізації ґрунтових масивів, забруднених промисловими стоками.

На основі виконаного аналізу сучасної наукової та технічної літератури автором сформульовано основні задачі дисертаційного дослідження.

У другому розділі представлені методи та обладнання, що були використані при лабораторних дослідженнях можливості закріплення піщаних і глинистих ґрунтів і властивостей силікатних гелів. Для порівняльних лабораторних досліджень впливу розчинів перуксусної кислоти на механічні властивості ґрунтів використані пилюваті, маловологі піски і глинисті ґрунти. Фізичні характеристики досліджуваних ґрунтів представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Фізичні характеристики досліджуваних ґрунтів

Позначення ґрунту	Назва ґрунтів	Фізичні характеристики
Ґрунт I	Пісок пилюватий	$W = 7,5\%$, $\gamma = 17,5 \text{кН} / \text{м}^3$, $\rho_s = 26,7 \text{кН} / \text{м}^3$, $\rho_d = 1,69 \text{г} / \text{см}^3$
Ґрунт II	Супісок пластичний	$W = 6,3\%$, $I_p = 6,0\%$; $I_L = 0,067$, $\rho_s = 26,9 \text{кН} / \text{м}^3$, $\gamma = 18,2 \text{кН} / \text{м}^3$
Ґрунт III	Суглинок тугопластичний	$W = 15,8\%$, $I_p = 10,6\%$; $I_L = 0,28$, $\rho_s = 28,7 \text{кН} / \text{м}^3$, $\gamma = 18,9 \text{кН} / \text{м}^3$
Ґрунт IV	Глина напівтверда	$W = 40,8\%$, $I_p = 25,1\%$; $I_L = 0,079$, $\rho_s = 27,1 \text{кН} / \text{м}^3$, $\gamma = 17,5 \text{кН} / \text{м}^3$

Для визначення величини вільного набрякання ґрунтового зразка дослідної групи попередньо замочували до повного насичення 0,6%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 3,0%-ми розчинами перуксусної кислоти. Зразки ґрунту кожної з чотирьох груп приблизно однакової вологості (різниця 1,0-1,5%) і питомої ваги поміщалися в стандартний прилад ПНГ-1, який дозволяє визначити величину вільного набрякання ґрунту. Хімічне закріплення дослідних зразків ґрунтів здійснювалося за допомогою спеціального обладнання ЛПЗ-2 (рис. 2), розробленому за рекомендаціями В.Е. Соколовича і В.П. Ананьєва.

Концентрація перуксусної кислоти в порах ґрунту μ_k встановлена шляхом титрування водної витяжки ґрунту за Б.О. Ржаніциним та Ю.В. Лурьє. Характеристики міцності закріплених зразків визначені на ручному пресі, а ступінь хімічного набрякання ґрунтів визначався на приладі конструкції Литвинова, типу ПНГ-1, відповідно до вимог методик ДСТУ Б.В.2.1-4-96.

Також було проведено випробування та дослідження силікатних гелів на основі перуксусної кислоти. Дослідні зразки гелів виготовлялися за методикою В.В. Аскалонова. Розчини вихідних компонентів змішувалися в різних об'ємних співвідношеннях кислоти до силікату $\Omega = 2,0-18,5$. При вивченні властивостей силікатно-перуксусних гелів вихідними матеріалами слугували: скло рідке, силікатний модуль $M = 2,75$; перуксусна кислота 0,6%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 3,0%.

Отримані дані були використані при подальших розрахунках. Результати випробувань описані в розділах 3 - 5.



Рисунок 2. Прилад для лабораторного хімічного закріплення ЛПЗ-2

У третьому розділі досліджено вплив перексусної кислоти на механічні властивості піщаних і пилувато-глинистих ґрунтів, проведено лабораторні випробування набрякання піщаних і глинистих ґрунтів. Вихідними матеріалами для дослідження слугували зазначені вище чотири групи ґрунтів, які класифікувалися відповідно до ДСТУ Б В.2.1-2-96 (ГОСТ 25100-95). «ґрунти. Класифікація».

Установлено, що великий вплив на набрякання ґрунтів має їх мінералогічний склад і головним чином вміст глинистих часток. Автором був уведений показник L - вміст глинистих часток у ґрунті, виражений у відсотках (%).

У табл. 1 представлена залежність величини вільного хімічного набрякання як від вмісту глинистих часток у ґрунті, так і від концентрації перексусної кислоти. Також було проведено порівняння величини вільного набрякання при замочуванні дослідних зразків ґрунту водою.

Таблиця 2

Класифікація ґрунтів за величиною L в залежності від показника L

Показник L , %	Вільне відносне набрякання ε_{sw0} при різноманітних концентраціях перексусної кислоти	Вільне відносне набрякання ε_{sw0} при замочуванні водою	Характеристика ґрунтів
< 3 %	0,066 – 0,310	-	Середньонабрякаючі
3 – 10 %	0,200 – 0,420	0,007	Сильнонабрякаючі
10 – 30 %	0,250 – 0,570	0,044	Сильнонабрякаючі
> 30 %	0,600 – 1,700	0,090	Сильнонабрякаючі

Виходячи з отриманих результатів, ґрунти, забруднені розчинами перексусної кислоти, можна вважати структурно нестійкими та класифікувати як середньо- і

сильнонабрякаючі. Запропонована класифікація дає можливість прогнозувати поведінку ґрунтів основ у разі їх забруднення розчинами перуксусної кислоти і застосовувати відповідні необхідні заходи.

Процес хімічного набрякання глинистих ґрунтів під дією розчинів кислот різної концентрації можна умовно розділити на два періоди: у 1-й період набрякання відбувається за рахунок всмоктування вологи в пори ґрунту та виникнення у його кістяку негативних розтягувальних тисків; 2-й період починається з хімічної взаємодії між глинистими фракціями ґрунту і кислотою і триває до тих пір, поки концентрація продуктів взаємодії не досягне максимального значення. Також було проведено порівняння величини вільного набрякання при замочуванні дослідних зразків ґрунту водою. Результати дослідження представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Величина вільного набрякання дослідних ґрунтів у залежності від показника L та концентрації перуксусної кислоти

Дослідні ґрунти	Показник L, %	Вільне відносне набрякання ε_{swo} при різних концентраціях перуксусної кислоти					Вільне відносне набрякання ε_{swo} при замочуванні водою
		0,6%	1,0%	1,5%	2,0%	3,0%	
Ґрунт I	< 3	0,066	0,158	0,176	0,280	0,309	-
Ґрунт II	3 – 10	0,200	0,250	0,256	0,323	0,419	0,007
Ґрунт III	10 – 30	0,253	0,394	0,559	0,563	0,570	0,044
Ґрунт IV	> 30	0,580	1,150	1,420	1,615	1,710	0,090

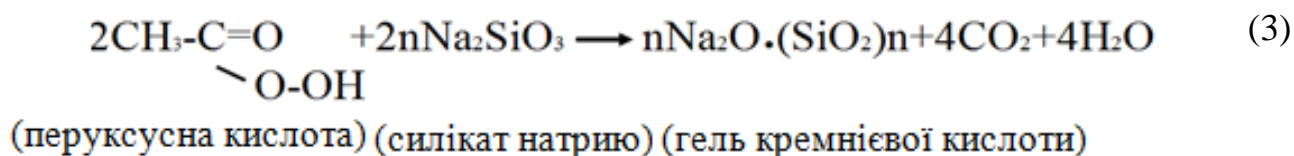
Вивчення впливу перуксусної кислоти на механічні властивості ґрунтів усіх дослідних груп проводились на компресійних і зсувних приладах. Дослідження проводилися відповідно до ДСТУ Б В.2.1-3-96. Коефіцієнт внутрішнього тертя, питома зчеплення, модуль деформації визначалися після проходження 7-денного замочування ґрунтів розчинами перуксусної кислоти. У результаті проведених випробувань встановлено: величина вільного відносного набрякання ґрунтів усіх чотирьох досліджуваних груп при збільшенні концентрації інфільтрованої кислоти збільшується в 2,94 - 4,68 рази; у групах глинистих ґрунтів з показником $L \geq 3\%$ вільне набрякання при замочуванні розчинами перуксусної кислоти перевищувало величину набрякання від води в 1,9-12,95 рази; зі збільшенням концентрації кислоти від 0% (вода) до 3% модуль деформації E зменшується на 15-40% від величини в природному стані, питома зчеплення C зменшується на 25-60%, а кут внутрішнього тертя ϕ зменшується на 11-19%.

У **четвертому розділі** проведено дослідження можливості закріплення піщаних і глинистих ґрунтів силікатно-перуксусними розчинами. Дієвим способом стабілізації

хімічно набрякаючих ґрунтових основ вважається відомий метод М.Ф. Бронжаєва, який отримав подальший розвиток у роботах Т.В. Мішурової. Для вирішення питань щодо закріплення ґрунтових основ, забруднених розчинами перуксусної кислоти, виникла необхідність дослідження характеру впливу цієї кислоти на процес утворення закріплюючих силікатних гелів.

Дослідження виконувалися для наступних основних параметрів: величини часу початку гелеутворення t_g ; межі міцності гелів при одноосьовому стиску $R_{ст}$; водневого показника (рН) гелеутворюючої суміші; довговічності закріплених ґрунтів в агресивних середовищах, закріплюючі розчини повинні характеризуватись регульованим часом гелеутворення. При виборі оптимального розрахункового значення часу початку гелеутворення необхідно пам'ятати, що розрахункове значення часу гелеутворення не може бути меншим від загальної тривалості технологічних операцій. Однак дослідження показали, що розрахунковий час гелеутворення може бути скільки завгодно великим. Основним обмеженням є стан нестабільності розрахункового параметра t_g . Тому при призначенні проектних параметрів часу гелеутворення слід розрізняти: мінімальний час початку гелеутворення t_g^{min} ; технологічно мінімальний час гелеутворення t^{tex} ; розрахунковий час початку гелеутворення t_g^p .

Розрахунковий час початку гелеутворення - це проектована величина часу, протягом якого не відбувається істотного структуроутворення в ін'єктованих розчинах. Розрахунковий час гелеутворення t_g^p , безумовно, має бути більшим за величину t^{max} з міркувань зниження ризику передчасного гелеутворення ін'єктованих розчинів. Вихідними матеріалами слугували водні розчини: силікату натрію з силікатним модулем 2,75 та щільністю 1,25 г/см³ – 1,05 г/см³, що відповідає ГОСТ 13078-87; 25% перуксусна кислота (Охоніа-Active 150), що відповідає ГОСТ Р 51696-2000. Властивості силікатних гелів, що отримані на основі силікату натрію і перуксусної кислоти, були досліджені за методикою В.В. Аскалонова. Реакція утворення гелів на основі силікату натрію і перуксусної кислоти представлена таким чином



За залежністю часу гелеутворення від співвідношення об'ємних компонентів перуксусна кислота/силікат натрію Ω побудовані графіки (рис. 3).

За даними експериментів була отримана узагальнена емпірична формула, що дозволяє розрахувати проектне значення часу гелеутворення.

$$t_g = a \cdot \Omega^b, \quad (4)$$

де Ω – співвідношення об'ємних компонентів перуксусна кислота/силікат натрію, що використані в процесі гелеутворення;

а, b – чисельні коефіцієнти. Значення чисельних коефіцієнтів а і b представлені в табл. 4.

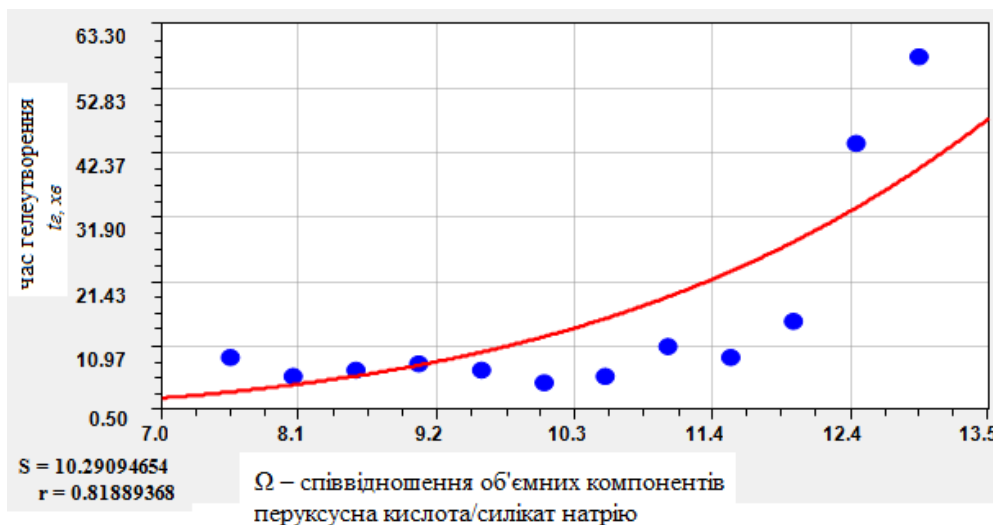


Рис. 3. Загальний вид графіку залежності часу гелеутворення від Ω

Таблиця 4
Значення чисельних коефіцієнтів а, b для кожного значення щільності розчину силікату натрію

Щільність розчинів силікату натрію ρ_c , г/см ³	Час гелеутворення t_g , хв	Чисельні коефіцієнти	
		a	b
1,25	1	4,044	6,638
	10	3,117	6,494
	20	1,923	6,665
	60	4,402	7,18
1,20	1	-4,332	5,387
	10	2,309	3,543
	20	1,780	3,689
	60	6,271	4,199
1,15	1	1,406	7,001
	10	6,112	6,833
	20	4,025	7,015
	60	1,421	7,467
1,10	1	-1,666	5,825
	10	8,507	5,569
	20	5,587	5,778
1,05	1	1,798	5,340
	3	1,613	5,458
	5	1,612	5,459

Проведене дослідження механічних характеристик силікатних гелів на основі перуксусної кислоти. Показано, що зі збільшенням значення щільності силікату натрію ρ_c збільшується значення величини межі міцності силікатних гелів при стиску $R_{ст}$. За величину екологічної безпеки була прийнята величина водневого показника рН синерезисної рідини в інтервалі 5,0-8,5, що відповідає стану підземних вод, які використовуються для питних цілей.

Стабілізація закислених ґрунтів основ можлива при використанні методів хімічного закріплення. Автором були виконані лабораторні роботи з дослідження закріплюваності хімічними розчинами на основі силікату натрію і перуксусної кислоти. У процесі роботи досліджувалися піщані і глинисті ґрунти, закислені перуксусною 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 (t_r , Ω , ρ_c , ρ_k). Результати досліджень представлені в табл. 5.

Таблиця 5

Механічні характеристики ґрунтів до закислення і після

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

Після оброблення отриманих результатів були побудовані діаграми залежності міцності закріпленого ґрунту від щільності застосованих розчинів силікату натрію (рис. 4).

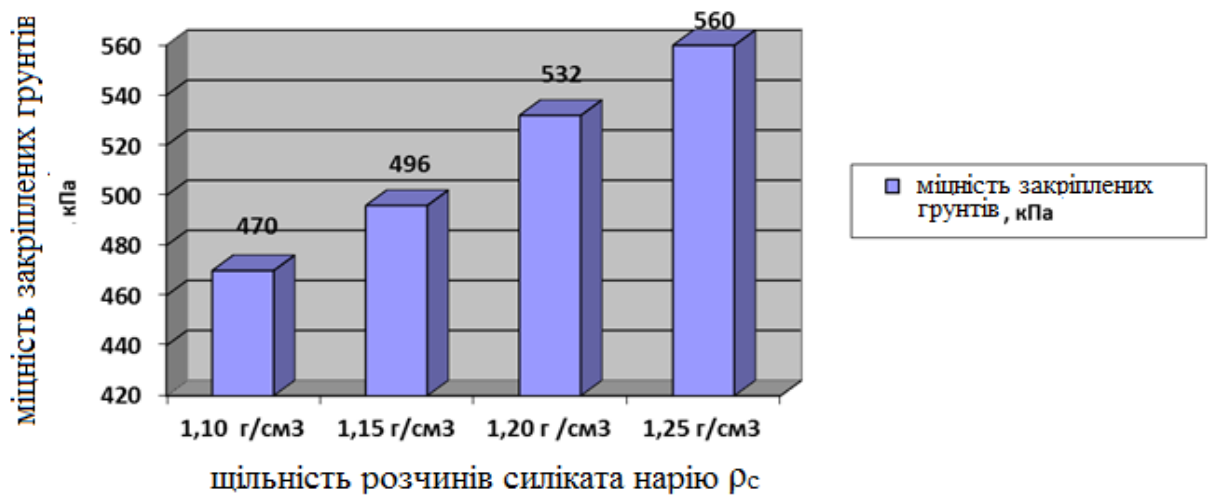


Рис. 4. Загальний вид залежності міцності закріпленого ґрунту від щільності розчину силікату натрію

У роботі також було проведено дослідження коефіцієнта Пуассона для ґрунтів, закислених розчинами перекисної кислоти.

Дослідження радіусу закріплення піщаних і глинистих ґрунтів, закріплених силікатно-перекисними розчинами, проводились на вдосконаленому приладі для лабораторного закріплення ЛПЗ-2, розробленому на кафедрі МГФ та ІГ Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова (рис. 2). Підготовлений розчин подавали під тиском величиною 1-2 атм в прилад з робочою ємністю. За отриманими даними був побудований графік залежності радіусу закріплення від щільності силікату натрію для пісків та супісків та була отримана формула для розрахунку радіусу закріплення в залежності від щільності використаних розчинів силікату натрія.

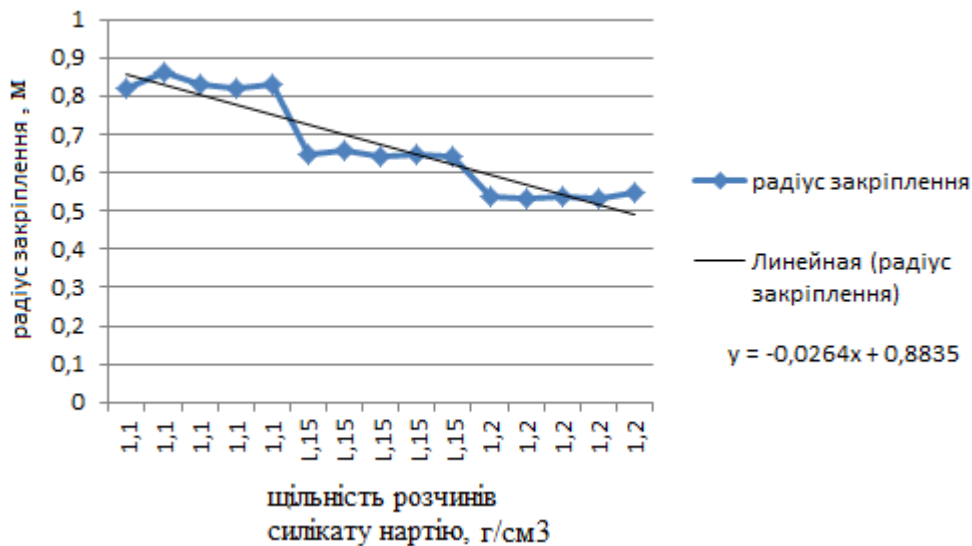


Рис. 5. Графік залежності радіусу закріплення від щільності силікату натрію для пісків та супісків

У зв'язку з тим, що коефіцієнт фільтрації глин становить 0,0008 м/добу, а суглинка 0,005-0,4 м/добу, закріплення цих ґрунтів проводилось за змішувальною

технологією (розділ 2). Далі зроблено висновок, що зі зниженням щільності розчинів силікату натрію радіус закріплення збільшується.

У процесі лабораторних досліджень було розглянуто питання стійкості ґрунтів, закріплених розчинами силікату натрію, по відношенню до агресивних середовищ. Як агресивне середовище використовувалися водопровідна вода з концентрацією іонів рН = 8,1-8,3 і 3%-ий розчин перуксусної кислоти. На основі проведених досліджень була побудована таблиця межі міцності при стиску закріпленого ґрунту після знаходження в агресивних середовищах.

Таблиця 6

Межа міцності при стисканні закріпленого ґрунту після знаходження в агресивних середовищах

Дослідні ґрунти	Агресивне середовище	Межа міцності при стиску $R_{ст}$, кПа, при терміні зберігання в агресивному середовищі, діб.	
		30	90
Ґрунт I	Вода рН=8,3	288	238
	Перуксусна кислота 3%	301	337
Ґрунт II	Вода рН=8,3	199	143
	Перуксусна кислота 3%	286	217
Ґрунт III	Вода рН=8,3	196	140
	Перуксусна кислота 3%	216	185
Ґрунт IV	Вода рН=8,3	342	290
	Перуксусна кислота 3%	348	335

Отже, після проведення закріплення ґрунтів міцність їх підвищується, механічні характеристики поліпшуються. У деяких випадках механічні характеристики закріпленого ґрунту перевищують їх значення в природному стані. У глин 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 ϕ усіх вивчених ґрунтів у середньому збільшується в 1,56 раза.

У п'ятому розділі здійснено оцінку напружено-деформованого стану ґрунтових основ із закріплених ґрунтів, а також розрахунок параметрів їх хімічного закріплення. До таких відносимо: концентрацію перуксусної кислоти в порах ґрунту μ_k , %; розрахунковий інтервал часу гелеутворення t_r , хв; об'ємні співвідношення вихідних компонентів Ω ; необхідний об'єм розчину силікату натрію на 1 м³ закріплюваного ґрунту V_c ; коефіцієнт заповнення об'єму. Для уточнення величини необхідного об'єму розчину силікату натрію в 1 л на 1 м³ ґрунту використана

функція, запропоновану М.Ф. Бронжаєвим, яка з урахуванням отриманих залежностей набуває вигляду:

$$V_c = \frac{10^3(m_k + m_w)^2}{\sqrt{\frac{t_z}{a}(1.58m_k + m_w)}}, \quad (5)$$

де a та b – емпіричні чисельні коефіцієнти; m_k – маса перуксусної кислоти в 1 см^3 , в грамах (визначається титруванням); m_w – маса води в 1 см^3 закисленого ґрунту, в грамах (визначається ваговим методом).

Установлено, що при збільшенні концентрації перуксусної кислоти в порових розчинах зростає величина необхідної щільності розчинів силікату натрію.

Кількісне прогнозування НДС основ, що складені набрякаючими ґрунтами, в тому числі підйом фундаментів, здійснюється різними способами. Однак питання розробки розрахункової моделі для набрякаючих глинистих ґрунтів через відсутність відповідних досліджень є найбільш актуальним. Вирішення стає можливим завдяки використанню програмних комплексів, які працюють на базі МСЕ (ЛІРА, SCAD). На основі робіт В.О. Воблих, О.В. Кічаєвої та І.В. Храпатової, в яких були наведені загальні рекомендації та алгоритми розв'язання просторової задачі, був проведений перехід до розрахунку плоскої моделі ґрунтової основи.

Обравши варіанти поєднання напруг, отримуємо залежність для ε_x і ε_z

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_z = \left(\frac{1 - \mu}{E} \right) \sigma_z - \left(\frac{\mu + \alpha \mu^2}{E} \right) \sigma_x + \alpha \mu t \Delta w \\ \varepsilon_x = \left(\frac{1 - \alpha \mu^2}{E} + \frac{kt \Delta w}{P_{sw}} \right) \sigma_x - \left(\frac{\mu + \alpha \mu^2}{E} \right) \sigma_z + (1 + \alpha \mu) \cdot t \Delta w \end{bmatrix} \quad (6)$$

де ε_x і ε_z - сумарні деформації по осях x і z відповідно; E – модуль деформації ґрунту; μ - коефіцієнт Пуассона; σ_x , σ_y , σ_z - нормальні напруги відповідно по осях x , y , z ; Δw - зміна вологості ґрунту

Аналіз системи рівнянь на даному етапі розрахунку показує, що при даній комбінації внутрішніх зусиль ґрунт проявляє ортотропні властивості, і отже, має різні деформаційні характеристики в двох перпендикулярних напрямках.

Використання температурної аналогії дозволяє досить просто визначити НДС масиву набрякаючого ґрунту. Однак також необхідно враховувати режим зволоження. Розглянемо осесиметричні завдання набрякання, що виникає в масиві ґрунту при зволоженні з лінійного джерела (тунелю, водогону тощо).

У таких випадках виникає НДС, що відповідає плоскій деформації, оскільки вздовж осі симетрії переміщення відсутні, але виникають тиски набрякання. Розподіл стаціонарного вологісного поля в цьому випадку має наступне рішення

$$w(r) = (w_1 - w_0) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_1}{r_2}}, \quad (7)$$

де r_1 і r_2 – радіуси поверхні замочування і впливу відповідно.

За умови вільних переміщень на контурі зволоження компоненти напружень σ_θ і σ_z досягають максимального і мінімального значень на внутрішній і зовнішній поверхні ґрунтового циліндра. Так, при $r = r_1$, маємо

$$\sigma_\theta = \frac{\beta_{sw} E \Delta w}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \left[1 - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right], \quad (8)$$

Через просторовий характер деформування системи «основа – фундамент» методика враховує такі фактори, як спільна робота всієї системи, особливості зовнішніх впливів, властивості матеріалів і ґрунтів. Також враховується ґрунтова основа з усіма її параметрами: характеристика складу ґрунту, процентний вміст перуксусної кислоти в порових розчинах (на основі водної витяжки з пор ґрунту).

Задано наступні характеристики: E_i – модуль деформації ґрунтів; μ_i – коефіцієнт Пуассона; N_i – навантаження, що передається на ґрунтову основу; відсотковий вміст перуксусної кислоти в порових розчинах. Метою моделювання було вивчення поведінки ґрунтового масиву з різними фізико-механічними характеристиками (нормальними, закислоченими, закріпленими) в умовах, що наближені до реальних.

Чисельна верифікація отриманих теоретичних рішень проводилася в ПК «Ліра САПР». Дослідження проводилось для чотирьох типів ґрунтових основ, для яких розглядалися чотири розрахункові схеми поведінки і реалізовано у вигляді чисельного експерименту. У результаті були отримані характеристики напружено-деформованого стану ґрунтової основи при чотирьох різних станах ґрунтового масиву. Основним критерієм для порівняння були прийняті значення переміщень уздовж осей X, Y і Z, а також величини напруг, що виникають у ґрунтовому масиві. Результати розрахунку проілюстровані полями вертикальних переміщень ґрунтового масиву (рис.5) і в табличному вигляді (табл. 6).

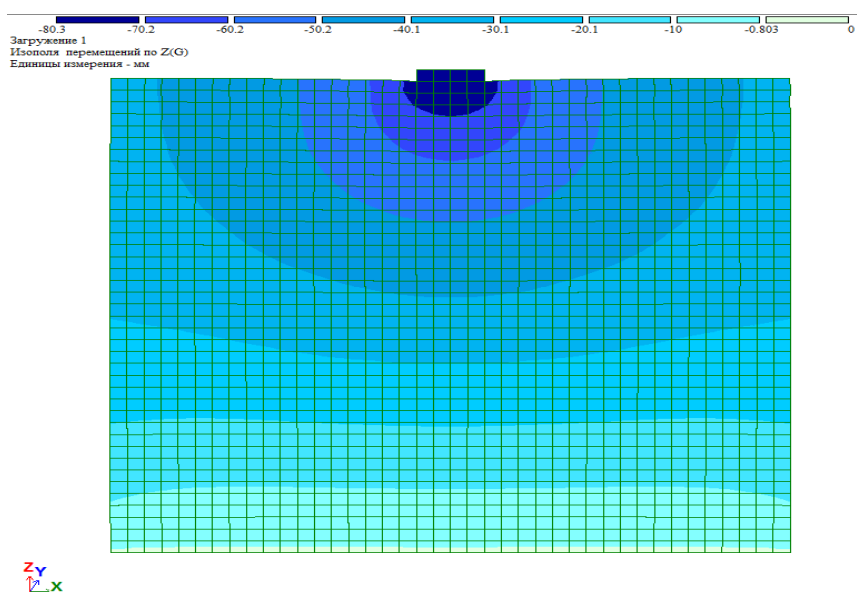


Рис. 5. Загальний вигляд інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту

Напруження вздовж осей X, Y і Z, що виникають у масиві ґрунту

	Пісок пилюватий			Супісок пластичний			Суглинок тугопластичний			Глина напівтверда		
	σ_x	σ_z	τ_{xz}	σ_x	σ_z	τ_{xz}	σ_x	σ_z	τ_{xz}	σ_x	σ_z	τ_{xz}
РС-1	-0,037	-0,10	-0,067	-0,036	-0,101	-0,067	-0,036	-0,101	-0,067	-0,355	-0,1	-0,067
РС-2	-0,37	-0,10	-0,067	-0,036	-0,101	-0,0678	-0,357	-0,1	-0,678	-0,033	-0,099	-0,067
РС-3	-0,046	-0,12	-0,084	-0,045	-0,012	-0,0847	-0,447	-0,125	-0,847	-0,042	-0,125	-0,845
РС-4	-0,037	-0,10	-0,083	-0,036	-0,101	-0,0833	-0,369	-0,101	-0,833	-0,035	-0,1	-0,083

Після проведення робіт по закріпленню ґрунтового масиву, забрудненого розчинами перуксусної кислоти, величина деформацій зменшується: на 48,9 % для ґрунтів з параметром $L < 3\%$; на 26,11 % для ґрунтів з параметром $L 3- 10 \%$; на 32 % для ґрунтів з параметром $L 10- 30 \%$; на 33,4 % для ґрунтів з параметром $L > 30 \%$. Це наочно вказує на якісне поліпшення стану ґрунтового масиву після закріплення його рекомендованими в роботі рецептурами. Після проведення робіт з поліпшення будівельних властивостей масивів ґрунту, забруднених промисловими стоками перуксусної кислоти, деформації ґрунтів практично дорівнюють їх деформаціям в природному стані.

Отже, після проведення робіт по закріпленню ґрунтового масиву, забрудненого розчинами перуксусної кислоти, величина деформацій зменшується на 26,11-48,9%. Порівняння отриманих напружень вказують на те, що після проведення закріплення напруги в ґрунтовому масиві знижуються в 1,8-2,6 рази. Моделювання поведінки ґрунтів до і після закріплення вказує на те, що після проведення робіт по поліпшенню будівельних властивостей масивів ґрунту (закріплення), забруднених розчинами перуксусної кислоти, деформації ґрунтів практично дорівнюють деформаціям в їх природному стані. Різниця величин деформацій ґрунту в природному стані і закріпленого масиву становить 9,7 -12,8%.

ВИСНОВКИ

Поставлено та розв'язано задачу підвищення ефективності способу поліпшення будівельних й екологічних властивостей ґрунтів, забруднених кислотними промисловими стоками, які включають в себе розчини перуксусної кислоти. Матеріали виконаних досліджень дозволили зробити наступні висновки:

1. Установлено найбільш ефективні склади силікатно-перуксусних гелів, що відповідають критеріям міцності, водонепроникності і рівня екологічної чистоти. Визначено граничні умови для найбільш ефективного і якісного закріплення

ґрунтів, забруднених розчинами перексусної кислоти, враховуючи при цьому екологічну сторону питання.

2. Всебічно розглянуто вплив перексусної кислоти на фізико-механічні властивості піщаних і глинистих ґрунтів. З результатів досліджень видно, що величина вільного відносного хімічного набрякання ґрунтів збільшується в 2,94 - 4,68 рази в порівнянні з набряканням від води, міцності ґрунтів під впливом перексусної кислоти знижуються в середньому на 11% - 60%.

3. Отримані граничні критерії для рецептур, що дозволяють отримати надійне закріплення ґрунтів, забруднених розчинами перексусної кислоти. Визначено, що використання на практиці закріплювальних розчинів на основі силікату натрію щільністю нижче $\rho_c = 1,05 \text{ г/см}^3$ недоцільне через малий майданчик «буферності». Установлено, що зі зниженням щільності розчинів силікату натрію радіус закріплення збільшується з 0,52 м при $\rho_c=1,25 \text{ г/см}^3$ до 0,85 м при $\rho_c=1,10 \text{ г/см}^3$.

4. Виділені екологічно чисті склади силікатно-перексусних гелів (рН=6,0-8,0), які дають можливість гарантувати екологічне очищення забруднених ґрунтових масивів.

5. 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 рази. Питоме зчеплення C у супісків збільшується в 9,6 рази, а модуль деформації E збільшується в 2,48 рази. Кут внутрішнього тертя φ усіх вивчених ґрунтів в середньому збільшується в 1,56 рази.

6. Проведені лабораторні випробування вказують на те, що закріплені зразки закисненого ґрунту є стійкими до дії агресивних середовищ протягом тривалого періоду. Зниження міцності на стиск зразків закріпленого ґрунту після впливу на них води становить 36-47%, а під впливом 3% кислоти - 26-42%.

7. За допомогою програмного комплексу «Ліра САПР» встановлено, що після проведення робіт по закріпленню ґрунтового масиву забрудненого розчинами перексусної кислоти, величина деформацій зменшується на 26,11% - 48,9%, а величина напруг у масиві ґрунту зменшується в 1,22 - 12,21 рази. Це є якісним показником запропонованої в роботі методики.

ПЕРЕЛІК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

– в яких опубліковані основні наукові результати:

1. Левенко А.М. К вопросу исследования параметров влияющих на набухающие свойства грунтов / А. М. Левенко, М.Ф. Бронжаев // Зб. Наук. праць «Ресурсо-кономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2015. – №. 30. – С. 448 – 456.

2. Левенко А.М. Исследование силикатных гелей на основе перексусной кислоты по всему диапазону их образования / А. М. Левенко, М.Ф. Бронжаев // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава: ПолтНТУ, 2013. – № 3(38). – С. 68 – 75.

3. Левенко А.М. Исследование набухания песчаных и пылевато-глинистых грунтов от воздействия растворов перуксусной кислоты / А. М. Левенко, М.Ф. Бронжаев // Світ геотехніки. – Запоріжжя, 2015. – № 2(46). – С. 17 – 18.

4. Левенко Г.М. Механические свойства песчаных и пылевато-глинистых грунтов под воздействием перуксусной кислоты / А. М. Левенко, М.Ф. Бронжаев // Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць «Будівельні конструкції. Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування». Ч.1. – К. : ДП НДІБК, 2016. – № 83. – С. 334 – 341.

5. Левенко А.М. Исследование возможности закрепления песчаных и пылевато-глинистых грунтов силикатизацией / А. М. Левенко // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків., 2016. – № 166. – С. 149 – 156. **(Видання включене до МНБД Index Copernicus)**

6. Левенко А.М. Оценка напряженно-деформированного состояния массива грунта, загрязненного перуксусной кислотой / А. М. Левенко // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2017. – № 169. – С. 19 – 25. **(Видання включене до МНБД Index Copernicus)**

7. Левенко А.М. Опыт закрепления закисловленных песчаных и пылевато-глинистых грунтов силикатизацией. / А. М. Левенко // Сб. трудов всероссийской научно-технической конференции. Инженерно-геотехнические изыскания, проектирование и строительство оснований, фундаментов и подземных сооружений – С-Пб., 2017. – С. 201 – 207.

8. Levenko G. Modeling of the Stress-strain State of the Ground Mass Contaminated with Peracetic Acid / G. Levenko // 6th International Scientific Conference “Reliability and Durability of Railway Transport, Engineering Structures and Buildings”. Transbud-2017. – Ukraine, Kharkiv, 2017, April 19-21. DOI: 10.1051/mateconf/201711602023 **(Видання включене до МНБД Scopus)**

9. Левенко Г.М. Довговічність закріплених ґрунтів в агресивних середовищах / А. М. Левенко // Зб. тез Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні методики, інновації та досвід практичного застосування у сфері технічних наук». – Радом, Республіка Польща, 2017. – С. 138 – 141.

– які підтверджують апробацію матеріалів дисертації:

10. Levenko G. Influence peracetic acid on mechanical properties sandy and silty clay soils / G. Levenko // International Scientific-Practical Conference of Yuong Scientists «Build-Master-Class-2016». Kyiv, 2016. – pp. 119-120.

11. Levenko G.M. Determination of the main design parameters for soil chemical stabilization / G. M. Levenko // ACADEMIC JOURNAL. Series: INDUSTRIAL MACHINE BUILDING, CIVIL ENGINEERING. – Poltava, 2017. – Issue 2 (49). – pp. 82 – 88. **(Видання включене до МНБД Index Copernicus)**

– які додатково відображають наукові результати дисертації:

12. Левенко А.М. Визначення буферних властивостей пилувато-глинистих та піщаних ґрунтів / А. М. Левенко // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. – Харків, 2015. – № 153. – С 143 – 148. **(Видання включене до МНБД Index Copernicus)**

АНОТАЦІЯ

Левенко Г.М. Закріплення ґрунтових основ, що забруднені перуксусною кислотою. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.02 – основи та фундаменти. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, 2018. 150 с.

Запропоновано науково й експериментально обґрунтований метод розрахунку хімічного закріплення ґрунтів основ фундаментів, забруднених розчинами перуксусної кислоти. Запропоновано модель обґрунтованого вибору методу закріплення й очищення ґрунтів основ фундаментів, яка враховує всі вимоги, що висуваються до масивів закріплених ґрунтів.

Визначено основні технологічні та хімічні критерії вибору методу по закріпленню забрудненого масиву ґрунту.

Розроблено рекомендації по вибору необхідних співвідношень закріплюючих розчинів у залежності від виду ґрунту, а також з урахуванням концентрацій перуксусної кислоти, що знаходиться в порових розчинах забрудненого ґрунту.

Проведено порівняння основних показників ґрунтів в умовах їх забруднення та після проведення робіт по закріпленню.

Ключові слова: хімічне набрякання, силікатизація, перуксусна кислота, напружено-деформований стан ґрунтів, закислені ґрунти.

SUMMARY

Levenko G.M. Stabilization of soils for basements contaminated with peroxy acid. - Qualifying scientific work as a manuscript.

The dissertation for attaining the degree of Doctor in Technical Sciences in speciality 05.23.02 – Soils and Basements. – Poltava. Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University, 2018, 1508 pp.

A scientifically and experimentally grounded method for calculating the chemical fixation of soils, which are prone to contamination with solutions of peracetic acid, is proposed. The model of the grounded choice of method of fastening and clearing of soils, which takes into account all requirements, which are advanced to arrays of fixed soils, is proposed.

The basic technological and chemical criteria for choosing a method for fixing a contaminated soil mass are determined.

Recommendations for choosing the necessary correlations of fixing solutions depending on the type of soil, as well as taking into account the concentrations of peracetic acid in the pore solutions of the contaminated soil, have been developed.

A comparison of the basic soil characteristics in the conditions of their pollution and after the work on consolidation.

Key words: chemical swelling silication, peracetic acid, stress-strain state of soils, acidified soils.

АННОТАЦИЯ

Левенко А. М. Закрепление грунтовых оснований, загрязненных перексусной кислотой. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.02 - основания и фундаменты. - Полтава: Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка, 2018. 150 с.

Предложено научно и экспериментально обоснованный метод расчета химического закрепления грунтов оснований фундаментов, загрязненных растворами перексусной кислоты. Предложена модель обоснованного выбора метода закрепления и очистки грунтов оснований фундаментов, которая учитывает все требования, предъявляемые к массивам закрепленных грунтов.

Определены основные технологические и химические критерии выбора метода по закреплению загрязненного массива грунтов.

Разработаны рекомендации по выбору необходимых соотношений закрепляющих растворов в зависимости от вида грунта, а также с учетом концентраций перексусной кислоты, находящейся в поровых растворах загрязненного грунта.

Проведено сравнение основных показателей грунтов в условиях их загрязнения и после проведения работ по закреплению.

Ключевые слова: химическое набухание, силикатизация, перексусна кислота, напряженно-деформированное состояние грунтов, закисленные почвы.