

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова

Міністерство освіти і науки України
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

Кваліфікаційна наукова робота
на правах рукопису

Левенко Ганна Михайлівна

УДК 624.131.52

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

05.23.02 – основи та фундаменти
19 – архітектура та будівництво

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____ Г. М. Левенко

Науковий консультант – Бронжаєв Михайло Федорович
кандидат технічних наук, доцент

Харків 2018

АНОТАЦІЯ

Левенко Г.М. Закріплення ґрунтових основ, що забруднені перуксусною кислотою. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 «основи та фундаменти» (19 - Архітектура і будівництво). Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова.

Сформульовано та обґрунтовано вирішення актуальної проблеми, що пов'язана з обґрунтуванням і розробкою методу закріплення ґрунтових основ, забруднених розчинами перуксусної кислоти..

Установлено, що в харчовій промисловості широке застосування отримала миюча й дезинфікуюча речовина Oxonia Active-150 на основі 25%-вої перуксусної кислоти. Дана речовина в результаті витоків і викидів стічних вод, потрапляючи в ґрунтову основу, вступає в реакцію з хімічно активними речовинами ґрунту, що призводить до набрякання основи.

З'ясовано, що найбільш дієвим способом стабілізації поведінки ґрунтів основ, забруднених промисловими стоками, є ін'єкційні методи з закріплення, зокрема, силікатизація.

Установлено, що на сьогоднішній день відсутня методика закріплення ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти, яка б вирішувала проблему не тільки поліпшення механічних характеристик забруднених ґрунтів, але також враховувала б екологічну сторону проблеми. Для цього розроблено та обґрунтовано основні підходи до вирішення проблеми закріплення й екологічного очищення ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти.

Запропоновано науково й експериментально обґрунтований метод розрахунку хімічного закріплення ґрунтів, які схильні до забруднення розчинами перуксусної кислоти. Запропоновано модель обґрунтованого вибору методу

закріплення й очищення ґрунтів, яка враховує всі вимоги, що висуваються до масивів закріплених ґрунтів.

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

Змодельована поведінка масиву ґрунту при трьох випадках екологічного стану: 1) в природному стані; 2) у разі забруднення ґрунтів перуксусною кислотою; 3) в умовах закріпленого масиву ґрунту.

Представлений обґрунтований вибір методу технологічної доставки закріплюючих розчинів у забруднений масив ґрунту і його екологічного очищення.

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.

Установлено, що характеристики міцності ґрунтів під впливом перуксусної кислоти знижуються в середньому на 11% - 60%.

Експерименти показали, що після проведення закріплення ґрунтів міцність їх підвищується, механічні характеристики значно поліпшуються, в деяких випадках механічні характеристики закріпленого ґрунту перевищують їх значення в природному стані. Міцність ґрунту на стиск $R_{ст}$ збільшується в 1,81-3,01 рази, питоме зчеплення C збільшується в 9,6 рази, модуль деформації E збільшується в 2,48 рази, кут внутрішнього тертя ϕ збільшується в 1,56 рази.

Установлено, що закріплені зразки закислого 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%. Це свідчить про те, що закріплені зразки

закисленого ґрунту є стійкими до дії агресивних середовищ протягом тривалого періоду

Практичне значення результатів досліджень дає можливість прогнозувати фізико-механічний стан масивів ґрунтів забруднених стоками харчової промисловості, а також вирішувати питання з хімічного закріплення досліджуваних ґрунтів з наданням їм міцності, що наближена до природньої.

Ключові слова: хімічне набрякання, силікатизація, перуксусна кислота, прогнозування напружено-деформованого стану ґрунтів.

Список публікацій здобувача.

Наукові роботи, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації.

– в яких опубліковані основні наукові результати:

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

2. Левенко А.М. К вопросу исследования параметров влияющих на набухающие свойства грунтов / А. М. Левенко, М.Ф. Бронжаев // 3б. Наук. праць «Ресурсо-кономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне, 2015. – №. 30. – С. 448 – 456.

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

Апробація результатів дисертації.

Включені в дисертацію результати досліджень оприлюднені на наступних конференціях:

- Міжнародна науково-технічна конференція ПАО «УКРГИДРОПРОЕКТ» (Харків, 20-24 трав. 2013 р.). Х., 2013.
- 8-а Всеукраїнська науково-технічна конференція «Механіка ґрунтів, геотехніка і фундаментобудування». (Полтава, 11-13 лист. 2013 р.)
- 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.). Д., 2016.

- Міжнародна науково-практичної конференція молодих вчених «Буд-майстер-клас-2016» (Київ, 16-18 лист. 2016 р.). К., 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 Buildinga”. 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.
- International research and practice conference «Modern Methods, Innivations, and Experience of Practical Application in the Field of Technical Sciences» Random, Republic of Poland, December 27-28, 2017.

SUMMARY

Levenko Gann “Fixing soil bases contaminated with peracetic acid. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript”.

Dissertation for obtaining the scientific degree of the candidate of technical sciences on the specialty 05.23.02 "Fundamentals and foundations" (19 - Architecture and construction). Kharkiv National University of Municipal Economy named after O.M. Beketov

The solution of the urgent problem, which is connected with the substantiation and development of the method of fastening of soil bases, acidified by industrial flows of food industry enterprises, is formulated and substantiated.

It was established that in the food industry widespread use was made by washing and disinfectant Oxonia Active-150 on the basis of 25% peracetic acid. This substance as a result of leakage and sewage emissions, getting into the soil basis, reacts with the chemically active substances of the soil, which leads to swelling of the base.

It has been found out that the most effective way of stabilizing the behavior of soils of the bases contaminated with industrial effluents is the injection methods of fixation, in particular, silicification.

It is established that for today there is no method of fixing soils contaminated with solutions of peracetic acid, which would solve the problem not only improving the mechanical characteristics of contaminated soils, but also would take into account the environmental aspect of the problem. For this purpose, the main approaches to solving the problem of fastening and ecological cleaning of soils contaminated with solutions of peracetic acid have been developed and substantiated.

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 offered.

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

Simulated behavior of the soil mass in three cases of ecological condition: 1) in the natural state; 2) in the case of soil contamination with peracetic acid; 3) in the conditions of a fixed mass of soil.

The substantiated choice of the method of technological delivery of fixing solutions to the contaminated array of soil and its ecological cleaning is presented.

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.

It was established that the characteristics of soil strength under the influence of peracetic acid decrease by an average of 11% - 60%.

Experiments have shown that after the consolidation of soils their strength increases, mechanical characteristics are greatly improved, in some cases, the mechanical characteristics of the fixed soil exceed their value in the natural state. The strength of the soil on the compression of R_{st} increases in 1,81-3,01 times, the specific gravity C increases 9,6 times, the deformation module E increases by 2,48 times, the angle of internal friction increases 1,56 times.

It has been established that fixed samples of acid-soaked soil are resistant to aggressive media over a long period of time. Decrease in compression strength of samples of fixed soil after exposure to water is 36-47%, and under the influence of 3% of acid - 26-42%. This indicates that fixed samples of acidified soil are resistant to aggressive media over a long period of time

The practical significance of the results of the research makes it possible to predict the physical and mechanical state of the soils of contaminated soils of the food

industry, as well as to solve the issues of chemical fastening of the studied soils with the provision of their strength, which is close to natural.

Key words: chemical swelling, silicification, peracetic acid, prediction of the stress-strain state of soils.

List of publisher publications

Scientific works, in which the main scientific results of dissertation are published.

1. Levenko A, Bronzhaev M. Investigation of silica gels on the basis of peracetic acid throughout the range of their formation. *Zb sciences works. Series: Sectoral engineering, construction*. Poltava, 2013. 3 (38). Pp. 68-75.

2. Levenko A, Bronzhaev M On the study of parameters influencing the swelling properties of soils. *Zb Science Works "Resource-Contemporary Materials, Structures, Buildings and Structures"*. Rivne, 2015. 30. pp. 448-456.

3. Levenko A Determination of buffer properties of pollen-clay and sandy soils. *Zb sciences works of UkrDUZT*. Kharkiv, 2015. 153. From 143-148. (The publication is included in the Index Copernicus MNBD)

4. Levenko A, Bronzhaev M Investigation of swelling of sandy and dusty-clay soils from the influence of solutions of peracetic acid. *The world of geotechnics*. Zaporizhia, 2015. 2 (46). Pp. 17-18.

5. Levenko G, Bronzhaev M Mechanical properties of sandy and dusty-clay soils under the influence of peracetic acid. *Interdepartmental scientific and technical collection of scientific works "Building constructions. Soil Mechanics, Geotechnics and Foundation Engineering"*. Part 1 K. : DP NDIBK, 2016. No. 83. p. 334-341.

6. Levenko G. Influence peracetic acid has mechanical properties in sandy and silty clay soils. *International Scientific-Practical Conference of Yuong Scientists «Build-Master-Class-2016»*. 16-18 November 2016. Ukraine, Kyiv. pp. 119-120.

7. Levenko A Investigation of the possibility of fixing sand and silty-clay soils by silicification. *Zb sciences works of UkrDUZT*. Kh., 2016. No. 166. P. 149-156. **(The publication is included in the Index Copernicus MNBD)**

8. Levenko A Estimation of strained-deformed state of a massif of soil contaminated with peracetic acid. *Zb sciences works of UkrDUZT*. Kh., 2017. No. 169. P. 19-25. **(The publication is included in the Index Copernicus MNBD)**

9. Levenko AM The experience of fixing the acidified sand and dusty-clay soils by silicification. *Sat Works of the All-Russia Scientific and Technical Conference. Engineering and geotechnical surveys, designing and construction of foundations, foundations and underground structures*. C-Pb., 2017. pp. 201-207.

10. Levenko G. Modeling of the Stress-Strain of the Earth Mass Contaminated with Peracetic Acid. *6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport, Engineering Structures and Buildings"*. Transbud-2017. Kharkiv, Ukraine, April 19-21, 2017. DOI: 10.1051 / mateconf / 201711602023 **(Edition included in the Scopus MNBD)**

11. Levenko G.M. Determination of the main design parameters for soil chemical stabilization. *ACADEMIC JOURNAL. Series: INDUSTRIAL MACHINE BUILDING, CIVIL ENGINEERING*. Poltava, Issue 2 (49) '2017. pp. 82-88 **(The publication is included in the Index Copernicus MNBD)**

12. Levenko G. M. Longevity of fortified soils in aggressive environments. *Zb theses of the International scientific and practical conference "Modern methods, innovations and experience of practical application in the field of technical sciences"*. Hail, Republic of Poland. 2017. From 138-141.

Approbation of the results of the dissertation.

The research results included in the dissertation are published at the following conferences:

- International scientific and technical conference of PJSC "UKRHYDROPROEKT" (Kharkiv, May 20-24, 2013). X, 2013
- 8th All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Soil Mechanics, Geotechnics and Foundations". (Poltava, November 11-13, 2013)
- International Scientific and Practical Conference on Building Materials, Structures and Structures "Problems of Reliability and Longevity of Engineering Structures and Buildings in Railway Transport". Kharkiv, 2015.
- Ninth All-Ukrainian Scientific and Technical Conference "Soil Mechanics, Geotechnics and Foundations" (Dnipro, October 3-7, 2016). D., 2016.
- International scientific and practical conference of young scientists "Bud-master-class-2016" (Kiev, 16-18 November 2016). K., 2016.
- All-Russian scientific and technical conference on geotechnics "Engineering and geotechnical research. Design, construction and operation of the foundations of foundations and underground structures "(St. Petersburg, February 2-3, 2017). St. Petersburg, 2017.
- X All-Ukrainian student scientific and technical conference "Sustainable development of cities" (82-th student scientific and technical conference). (Kharkiv, April 25-27, 2017). Kharkiv, 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 the 120th Anniversary of Professor Platonov). Poltava, October 24 - 29, 2017.

- International Research and Practical Conference "Modern Methods, Innovations, and Experience in Practical Application in the Field of Technical Sciences" Random, Republic of Poland, December 27-28, 2017.

ЗМІСТ

Вступ.....	17
Розділ 1. Дослідження впливу промислових стоків виробництв харчової промисловості на набрякаючі властивості піщаних і глинистих ґрунтів.....	24
1.1. Параметри, що впливають на набрякаючі властивості ґрунтів	24
1.2. Напружено-деформований стан набрякаючих ґрунтів	31
1.3. Особливості будівництва на ґрунтах, що набрякають	36
1.4. Екологічні аспекти хімічного забруднення ґрунтів	38
Висновки до розділу 1.....	43
Розділ 2. Методика випробувань і використане обладнання	45
2.1. Методи та обладнання, що використовуються при лабораторних дослідженнях можливості закріплення піщаних і глинистих ґрунтів і властивостей силікатних гелів	47
2.2. Характеристики досліджуваних ґрунтів.....	49
2.3. Підготовка до випробувань забруднених та зміцнених досліджуваних ґрунтів	50
2.4. Підготовка до випробувань та дослідження силікатних гелів на основі перуксусної кислоти	54
Висновки до розділу 2.....	56
Розділ 3. Дослідження можливості набрякання піщаних і глинистих	58

ґрунтів і обробка експериментальних даних	
3.1. Лабораторні дослідження впливу розчинів перексусної кислоти на значення вільного набрякання піщаних і глинистих ґрунтів.....	58
3.2. Вплив перексусної кислоти на механічні властивості піщаних і глинистих ґрунтів	62
3.3. Вивчення буферних властивостей ґрунтів, під впливом перексусної кислоти	64
Висновки до розділу 3.....	70
Розділ 4. Дослідження можливості закріплення силікатизацією піщаних і глинистих ґрунтів, забруднених промисловими стоками харчової промисловості.....	71
4.1. Визначення основних розрахункових параметрів хімічного закріплення ґрунтів	71
4.1.1 Вибір оптимального розрахункового значення часу початку гелеутворення	72
4.2. Дослідження механічних характеристик силікатних гелів на основі перексусної кислоти	80
4.3. Лабораторні дослідження можливості закріплення піщаних і глинистих ґрунтів силікатно-перексусними розчинами	84
4.4. Дослідження коефіцієнта Пуассона для ґрунтів, закислених розчинами перексусної кислоти.....	90
4.5. Дослідження радіусу закріплення піщаних і глинистих ґрунтів,	

закріплених силікатно-перуксусними розчинами	93
4.6. Довговічність закріплених ґрунтів в агресивних середовищах	95
4.7. Технологія виконання робіт по закріпленню ґрунтів.....	97
Висновки до розділу 4.....	100
Розділ 5. Оцінка напружено-деформованого стану ґрунтової основи закріплених ґрунтів	101
5.1. Розрахунок параметрів хімічно закріплених ґрунтів	101
5.2. Приклад моделювання поведінки ґрунту під впливом перуксусної кислоти	105
Висновки до розділу 5.....	126
Загальні висновки.....	127
Перелік використаних джерел	129
Додаток А.....	143
Додаток Б.....	145
Додаток В.....	147
Додаток Г.Довідка про впровадження.....	149

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. 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 діячів. Держави виділяють значні кошти як на заходи щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища, так і на боротьбу з їх наслідками.

Забруднення ґрунтів - один з найбільш небезпечних видів деградації земель. Це пов'язано з низкою причин. Багато забруднюючих речовин здатні до подальшого переносу від локальних джерел забруднення і до глобального розсіювання. Концентрація їх у різних природних середовищах регіонів, віддалених від великих промислових центрів, має тенденцію до зростання.

Досвід експлуатації багатьох підприємств показав, що внаслідок аварійних замочувань ґрунтів промисловими стоками в ґрунтові основи споруд потрапляють хімічно активні розчини різних концентрацій, під впливом яких ґрунти суттєво змінюють свої властивості. Так, при взаємодії ґрунтових мінералів з розчинами кислот і лугів у результаті фізико-хімічних процесів і обмінних реакцій відбувається збільшення об'єму ґрунтів. Це явище отримало назву "хімічне набрякання".

У даний час у харчовій промисловості широке застосування отримала миюча й дезинфікуюча речовина Охоніа Active-150, основа якої – 25% 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 поведінки даних ґрунтів, щоб у

подальшому мати можливість прогнозувати поведінку системи «основа-фундамент-споруда».

Найбільш дієвим способом стабілізації поведінки ґрунтів основ, що забруднені промисловими стоками, є ін'єкційні методи з закріплення, зокрема, силікатизація. Закріплення таких ґрунтових основ являє собою комплекс різних заходів, що враховують вирішення питань як технічних, так і екологічних.

Викладене вище свідчить про необхідність вирішення **актуальної наукової проблеми**, пов'язаної з експериментальним обґрунтуванням і розробкою науково обґрунтованого методу закріплення масивів ґрунтів, що схильні до забруднення стоками харчової промисловості, зокрема, перуксусною кислотою (мал. 1).

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 роботах Міністерства освіти і науки України: «Освоєння підземного простору міст. Ґрунтовий масив під впливом негативних дій» (2013-2014, номер державної реєстрації 0112U001566); «Урахування складних інженерно-геологічних умов при розрахунку і проектуванні основ і фундаментів будівель та споруд» (2015-2017, номер 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

грунту 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 силікатно-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 силікатно-перуксусними розчинами.

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 силікатно-перуксусними розчинами.

У цілому розроблена автором методика по закріпленню закислених ґрунтових основ дозволяє не тільки стабілізувати їх поведінку, а й вирішує проблему екологічної чистоти ґрунтів.

Отримані автором результати дозволяють прогнозувати поведінку ґрунтових основ, забруднених кислотними промисловими стоками.

Результати досліджень упроваджені в діяльності ПАО «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 в:

- постановці наукової задачі і цілі дослідження;
- виконанні лабораторних досліджень і розробці методик;
- виконанні аналізу отриманих результатів і виборі найбільш ефективних закріплювальних складів;
- розробці розрахунково-теоретичної методики поліпшення будівельних властивостей піщаних і глинистих ґрунтів, забруднених кислотними розчинами промислових стоків.

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 Buildinga”. 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 та обсяг дисертаційної роботи.

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, перелік використаних джерел 124 позиції.

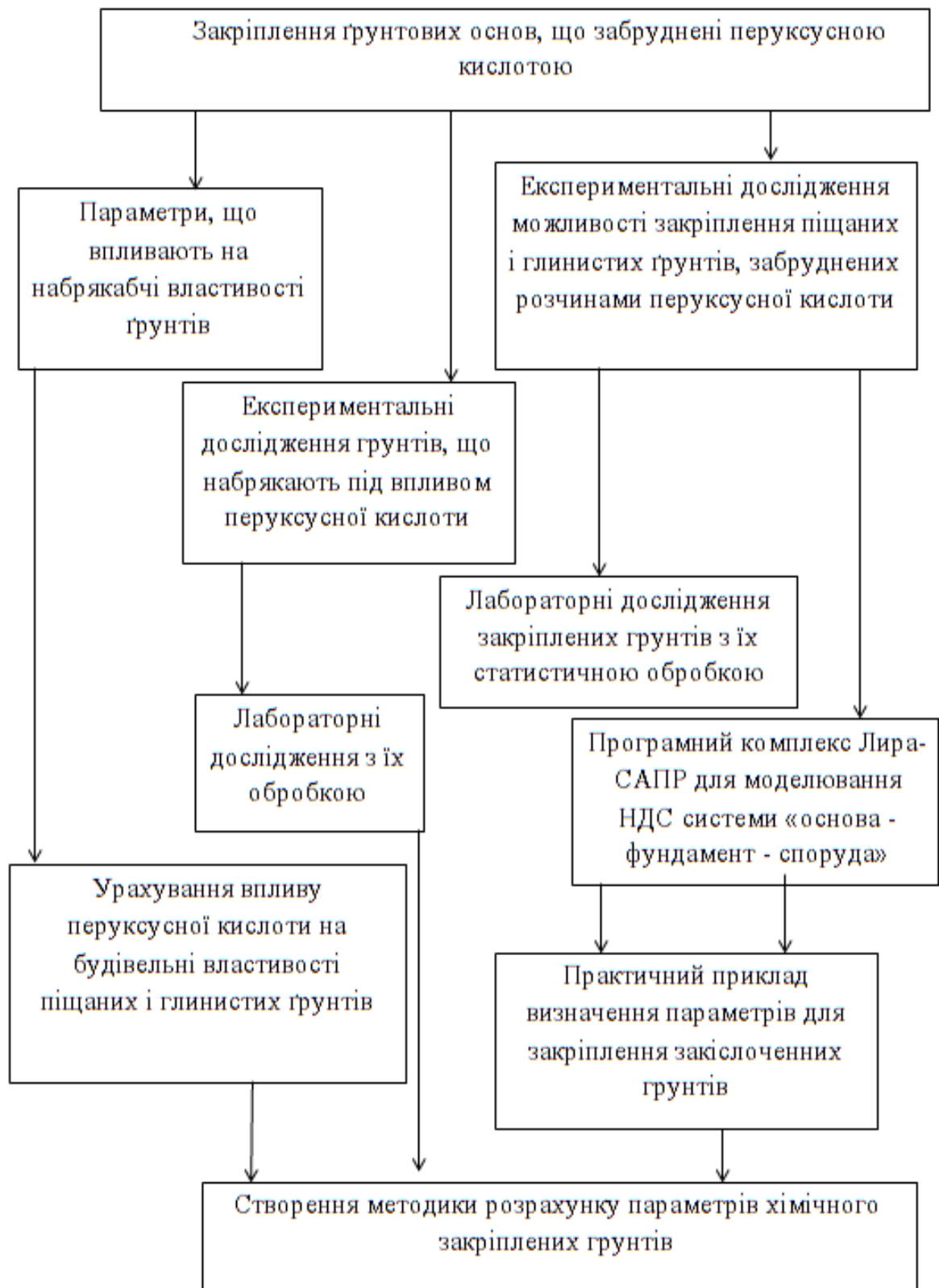


Рис 1. Структурна схема роботи

РОЗДІЛ 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОМИСЛОВИХ СТОКІВ ВИРОБНИЦТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ НА НАБРЯКАЮЧІ ВЛАСТИВОСТІ ПІЩАНИХ І ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ

1.1. Параметри, що впливають на набрякаючі властивості ґрунтів

Унаслідок замочування ґрунтів промисловими стоками в ґрунтові основи споруд потрапляють хімічно активні розчини різних концентрацій, під впливом яких ґрунти помітно змінюють свої властивості. Так, в результаті фізико-хімічних процесів і обмінних реакцій у ґрунтах відбувається збільшення об'єму ґрунтів [1]. Це явище отримало назву "хімічне набрякання".

У разі хімічних забруднень діючі норми [2, 3, 4] регламентують лише правила проектування на ґрунтах, що набрякають, але не дають можливості прогнозувати подальшу поведінку ґрунтових снов і призначати відповідні захисні заходи на стадії проектування промислових будівель і споруд.

Набрякання глинистих ґрунтів має складний фізико-механічний характер. Фізична природа і механізм процесу набрякання глинистих ґрунтів отримали певне висвітлення в роботах таких авторів: К. Терцагі [5], Н.М. Герсєванова [6], В.П. Ананьєва [7], Є. А. Сорочана [8], І. В. Храпатова [9] та ін.

Зміна об'єму ґрунту при взаємодії з водою пов'язана як зі здатністю води адсорбуватися на поверхні часток, так і вступати в хімічні реакції взаємодії з деякими речовинами, що знаходяться в ґрунті. Набрякання при цьому відбувається лише в переущільнених ґрунтах за умови усунення впливу зчеплення під впливом тиску, висушування та інших факторів, що призводять до утворення мікротріщин в глинистому ґрунті [10].

Залежність об'єму глинистого ґрунту від вологості зумовлена ослабленням або повним зникненням неводостійких і маловодостійких жорстких структурних зв'язків, а також плівкової води навколо твердих часток у вигляді гідратних оболонок [11; 12; 13-15]. При близькому розташуванні часток одна до одної плівкова вода, прагнучи до рівноважного стану, розклинює (розсовує) частки до повного водонасичення ґрунту (Рис. 1.1). Розклинювальні сили руйнують і деформують (розтягують) структурні зв'язки, а ті, що залишилися, утворюють більш пухку структуру ґрунту.

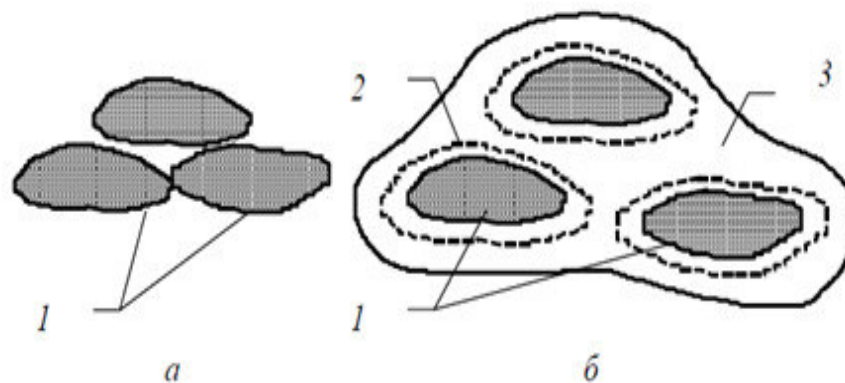


Рис. 1.1. Схема набрякання ґрунту при замочуванні: а - ґрунт в природному стані; б - ґрунт після замочування; 1 - тверді мінеральні частки; 2 - міцно зв'язана вода; 3 – пухко-пов'язана вода.

Окрім того, схильність до набрякання істотно залежить від напруженого стану ґрунту. Про це наочно свідчать дослід з виявлення залежності між підйомом штампа внаслідок набрякання ґрунтів і навантаженням на нього.

Є. А. Сорочан [8; 16] встановив, що тиск набрякання ґрунту, що знаходиться як у природному, так і в розуцільненому стані, визначається його початковою щільністю й вологістю. При збільшенні початкової вологості ґрунту однієї щільності тиск набрякання знижується при однаковій величині

попереднього набрякання. Збільшення початкової щільності ґрунту постійної вологості призводить до збільшення тиску набрякання.

Є. А. Сорочан широко застосовував польові методи досліджень для визначення величини тиску набрякання в натурних умовах. Він використовував метод глибинного замочування ґрунтів у котлованах для вивчення характеру набрякання в часі і характеру пошарових деформацій.

У результаті досліджень, виконаних Є. А. Сорочаном, стало можливим більш обґрунтовано підходити до проектування основ будинків і споруд, складених набрякаючими і просідаючими ґрунтами.

До теперішнього часу сформульовано кілька класифікацій набрякаючих ґрунтів за різними критеріями [17; 18; 19]. Так, в американському нормативному документі [20] запропоновано оцінювати ступінь набрякання глинистих ґрунтів за кількістю колоїдно-дисперсної фракції, числу пластичності і межі усадки. Класифікаційні показники наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Американські класифікаційні показники ґрунтів

Вміст колоїда < 0,001%	Число пластичності I_p	Межа усадки W_s, %	Можливі набрякання, % (Умови зміни вологості - сухий ґрунт - повне насичення)	Ступінь набрякання
> 28	> 35	< 11	> 30	Дуже високий
20 – 31	25 – 41	7 – 12	20 – 30	Високий
13 -23	15 – 28	10 – 16	10 – 20	Середній
< 15	< 18	> 15	< 10	Низький

К.О. Андерсон і К. Томсон [21] рекомендували оцінювати потенційну здатність ґрунтів до набрякання за наступною емпіричною формулою:

$$S = 0,231I_p - 3,12 \quad (1.1)$$

де S – потенційна здатність до набрякання;

I_p – число пластичності.

На підставі кореляційної залежності між потенційною здатністю до набрякання і числом пластичності К. О. Андерсон запропонував наступну оцінку ступеня набрякання (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Оцінка ступеня набрякання по К. О. Андерсону

Ступінь набрякання	Число пластичності I_p	Потенційна здатність до набрякання, S
Низький	20	1,5
Середній	20 – 31	1,5 – 4,0
Високий	31 – 39	4,0 – 6,0
Дуже високий	39	6,0

М.П. Лисенко [22] пропонує оцінювати рівень набрякання за значенням вільного набрякання (набрякання без навантаження) і тиску набрякання. Його класифікація наведена в табл. 1.3.

Таблиця 1.3.

Класифікація ґрунтів за М.П. Лисенком

Ґрунти	Вільне набрякання, %	Тиск набрякання, МПа
Ненабрякаючі	< 4	< 0,025
Слабонабрякаючі	4 – 10	0,025 – 0,1
Середньонабрякаючі	10 – 15	0,1 – 0,25
Сильнонабрякаючі	> 15	> 0,25

Згідно з ДСТУ Б В.2.1-3-96 [3], набрякаючими називаються ґрунти, які при замочуванні водою або іншою рідиною збільшуються в об'ємі і мають відносну деформацію набрякання (в умовах вільного набрякання), де ε_{swo} - це величина відносного вільного набрякання. У таблиці 1.4 подано класифікацію набрякаючих ґрунтів.

Таблиця 1.4.

Класифікація набрякаючих ґрунтів за ДСТУ Б В.2.1-3-96

Ґрунти	Вільне відносне набрякання ε_{swo}	
	в одометрах	в приладах ПНГ
Ненабрякаючі	менше 0,04	менше 0,07
Слабонабрякаючі	0,04-0,08	0,07-0,13
Середньонабрякаючі	0,08-0,12	0,13-0,20
Сильнонабрякаючі	більше 0,12	більше 0,20

Також за показники, що характеризують набрякання ґрунту, приймаються:

- відносне набрякання ε_{sw} ;
- тиск набрякання P_{sw} - тиск в $\text{кгс}/\text{см}^2$, який утворюється при неможливості об'ємних деформацій у процесі набрякання ґрунту;
- вологість набрякання W_{sw} - вологість у відсотках, що відповідає такому стану ґрунту, при якому припиняється процес поглинання рідини;
- відносна усадка при висиханні ε_{sh} .

Нормативні значення відносного набрякання ε_{sw} і відносної усадки ε_{sh} визначаються за результатами лабораторних випробувань відповідно до вимог ДСТУ.

При проектуванні споруд на ґрунтах, що набрякають, необхідно враховувати той факт, що при збільшенні вологості ґрунту відбувається розпушування ґрунтів [23; 24; 25; 26]. У таблиці 1.5 наводяться орієнтовні значення коефіцієнтів розпушування в залежності від набрякання і збільшення вологості $\Delta\omega$.

Приріст вологості слід враховувати в інтервалі від початкової до кінцевої ω_{eq} .

Таблиця 1.5.

Значення коефіцієнта розпушування $K_{\text{рун}}$

Характеристика грунту	Вільне відносне набрякання $\varepsilon_{\text{сво}}$	Збільшення вологості $\Delta\omega$	Коефіцієнт розпушування $K_{\text{рун}}$
Не розпушується	$\leq 0,01$	$\leq 0,02$	$\leq 1,4$
Розпушується	0,01...0,03	0,02...0,05	1,4...2,0
Сильно розпушується	0,03...0,10	0,05...0,15	2,0...4,0
Дуже сильно розпушується	$>0,10$	$>0,15$	$>4,0$

Що стосується питання хімічного набрякання, то воно вивчалось багатьма авторами [27-29; 30; 31; 32; 33]. Дослідження були спрямовані на вивчення впливу хімічних розчинів на фізико-хімічний стан ґрунтів основ, а також на їхні будівельні властивості [34-39; 40; 41]. Хімічне набрякання в більшості випадків призводить до неприпустимих деформацій фундаментів і надфундаментних конструкцій різних промислових будівель і споруд.

Існуючі норми [3] класифікують ґрунти за ступенем вільного набрякання виключно від впливу на них води, і жоден документ не регламентує поведінку ґрунтів основ під впливом на них розчинів кислот, зокрема, перексусної.

1.2. Напружено-деформований стан набрякаючих ґрунтів

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

$$\varepsilon = \frac{h - h'}{h} \quad (1.2)$$

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. Однак вона неінваріативна щодо напруженого стану та обмежує можливість теоретичних рішень задач з напружено-деформованого стану (НДС) масивів ґрунтів з урахуванням інших параметрів [42].

В умовах компресійного стиску вимірюється лише один компонент деформації при різного роду фізичних впливах (замочуванні, відтаванні, вібрації тощо), в максимальній інтенсивності величин.

За розміром додаткової деформації (1.3)

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1.3)$$

де Δh – величина абсолютної деформації ґрунту;

h – висота зразка до початку випробувань.

судять про структурну нестійкість ґрунту в цілому.

Специфічні особливості властивостей різних видів структурно-нестійких ґрунтів (СНГ) вимагають відповідного підходу як до всебічної оцінки фізико-

механічних властивостей ґрунтів, так і до достовірної оцінки напружено-деформованого стану ґрунтів.

Аналізуючи поведінку набрякаючих ґрунтів [43] при механічних випробуваннях, можна вважати, що між напруженим і деформованим станами і фізичними параметрами ґрунту існують функціональні залежності

$$\varepsilon(\sigma, \rho_d, \omega, \theta, a) = 0, \quad \gamma(\sigma, \rho_d, \omega, \theta, a) = 0, \quad (1.3)$$

де ρ_d - щільність скелету;

ω - вологість;

θ - температура;

a - прискорення часток.

При визначенні збільшень деформацій набрякаючих ґрунтів при ізотропному НДС збільшення об'ємної деформації будуть визначатися в такий спосіб

$$d_\varepsilon = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \sigma} \right)_\sigma d_\sigma + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \theta} \right)_\sigma d_\theta + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial \omega} \right)_\sigma d_\omega + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial a} \right)_\sigma d_a, \quad (1.4)$$

де θ , ω , a - температура, вологість, прискорення часток ґрунту; індекси до лапок позначають, що диференціювання слід проводити при їх сталості. Для набрякаючих ґрунтів $\theta = \text{const}$, $a = \text{const}$, а вологість є величиною змінною.

$$d_\varepsilon = \frac{\partial \sigma}{k} + \alpha \cdot d_\omega, \quad (1.5)$$

де α - коефіцієнт лінійного розширення.

Якщо не давати ґрунту розширюватися при зміні вологості $d_\varepsilon = 0$, напруження σ буде змінюватись інтенсивніше

$$\left(\frac{\partial \sigma}{\partial w} \right)_{\varepsilon} = - \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial w} \right)_{\sigma} \bigg/ \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial w} \right)_w = \alpha \cdot k, \quad (1.6)$$

Механізм впливу перерахованих вище факторів на НДС зразка ґрунту в лабораторних умовах істотно відрізняється від теоретичних міркувань, а також від механізму впливу їх в умовах природного залягання набрякаючих ґрунтів у масиві, тому що він пов'язаний зі складними явищами тепловологопереносу і зміни НДС. Виникає необхідність розгляду крайової задачі вологопружності і термopружності. У разі ж виникнення додаткових пружнопластичних деформацій завдання прогнозування НДС масивів ще більше ускладнюється, що вимагає чисельних методів розрахунку НДС і вологісного поля.

Кількісне прогнозування НДС основ з набрякаючих ґрунтів, у тому числі й підйом фундаментів, здійснюється різними методами, в числі яких рекомендований нормативними документами [44]. h_{sw} визначають методом пошарового підсумовування деформацій набрякання. Для цього необхідно побудувати епюри навантажень σ_{zg} , σ_{zp} і додаткових тисків $\sigma_{z,ad}$. Останнє залежить від розмірів і форми зони замочування і обчислюється за формулою

$$\sigma_{z,ad} = K_g \cdot \gamma \cdot (d + z) \quad (1.7)$$

де K_g - коефіцієнт, що визначається по [44].

За величиною $\varepsilon_{sw(p)}$ методом пошарового підсумовування визначають підйом товщі набрякаючого ґрунту h_{sw} при відомих значеннях

$$\sigma_{zi}^{tot} = \sigma_{zpi} + \sigma_{zgi} + \sigma_{z,ad} \leq p_{sw} \quad (1.8)$$

де p_{sw} - тиск набрякання.

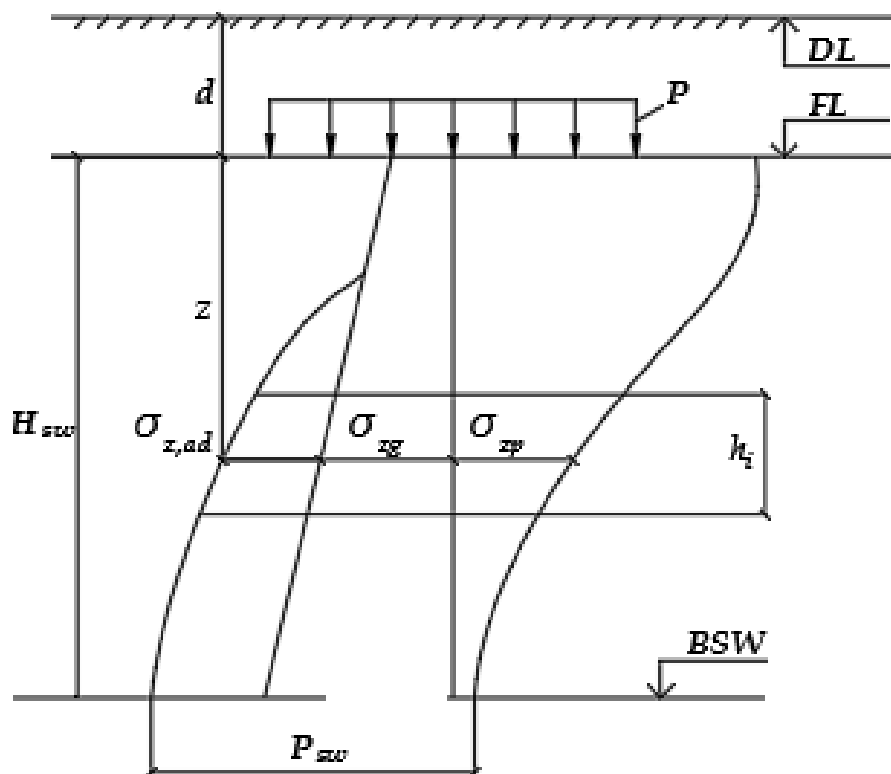


Рис. 1.2. Схема розрахунку підйому основи при набряканні
за СП 22.13330.2011

$$h_{sw} = \sum_{i=1}^n \varepsilon_{swi} \cdot h_i \cdot K_{swi} , \quad (1.9)$$

де $\varepsilon_{sw,i}$ - відносне набрякання i -ого шару, що відповідає $\sigma_{zi(tot)}$;

$K_{sw,i}$ - коефіцієнт, що дорівнює 0,8 при $\sigma_{zi(tot)} = 50$ кПа і 0,6 при $\sigma_{zi(tot)} = 300$ кПа, а при проміжних значеннях - за інтерполяцією.

Нижня межа зони набрякання B_{sw} відповідає глибині, на якій сумарна напруга $\sigma_{z(tot)} = p_{sw}$.

Розрахункові значення h_{sw} не повинні перевищувати допустимі граничні величини підйому фундаментів. В іншому випадку вживають різні заходи, що знижують або повністю виключають деформації набрякання.

Новітні європейські дослідження [45] вказують на те, що визначення пружної деформації основ, що складені набрякаючими ґрунтами. може бути

реалізоване за допомогою методу подвійного одометра або за теоремою про рівновісність води. Метод подвійного одометра полягає у визначенні питомого набрякання ε_{ui} через криві «стиску - пористості».

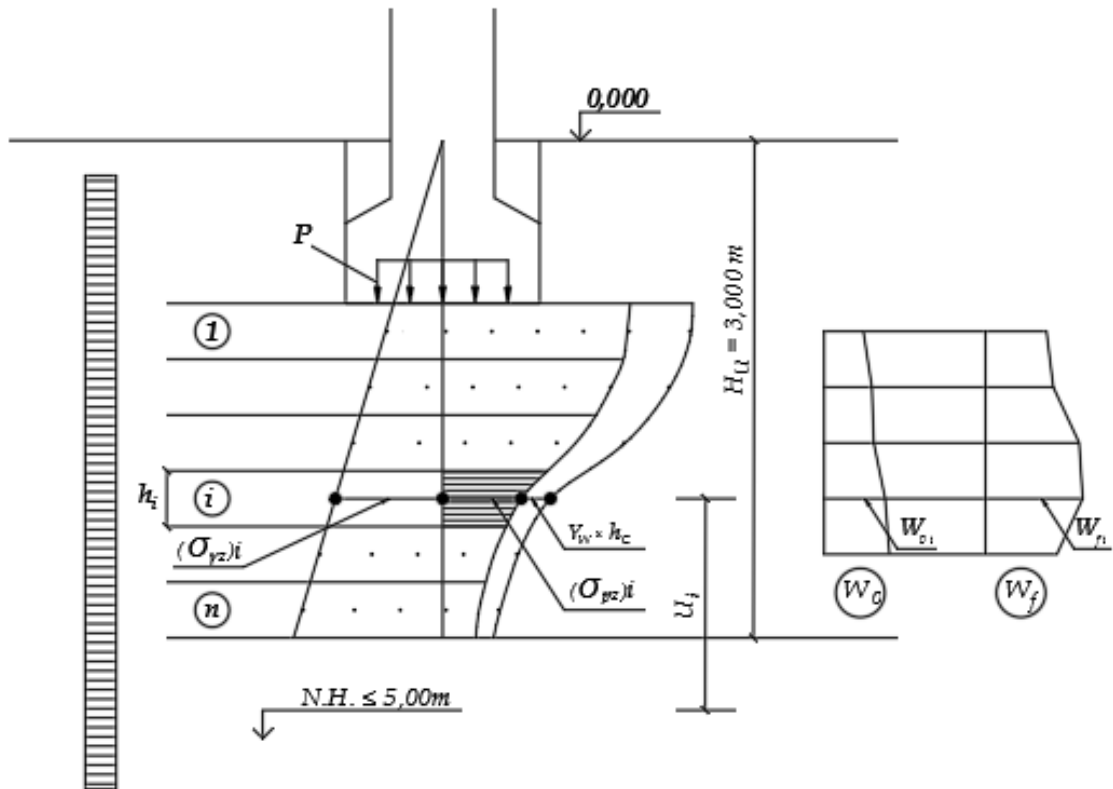


Рис. 1.3. Схема розрахунку для оцінки набрякання

$$\left(\frac{\Delta h}{h} \right)_{pi} = \frac{e_0 - e_i}{1 + e_0} \rightarrow \varepsilon_{ui} = \frac{(\Delta e)_i}{1 + e_0} \quad (1.10)$$

Сумуємо елементарні шари в межах зони набрякання:

$$S_u = \sum_i^n h_i \frac{(\Delta e)_i}{1 + e_0} \quad (1.11)$$

де h_i - глибина елементарного шару; e_0 – пористість; Δe - зміна пористості при набряканні; n – кількість елементарних шарів у межах зони набрякання.

Загальний тиск на елементарний шар буде оцінено за допомогою

$$P_{tot} = \delta\eta + \delta pz + \delta s \quad (1.12)$$

де P_{tot} – загальний тиск; $\delta\eta$ – геологічне навантаження для елементарного шару, розраховане від підшви фундаменту; δpz – вертикальна деформація елементарного шару; δs – додатковий тиск.

1.3. Особливості будівництва на ґрунтах, що набрякають

Більшість досліджень, проведених до останнього часу [9; 28; 35; 36; 38; 39; 46; 47; 48], було присвячено вивченню закономірностей разового набрякання, тобто набрякання при одному циклі зволоження. Значно меншою мірою вивчені закономірності циклічного набрякання, тобто поведінки ґрунтів при 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 [49-51] циклічне зволоження і висушування призводить до суттєвого збільшення показників набрякання в порівнянні з разовим набряканням. При цьому відносне збільшення значень показників набрякання залежить від типу структурних зв'язків і зростає зі збільшенням міцності останніх.

При періодичному замочуванні-висушуванні 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.

При попадання води у набрякаючі ґрунти відбуваються як вертикальні, так і горизонтальні деформації. При випробуванні 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 і т.ін.), які влаштовуються в ґрунтах, що набрякають, при їх зволоженні діятимуть додаткові тиски, спричинені набряканням ґрунту.

На основі випробувань, проведених у різних приладах, виявлені закономірності розвитку горизонтального тиску при набряканні ґрунту [9]. Горизонтальний тиск залежить від щільності і вологості ґрунту: зі збільшенням щільності він зростає, а зі збільшенням вологості зменшується. Так, при випробуванні зразків Хвалинських глин порушеної структури без зовнішнього навантаження горизонтальний тиск при щільності сухого ґрунту $\rho_d = 1,30 \text{ т/м}^3$ дорівнює 40 кПа, а при $\rho_d = 1,87 \text{ т/м}^3$ - 220 кПа. При щільності $\rho_d = 1,30 \text{ т/м}^3$ горизонтальний тиск для зразків з вологістю 8% склав 170 кПа, а з вологістю 25% - 120 кПа.

На сучасному етапі будівництва вирішення різних техногенних завдань обов'язково 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 з закріплення [52; 53; 54; 55-63].

Закріплення ґрунтів, що зазнають забруднення промисловими стоками, являє собою комплекс різних заходів, які враховують вирішення питань як технічних, так і екологічних. При проведенні робіт по закріпленню ґрунтів, забруднених промисловими стоками, необхідно враховувати певні вимоги [30]:

1. При проведенні робіт по закріпленню забруднених масивів ґрунтів необхідно враховувати екологічний стан ділянки, що закріплюється, намагатись мінімізувати внесення хімічних речовин, необхідних для проведення робіт.

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

3. Після проведення робіт механічні та деформаційні показники закріпленого масиву повинні 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 [1; 30; 53; 54; 64; 65; 69].

Таким чином, при проектуванні споруд на ґрунтах, що набрякають, виникає необхідність вибору способу покращення їх будівельних властивостей, а потім у межах обраного варіанту розробка проекту, тобто визначення конфігурації і розмірів, необхідних для зміцнення деформаційної міцності області основи, що в свою чергу визначає довжину, крок і кількість армуючих елементів; потужність і частоту розташування специфічного обладнання; концентрацію, розподіл і витрату закріплюючих реагентів і т.п.

1.4. Екологічні аспекти хімічного забруднення ґрунтів

У сучасному світі питання забруднення навколишнього середовища стоять дуже гостро. Останнім часом вони стали виходити на перше місце в світових відносинах і при співробітництві різних світових господарських діячів.

У розвинених країнах виділяються значні кошти як на заходи щодо запобігання забрудненню навколишнього середовища, так і на боротьбу з його наслідками.

Забруднення ґрунтів - один з найбільш небезпечних видів деградації земель. Це пов'язане з низкою причин. Багато забруднюючих речовин мають здатність до дальнього переносу від локальних джерел забруднення і до глобального розсіювання. Їхня концентрація в різних природних середовищах регіонів, віддалених від великих промислових центрів, має тенденцію до зростання, і це не може не насторожувати.

Через зростання інтенсивності господарського освоєння територій ґрунти зазнають впливу різних забруднювачів, як органічних, так і неорганічних, що відбивається на складі, будові і властивості ґрунтів. Різні ґрунти по-різному реагують на забруднювачі, одні з них більш «чутливі» до них, а інші – менше. Найбільші зміни в структурі при забрудненні характерні для глин, суглинків, частково - супісків [70]. У меншій мірі вони впливають на структуру піщаних і великоуламкових ґрунтів. Найменше зазнає впливу забруднювачів структура скельних ґрунтів - магматичних, метаморфічних і осадових зцементованих.

Однак це не означає, що структура скельних ґрунтів повністю стійка по відношенню до забруднювачів. Все залежить від типу і характеру забруднення, концентрації і механізму впливу на компоненти ґрунту.

Так чи інакше, на структурі всіх ґрунтів позначається, в першу чергу, кількість і концентрація забруднювача. Чим вона більша, тим сильніші зміни в структурі ґрунтів.

Кількісний вміст забруднювача в ґрунті може бути виражений у різних шкалах концентрацій [71]. Так, можна характеризувати вміст забруднювача в ґрунті по його масі, і тоді зручно використовувати шкалу масових концентрацій.

Якщо характеризувати вміст забруднювача в ґрунті за його об'ємом, то використовується шкала об'ємних концентрацій.

Таким чином, у загальному випадку ґрунт розглядається як п'ятикомпонентна система, сумарний об'єм якої складається з:

- об'єму твердої мінеральної частини;
- об'єму води - порового розчину;
- об'єму газової фази - порового повітря;
- об'єму біотичного компонента;
- об'єму власне забруднювача, який може бути представлений як твердою, так і рідкою чи газовою фазою.

Співвідношення об'ємів твердої мінеральної частини, води, газу, біотичних компонентів та забруднювача в ґрунті може бути різним. Якщо не враховувати об'єм біотичних компонентів (який може бути незначним), то забруднений ґрунт можна розглядати як чотирьохкомпонентну систему.

У загальному випадку об'єми вмісту всіх чотирьох компонентів у ґрунті можна розглядати як незалежні змінні. Тому відображення будь-яким наочним способом усіх можливих поєднань цих компонентів є досить складним завданням.

Якщо ґрунт має постійну пористість, то змінними будуть вже тільки три компоненти, причому лише два з них будуть незалежними. А якщо ґрунт крім постійної пористості має ще постійний вміст забруднювача, то в цьому випадку змінними будуть вже два компоненти, з яких тільки один буде незалежним, тому що вміст одного з них буде визначати і вміст іншого. Найбільш складна ситуація виникає при аналізі багатоконпонентного ґрунту з декількома компонентами-забруднювачами.

Усі можливі співвідношення компонентів необхідно мати на увазі при аналізі їх вмісту в ґрунті і дослідженні факторів, що впливають на зміну властивостей забруднених ґрунтів і вміст компонентів.

Об'ємна частка забруднювача в ґрунті не може бути більша за об'єм пор, тому максимальний об'єм забруднювача, який може міститися в ґрунті, визначається об'ємом пор даного ґрунту. Для того, щоб характеризувати ступінь заповнення пор забруднювачем (незалежно від його фазового стану), можна використовувати показник, аналогічний коефіцієнту водонасичення або ступеня вологості ґрунту, який в літературі називають ступенем забруднення пор.

Рідкі забруднюючі компоненти можуть перебувати в ґрунтах в різному вигляді. Від того, як рідкі забруднювачі розташовуються в поровому просторі ґрунту, залежить їх вплив на властивості ґрунтів і способи їх можливого видалення.

Форми можливого розташування рідких забруднювачів в дисперсних і скельних ґрунтах, маючи деякі відмінності, багато в чому схожі.

Так, рідкі забруднювачі можуть перебувати на поверхні часток або стінок тріщин у вигляді сконденсованих або адсорбованих компонентів, які формують манжети або більш-менш протяжні переривчасті адсорбційні плівки.

Рідкі плівки забруднювачів можуть і повністю покривати поверхню часток або стінок тріщин у ґрунтах, утворюючи суцільний шар забруднювачів певної товщини. Залежно від складу і властивостей рідких забруднювачів, зокрема прояви ними властивостей поверхнево-активних речовин, концентрація адсорбційних шарів і плівок забруднювачів в поровому або тріщинному просторах може бути різною.

Разом з цим рідкі забруднювачі можуть перебувати в порах дисперсних ґрунтів у вигляді розсіяних крапель або у вигляді емульсій змішаних рідин.

Останнє характерне для рідких забруднювачів, що нерозчинні у водних порових розчинах ґрунтів.

У тому випадку, якщо рідкий забруднювач повністю заповнює всі пори або тріщини ґрунту, формується найбільша концентрація забруднювача.

Властивості забруднених ґрунтів сильно відрізняються від властивостей вихідних ґрунтів. Різні забруднювачі можуть впливати на фізичні властивості ґрунтів, змінюючи їх щільність, пористість, фільтраційні властивості, фізико-хімічні та фізико-механічні властивості тощо [71].

Щільність забрудненого ґрунту визначається щільністю його компонентів. Щільність забруднених ґрунтів, що містять нафтопродукти, зазвичай нижча незабруднених ґрунтів, оскільки щільність нафтопродуктів нижча 1 г/см^3 . Навпаки, суміш важких забруднювачів (органічних і неорганічних), зі щільністю, вищою за 1 г/см^3 , підвищує щільність ґрунтів.

Проникність порід при потраплянні в них забруднювачів часто є вирішальним фактором, що визначає формування ореолів поширення забруднювачів. При цьому проникність порід визначається не тільки по воді, але й по конкретному забруднювачеві, фізичні властивості якого визначаються його складом.

Фізико-механічні властивості забруднених ґрунтів вивчені найменше, хоча оцінка фізико-механічних властивостей необхідна для розробки технологій по очищенню ґрунтів.

Збільшення деформованості забруднених ґрунтів пояснюється наступними причинами [71]:

- забруднювач знижує міцність контактів між структурними елементами;
- забруднювач частково розчиняє контакти між структурними елементами;

– забруднювач знижує тертя між частками на контактах часток ґрунту.

В цілому, забруднений ґрунт має властивості, які відрізняються від властивостей такого ж незабрудненого ґрунту. Оцінка цих властивостей необхідна для застосування і розробки методів боротьби з наслідками забруднення ґрунтів основ.

Забруднення і погіршення екологічного стану ґрунтового середовища за рахунок неконтрольованого накопичення в ґрунтах різних промислових відходів являє собою особливу небезпеку. У зв'язку з цим в сучасних умовах, поряд з усуненням джерел забруднення, необхідна розробка нових способів і технологій по локалізації ділянок забруднення. Перспективними в цьому напрямку є фізико-хімічні методи [72].

Висновки до розділу 1

1. Існуючі норми класифікують ґрунти за ступенем вільного набрякання виключно від впливу на них води, і жоден документ не регламентує поведінку ґрунтів основ під впливом на них розчинів кислот, зокрема, перуксусної кислоти.

2. При проектуванні будівель і споруд на ґрунтах, що набрякають, враховуються тільки такі параметри, як тиск набрякання, відносне вільне набрякання, зміна вологості набрякання, а можливе збільшення вологості й коефіцієнт розуцільнення до уваги не беруться, хоча їх слід враховувати, тому що при збільшенні вологості ґрунту відбувається розуцільнення ґрунтів, яке значно знижує їх показники міцності.

3. При прогнозуванні поведінки ґрунтів при «хімічному набряканні» не враховується вміст глинистих часток у ґрунті і концентрації хімічних речовин,

що потрапляють у ґрунт і спричиняють «хімічне набрякання». Однак їх урахування необхідне через те, що зі збільшенням кількості глинистих часток у ґрунтах підвищується їх здатність до «хімічного набрякання», і сама величина «хімічного набрякання» зростає.

4. В існуючих методиках урахування набрякання здійснюється через коефіцієнт, що залежить тільки від розмірів замоченої площі, що не дає можливості прогнозувати поведінку ґрунтових масивів в залежності від концентрації розчинів, що проникають до них.

5. Необхідно розробити класифікацію ґрунтів, яка б відображала вплив концентрації розчинів кислот, що потрапляють до ґрунтових масивів на його поведінку.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ВИПРОБУВАНЬ І ВИКОРИСТАННЯ ОБЛАДНАННЯ

При складанні програми досліджень застосовані методи планування досліду, зокрема пасивного однофакторного експерименту для отримання статистичних даних фізико-механічних характеристик ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти, й змінності технологічних факторів.

Розроблено методику дослідження закріплення ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти, обґрунтовано способи визначення оптимальних параметрів закріплення ґрунтів при лабораторних випробовуваннях. Загальна схема проведення досліджень показана на рисунку 3.

Для виконання програми проведено комплексні лабораторні дослідження властивостей ґрунтів, забруднених розчинами перуксусної кислоти. До їх складу входило визначення фізичних та механічних характеристик ґрунтів до забруднення розчинами перуксусної кислоти (в природньому стані), після забруднення та після проведення робіт по закріпленню забруднених зразків ґрунту, також проводилось визначення величини вільного набрякання ґрунтів під впливом розчинів перуксусної кислоти різних концентрацій.

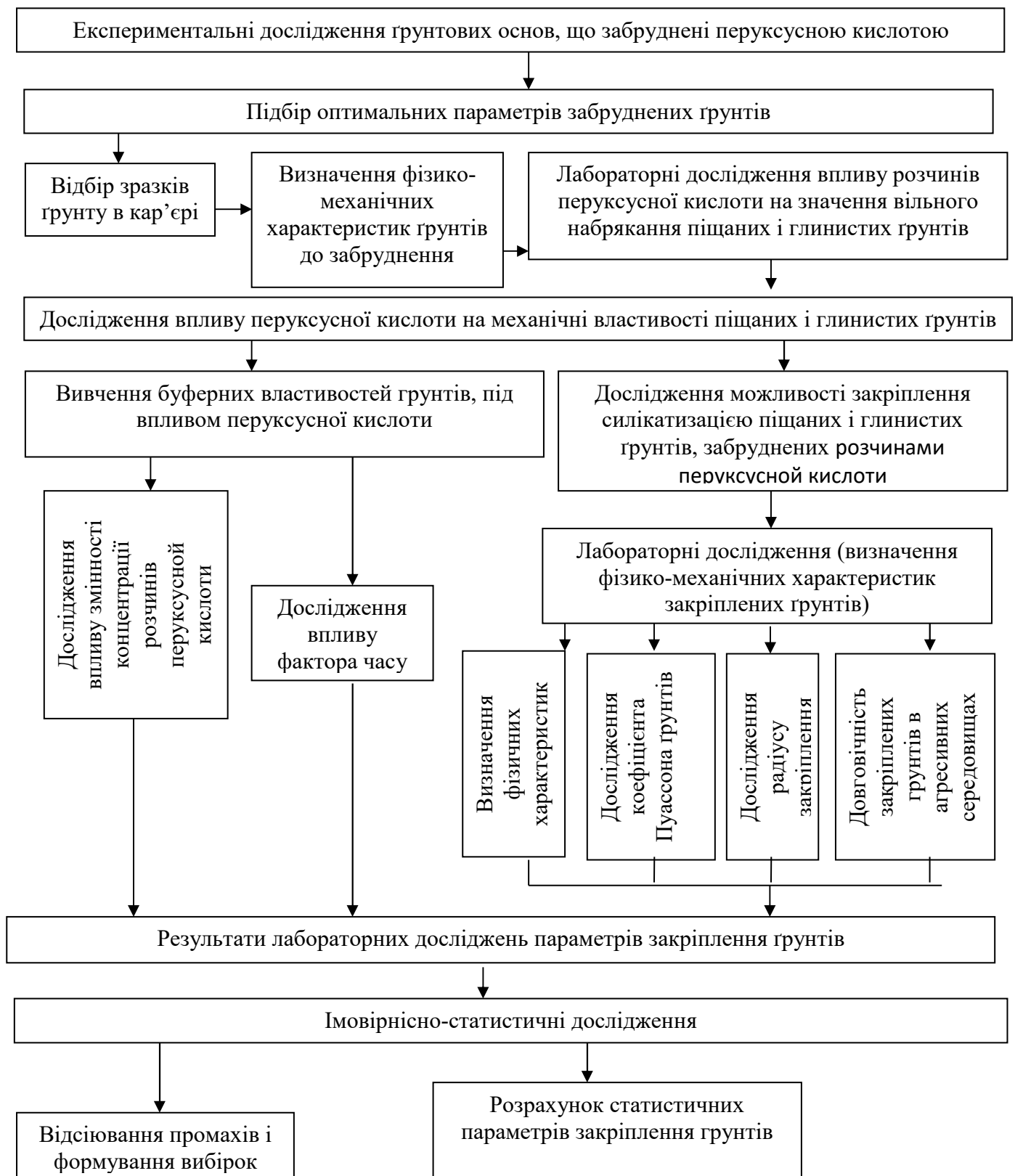


Рис. 3 Структурна схема планування експериментальних досліджень ґрунтових основ, що забруднені перексусною кислотою

2.1. Методи та обладнання, що використовуються при лабораторних дослідженнях можливості закріплення піщаних і глинистих ґрунтів і властивостей силікатних гелів

Початковий фізичний стан дослідних зразків піщаного і глинистих ґрунтів був природним. Фізико-механічні характеристики ґрунтів у природному стані, після забруднення перуксусною кислотою та після закріплення визначені відповідно до діючих норм [73-75].

Характеристики міцності і деформаційні характеристики визначались на стандартних компресійних приладах КП-1М (рис. 2.1) і приладах одноплощинного зрізу марки ПСГ-2М згідно з [76-78].



а)



б)

Рис. 2.1. Компресійний прилад КПР-1М.

а) загальний вид приладу; б) прилад в процесі випробувань

Хімічне закріплення дослідних зразків ґрунтів здійснювалося за допомогою спеціального обладнання кафедри МГФ та ІГ ХНУМГ імені А.Н.Бекетова, що показано на рис. 2.2. а, б.

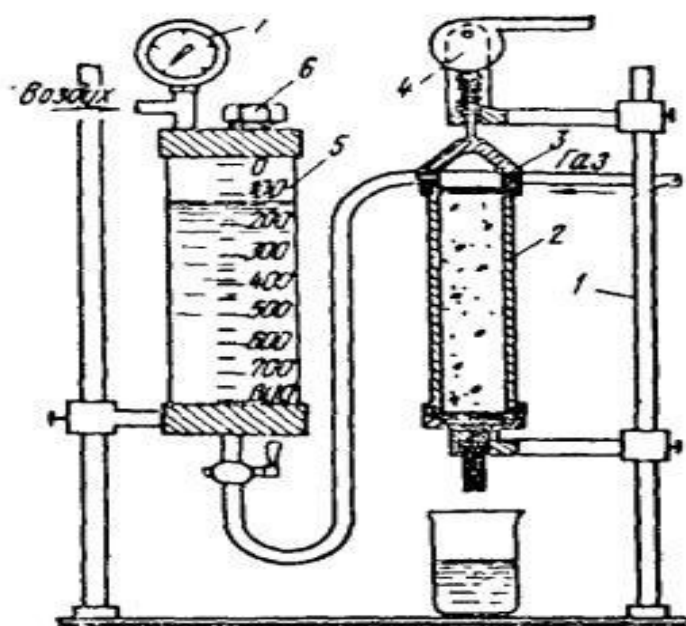


Рис. 2.2. Схема приладу для лабораторного закріплення ґрунтів за методикою НІОСП: 1 - штатив; 2 - трубка-ґрунтонос; 3 - кришка; 4 - притискний пристрій; 5 - ємність з закріплюючим розчином; 6 - отвір з пробкою; 7 – манометр



Рис. 2.3. Прилад для лабораторного хімічного закріплення ЛПЗ-2;

2.2. Характеристики досліджуваних ґрунтів

Для порівняльних лабораторних досліджень впливу розчинів перексусної кислоти на механічні властивості ґрунтів використані пілуваті, маловологі піски і глинисті ґрунти. Гранулометричний склад пісків (табл. 2.2) і класифікація досліджуваних ґрунтів визначені відповідно до вимог [79; 80; 81; 82].

Фізичні характеристики досліджуваних ґрунтів представлені в табл. 2.1.

Таблиця. 2.1.

Фізичні характеристики досліджуваних ґрунтів

Позначення ґрунту	Назва ґрунтів	Фізичні характеристики
Ґрунт I	Пісок пілуватий	$W = 7,5\%$, $\gamma = 17,5 \text{ кН} / \text{м}^3$, $\rho_s = 26,7 \text{ кН} / \text{м}^3$, $\rho_d = 1,69 \text{ г} / \text{см}^3$
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	$W = 40,8\%$, $I_p = 25,1\%$; $I_L = 0,079$, $\rho_s = 27,1 \text{ кН} / \text{м}^3$, $\gamma = 17,5 \text{ кН} / \text{м}^3$

Таблиця 2.2.

Гранулометричний склад досліджених піщаних ґрунтів.

Розмір часток, мм	5-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	0,25-0,1	0,1-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	<0,005
Вміст часток, %	0	0,7	11,4	0,8	1,2	3,2	48,4	25,7	8,6

2.3. Підготовка до випробувань забруднених та зміцнених досліджуваних ґрунтів

Для визначення величини вільного набрякання ґрунтові зразки дослідної групи попередньо замочували до повного насичення розчинами перексусної 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 (рис. 2.1).

Зразки ґрунтів замочували 0,6%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 3,0% розчинами перексусної кислоти. Для водонасичення зразків у всіх дослідях застосовувалася дистильована вода.

Вибір робочих концентрацій кислоти обґрунтований тим, що в виробництві застосовуються розчини Axonia-active 150 надто низьких концентрацій (0,1%). Однак з огляду на здатність хімічних речовин накопичуватися в порах ґрунту досліджувані концентрації були підвищені до 0,6%-3%.



а)



б)

Рис. 2.1. Прилад ПНГ-1 для визначення величини вільного набрякання ґрунту: а) загальний вид приладу; б) прилад в процесі випробувань

Спостереження за показаннями індикатора проводилися: 1, 2, 5, 10, 30, 60 хвилин протягом першої години, потім кожен годину протягом першої доби, потім два рази на добу до умовної стабілізації деформацій набрякання, за яку прийнято приріст показань індикатора рівний 0,01 мм за три доби.

Концентрація перуксусної кислоти в порах ґрунту μ_k встановлена шляхом титрування водної витяжки ґрунту відповідно до [65, 83].

Суть методу полягає в додаванні до аналізованого зразка розчину речовини з відомою концентрацією (титрант). Фактично метод полягає в підрахунку об'єму витраченого на аналіз титранту. Момент закінчення аналізу, тобто закінчення взаємодії між компонентами розчинів, називається кінцевою точкою титрування.

Досліджувані ґрунти були розділені на дві категорії:

I категорія - пісок пилюватий, кварцовий і супісок, пластичний;

II категорія - суглинок важкий, тугопластичний і глина сіра, напівтверда.

Хімічне закріплення дослідних зразків I категорії ґрунтів здійснювалося за допомогою спеціального обладнання (рис. 2.3).

Була використана технологія виготовлення закріплених зразків, заснована на безрозривному просоченні ґрунтових зразків заданої форми закріплюючими розчинами силікату натрію на приладі ЛПЗ-2 (рис. 2.3), розробленому за рекомендаціями В.Е. Соколовича і В.П. Ананьєва [54; 84]. Тиск просочення становив 1,0-2,0 атм. Розміри дослідних зразків становили: діаметр - 41 мм; висота - 60 мм, що відповідало вимогам [30; 65]. За даною технологією закріплювалися зразки, початок гелеутворення яких планувся за час, що перевищував 5 хвилин (рис. 2.4).



а)



б)

Рис. 2.2. Зразки ґрунту, що були закріплені за просочувальною технологією: а) в ємностях; б) перед випробуванням на міцність

II категорія дослідних зразків закріплювалася методом ручного змішування ґрунтів з силікатними гелями. Така методика може бути застосована при змішувальній технології.

Силіказоль змішувалися з ґрунтом за допомогою технічного міксера в металевих ємностях. Ґрунти вкладалися в круглі ємності висотою 80 мм і діаметром 80 мм (рис. 2.4), покриті зсередини тонким шаром парафіну.



а)



б)

Рис. 2.4. Зразки ґрунту, закріпленого за змішувальною технологією.

а) в ємностях; б) перед випробуванням на міцність

Зберігання зразків здійснювалося в повітряно-вологодому режимі 28 діб.

Характеристики міцності закріплених зразків визначені на ручному пресі (рис 2.5).



Рис. 2.5. Ручний прес

Ступінь хімічного набрякання ґрунтів визначався на приладі конструкції Литвинова, типу ПНГ-1, відповідно до вимог методик [73; 85].

Концентрацію водневих іонів (рН) визначали для водної витяжки зі зразків силікатного гелю за допомогою універсальних індикаторів рН.

2.4. Підготовка до випробувань та дослідження силікатних гелів на основі перуксусної кислоти

При вивченні властивостей силікатно-перуксусних гелів вихідними матеріалами слугували: скло рідке (додаток Б), силікатний модуль $M = 2,75$ [65]; перуксусна кислота 0,6%, 1,0%, 1,5%, 2,0%, 3,0% (додаток В).

Вихідні розчини силікату натрію і перуксусної кислоти, використані для виготовлення силікатних гелів, мали такі щільності: силікату - 1,25 г/см³; 1,20 г/см³; 1,15 г/см³; 1,10 г/см³; 1,05 г/см³; кислоти - 1,025 г/см³.

Параметр часу початку гелеутворення t_g реєструвався секундоміром на основі візуальних спостережень за початком структуроутворення силікатних гелів [54; 69; 86].

Дослідні зразки гелів, показані на рис. 2.5, виготовлялися за методикою В.В. Аскалонова [68; 69]. Розчини вихідних компонентів змішувалися в різних об'ємних співвідношеннях кислоти до силікату $\Omega = 2,0-18,5$. У ємності по черзі наливалися розчини силікату натрію та перуксусної кислоти. Задані щільності розчинів силікатів і кислоти вимірювали ареометрами (денсиметрами). Змішування компонентів здійснювалося вручну за допомогою скляної палички.



а)



б)

Рис. 2.5. Зразки досліджуваних гелів: а) під час зберігання, б) перед випробуваннями

Ємностями для виготовлення і подальшого зберігання зразків гелів служили скляні стаканчики по 80-100 мл, покриті зсередини тонким шаром парафіну. Зберігання гелів здійснювалося в герметично закритому стані тонкою гумою. Температура виготовлення й зберігання гелів до встановленого терміну випробування змінювалася в межах 18-22°C.

Термін зберігання силікатних гелів становив 28 діб, після чого гелі витягували з парафінованих ємностей, вимірювали, зважували і відразу випробовували на міцність при стиску. Одночасно вимірювалися об'єми синерезисної рідини.

Розміри отриманих зразків відповідали вимогам [30; 87; 88], мали циліндричну форму діаметром 40 ± 3 мм та співвідношення $h/d = 1,5-1,95$. Вертикальне навантаження зразків гелів, при визначенні межі міцності при одноосьовому стиску, здійснювалося за допомогою легкого преса [54] до повного руйнування (рис. 2.6). Як навантаження використовувалися металеві кульки по 20 ± 2 г. Навантаження прикладалося з постійною температурою

вихідних розчинів і навколишнього середовища, яка при зберіганні силікагелей вимірювалася лабораторними ртутними термометрами.



Рис. 2.6. Руйнування гелів під час випробувань на стиск

Повторюваність досліджуваних зразків по кожній експериментальній партії становила 15-20 одиниць.

Величини водневого показника синерезисної рідини (pH), після закінчення 28 діб, визначалися за допомогою тональних pH-індикаторів.

Висновки до розділу 2

1. Для визначення можливості закріплення були вибрані зразки пилюватих пісків, супісків, суглинків і глин. Це дозволило провести дослідження в повному діапазоні ґрунтів.

2. Для дослідження фізико-механічних властивостей ґрунтів застосовувались методи випробувань ґрунтів, що не потребують додаткових даних.

3. При вивченні впливу забруднювача зразки ґрунту піддавались дії 0,6% - 3,0%-му розчину перексусної кислоти, що дозволяє враховувати вплив різного ступеня забруднення при реальних умовах.

4. При вивченні можливості закріплення ґрунтів, що були забруднені розчинами перексусної кислоти, за стандартною технологією були виготовлені зразки силікатних гелів на основі розчинів силікату натрію та перексусної кислоти.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ НАБРЯКАННЯ ПІЩАНИХ І ГЛИНИСТИХ ГРУНТІВ І ОБРОБКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ

3.1. Лабораторні випробування набрякання піщаних і глинистих грунтів

У процесі дослідження питання набрякання ґрунтів було виявлено, що в літературі відображено питання впливу перуксусної кислоти, що потрапляє в ґрунт основ, на її набрякаючі властивості. Тому виникла необхідність у проведенні досліджень, які могли б показати кількісні та якісні зміни, що виникають у ґрунтах при вільному хімічному набряканні.

Дослідження проводилися в сертифікованій геотехнічній лабораторії (Додаток А) відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.1-3-96 «ґрунти. Лабораторні випробування. Загальні положення» [79].

Усі групи ґрунтів відбиралися на території м. Харкова та Харківської області. Глибина відбору зразків – 0,5-3,5 м.

ґрунти класифікувалися відповідно до ДСТУ Б В.2.1-2-96. (ГОСТ 25100-95). «ґрунти. Класифікація» [89].

Великий вплив на набрякання ґрунтів має їх мінералогічний склад і вміст глинистих часток. У процесі досліджень був уведений показник L - вміст глинистих часток у ґрунті, виражений у відсотках [90; 91]. У таблиці 3.1. наведена класифікація ґрунтів за розміром набрякання в залежності від показника L та концентрації перуксусної кислоти.

Таблиця 3.1.

Класифікація ґрунтів за розміром набрякання в залежності від
показника L та концентрації перексусної кислоти

Показник $L, \%$	Вільне відносне набрякання ε_{sw} при різноманітних концентраціях перексусної кислоти	Характеристика ґрунтів
$< 3 \%$	0,066 – 0,309	Середньонабрякаючі
3 – 10 %	0,200 – 0,420	Сильнонабрякаючі
10 – 30 %	0,253 – 0,570	Сильнонабрякаючі
$> 30 \%$	0,600 – 1,700	Сильнонабрякаючі

Процес хімічного набрякання глинистих ґрунтів під дією розчинів кислот різної концентрації можна умовно розділити на два періоди. У перший період набрякання відбувається за рахунок всмоктування води в пори ґрунту та виникненні у його кістяку негативних розтягувальних тисків. У цьому процесі початок виникнення набрякання і момент настання його стабілізації проходять одночасно з початком і припиненням інфільтраційного поглинання води.

Другий період починається з хімічної взаємодії між глинистими фракціями ґрунту і кислотою і триває до тих пір, поки концентрація продуктів взаємодії не досягне максимального значення.

Після настання умовної стабілізації деформації набрякання визначається кінцеве значення величини набрякання за формулою:

$$\varepsilon_{sw} = \frac{\Delta h}{h}, \quad (3.1)$$

де: Δh - приріст висоти зразка в процесі набрякання, мм;

h – початкова висота зразка ґрунту, мм.

У таблиці 3.2 та на графіку (рис. 3.1) представлені середні значення залежності величини вільного хімічного набрякання ґрунтів, 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 3.2.

Величина вільного набрякання досліджуваних ґрунтів у залежності від показника L та концентрації перексусної кислоти

Досліджувані ґрунти	Показник $L, \%$	Вільне відносне набрякання ε_{sw0} при різних концентраціях перексусної кислоти					Вільне відносне набрякання ε_{sw0} 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	0,420	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

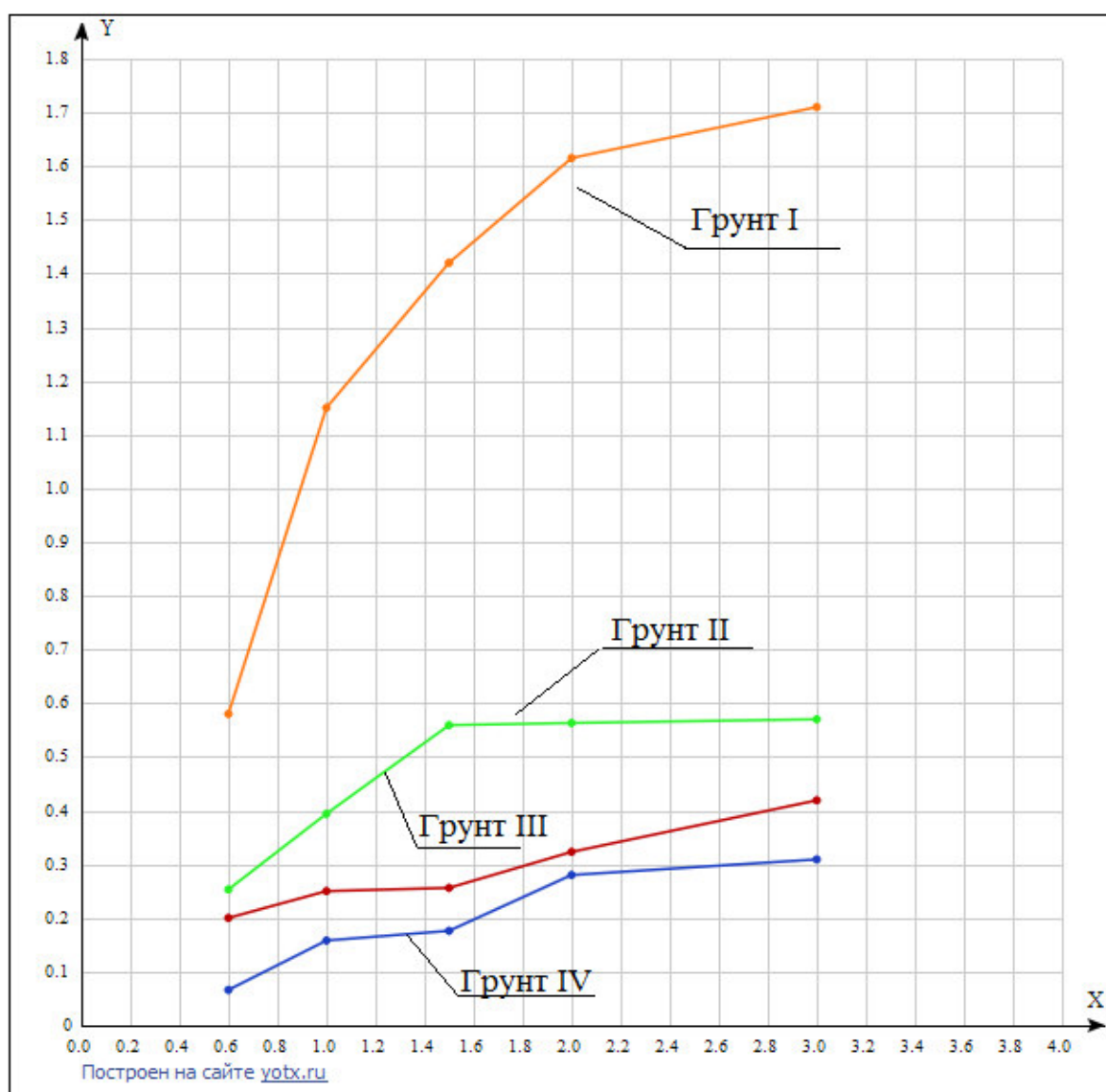


Рис. 3.1. Графік залежності відносного вільного набрякання ґрунтів від концентрації розчинів перексусної кислоти

Із результатів досліджень видно, що величина вільного відносного набрякання ґрунтів усіх чотирьох досліджуваних груп при збільшенні концентрації інфільтрованої кислоти збільшується в 2,94 - 4,68 раза. У групах глинистих ґрунтів з показником $L \geq 3\%$ вільне набрякання при замочуванні розчинами перексусної кислоти перевищувало величину набрякання від води в 1,9-12,95 раза.

3.2. Вплив перексусної кислоти на механічні властивості піщаних і глинистих ґрунтів

Вивчення впливу перексусної кислоти на механічні властивості ґрунтів усіх досліджуваних груп проводились на компресійних (рис 2.1) і зсувних приладах. Дослідження проводилися відповідно до ДСТУ [3]. Коефіцієнт внутрішнього тертя, питоме зчеплення, модуль деформації визначалися після проходження 7-денного замочування ґрунтів розчинами перексусної кислоти.

Зразки ґрунту в кільцях поміщалися в прилад КПП-1М, де вони були піддані компресії, навантаження на зразки передавали ступенями по 0,05 МПа.

За умовну стабілізацію деформації зразка при стиску брали приріст в 0,01 мм за дві години.

При настанні умовної стабілізації деформації стиску в прилади заливалися розчини перексусної кислоти і, для зразка, дистильована вода. Рівень рідини в приладах підтримувався протягом усього дослідження. Звіти індикаторів знімалися в тій же послідовності, що і при випробуваннях у приладі ПНГ-1. За умовну стабілізацію набрякання брали приріст показників індикаторів в 0,01 мм за три доби.

Тиск набрякання при замочуванні розчинами кислоти значно зростає зі збільшенням концентрації інфільтрованої кислоти. При замочуванні водою у піщаних ґрунтах тиску набрякання не виникало взагалі, коли він під час замочування 2%-3% кислоти досягав 0,022 МПа. Для глинистих ґрунтів з показником $L \geq 3\%$ набрякання виявлялося вже при 0,5% кислоти і зі збільшенням її до 3% тиск набрякання досягав значення 0,175 МПа. Результати досліджень наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.3.

Значення механічних характеристик ґрунтів забруднених розчинами
перексусної кислоти

Досліджувані ґрунти	Концентрація кислоти	φ , град	C , кПа	E , МПа
Ґрунт I	0 % (вода)	36,3	8,0	31,58
	1 %	35,6	8,0	22,9
	2 %	33,6	6,0	22,03
	3 %	33,0	2,0	21,57
Ґрунт II	0 % (вода)	32,13	5,0	22,65
	1 %	31,38	4,3	21,98
	2 %	29,78	3,7	20,84
	3 %	27,83	3,0	19,93
Ґрунт III	0 % (вода)	33,26	9,4	26,7
	1 %	29,29	6,3	24,83
	2 %	27,53	5,4	21,34
	3 %	26,73	5,2	16,9
Ґрунт IV	вода	26,7	39	22,41
	1 %	24,19	35,3	21,9
	2 %	23,77	32,7	19,43
	3 %	22,0	32,0	18,96

Із таблиці 3.2 видно, що зі збільшенням концентрації кислоти від 0% (вода) до 3% модуль деформації E зменшується на 15%-40% від величини в

природному стані, питоме зчеплення C зменшується на 25%-60%, а кут внутрішнього тертя ϕ зменшується на 11%-19%.

3.3. Вивчення буферних властивостей ґрунтів, під впливом перексусної кислоти

Значного прогресу у розвитку моніторингових спостережень за зміною якості ґрунтів, під впливом промислового хімічного забруднення та меліорантів, вдалося досягти завдяки останніх наукових досягнень з теорії буферної здатності ґрунтів. Серед численних досліджень з проблем вивчення буферної здатності ґрунтів домінують роботи з кислотно-лужної буферності ґрунтів. Таким чином, враховуючи те, що в останній час поширена проблема забруднення промисловими стоками ґрунтів безпосередньо під промисловими будівлями, що у свою чергу призводить до подальших неприпустимих деформацій основ, переміщень фундаментів і руйнування будівельних конструкцій виникла потреба у вирішенні питання впливу цих стоків на буферні властивості ґрунтів основ.

З практичного погляду, особливий інтерес представляє вивчення закономірностей функціонування ґрунтових буферних механізмів, які формують та забезпечують буферні властивості ґрунту. Це дозволить прогнозувати поведінку ґрунтів у разі їх забруднення промисловими стоками [92-96].

Найбільш важливими ґрунтовими компонентами і реакціями з буферною дією є: приєднання та віддача протонів ґрунтовими колоїдами (глинистими мінералами, органічними колоїдами, гідроксидами металів, гідратованими металевими окислами); утворення-розчинення мінералів, що легко вивітрюються; перетворення полімерів гідроксидів алюмінію, або алюмінієвих гідроксокомплексів; утворення – декомплексація органічних металевих комплексів; карбонатно-кальцієва система $\text{CaCO}_3\text{-Ca(HCO}_3)_2\text{-CO}_2$ [97].

На базі національного наукового центру «інститут ґрунтознавства і агрохімії імені О. Н. Соколовського» автором були проведені дослідження буферної ємності чотирьох груп досліджуваних ґрунтів.

Глинистим (карбонатним) ґрунтам з показником $L \geq 3\%$, завдяки їх насиченості кальцієм та магнієм, притаманні буферні механізми з яскраво вираженою асиметричною функцією, що відображується у переважанні процесів нейтралізації протонів (H^+), тобто ці ґрунти проявляють значну протикислотну здатність.

Буферні механізми пісчаних (безкарбонатних) ґрунтів з показником $L < 3\%$ з добре розвинутим орґано-мінеральним колоїдним комплексом, функціонують більш симетрично у порівнянні з карбонатними ґрунтами, що відображується у їх ефективній як протикислотній, так і протилужній дії.[97]

В процесі лабораторних вишукувань було виявлено залежність буферних властивостей ґрунтів з різним вмістом глинистих часток: $L < 3\%$, $3\% < L < 10\%$, $10\% < L < 30\%$, $L > 30\%$, під впливом перуксусної кислоти.

Кількісні показники кислотно-основної буферності включають[98, 99]: буферна ємність в лужному (БЄл) і кислотному (БЄк) крилах, загальний оціночний показник буферності – ЗОПБ, у балах, коефіцієнт буферної асиметрії – КБА (табл. 3.4).

За результатами вишукувань були побудовані графічні моделі рН-буферності при 1% перуксусної кислоти при різних параметрах L рис. 3.2-3.5, при 2% перуксусної кислоти при різних параметрах L рис. 3.2-3.5, при 3% перуксусної кислоти при різних параметрах L рис. 3.6-3.9, при 3% перуксусної кислоти при різних значеннях параметра L рис. 3.10.-3.13 .

Таблиця 3.4.

Показники рН-буферності, при застосуванні перексусної кислоти

Параметр $L, \%$	рН у ВТ	Буферна ємність, бали		КБА	ЗОПБ, бали
		БЄл	БЄк		
1% кислота					
<3%,	6,85	3,74	17,95	-0,66	7,48
3 – 10 %	7,75	6,79	30,28	-0,63	13,58
10 – 30 %	9,20	15,57	58,99	-0,58	31,15
> 30 %	7,95	15,21	52,87	-0,55	30,42
2% кислота					
<3%,	6,85	4,27	15,59	-0,57	8,54
3 – 10 %	7,75	6,79	26,96	-0,60	13,58
10 – 30 %	9.20	15,57	54,25	-0,55	31,15
> 30 %	7,95	15,21	50,06	-0,53	30,42
3% кислота					
<3%,	6,85	3,74	14,22	-0,58	7,48
3 – 10 %	7,75	6,79	50,07	-0,76	13,58
10 – 30 %	9,20	15,57	53,99	-0,55	31,15
> 30 %	7,95	15,21	24,61	-0,24	11,62

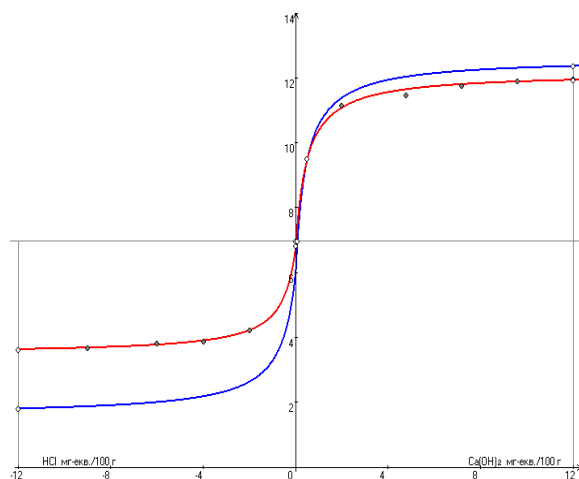


Рис. 3.2. Графічна модель рН-буферності при 1% кислота, параметр $L < 3\%$

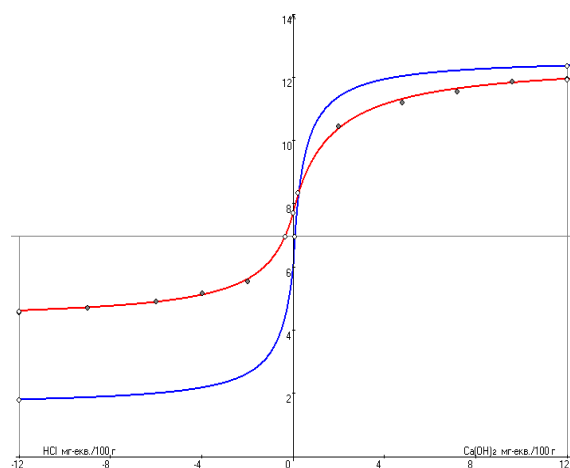


Рис. 3.3. Графічна модель рН-буферності при 1% кислота, параметр L 3 – 10 %

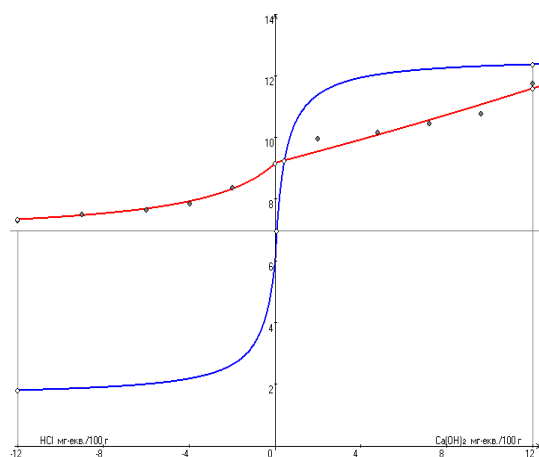
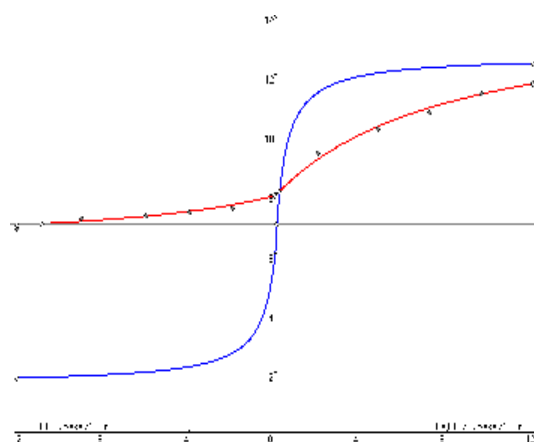


Рис. 3.4. Графічна модель рН-буферності при 1% кислота, параметр L 10 – 30 %



3.5. Рис. 4. Графічна модель рН-буферності при 1% кислота, параметр $L > 30\%$

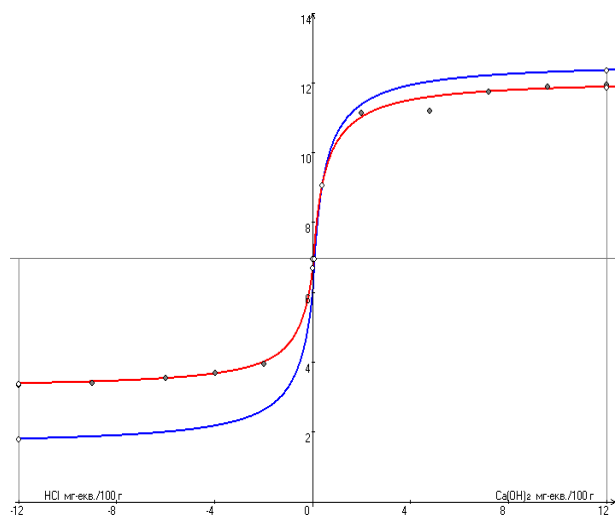


Рис. 3.6. Графічна модель рН-буферності при 2%-ій кислоті, параметрі $L < 3\%$

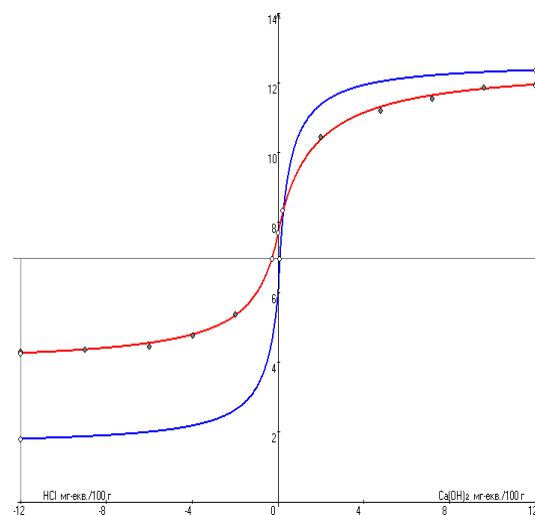


Рис. 3.7.. Графічна модель рН-буферності при 2%-ій кислоті параметрі $L = 3 - 10\%$

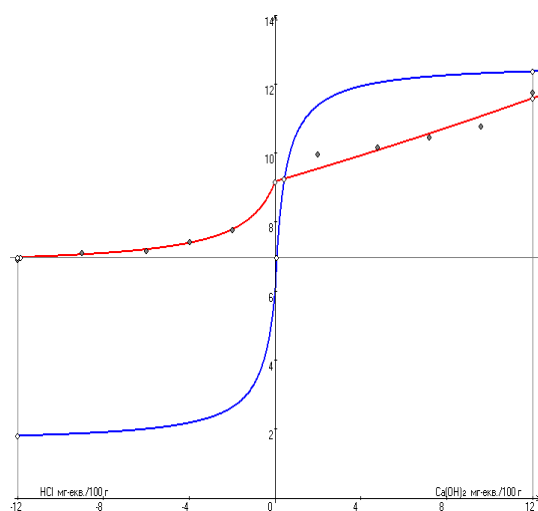


Рис. 3.8. Графічна модель рН-буферності при 2%-ій кислоті параметрі $L = 10 - 30\%$

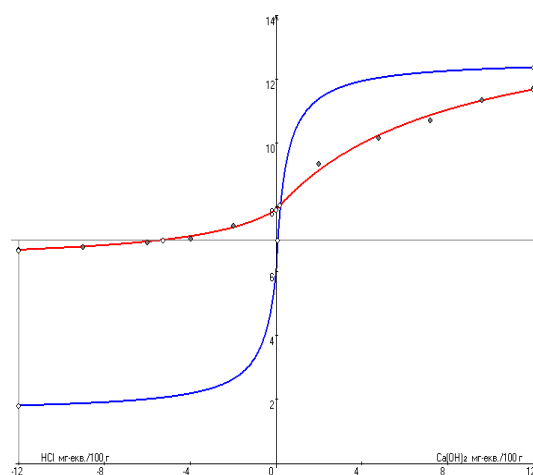


Рис. 3.9. Графічна модель рН-буферності при 2%-ій кислоті, параметрі $L > 30\%$

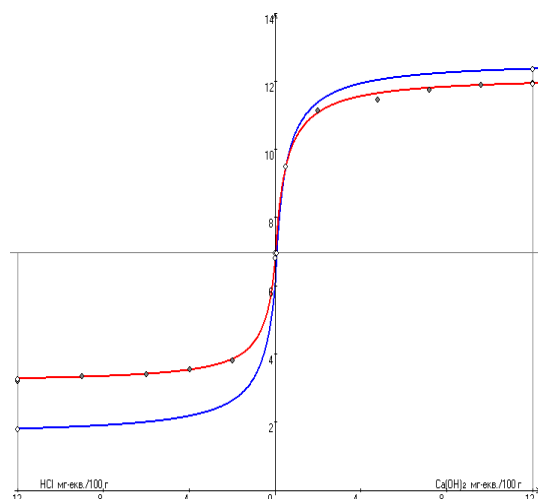


Рис. 3.10. Графічна модель рН-буферності при 3%-ій кислоті, параметрі $L < 3\%$

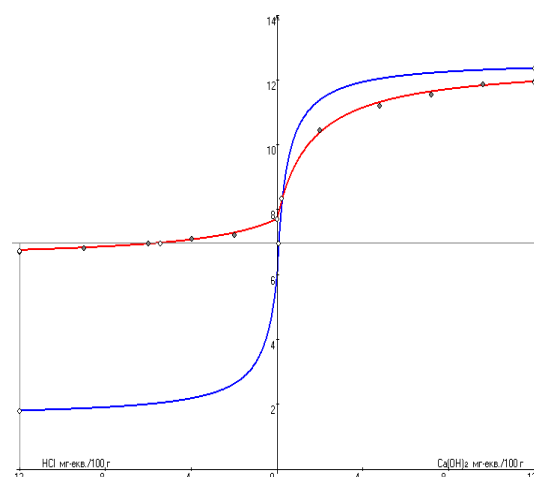


Рис. 3.11. Графічна модель рН-буферності, при 3%-ій кислоті параметрі $L = 3 - 10\%$

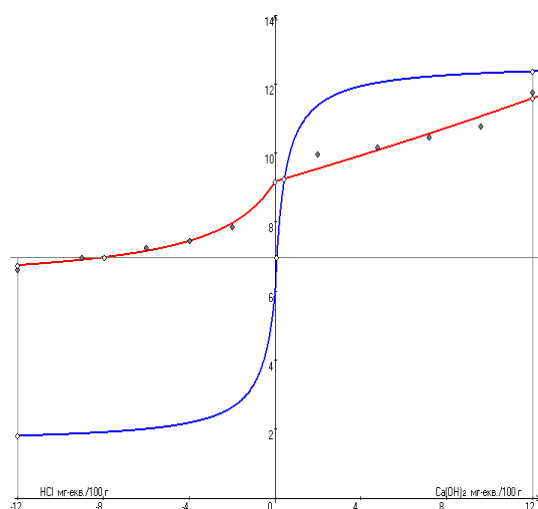


Рис. 3.12. Графічна модель рН-буферності при 3%-ій кислоті, параметрі $L = 10 - 30\%$

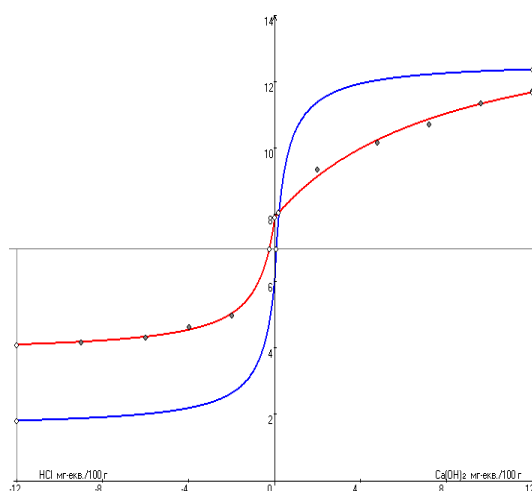


Рис. 3.13. Графічна модель рН-буферності при 3%-ій кислоті, параметрі $L > 30\%$

Із результатів вишукувань видно, що буферна ємкість як в БЄл, так і в БЄк зростає із зростанням параметра L , проте знижується при підвищенні концентрації перуксусної кислоти. Коефіцієнт буферної асиметрії (КБА) – зменшується при підвищенні параметра L , а зміна концентрації кислоти на нього не впливає. Загальний оціночний показник буферності (ЗОПБ) –

підвищується при підвищенні параметра L , а зміна концентрації кислоти на нього також не впливає.

Таким чином, діагностика, оптимізація та нормативний прогноз рН-буферності дають змогу здійснювати на високому сучасному методологічному рівні науковий моніторинг ґрунтів та прогнозувати поведінку ґрунтів в разі їх забруднення промисловими стоками.

Висновки до розділу 3

1. Величина вільного відносного набрякання ґрунтів усіх чотирьох досліджуваних груп при збільшенні концентрації інфільтрованої кислоти з 0,6% до 3,0% збільшується в 2,94 - 4,68 рази.
2. При замочуванні групи зразків з показником $L < 3\%$ водою відносне вільне набрякання не виникло.
3. У групах глинистих ґрунтів з показником $L \geq 3\%$ вільне набрякання при замочуванні розчинами перексусної кислоти перевищувало величину набрякання від води в 1,9-12,95 рази.
4. Зі збільшенням концентрації кислоти від 0,6% до 3% модуль деформації E зменшується на 15%-40% від величини в природному стані, питоме зчеплення C зменшується на 25%-60%, а кут внутрішнього тертя φ зменшується на 11%-19%.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАКРІПЛЕННЯ СИЛКАТИЗАЦІЄЮ ПІЩАНИХ І ГЛИНИСТИХ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ПРОМИСЛОВИМИ СТОКАМИ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

4.1. Визначення основних розрахункових параметрів хімічного закріплення ґрунтів

Основне завдання хімічного закріплення ґрунтів полягає в посиленні зв'язків між частками ґрунту за допомогою хімічних реагентів [65; 69]. Існує велика кількість різних способів хімічного закріплення ґрунтів. Деякі дуже поширені і часто використовуються в будівництві, деякі ж застосовуються в окремих, виняткових випадках.

Дієвим способом стабілізації хімічно набрякаючих ґрунтових основ вважається відомий метод М.Ф. Бронжаєва [64], який отримав подальший розвиток у роботах Т.В. Мішурової [53].

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.

4.1.1. Вибір оптимального розрахункового значення часу початку гелеутворення

Всі однорозчинні способи силікатизації засновані на ін'єктуванні в закріплювані ґрунти гелеутворюючих розчинів з малою в'язкістю, яка повинна зберігатися протягом усього часу нагнітання розчину в ґрунт. Отже, закріплюючі розчини повинні характеризуватись регульованим часом гелеутворення [1].

Розрахункове значення часу гелеутворення не може бути меншим від загальної тривалості технологічних операцій. Однак дослідження [66; 67; 68] показали, що розрахунковий час гелеутворення може бути скільки завгодно великим. Основним обмеженням є стан нестабільності розрахункового параметра t_r .

Тому при призначенні проектних переметров часу гелеутворення слід розрізняти:

- мінімальний час початку гелеутворення $t_{\varepsilon}^{\min}$;
- технологічно мінімальний час гелеутворення t^{mex} ;
- розрахунковий час початку гелеутворення t_{ε}^p .

Мінімальний час початку гелеутворення залежить від технічних можливостей обраних способів доставки закріплюючих розчинів у ґрунт і чисельно дорівнює сумі відрізків часу, що необхідні для здійснення окремих технологічних операцій при виконанні повного циклу робіт по одній ін'єктованій свердловині.

$$t_{\varepsilon}^{\min} = t^{\text{mex}} = \sum_{i=1}^n t_i, \quad (4.1)$$

де t_i - час виконання кожної окремої i -тої технологічної операції.

Розрахунковий час початку гелеутворення - це проєктована величина часу, протягом якого не відбувається істотного структуроутворення в ін'єктованих розчинах. Розрахунковий час гелеутворення t_r^p , безумовно, має бути більшим за величину t^{tex} з міркувань зниження ризику передчасного гелеутворення ін'єктованих розчинів.

Вихідними матеріалами служили водні розчини:

- силіката натрію з силікатним модулем 2,75 та щільністю $1,25 \text{ г/см}^3$ – $1,05 \text{ г/см}^3$, що відповідає ГОСТ 13078-87;
- 25% перуксусна кислота (Axonia-active 150), що відповідає ГОСТ Р 51696-2000.

Дослідні зразки гелів, показані на рис. 4.1, виготовлялися за методикою В.В. Аскалонова [70; 71].



а)



б)

Рис. 4.1 Дослідження властивостей силікатно-перуксусних гелів: а) зразок гелю в пресі для випробувань на міцність при стиску; б) зразок гелю під час зберігання.

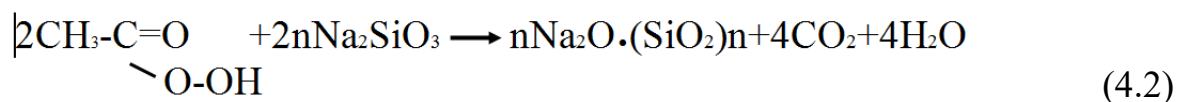
Властивості силікатних гелів, що отримані на основі силікату натрію і перуксусної кислоти, були досліджені так само за методикою В.В Аскалонова.

Як ємності для виготовлення і подальшого зберігання гелів були використані скляні стаканчики по 100 мл, попередньо покриті зсередини тонким шаром парафіну. Групи стаканчиків були розділені за значенням щільності силікату натрію ($1,05\text{г/см}^3$; $1,10\text{г/см}^3$; $1,15\text{г/см}^3$; $1,2\text{ г/см}^3$; $1,25\text{г/см}^3$). Зберігання силікатно-перуксусних гелів здійснювалося в герметично закритому стані тонкою гумою. Температура виготовлення і зберігання гелів до встановленого терміну випробування змінювалася в межах $19\text{-}23^\circ\text{C}$.

Термін зберігання силікатних гелів становив 28 діб, після чого гелі витягували з парафінованих стаканчиків, зважували і відразу випробовували на міцність при стиску. Одночасно вимірювалися об'єми синерезисної рідини.

Задані щільності розчинів силікату і кислоти вимірювалися денсиметрами. У кожен зі стаканів окремої групи було налито по 50 мл розчинів перуксусної кислоти і силікату натрію, об'єм якого змінювався відповідно до програми досліджень. Об'ємне відношення вихідних компонентів: перуксусна кислота/силікат натрію позначимо – Ω , що представлено в таблиці 4.1.

Реакція утворення гелів на основі силікату натрію і перуксусної кислоти представлена наступним чином:



(перуксусна кислота) (силікат натрію) (гель кремнієвої кислоти)

Таблиця 4.1.

Інтервали об'ємних відношень компонентів Ω

Щільність розчинів силіката натрію, ρ_c , г/см ³	Інтервали об'ємних відношень, 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

Час гелеутворення фіксувався за допомогою секундоміра.

За час гелеутворення приймався період між моментом закінчення введення перуксусної кислоти в розчин силікату натрію і моментом переходу приготовленої суміші з рідкого стану в желеподібний [69]. Зразки з миттєвим гелеутворенням до розгляду не брались у зв'язку з технологічними вимогами до проведення хімічного закріплення ґрунтів.

Залежність часу гелеутворення від співвідношення об'ємних компонентів Ω можна побачити на графіках (рис. 4.1-4.5).

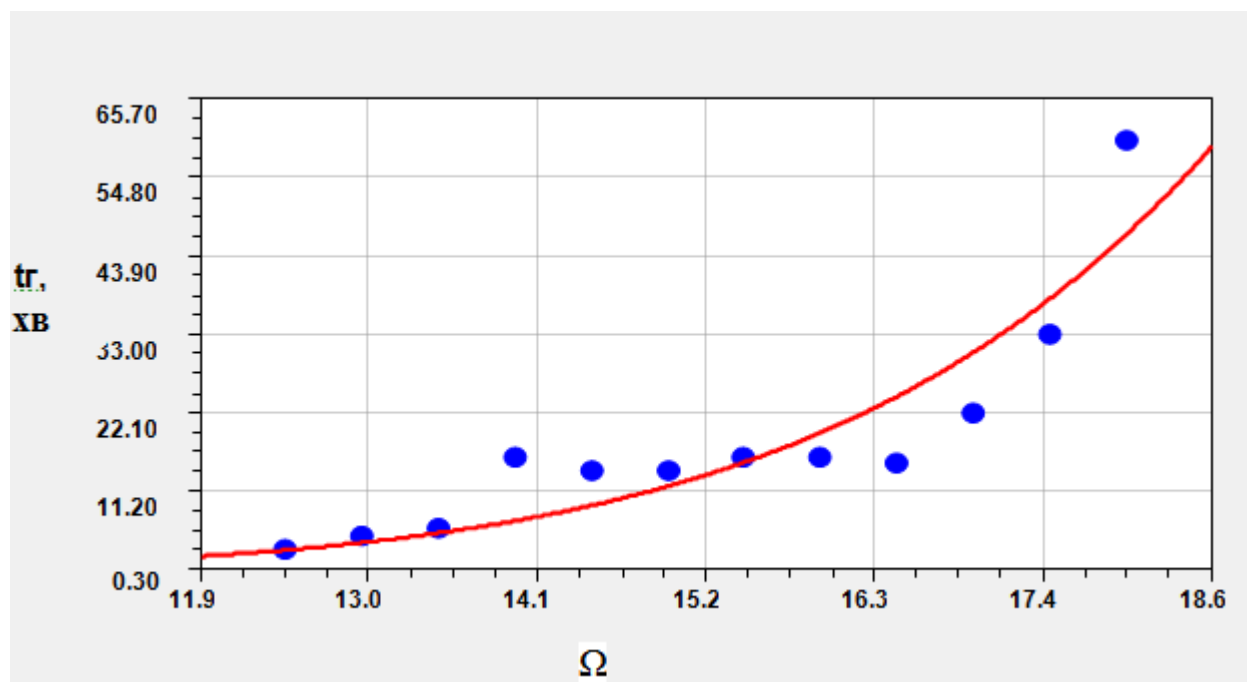


Рис.4.2. Залежність часу гелеутворення від Ω при $\rho_c = 1.25 \text{ г/см}^3$

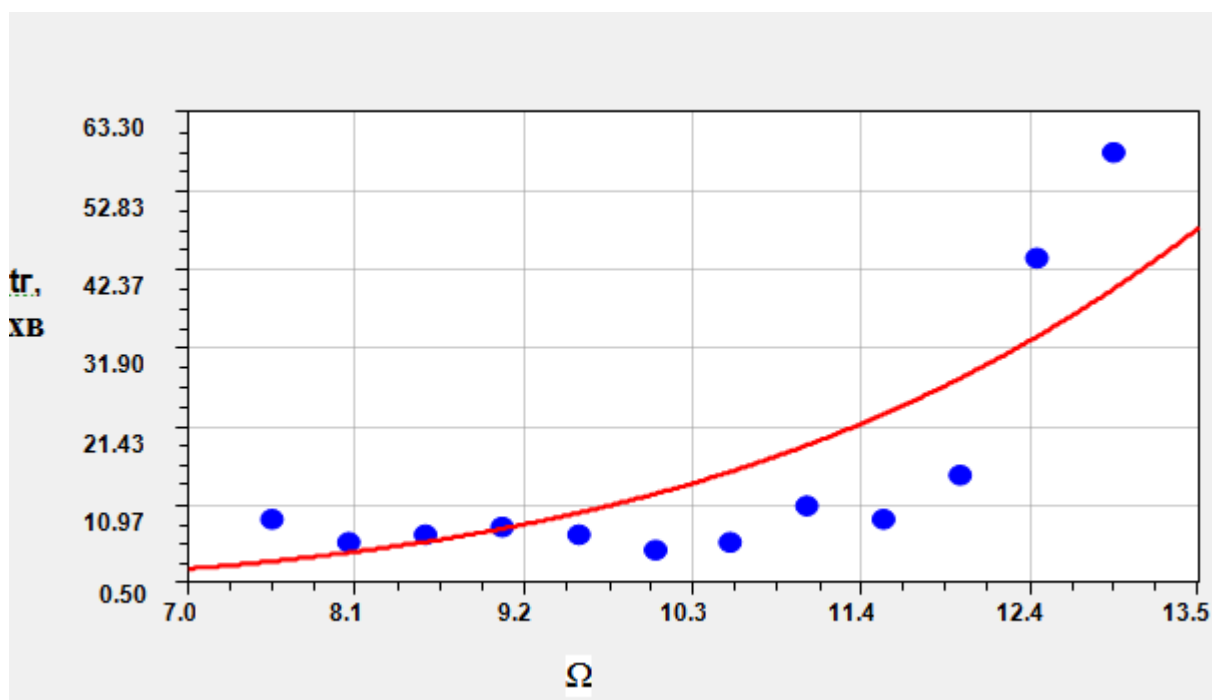


Рис. 4.3. Залежність часу гелеутворення від Ω при $\rho_c = 1.20 \text{ г/см}^3$

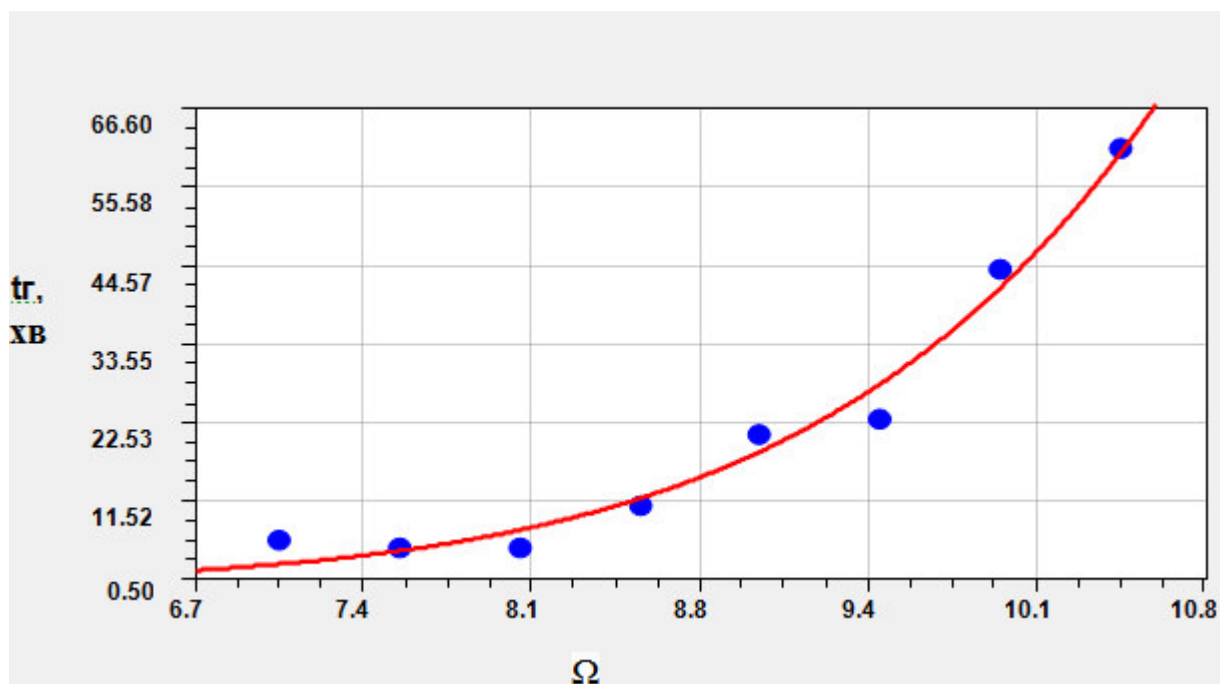


Рис. 4.4. Залежність часу гелеутворення від Ω при $\rho_c = 1.15 \text{ г/см}^3$

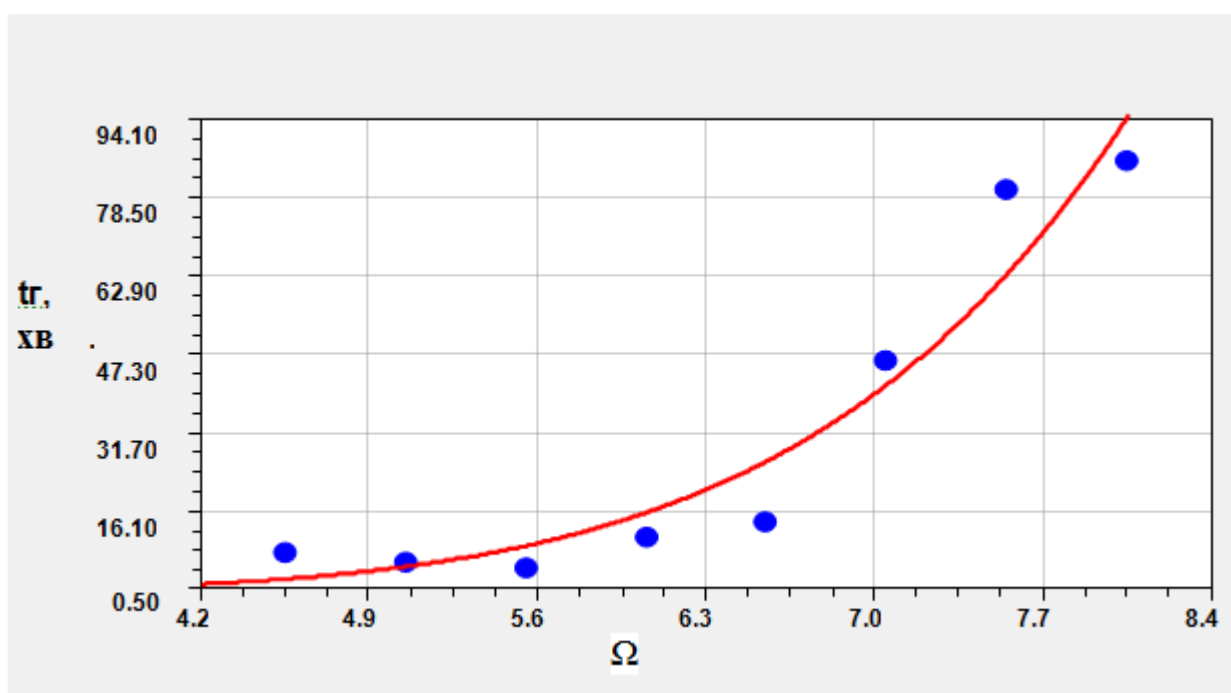


Рис. 4.5. Залежність часу гелеутворення від Ω при $\rho_c = 1.10 \text{ г/см}^3$

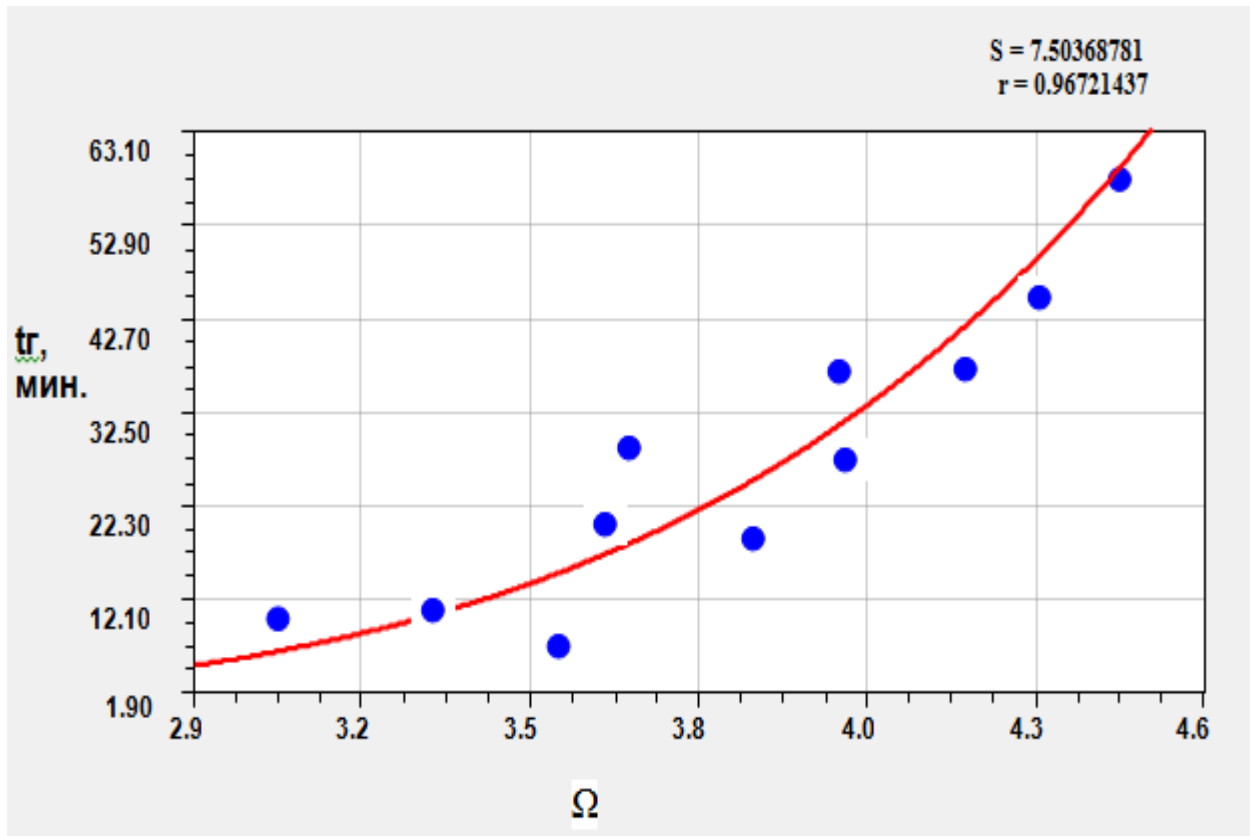


Рис. 4.6. Залежність часу гелеутворення від Ω при $\rho_c = 1,05 \text{ г/см}^3$

За даними графіків (рис.4.2-4.6) була отримана узагальнена емпірична формула (4.3), що дозволяє розрахувати проектне значення часу гелеутворення.

$$t_g = a \cdot \Omega^b \quad (4.3)$$

де Ω – показник об'ємних співвідношень компонентів «перуксусна кислота / силікат натрію», що використані в процесі гелеутворення;

a , b – чисельні коефіцієнти.

Таблиця 4.2.

Значення чисельних коефіцієнтів a , 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

Зі збільшенням величин об'ємних відношень вихідних компонентів Ω встановлено нелінійне збільшення часу гелеутворення t_g . При певних значеннях величин відношень «перуксусна кислота / силікат натрію» криві асимптотично

наближаються до вертикалі, і процес утворення гелеподібних закріплюючих структур стає не гарантованим.

4.2. Дослідження механічних характеристик силікатних гелів на основі перексусної кислоти

Механічні властивості гелів випробовувалися на ручному навантажувальному пристрої з плавним збільшенням навантаження, що передавалось на зразок (рис. 4.7).



а)



б)

Рис. 4.7. Випробування силікатно-перексусних гелів на міцність ($R_{ст}$);

а) зразок гелю до початку випробування; б) зразок гелю після руйнування.

Значення величин меж міцності при стиску силікатних гелів $R_{ст}$ для різної щільності силікату натрію ρ_c надані в порівняльній таблиці 4.3.

Таблиця 4.3.

Межі міцності при стиску $R_{ст}$ силікатних гелів
на основі перуксусної кислоти

Щільності силікату натрію ρ_c , г/см ³	Межа міцності при стиску $R_{ст}$ (кПа) при часі початку гелеутворення, хв.		
	5	10-20	60-120
1,25	0,726	0,922	2,303
1,20	0,703	0,814	1,002
1,15	0,701	0,763	0,770

Із табл. 4.3 видно, що зі збільшенням значення щільності силікату натрію ρ_c збільшується значення величини межі міцності силікатних гелів при стиску $R_{ст}$.

Фізико-хімічний стан синерезисної рідини, яка знаходиться у вигляді вільного розчину, що заповнює пори ґрунту поза силікатним масивом, є серйозним екологічним показником результатів хімічного закріплення ґрунтів. 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 [99; 100].

Залежність величин рН розчинів синерезисної рідини для різних складів силікатно-перуксусних гелів представлені на графіку (рис. 4.7).

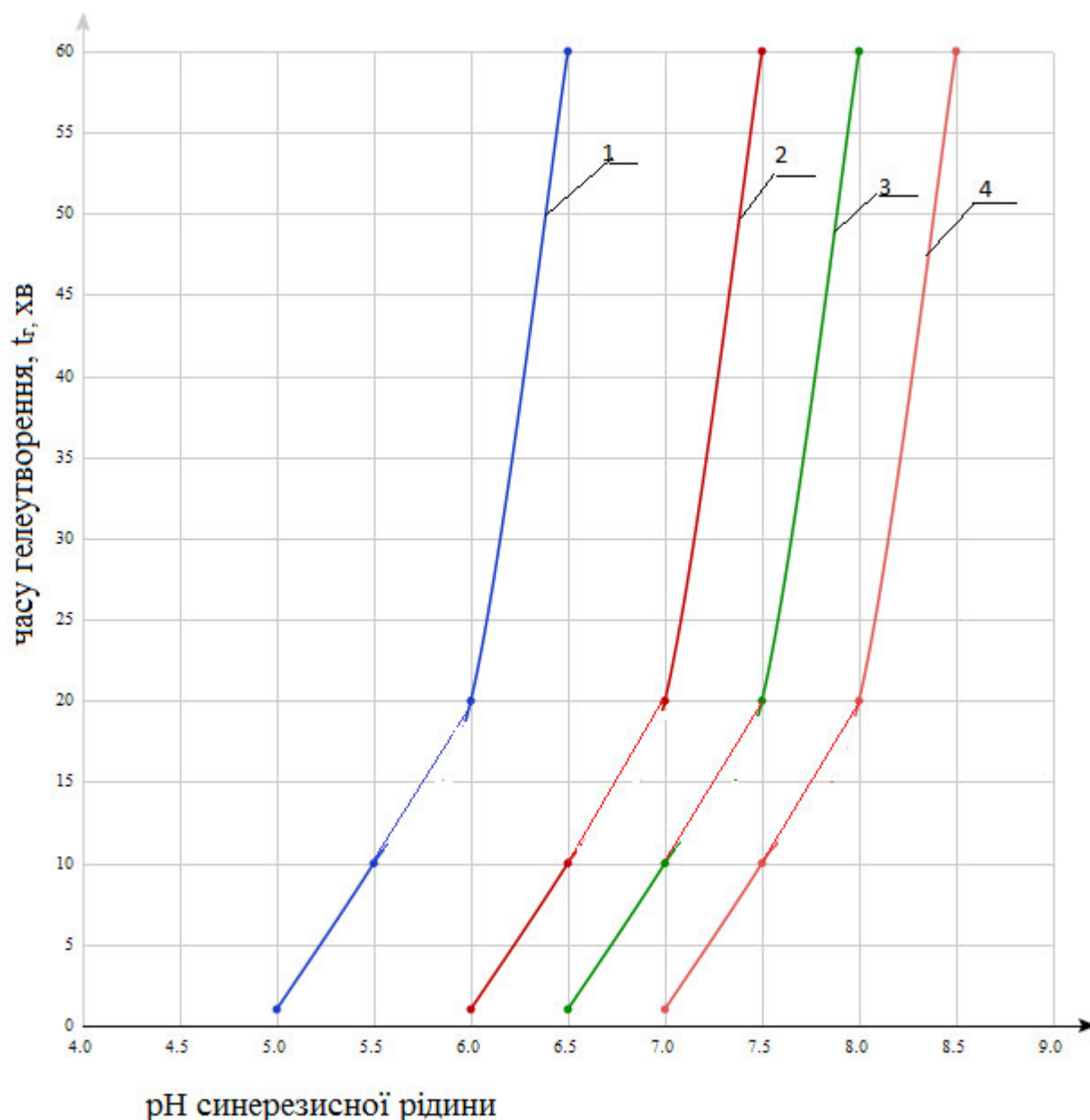


Рис. 4.7. Залежність часу гелеутворення силікатно-перукснусних гелів від рН синерезисної рідини: 1 – при щільності розчину силікату натрію 1,10 г/см³; 2 – те ж саме при 1,15 г/см³; 3 – при 1,20 г/см³; 4 – при 1,25 г/см³

Оскільки для забезпечення технологічного процесу хімічного закріплення ґрунтів існує вимога мінімального часу гелеутворення ($t_{r \min} = 1$ хв.), то не можна використовувати силікатно-перуксусні гелі на всьому екологічно чистому діапазоні (рН = 5,0-8,5). Практично можуть бути

використані гелі, які мають рН в межах 6,0-8,0 з величиною часу початку гелеутворення більше 1 хв.

При спільному розгляді графіків рис. 3.2 - 3.5 розділу 3 та 4.7 можна виділити екологічно чисті склади силікатно-перуксусних гелів, які представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4.

Екологічно чисті склади силікатно-перуксусних гелів

Щільність розчинів силікату натрію, г/см ³	Інтервали часу початку гелеутворення, хв	Межі об'ємних співвідношень вихідних компонентів, Ω	Інтервал рН синерезисної рідини
1,10	1 - 60	4,5 – 8,0	6,0-8,0
1,15	1 - 60	6,5 – 10,5	
1,20	1 - 60	7,5 – 13,5	
1,25	1 - 60	12,5 – 16,0	

Стабілізація закислених ґрунтів основ можлива при використанні методів хімічного закріплення. Технологія полягає в нагнітанні під тиском у ґрунт гелеутворювальних розчинів малої в'язкості, які повинні залишатися такими протягом усього часу їх нагнітання. Від проникаючих здібностей ін'єктованих розчинів багато в чому залежить радіус і однорідність закріпленого масиву.

Характеристикою проникаючої здатності закріплювального розчину є щільність розчинів силікату натрію. Зниження щільності розчинів, що

використовуються, дозволяє розширити діапазон закріплюваних ґрунтів по проникності та гранулометричному складу.

4.2. Лабораторні дослідження закріплення піщаних і глинистих ґрунтів силікатно-перуксусними розчинами

Останнім часом хімічне закріплення стали застосовувати для стабілізації поведінки ґрунтів основ у разі їх забруднення промисловими стоками [55; 64; 96; 101; 106].

Сучасні вимоги до підходів щодо вирішення різних техногенних проблем вимагають обов'язкового врахування впливу вживаних заходів на екологічний стан навколишнього середовища [102; 103]. 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 перуксусної кислоти.

У процесі роботи досліджувалися піщані і пилувато-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 (τ , Ω , ρ , ρ_k).

Вихідні характеристики досліджуваних ґрунтів наведені в табл. 3.5 розділу 3.

Фізико-механічні характеристики ґрунтів до і після закислення визначалися відповідно до [79].

Характеристики міцності і деформаційні характеристики були визначені на стандартних компресійних приладах КПР-1М і приладах одноплощинного зрізу ПГС-2М згідно з [79].

Використані параметри закріплення всіх чотирьох груп ґрунтових зразків вказані в табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Параметри закріплення

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

У табл. 4.6 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп до закислення (у природному стані) та після їх закислення.

Використані параметри закріплення повністю відповідали вимогам [22; 23].

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

Зразки силікатизованого ґрунту зберігалися в повітряно-вологодому стані 28 діб, потім випробовувалися на міцність при стисненні за допомогою ручного прес (мал. 4.2. б, в) відповідно до вимог [30; 65; 79].

Таблиця 4.6

Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення і після

Найменування ґрунтів	Деякі механічні характеристики ґрунтів до закислення	Деякі механічні характеристики 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	$\varphi \approx 26,4^\circ$ $E \approx 22,4 \text{ МПа}$ $C \approx 39 \text{ кПа}$ $R = 332 \text{ кПа}$	$\varphi \approx 22,0^\circ - 24,2^\circ$ $E \approx 18,9 - 21,9 \text{ МПа}$ $C \approx 32,0 - 35,3 \text{ кПа}$ $R = 216 \text{ кПа}$

У результаті випробувань зразків закріпленого ґрунту встановлено, що зі збільшенням щільності силікату натрію і концентрації перексусної кислоти збільшується R - розрахунковий опір ґрунту.



а)



б)



в)

Рис. 4.9. Випробування ґрунту на стиск.

а) зразки ґрунту перед випробуванням; б) зразок ґрунту в пресі під час випробування; в) зразок ґрунту після проведення випробування.

У табл. 4.7 представлені механічні характеристики ґрунтів усіх чотирьох дослідних груп після їх закріплення.

Таблиця 4.7

Деякі механічні характеристики ґрунтів після закріплення

Найменування ґрунтів	Механічні характеристики ґрунтів після закріплення			
	φ , град	E , МПа	C , кПа	R , 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 (мал. 4.10 – 4.13).

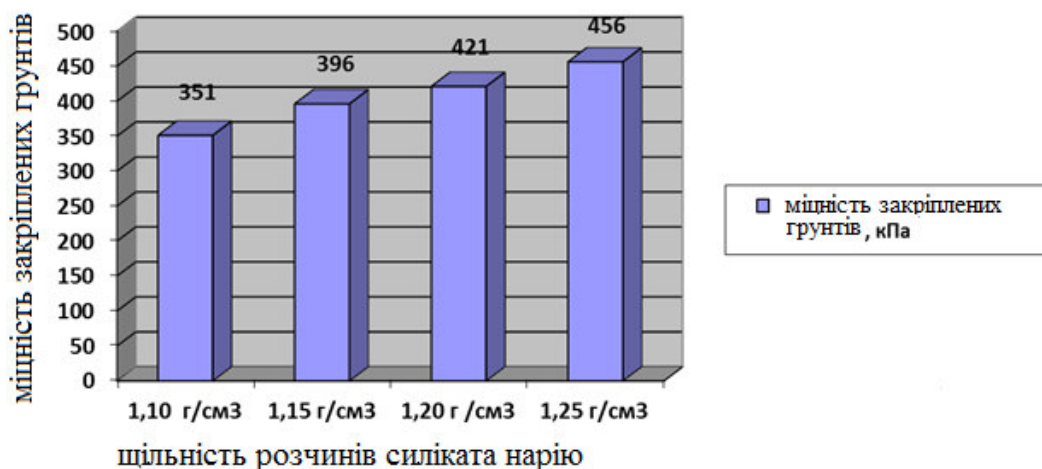


Рис. 4.10. Залежність міцності закріпленого ґрунту при параметрі $L < 3\%$ від щільності розчину силікату натрію

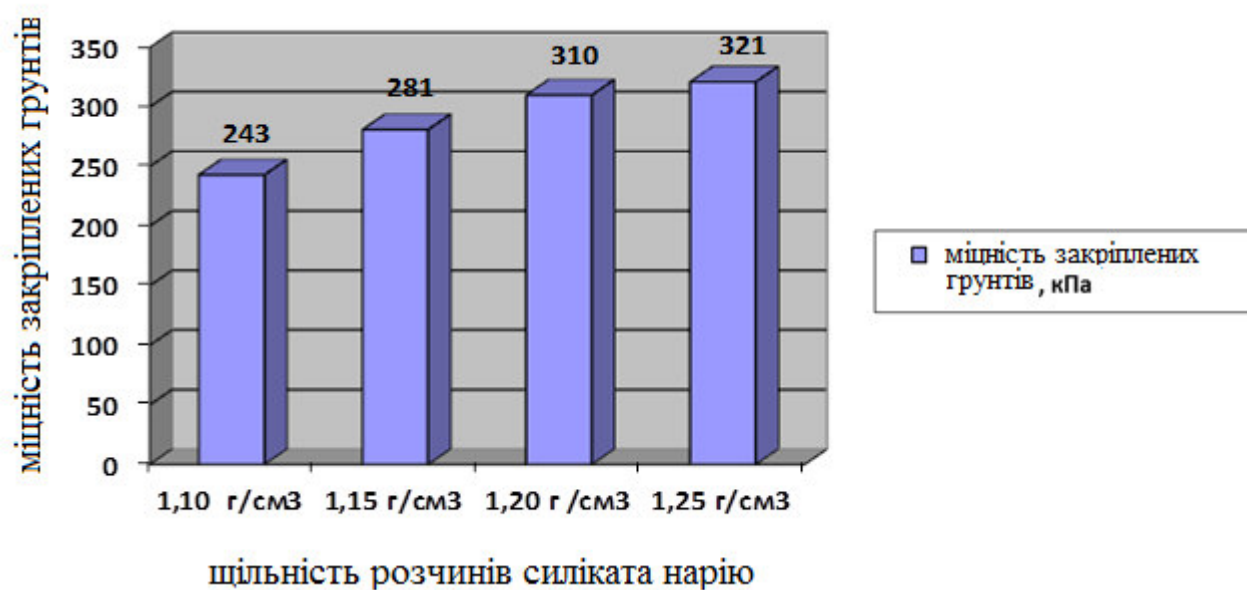


Рис. 4.11. Залежність міцності закріпленого ґрунту при параметрі

L 3 – 10 % від щільності розчину силікату натрію

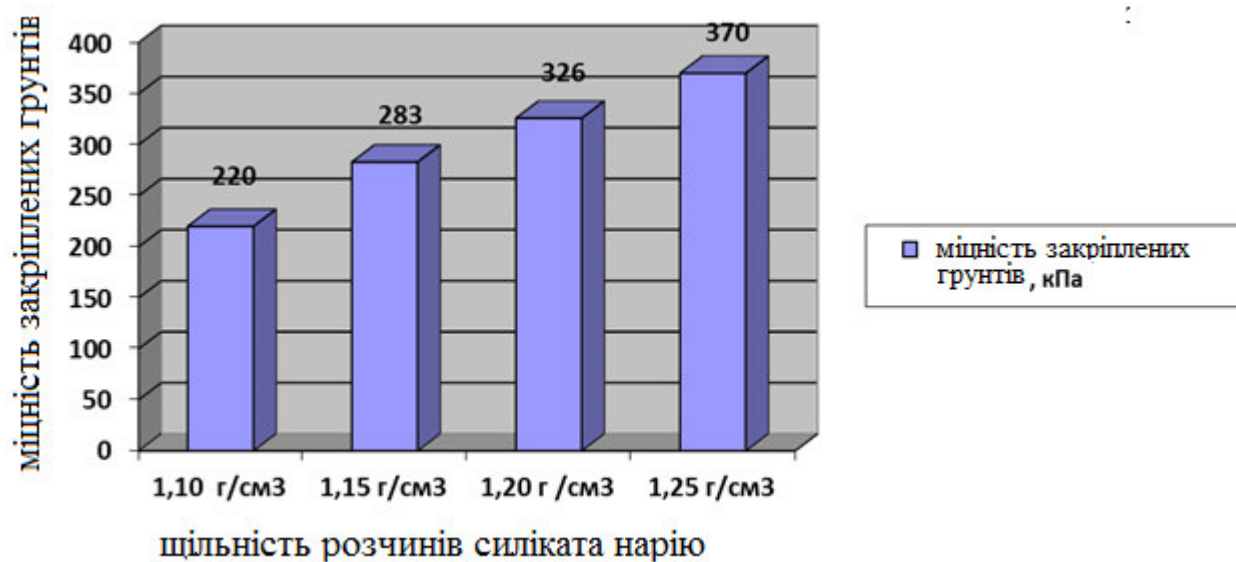


Рис. 4.12. Залежність міцності закріпленого ґрунту при параметрі

L 10 – 30 % від щільності розчину силікату натрію

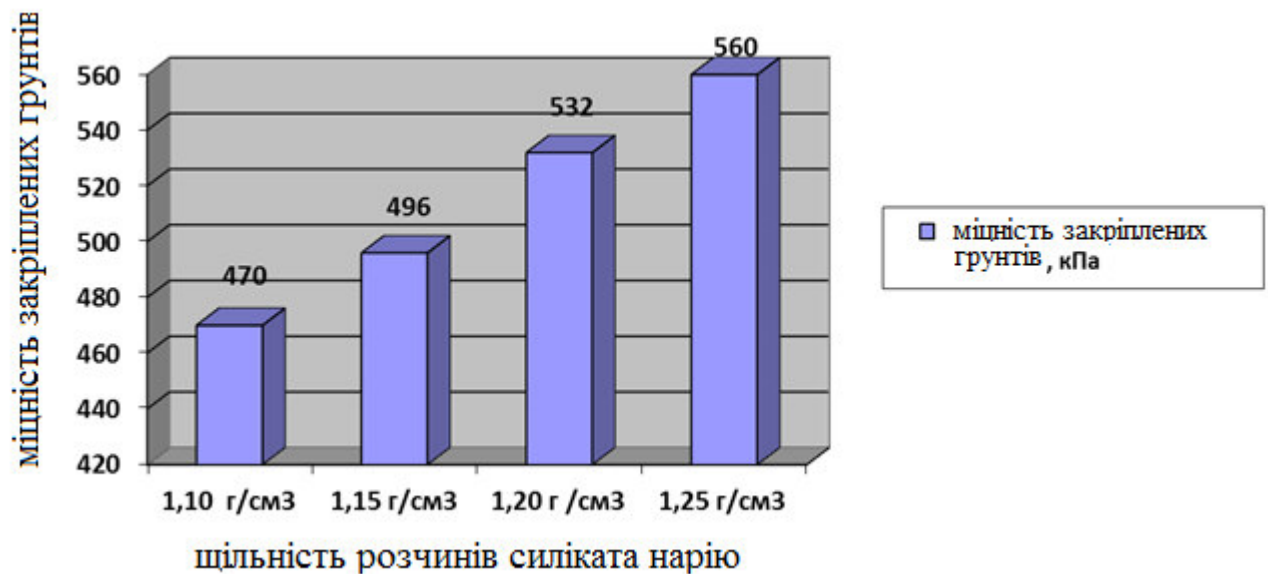


Рис. 4.13. Залежність міцності закріпленого ґрунту при параметрі $L > 30 \%$ від щільності розчину силікату натрію

4.4. Дослідження коефіцієнта Пуассона для ґрунтів, закислених промисловими стоками

У процесі досліджень було визначено коефіцієнт Пуассона як для закислених ґрунтів, так і для закріплених, чого раніше не проводилося. Отримані результати наведені в табл. 4.10.

Коефіцієнт Пуассона - це відношення відносного бокового розширення зразка випробуваного ґрунту до відносної вертикальної деформації його під дією навантаження при одноосьовому стиску. Визначається зазвичай за формулою:

$$\mu = \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_y}, \quad (4.4)$$

де $\varepsilon_y = \frac{\Delta h}{h}$ - відносна вертикальна деформація зразка ґрунту;

$\varepsilon_x = \frac{\Delta b}{b}$ - відносна горизонтальна деформація зразка ґрунту.

Коефіцієнт безпосередньо залежить не від розміру тіла, а від природи походження матеріалу, породи, з якої походить даний вид. Коефіцієнт Пуассона характеризує пружні властивості ізотропних матеріалів.

Коефіцієнта Пуассона визначався при проведенні випробувань у приладі тривісного стиску (рис 4.14).



Рис. 4.14. Загальний вид приладу тривісного стиску

Таблиця 4.8.

Коефіцієнт Пуассона чотирьох груп ґрунтів

Найменування ґрунтів	Коефіцієнт Пуассона		
	до закислення в природньому стані	після закислення	після закріплення
Ґрунт I	0,30	0,35	0,27
Ґрунт II	0,34	0,39	0,27
Ґрунт III	0,36	0,41	0,27
Ґрунт IV	0,40	0,45	0,27

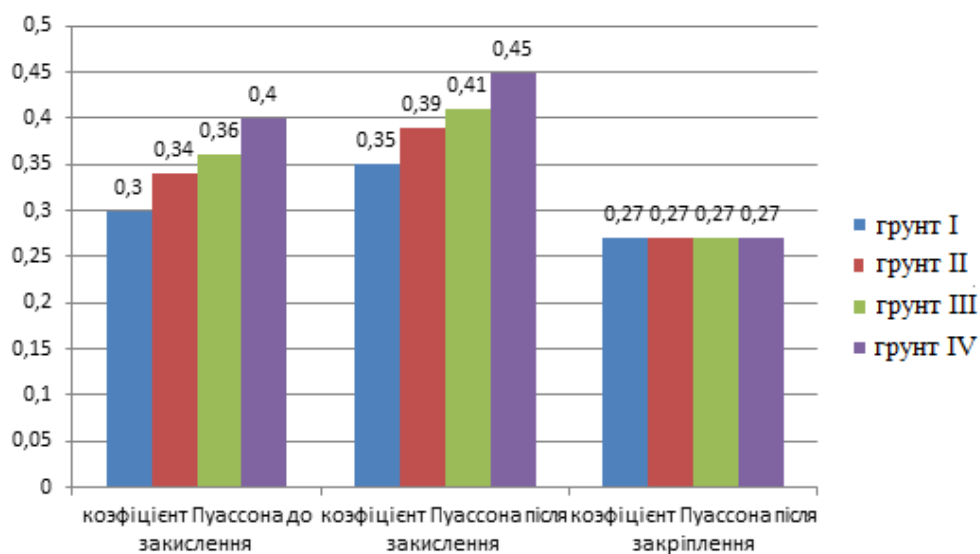


Рис. 4.15. Коефіцієнт Пуассона чотирьох досліджених груп ґрунтів при різних фізичних умовах

Як видно з результатів випробувань, значення коефіцієнта Пуассона ґрунтів усіх чотирьох груп після проведення закріплення наближаються до показників для скельних ґрунтів.

4.5. Дослідження радіусу закріплення піщаних і глинистих ґрунтів, закріплених силікатно-перуксусними розчинами

Фізико-хімічний процес закріплення ґрунтів силікатизацією оснований на гарному проникненні силікатного розчину, що має невелику в'язкість, у ґрунт і на швидкому виділенні плівки гелю кремнієвої кислоти, що цементує ґрунт.

Усі рецептури однорозчинного способу силікатизації основані на створенні гелеутворюючих розчинів з малою в'язкістю, яка повинна зберігатися впродовж усього часу нагнітання розчину в ґрунт. Тривалість нагнітання залежить від проникності ґрунту в даній зоні його щільності.

Метою проведення дослідження було визначення радіуса закріплення ґрунту при ін'єктуванні в нього розчинів силікату натрію різної щільності.

Виконано дослідження та порівняльний паралельний аналіз рецептури однорозчинної, двокомпонентної силікатизації розчинами густиною 1,05 г/см³; 1,10 г/см³; 1,15 г/см³; 1,20 г/см³ при закріпленні чотирьох груп ґрунтових зразків. Кількість зразків по кожній щільності розчину силікату натрію змінювалася від 40 до 60.

Дослідження проводились на вдосконаленому приладі для лабораторного закріплення ЛПЗ-2 (рис. 4.1.а), розробленому на кафедрі МГФ та ІГ Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова за рекомендаціями [46; 109]. Підготовлений розчин подавали під тиском величиною 1-2 атм. в прилад з робочою ємністю.

По висоті приладу є вихідні патрубки, за допомогою яких фіксувалась поява розчину на певному рівні, після чого патрубків закривали з метою унеможливлення втрат тиску.

За отриманими даними побудована залежність радіуса закріплення від щільності розчинів силікату натрію (рис. 4.14).

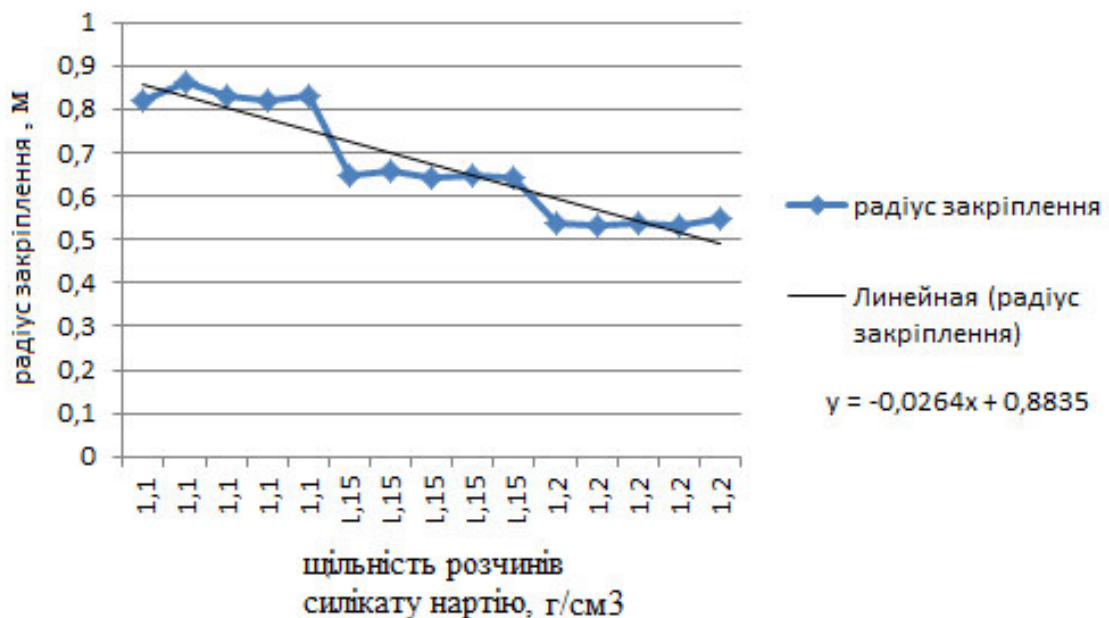


Рис. 4.14. Графік залежності радіуса закріплення від щільності силікату натрію для пісків та супісків

Також була отримана формула для розрахунку радіуса закріплення в залежності від щільності використаних розчинів силікату натрію:

$$r = -0.0264\rho + 0.8835 \quad (4.5)$$

У зв'язку з тим, що коефіцієнт фільтрації глини становить 0,0008 м/добу, а суглинка 0,8 м/добу та нижче, закріплення цих ґрунтів проводилось за змушувальною технологією (розділ 2).

Із графіка видно, що зі зниженням щільності розчинів силікату натрію радіус закріплення збільшується.

Вирокістання силікату натрію зі щільністю 1,05 г/см³ не проводилося через малий майданчик «буферності» утворених силікатно-перуксусних гелів.

4.6. Довговічність закріплених ґрунтів в агресивних середовищах

У процесі лабораторних досліджень було розглянуто питання стійкості ґрунтів, закріплених розчинами силікату натрію, по відношенню до агресивних середовищ [1; 53; 54; 105-107].

Згідно з технологією [105; 106] дослідні зразки, які закріплені силікатними розчинами, містилися на зберіганні в періодично оновлюваному агресивному розчині. Як агресивне середовище використовувалися водопровідна вода з концентрацією іонів $\text{pH} = 8,1-8,3$ і 3% розчин перексусної кислоти. Вибір кислоти був зумовлений тим, що навіть після проведення робіт по закріпленню забруднених ґрунтів залишається небезпека їх повторного замочування досліджуваною кислотою.

Після закінчення терміну 30 днів і 90 днів дослідні зразки виймалися і випробовувалися на міцність при стиску.

Результати проведених випробувань показані в табл. 4.9 та на графіку(рис 4.15).

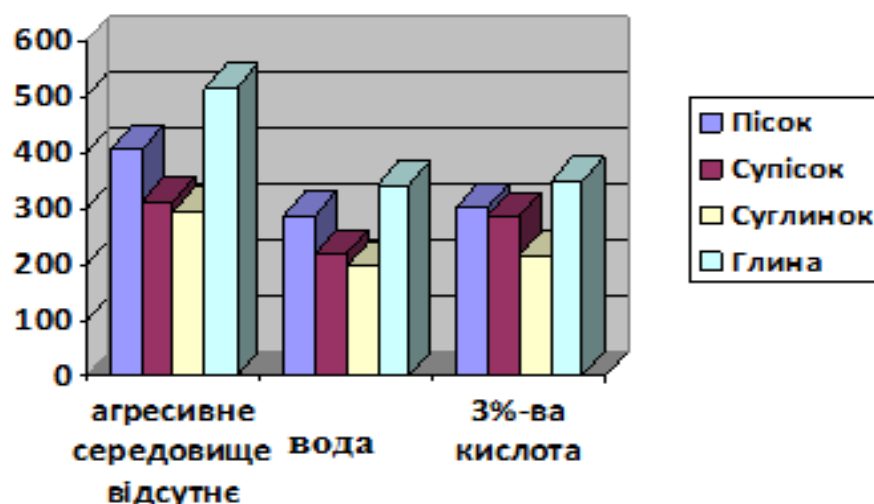


Рис. 4.15. Графік зміни міцності закріплених ґрунтів під впливом агресивних середовищ

З графіка видно, що зниження міцності зразків закріпленого ґрунту після впливу на них води становить 36-47%, а під впливом 3% кислоти - 26-42%.

Проведені лабораторні випробування вказують на те, що закріплені зразки закислоного ґрунту є стійкими до дії агресивних середовищ протягом тривалого періоду.

Таблиця 4.9.

Межа міцності при стиску закріпленого ґрунту після знаходження в агресивних середовищах

Досліджені 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

Проведені дослідження узгоджуються з [1; 53; 54; 107], де вказано, що найбільш сильне зниження міцності закріплення відбувається в воді, що має слабку лужну реакцію ($\text{pH} = 8,2 - 8,5$), й складає 44-48%. У розчинах кислот зниження міцності при стиску складає 38-50%.

Це пов'язане, перш за все, зі стійкістю до кислотної агресії гелю перуксусної кислоти, який є головним в'язким матеріалом у досліджуваній рецептурі.

З аналізу описаних вище досліджень можна судити, що значення межі міцності при стиску закріплених зразків після впливу на них агресивних розчинів досить для тривалого збереження закріплених масивів в умовах аварійного замочування кислими промисловими стоками.

4.7. Технологія виконання робіт по закріпленню ґрунтів

З метою ліквідації негативних наслідків впливу розчинів перуксусної кислоти, автором запропоновані три різні способи закріплення ґрунтів.

Перший спосіб ґрунтується на відомій технології - однорозчинної, однокомпонентної силікатизації [28] і методу закріплення ґрунтів, що забруднені розчинами кислот [10] в доповненні з розробками автора по розділах 3, 4 цієї роботи.

Другий спосіб - буроін'єкційний, що полягає в посиленні фундаментів за допомогою буроін'єкційних «коренеподібних» паль.

Третій спосіб - однорозчинної, двокомпонентної силікатизації, рекомендований до застосування закріплення ґрунтів, що не були хімічно забруднені.

При виконанні робіт за першим способом ін'єкція здійснюється по однорозчинній однокомпонентній технології, безразливним способом.

Розташування області хімічно закріпленого ґрунту показано в розрізі на рис. 4.16.

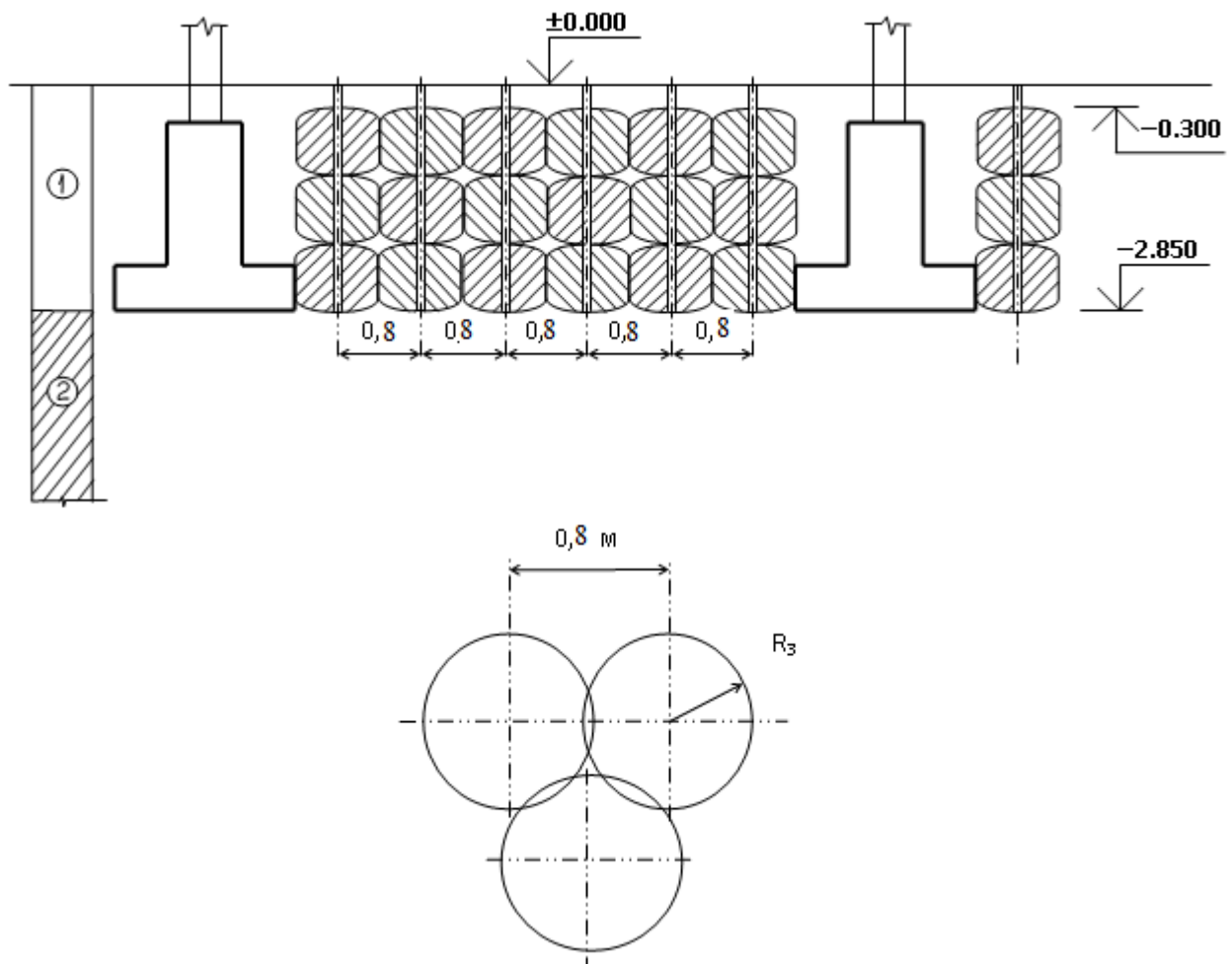


Рис. 4.16. Розташування області хімічно закріпленого ґрунту

До складу технологічних операцій при закріпленні ґрунтів, що забруднені розчинами перуксусної кислоти входять наступні етапи:

- підготовка ін'єкторів до занурення;
- занурення на проектну глибину;
- підготовка ін'єкторів до закачування робочих розчинів;

– проведення робіт по нагнітання силікатних розчинів необхідної щільності в забруднений ґрунт.

Другий спосіб представляє собою буроін'єкційні палі [108], як вертикальні, так і похилі, які після опресування мають нерівну поверхню і тому отримали назву «коренеподібних» (рис. 3.17).

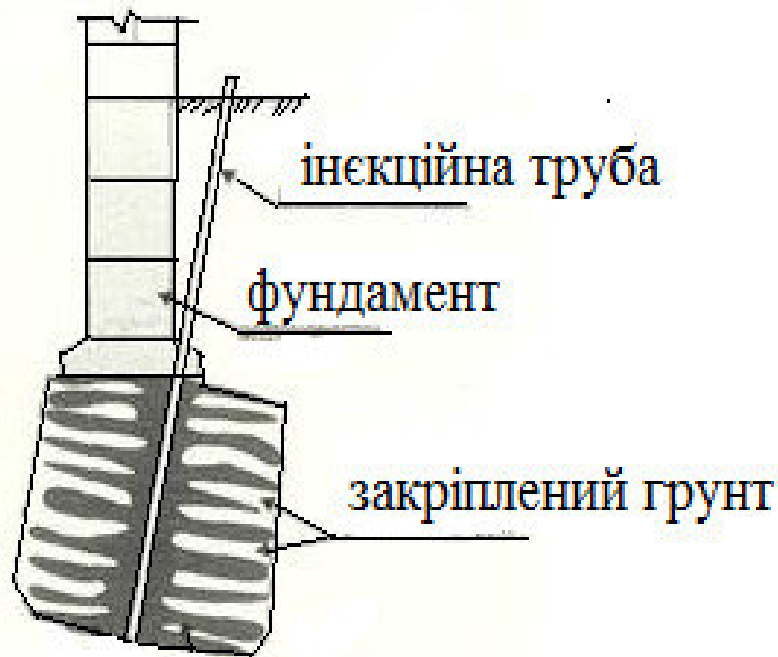


Рис. 3.17. Схема підсилення фундаментів за допомогою буроін'єкційних «коренеподібних» паль

Ці роботи можуть виконуватися, як по зовнішньому периметру будівлі, так і всередині будівлі, в підвалі будинку при висоті підвальної частині не менше 2,4 м або з перших поверхів будинків.

Третій спосіб - однорозчинної, двокомпонентної сілікатизації, рекомендован до застосування при необхідності закріплення ґрунтів, не схильних до хімічної дії.

Технологічний процес закріплення полягає в нагнітанні через ін'єктори в ґрунт перуксусной-силікатного розчину з регульованим часом гелеутворення.

Висновки до розділу 4

1. У процесі досліджень силікатних гелів на основі перуксусної кислоти було визначено, що є доцільним використання на практиці гелів на основі силікату натрію щільністю більше $\rho_c = 1,05 \text{ г/см}^3$. Це пов'язано з тим, що у гелів з щільністю менше $\rho_c = 1,05 \text{ г/см}^3$ малий майданчик «буферності».

2. У зв'язку із технологічними вимогами рекомендовано застосування силікатних гелів з часом гелеутворення $t_g > 10 \text{ хв}$.

3. 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.

4. Значення коефіцієнта Пуассона ґрунтів усіх чотирьох груп після проведення закріплення наближаються до природних показників.

5. 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 $\rho_c = 1,10 \text{ г/см}^3$.

6. Проведені лабораторні випробування вказують на те, що закріплені зразки закислюваного 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. Виділені екологічно чисті склади силікатно-перуксусних гелів ($\text{pH}=6,0-8,0$), які дають можливість гарантувати екологічну очистку забруднених ґрунтових масивів.

РОЗДІЛ 5

ОЦІНКА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ГРУНТОВИХ ОСНОВ ІЗ ЗАКРІПЛЕНИХ ГРУНТІВ

5.1. Розрахунок параметрів хімічного закріплення ґрунтів

Використання силікатно-перуксусної рецептури для хімічного закріплення піщаних і пілувато-глинистих ґрунтів, забруднених промисловими стоками перуксусної кислоти, зводиться до введення в ґрунт монорозчину силікату натрію.

Прийнятий метод оснований на дослідженнях, що наведені в розділах 2 та 3, і дозволяє визначити параметри, необхідні для здійснення закріплення ґрунтів, що знаходяться у вище описаних умовах.

До числа цих параметрів належать:

- концентрація перуксусної кислоти в порах ґрунту μ_k , %;
- розрахунковий інтервал часу гелеутворення t_g , хв;
- об'ємні співвідношення вихідних компонентів Ω ;
- необхідний об'єм розчину силікату натрію на 1 м³ закріплюваного ґрунту V_c ;
- коефіцієнт заповнення об'єму.

Враховуючи, що на різних ділянках закріплення і для різних видів ґрунтів величина необхідного об'єму силікату натрію, його щільність змінюється. При виробничому закріпленні закислочених ґрунтів з використанням даної рецептури для ґрунтів з параметром $L \geq 10\%$ рекомендується застосовувати змішувальну, а для ґрунтів з параметром $L < 10\%$

просочувальну технології доставки закріплювальних розчинів у ґрунт [109-113].

Це пов'язано з фільтраційними характеристиками ґрутів та технологічно необхідними щільностями закріплювальних розчинів силікату натрію.

Закислений масив ґрунту розбивається на окремі ділянки, закріплення по індивідуально розрахованих параметрах. Межі цих ділянок визначаються величиною концентрації перексусної кислоти в порах ґрунту μ_k . Розрахунки проводяться на основі фізико-хімічних характеристик закисленого ґрунту, що визначаються в лабораторних умовах:

- m_k – маса перексусної кислоти в 1 см^3 , в грамах (визначається титруванням);
- m_w – маса води в 1 см^3 закисленого ґрунту, в грамах (визначається ваговим методом);
- n – пористість, %;

Позначивши масу розчину перексусної кислоти в порах ґрунту m_r , можна визначити значення концентрації перексусної кислоти в поровому розчині μ_k з пропорції:

$$\mu_k = \frac{100 \cdot m_k}{m_r}, \% \quad (5.1),$$

де m_r - маса закріплювального розчину;

враховуючи, що

$$m_r = m_k + m_w \quad (5.2),$$

отримуємо

$$\mu_k = \frac{100 \cdot m_k}{m_k + m_w}, \% \quad (5.3).$$

На основі розрахункового параметра Ω_i можливе утворення силікатно-перуксусний гелів з часом утворення від 1 до 60 хвилин, що мають концентрацію порових розчинів μ_k . Залежно від величини μ_k виділяються окремі ділянки для закріплення.

Можливість отримання позитивного результату при закріпленні забруднених кислотою ґрунтів, величина міцності, щільності, суцільності, ступінь екологічної чистоти закріпленого масиву, а також вартість і трудомісткість проведення робіт залежить від обраного розрахункового інтервалу часу гелеутворення t_r . Залежно від t_r визначається кількість ділянок з індивідуальними параметрами закріплення, на які розбивається вся забруднена територія.

Необхідний об'єм розчину силікату натрію V_c визначається зі співвідношення:

$$\Omega = \frac{\Pi_k}{C_n} \quad (5.4)$$

Для уточнення величини необхідного об'єму розчину силікату натрію в 1 л на 1 м³ ґрунту скористаємося відомою функцією [56], яка з урахуванням отриманих залежностей (4.3) та (5.4) набуває вигляду:

$$V_c = \frac{10^3 (m_k + m_w)^2}{\frac{\sqrt[b]{t_r}}{a} (1.58m_k + m_w)}, \quad (5.5)$$

де a та b – чисельні коефіцієнти вказані у табл. 4.2.

На мал. 5.1. наведена графічна схема визначення граничних концентрацій кислоти порових розчинів окремих ділянок закріплюваного масиву ґрунту μ_k та об'ємних співвідношень вихідних компонентів, що використовуються в реакції гелеутворення Ω .

У табл. 5.1. наведені рекомендовані величини об'ємних співвідношень вихідних компонентів Ω для інтервалів концентрацій перуксусної кислоти на окремих ділянках закріплення.

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

Таблиця 5.1.

Розрахункові параметри закріплення

№ закріплюваної ділянки	Концентрація перуксусної кислоти у порових розчинах, μ_k	Щільність силікату натрію, ρ_c	Розрахункова величина об'ємних співвідношень вихідних компонентів, Ω
1	1,0%	1,10	3,89-8,5
2		1,15	4,25-9,76
3		1,20	7,5-13,5
4		1,25	10,6-17,5
5	2,0%	1,10	3,5-8,92
6		1,15	5,02-10,6
7		1,20	7,96-14,49
8		1,25	10,57-17,93
9	3,0%	1,10	4,36-9,02
10		1,15	5,69-11,37
11		1,20	8,5-16,52
12		1,25	12,63-18,34

5.2. Приклад моделювання поведінки ґрунту під впливом перексусної кислоти

Кількісне прогнозування НДС основ, що складені набрякаючими ґрунтами, в тому числі підйом фундаментів здійснюється різними способами, з поміж яких рекомендований ДБН В.21.1-10-2009 [114]. Згідно з цими рекомендаціями h_{sw} визначають методом пошарового підсумовування деформацій набрякання. За величиною ε_{sw} визначають підйом товщі набрякаючого ґрунту h_{sw} . Нижня межа зони набрякання B_{sw} відповідає глибині, на якій сумарна напруга $\sigma_z = p_{sw}$. Розрахункові значення h_{sw} не мають перевищувати допустимі граничні величини підйому фундаментів. Викладений метод прогнозування деформацій набрякання базується на припущенні про повне замочування ґрунтів основи, які набрякають в умовах без можливості бокового розширення. Ці умови не завжди мають місце в основах споруд, особливо при неповному замочуванні.

Найбільш простою і часто вживаною моделлю ґрунтової основи є модель Фусса-Вінклера, яка базується на гіпотезі про пряму пропорційність між тиском і місцевим осіданням. Така залежність відповідає механічній моделі основи, що представляє собою набір вертикальних, не пов'язаних одна з одною пружних пружин, осідання яких строго пропорційне діючому на них тиску. Питання розробки розрахункової моделі для набрякаючих глинистих ґрунтів через відсутність відповідних досліджень є найбільш актуальним.

Вирішення проблеми з урахуванням спільної роботи системи «основа-фундамент-будівля» запропоновано в роботах [115-119]. У разі якщо зобразити масив ґрунту, що складається з набрякаючих ґрунтів, у вигляді лінійно-деформованого, набрякання ґрунтової основи враховувати як додатковий вплив, близький за своєю природою до температурного, а набрякаючий ґрунт розглядати як матеріал, що має ортотропні властивості, цю проблему можна

вирішити. Вирішення також стає можливим і завдяки використанню програмних комплексів, які працюють на базі МКЕ (ЛІРА, SCAD).

На основі робіт [14; 117], в яких були наведені загальні рекомендації та алгоритми розв'язання просторової задачі, був проведений перехід до розрахунку плоскої моделі ґрунтової основи.

Обираємо варіанти поєднання напруг:

1. $\sigma_z > 0$ і $\sigma_x > 0$. Напряга в обох напрямках плоскої задачі більша за нуль

$$\begin{aligned}\varepsilon_x &= \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu[\sigma_z + \sigma_y]) + m\Delta w \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu[\sigma_x + \sigma_z]) + m\Delta w \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu[\sigma_x + \sigma_y]) + m\Delta w\end{aligned}\tag{5.6}$$

де ε_x , ε_y , ε_z - сумарні деформації по осях x, y, z відповідно;

E – модуль деформації ґрунту;

μ - коефіцієнт Пуассона;

σ_x , σ_y , σ_z - нормальні напруги відповідно по осях x, y, z;

m – коефіцієнт, який визначається дослідним шляхом;

Δw - зміна вологості ґрунту.

$$\begin{aligned}\frac{\sigma_y}{E} &= \frac{\mu}{E}(\sigma_x - \sigma_z) - m\Delta w \\ \sigma_y &= \mu(\sigma_x - \sigma_z) - Em\Delta w\end{aligned}\tag{5.7}$$

$$\varepsilon_z = \left(\frac{1 - \mu^2}{E} \right) \cdot \left(\sigma_z - \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_x \right) + m\Delta w(1 + \mu)\tag{5.8}$$

Аналогічно для ε_x

$$\varepsilon_x = \left(\frac{1 - \mu^2}{E} \right) \cdot \left(\sigma_x - \frac{\mu}{1 - \mu} \sigma_z \right) + m\Delta w(1 + \mu) \quad (5.9)$$

чи

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_z = \frac{1}{E_{np}} \cdot (\sigma_z - \mu_{np} \sigma_x) + m\Delta w(1 + \mu) \\ \varepsilon_x = \frac{1}{E_{np}} \cdot (\sigma_x - \mu_{np} \sigma_z) + m\Delta w(1 + \mu) \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

де

$$E_{np} = \frac{E}{1 - \mu^2}, \mu_{np} = \frac{\mu}{1 - \mu} \quad (5.11)$$

2. $\sigma_z < -P_{sw}$ и $-P_{sw} < \sigma_x < 0$. Випадок, коли вертикальні напруги більші тиску набрякання, а горизонтальні менші.

$$\begin{aligned} \frac{\sigma_y}{E} - \mu \frac{\sigma_x}{E} - \mu \frac{\sigma_z}{E} + m\Delta w + \frac{k\sigma_y}{P_{sw}} m\Delta w &= 0 \\ \sigma_y \left(\frac{1}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}} \right) &= \frac{\mu}{E} (\sigma_x + \sigma_z) - m\Delta w \\ \sigma_y &= \frac{P_{sw} \cdot E}{P_{sw} + Ekm\Delta w} \left(\frac{\mu}{E} (\sigma_z + \sigma_x) - m\Delta w \right) \end{aligned} \quad (5.12)$$

де $k=0$ при $\sigma_i \neq 0$, $k=1$ при $\sigma_i \leq 0$.

Припустимо, що

$$\frac{P_{sw} \cdot E}{P_{sw} + Ekm\Delta w} = \alpha,$$

тоді

$$\sigma_y = \alpha \mu (\sigma_z + \sigma_x) - \alpha E \cdot m\Delta w.$$

Звідси отримуємо залежність для ε_x і ε_z

$$\begin{bmatrix} \varepsilon_z = \left(\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} \right) \sigma_z - \left(\frac{\mu + \alpha \mu^2}{E} \right) \sigma_x + \alpha \mu t \Delta w \\ \varepsilon_x = \left(\frac{1 - \alpha \mu^2}{E} + \frac{km \Delta w}{P_{sw}} \right) \sigma_x - \left(\frac{\mu + \alpha \mu^2}{E} \right) \sigma_z + (1 + \alpha \mu) \cdot t \Delta w \end{bmatrix} \quad (5.13)$$

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 [9].

Деформаційні характеристики ґрунту для даного випадку:

$$\frac{1}{E_x^{np}} = \frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km \Delta w}{P_{sw}} \Rightarrow E_x^{np} = \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km \Delta w}{P_{sw}}} \quad (5.14)$$

$$\mu_x^{np} = \frac{\mu + \alpha \mu^2}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km \Delta w}{P_{sw}}} \quad (5.15)$$

3. Випадок, коли $-P_{sw} \leq \sigma_z \leq 0$ и $-P_{sw} \leq \sigma_x \leq 0$

$$\begin{aligned} E_z^{np} &= \frac{1}{\frac{1 - \mu^2 \alpha}{E} + \frac{km \Delta w}{P_{sw}}} \\ \mu_{zx}^{np} &= \frac{\mu + \mu^2 \alpha}{1 - \mu^2 \alpha + E \frac{km \Delta w}{P_{sw}}} \end{aligned} \quad (5.16)$$

$$\begin{aligned}
E_x^{np} &= \frac{1}{\frac{1-\mu^2\alpha}{E} + \frac{km\Delta w}{P_{sw}}} \\
\mu_{xz}^{np} &= \frac{\mu + \mu^2\alpha}{1 - \mu^2\alpha + E \frac{km\Delta w}{P_{sw}}}
\end{aligned} \tag{5.17}$$

4. Випадок $\sigma_x \neq 0, \sigma_z \neq 0$.

$$\begin{cases}
\varepsilon_z = \frac{1}{E}(\sigma_z - \mu\sigma_x + \sigma_y) + m\Delta w \\
\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \mu(\sigma_z + \sigma_y)) \\
\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \mu(\sigma_z + \sigma_x)) + m\Delta w = 0
\end{cases} \tag{5.18}$$

Звідки

$$\begin{aligned}
\frac{\sigma_y}{E} &= \frac{\mu}{E}(\sigma_x - \sigma_z) - m\Delta w \\
\sigma_y &= \mu(\sigma_x - \sigma_z) - Em\Delta w
\end{aligned}$$

$$\begin{cases}
\varepsilon_x = \sigma_x \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right) - \sigma_z \left(\frac{\mu-\mu^2}{E} \right) - \mu m\Delta w \\
\varepsilon_z = \sigma_z \left(\frac{1-\mu^2}{E} \right) - \sigma_x \left(\frac{\mu+\mu^2}{E} \right) - \mu m\Delta w + m\Delta w
\end{cases} \tag{5.19}$$

Із системи рівнянь видно, що для даного випадку поєднання навантажень ґрунт буде мати ортотропні властивості, а деформаційні характеристики ґрунту для даного випадку будуть мати вигляд:

$$\frac{1}{E_x^{np}} = \frac{1-\mu^2}{E} \Rightarrow E_x^{np} = \frac{E}{1-\mu^2} \tag{5.20}$$

$$\frac{1}{E_z^{np}} = \frac{1 - \mu^2}{E} \Rightarrow E_z^{np} = \frac{E}{1 - \mu^2} \quad (5.21)$$

$$\frac{\mu_{xz}}{E_x^{np}} = \frac{\mu - \mu^2}{E} \Rightarrow \mu_{xz} = \frac{\mu - \mu^2}{1 - \mu^2} \quad (5.22)$$

$$\frac{\mu_{zx}}{E_z^{np}} = \frac{\mu + \mu^2}{E} \Rightarrow \mu_{zx} = \frac{\mu + \mu^2}{1 - \mu^2} \quad (5.23)$$

З перерахованого вище випливає, що 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 буде визначатися рівнянням $V_{2w} = 0$, яке при початкових $W_{(r, 0)} = W_0$ та граничних $W_{(r1)} = W_1$, $W_{(r2)} = W_0$ має наступне рішення [119]:

$$w(r) = (w_1 - w_0) \frac{\ln \frac{r}{r_2}}{\ln \frac{r_1}{r_2}} \quad (5.24)$$

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

У цьому випадку співвідношення між напругами й деформаціями мають вигляд

$$\begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} (\sigma_z - \mu(\sigma_\theta + \sigma_r)) - \beta_{sw} \cdot \Delta w \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1}{E} (\sigma_\theta - \mu(\sigma_r + \sigma_z)) - \beta \cdot \Delta w \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} (\sigma_z - \mu(\sigma_r + \sigma_\theta)) - \beta \cdot \Delta w \end{aligned} \quad (5.25)$$

Звідси отримуємо

$$\begin{aligned}\varepsilon_r &= \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_r - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_\theta \right) + (1+\mu) \cdot \beta_{sw} \cdot \Delta w(r) \\ \varepsilon_\theta &= \frac{1-\mu^2}{E} \left(\sigma_\theta - \frac{\mu}{1-\mu} \sigma_r \right) + (1+\mu) \cdot \beta_{sw} \cdot \Delta w(r)\end{aligned}\quad (5.26)$$

У разі розподілу вологості, згідно з (5.23), отримаємо такий вираз для радіальних переміщень

$$\begin{aligned}u_{(r)} &= \frac{1+\mu}{1-\mu} \beta_{sw} \frac{r_r^2}{2r} \left[\frac{r^2}{r_2^2} \left(\ln \frac{r}{r_2} - \frac{1}{2} \right) - \frac{r_1^2}{r_2^2} \left(\ln \frac{r_1}{r_2} - \frac{1}{2} \right) \right] + \\ &+ \beta_{sw} \frac{1+\mu}{2(1-\mu)} \Delta \bar{w} \cdot r - \frac{r_1^2}{2r} \beta_{sw} \frac{1+\mu}{2(1-\mu)} \Delta \bar{w}\end{aligned}\quad (5.27)$$

де

$$\Delta \bar{w} = \frac{r}{r_2^2 - r_1^2} \int_{r_1}^{r_2} w(r) r dz$$

Формула для визначення переміщення в ґрунтовому циліндрі при сталому режимі перенесення вологості і при граничних умовах $u_{(r1)} = u_{(r2)} = \varepsilon_z = 0$. На радіусі $r = r_1$ радіальні та тангенціальні напруги визначаються виразом

$$\sigma_r(r_1) = \frac{\beta_{sw} E \Delta \bar{w}}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{1-2\mu} + \frac{r_1^2}{r_2^2} \right) \quad (5.28)$$

$$\sigma_\theta(r_1) = \frac{\beta_{sw} E \Delta \bar{w}}{1-\mu} + \frac{\beta_{sw} E \Delta \bar{w}}{2(1-\mu)} \left(\frac{1}{1-2\mu} - \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \quad (5.27)$$

За умови вільних переміщень на контурі зволоження рішення може бути отримане з умови $\sigma_r(r1) = \sigma_r(r2) = 0$, тобто

$$\begin{aligned}\sigma_r &= \frac{\beta_{sw} E \Delta w}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \left[\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 - \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right] \\ \sigma_\theta &= \frac{\beta_{sw} E \Delta w}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \left[1 - \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - \frac{r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \left(1 + \frac{r_2^2}{r_1^2} \right) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right] \\ \sigma_z &= \frac{\beta_{sw} E \Delta w}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \left[1 - \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right]\end{aligned}\quad (5.30)$$

В цьому випадку компоненти напруг σ_θ і σ_z досягають максимального і мінімального значень на внутрішній і зовнішній поверхні ґрунтового циліндра. Так, при $r = r_1$, маємо

$$\sigma_\theta = \frac{\beta_{sw} E \Delta w}{2(1-\mu) \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)} \left[1 - \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \right] \quad (5.31)$$

Через просторовий характер деформування системи «основа-фундамент-будівля» 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).

Основні гіпотези і припущення розробленої методики сформульовані таким чином:

- як модель ґрунтової основи найбільш прийнятною є лінійно-деформований напівпростір.

Задаються жорсткісні характеристики:

- E_i – модуль деформації ґрунтів,
- μ_i - коефіцієнт Пуассона,
- P_i - навантаження, що передається на ґрунтову основу,
- відсотковий вміст перуксусної кислоти в порових розчинах.

Метою дослідження було вивчення поведінки ґрунтового масиву з різними фізико-механічними характеристиками (нормальними, закислоченими, закріпленими) в умовах, що наближені до реальних.

Вихідні дані прийняті наступні.

Розглядається плоска задача, ґрунтовий масив знаходиться в умовах плоскої деформації і має розміри 10х10 м. По центру масиву діє навантаження від фундаменту завширшки 1 м (зона 3). У середині масиву знаходиться зона 2 з розмірами 5х5 м, що підлягає закисленню і надалі закріпленню. Решта поверхні масиву представляє зону 1.

До уваги бралися наступні розрахункові схеми (рис. 5.2):

- розрахункова схема 1. Зона 1, 2 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. Зона 3 - фундамент, бетон С16/20. Навантаження на зону 3 - зосереджена сила 100 т;

- розрахункова схема 2. Зона 1 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. Зона 2 - ґрунт з закисленими характеристиками. Зона 3 - фундамент, бетон С16/20. Навантаження на зону 3 - зосереджена сила 100 т;

- розрахункова схема 3. Зона 1 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. Зона 2 - ґрунт з закисленими характеристиками. Зона 3 - фундамент, бетон С16/20. Навантаження на зону 3 - зосереджена сила 125 т;

- розрахункова схема 4. Зона 1 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. Зона 2 – ґрунт із закріпленими характеристиками. Зона 3 - фундамент, бетон С16/20. Навантаження на зону 3 - зосереджена сила 125 т. Координати вузлів моделі задавалися з результатів розрахунку деформацій розрахункової схеми 2 .

Чисельна верифікація отриманих теоретичних рішень проводилася в ПК «Ліра САПР». Кінцево-елементна модель (рис.4.1) оформлювалась з ке-21 – Модель включала 1686 вузлів і 1604 елементи. Товщина елементів умовно призначалася рівною 1 м.

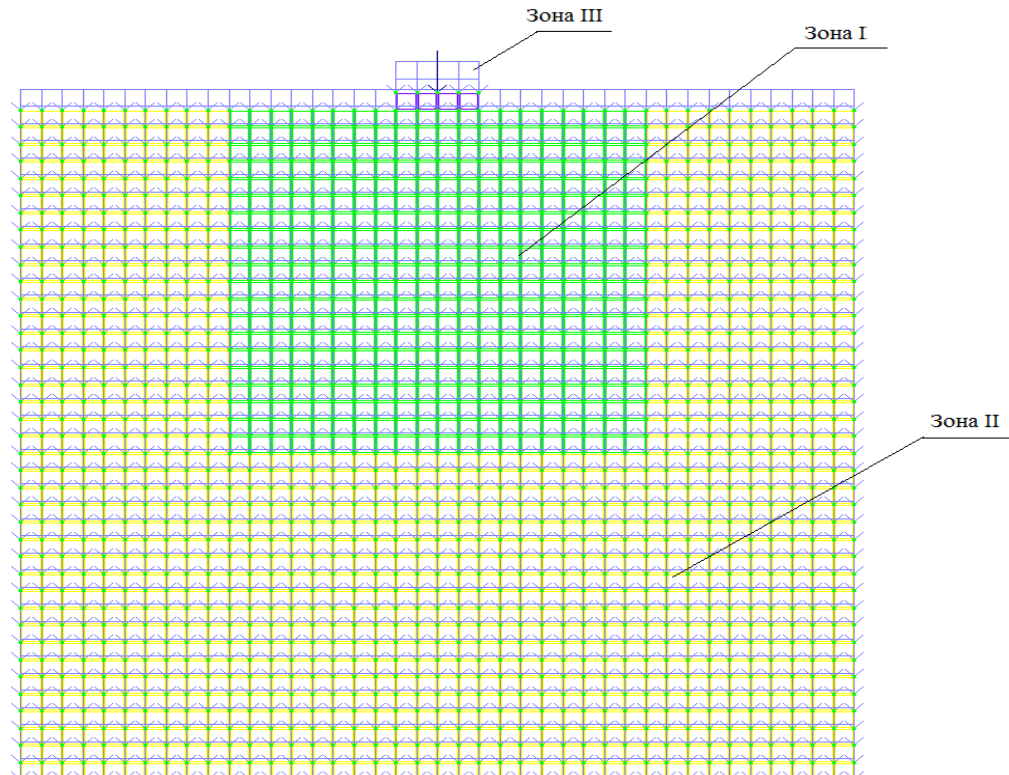


Рис. 5.2. Кінцево-елементна модель. Зона I - ґрунт із закисленими (закріпленими) характеристиками; Зона II - ґрунт з природними характеристиками; Зона III - фундамент.

Це дослідження реалізовано у вигляді чисельного експерименту, що складається з серії розрахунків різних ґрунтових станів, що викладені вище. Дослідження проводилось для чотирьох типів ґрунтових основ, для яких розглядалися чотири розрахункові схеми поведінки, описані вище.

Деформаційні характеристики ґрунтів прийняті реальними, згідно з дослідженнями, що описані в розділах 3 й 4.

По кожній з розрахункових схем виконувався розрахунок для досліджуваних типів ґрунтів з відповідними фізичними характеристиками їх параметрів (пункти 3.1. та 3.2.). 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_3 і Z , а також величини напруг, що виникають у ґрунтовому масиві.

Результати розрахунку ілюструються полями вертикальних переміщень ґрунтового масиву (рис. 5.3 – 5.6) і в табличному вигляді (табл. 5.2).

Таблиця 5.2.

Максимальні переміщення ґрунтового масиву

Найменування ґрунтів	Величина вертикальних переміщень, мм			
	РС-1	РС-2	РС-3	РС-4
Ґрунт I	92	116	137	80,3
Ґрунт II	128	134	158	123
Ґрунт III	108	125	148	108
Ґрунт IV	129	138	163	117

У табл. 5.3 представлені напруги вздовж осей X , Y і Z , що виникають у масиві ґрунту для чотирьох груп ґрунтів в умовах, заданих розрахунковими схемами РС-1, РС-2, РС-3 і РС-4.

З результатів розрахунків наочно бачимо (рис. 5.3.) зміни величини деформацій ґрунтового масиву при чотирьох заданих умовах.

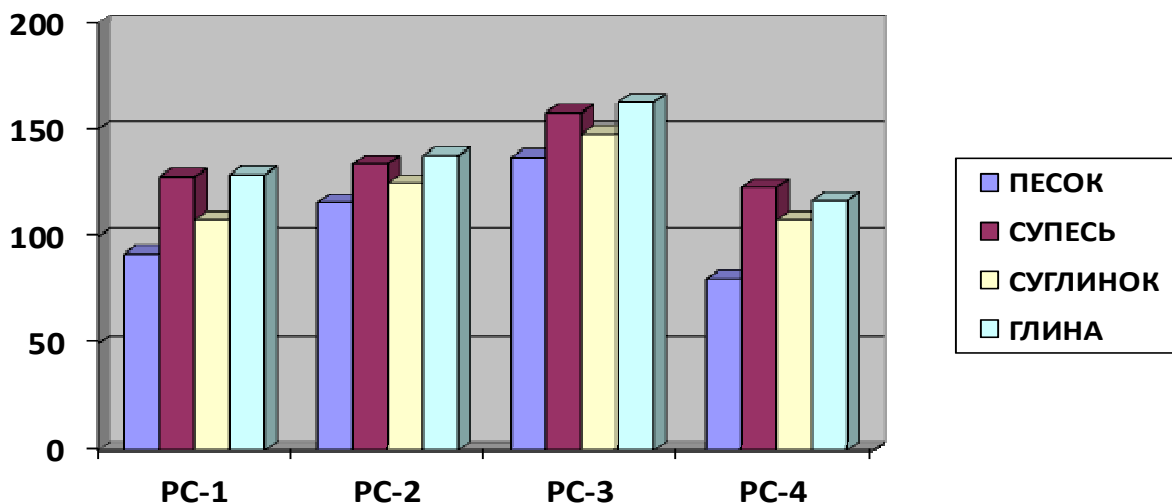


Рис. 5.3. Графік зміни величини деформацій ґрунтового масиву при різних розрахункових схемах

Після проведення робіт по закріпленню ґрунтового масиву, забрудненого розчинами перексусної 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 перексусної кислоти, деформації ґрунтів практично дорівнюють їх деформаціям в природному стані.

Таблиця 5.3.

Напрути 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}
PC-1	-0,0377	-0,101	-0,067	-0,0369	-0,101	-0,067	-0,036	-0,101	-0,067	-0,355	-0,1	-0,067
PC-2	-0,37	-0,101	-0,067	-0,036	-0,101	-0,067	-0,357	-0,1	-0,678	-0,033	-0,0998	-0,067
PC-3	-0,0462	-0,126	-0,084	-0,045	-0,0126	-0,084	-0,447	-0,125	-0,847	-0,042	-0,125	-0,845
PC-4	-0,0373	-0,101	-0,082	-0,036	-0,101	-0,083	-0,369	-0,101	-0,833	-0,035	-0,1	-0,083

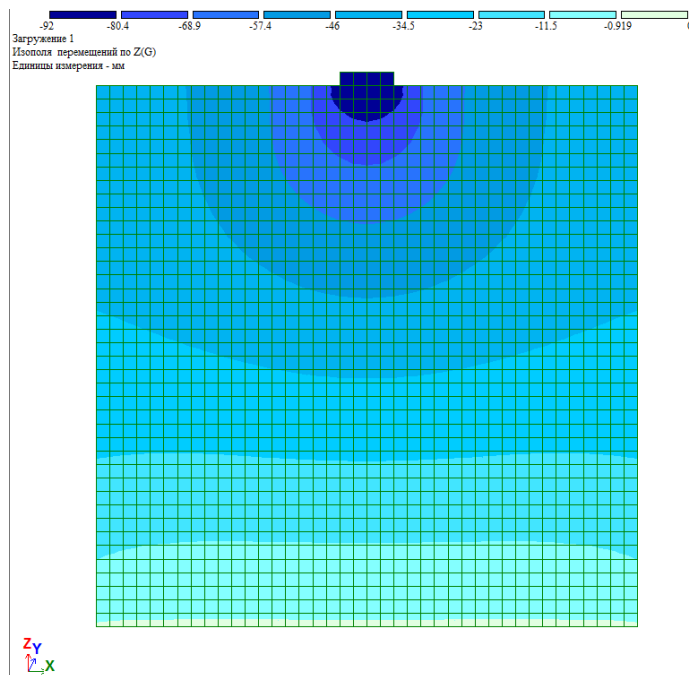


Рис. 5.3. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L < 3\%$, РС-1 увесь ґрунт з нормальними (природними) характеристиками при навантаженні 100 т

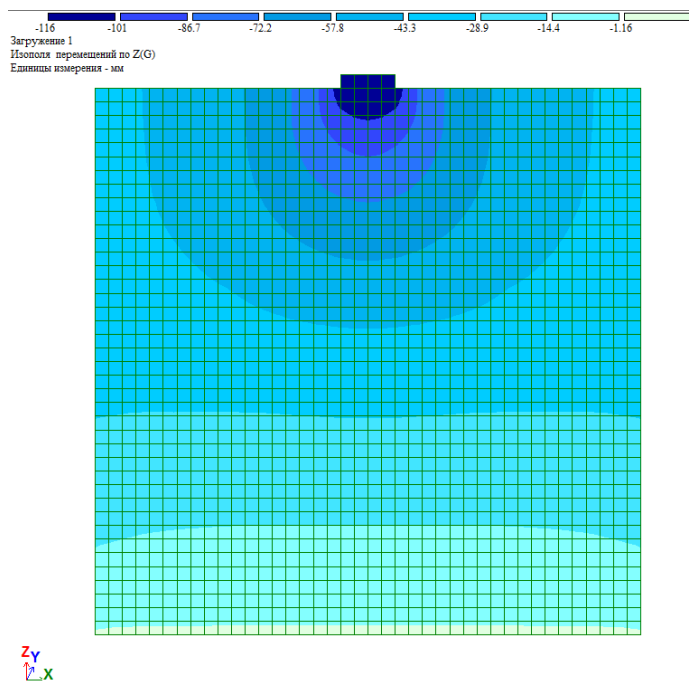


Рис. 5.4. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L < 3\%$, РС-2 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 100 т

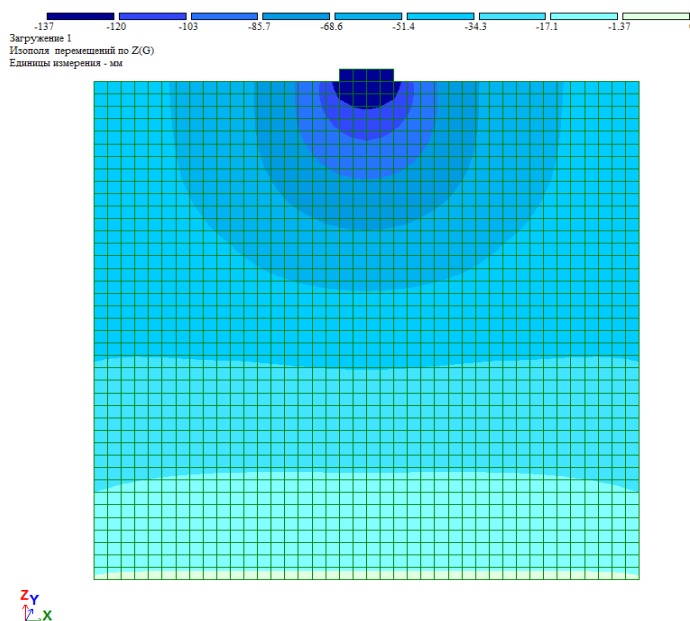
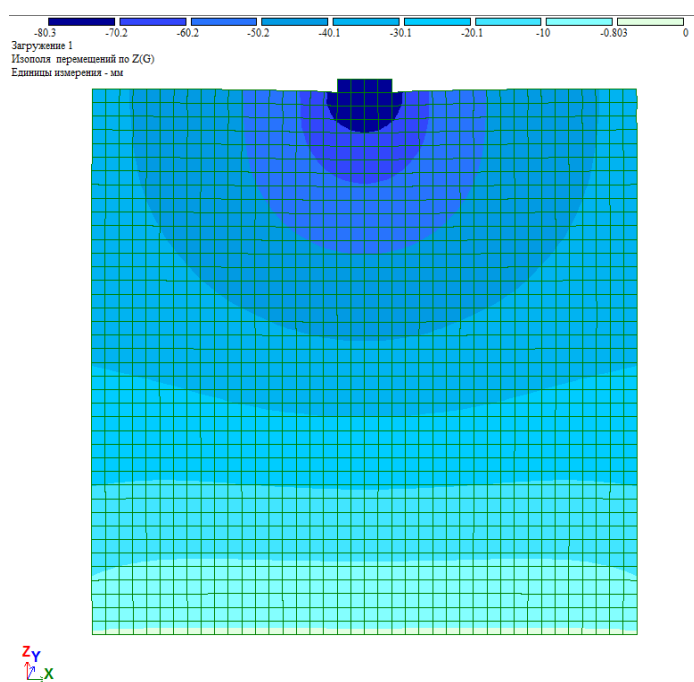


Рис. 5.5. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L < 3\%$, РС-3 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закріпленими характеристиками при навантаженні 125 т



г)

Рис. 5.6. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L < 3\%$, РС-4 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками та ґрунт з закріпленими характеристиками при навантаженні 125 т

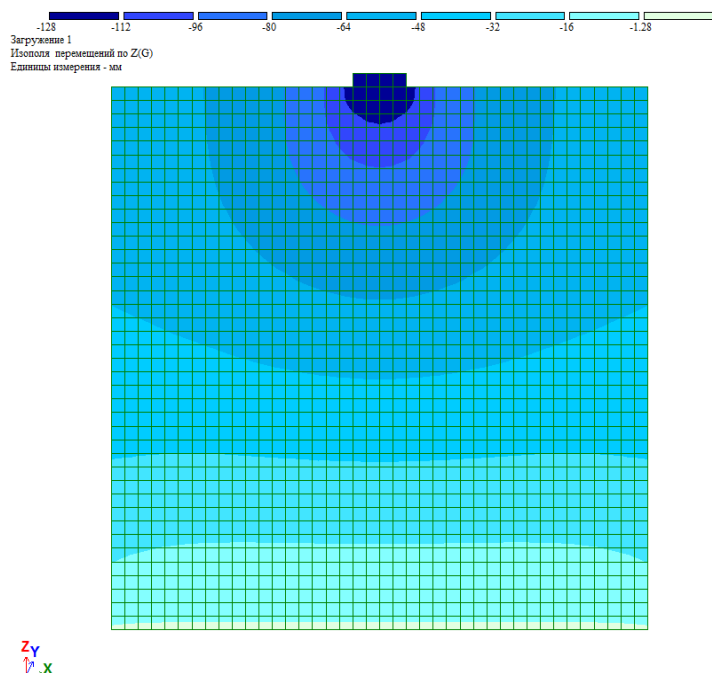


Рис. 5.7. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром L 3 – 10%, РС-1 увесь ґрунт з нормальними (природними) характеристиками при навантаженні 100 т

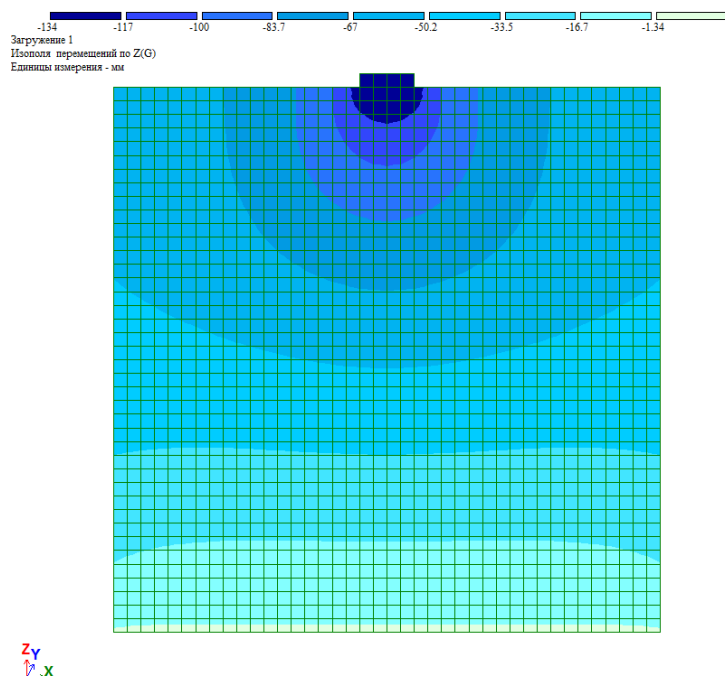


Рис. 5.8. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром 3 – 10%, РС-2 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 100 т

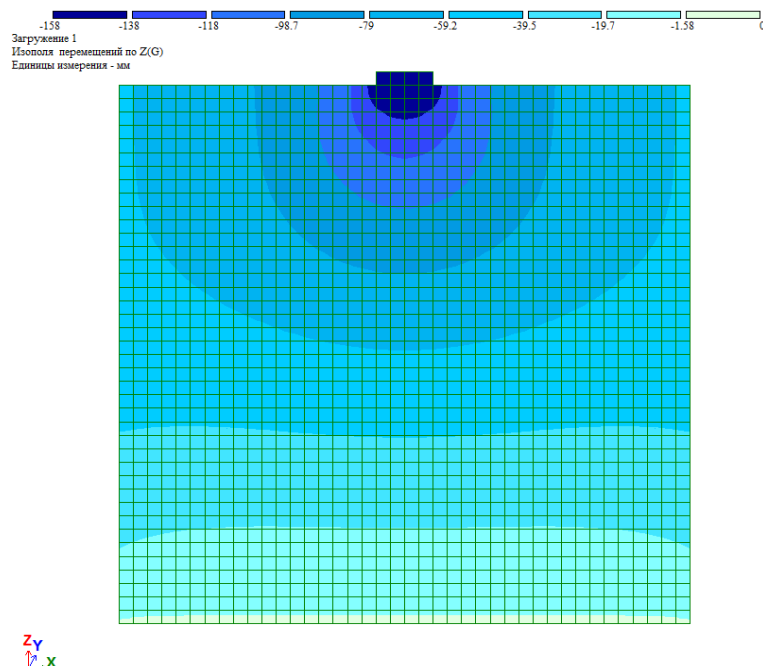


Рис. 5.9. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром β – 10%, РС-3 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 125 т

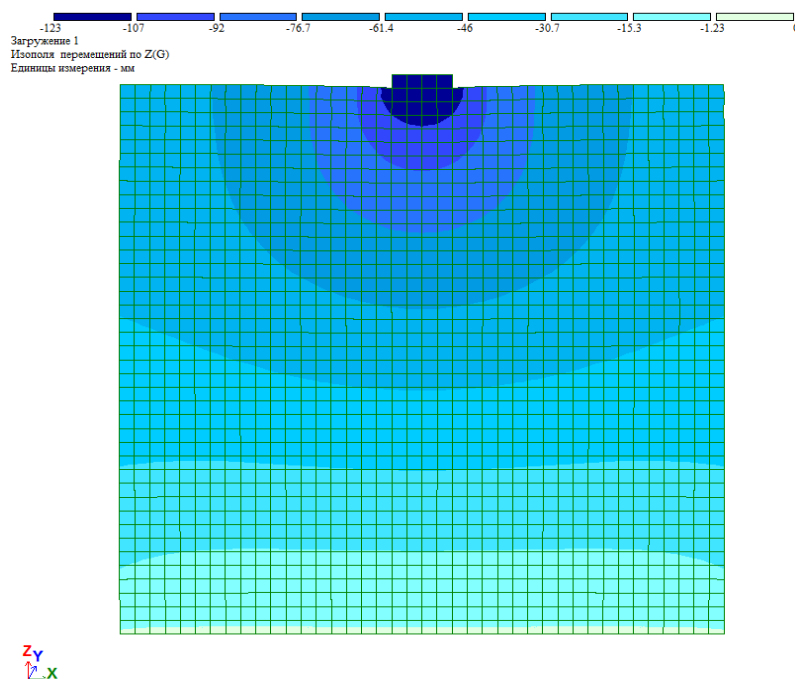


Рис. 5.10. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром β – 10%, РС-4 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками та ґрунт з закріпленими характеристиками при навантаженні 125 т

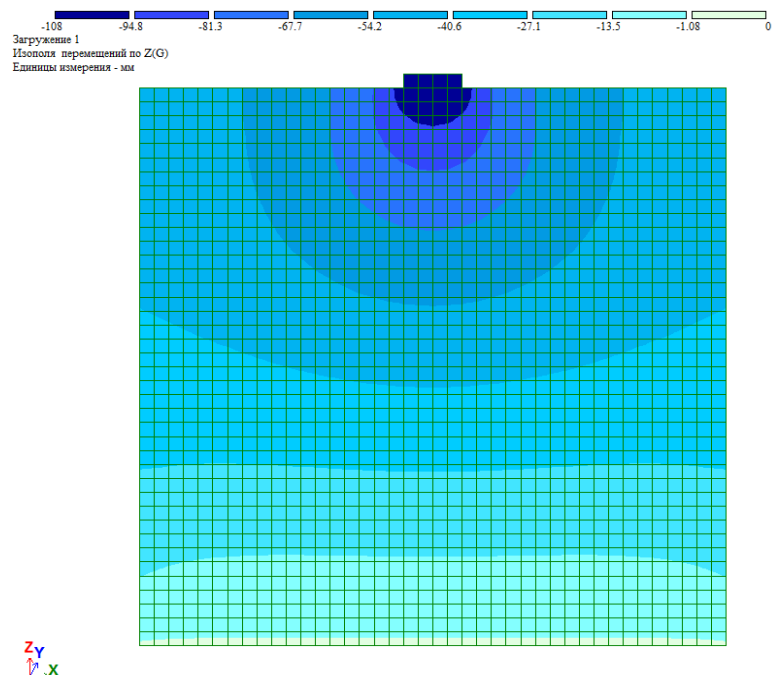


Рис. 5.11. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром L 10–30%, РС-1 увесь ґрунт з нормальними (природними) характеристиками при навантаженні 100 т

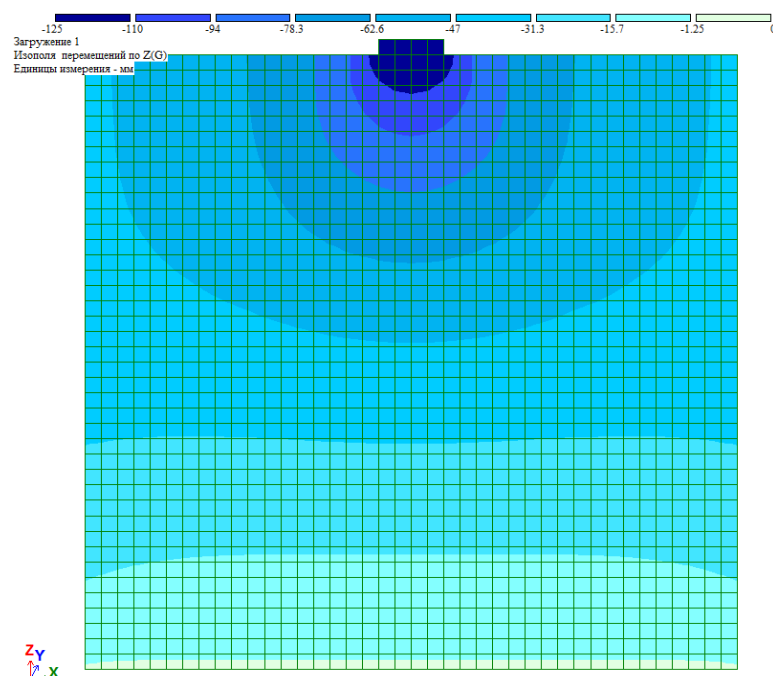


Рис. 5.12. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром L 10–30%, РС-2 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 100 т

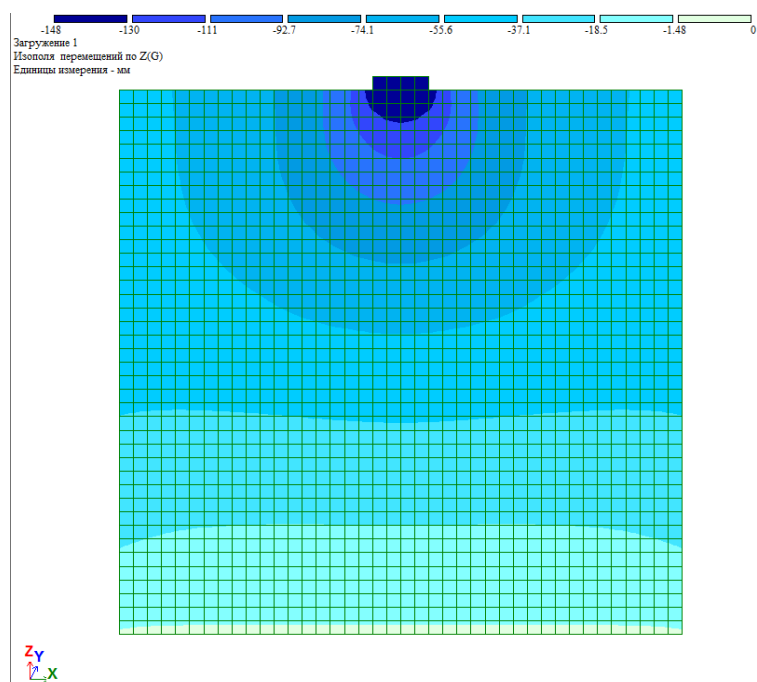


Рис. 5.13. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром 10–30%, РС-3 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 125 т

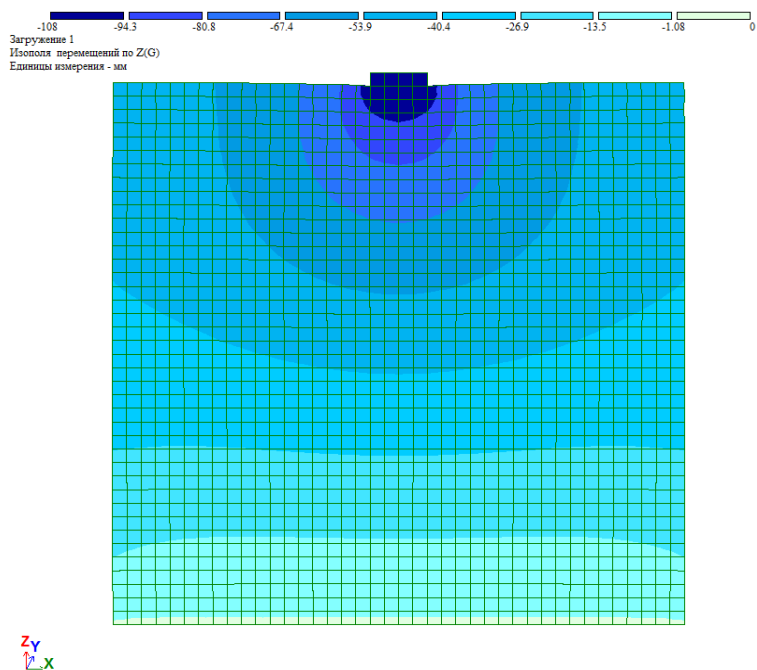


Рис. 5.14. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром L 10–30%, РС-4 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками та ґрунт з закріпленими характеристиками при навантаженні 125 т

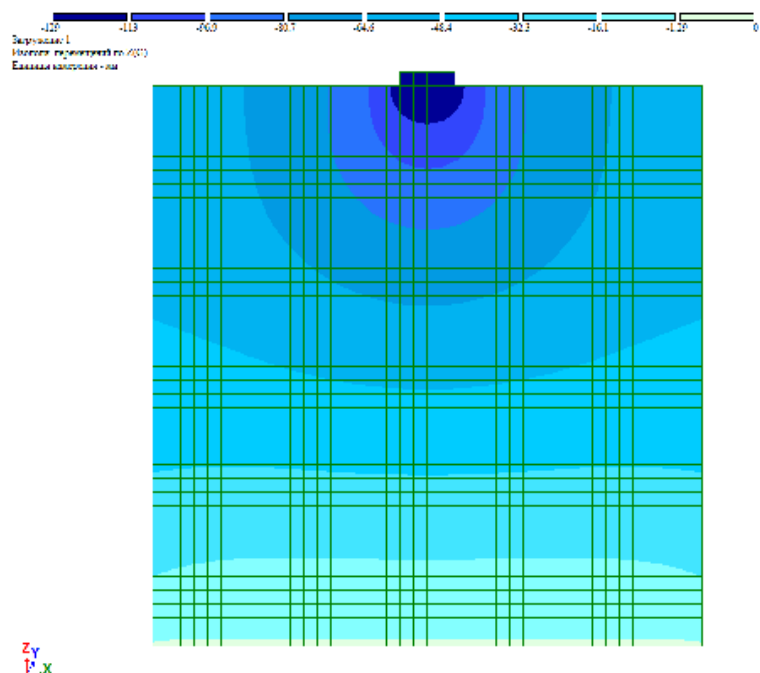


Рис. 5.15. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L > 30\%$, РС-1 увесь ґрунт з нормальними (природними) характеристиками при навантаженні 100 т

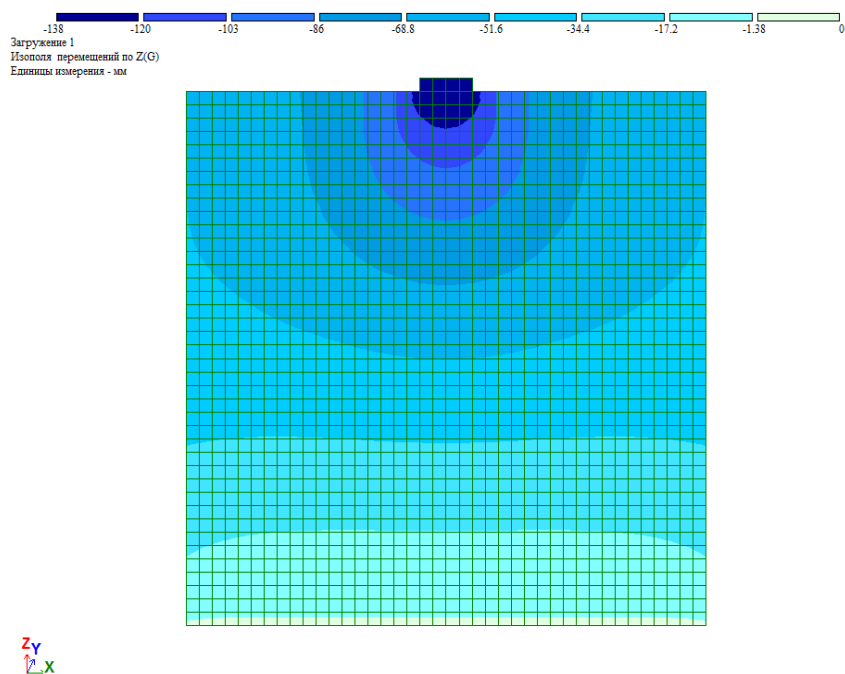


Рис. 5.16. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L > 30\%$, РС-2 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 100 т

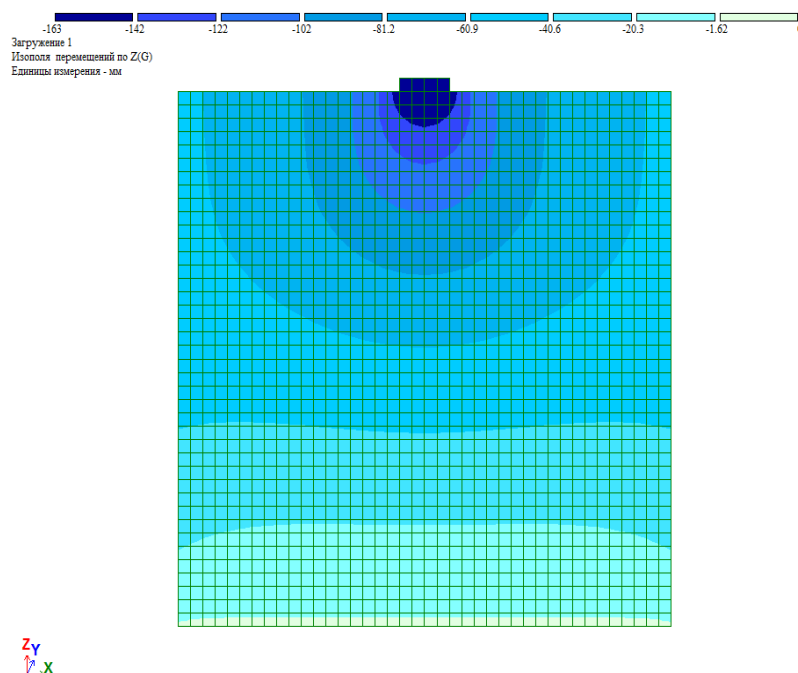


Рис. 5.17. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L > 30\%$, РС-3 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками. та ґрунт з закисленими характеристиками при навантаженні 125 т

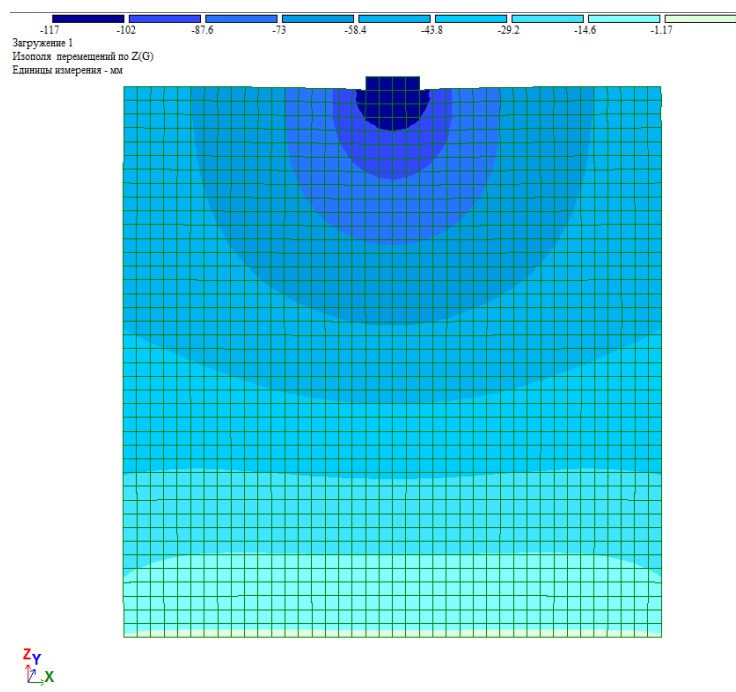


Рис. 5.18. Інтенсивності вертикальних переміщень масиву ґрунту з параметром $L > 30\%$, РС-4 - ґрунт з нормальними (природними) характеристиками та ґрунт з закріпленими характеристиками при навантаженні 125 т

Вісновки до розділу 5

1. Після проведення робіт по закріпленню ґрунтового масиву, забрудненого розчинами перексусної кислоти, величина деформацій зменшується на 26,11-48,9%.
2. Порівняння результатів розрахунків напруг вказують на те, що після проведення закріплення напруги в ґрунтовому масиві знижуються в 1,8-2,6 рази.
3. Моделювання поведінки ґрунтів до і після закріплення вказує на те, що після проведення робіт по поліпшенню будівельних властивостей масивів ґрунту (закріплення), забруднених розчинами перексусної 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%.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

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

1. Установлено найбільш ефективні склади силікатно-перексусних 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 раза 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 $\rho_s = 1,05 \text{ г/см}^3$ недоцільне через малий майданчик «буферності». Установлено, що зі зниженням щільності розчинів силікату натрію радіус закріплення збільшується з 0,52 м при $\rho_s=1,25 \text{ г/см}^3$ до 0,85 м при $\rho_s=1,10 \text{ г/см}^3$.

4. Виділені екологічно чисті склади силікатно-перуксусних гелів ($\text{pH}=6,0-8,0$), 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 глин міцність ґрунту $R_{\text{ст}}$ 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 перуксусної 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ржаницын Б. А. Химическое закрепление грунтов в строительстве / Б. А. Ржаницын. – М. : Стройиздат, 1986. – 263 с.
2. ДБН А.2.1-1-2008 Инженерные изыскания для строительства. – [Чинний від 2008–07–01]. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2018. – 74 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). Грунты. Лабораторні випробування. Загальні положення. – [Чинний від 1997–01–01]. – Київ : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 1997. – 26 с.
4. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах / Е. А. Сорочан. – М. : Стройиздат, 1989. – 312 с.
5. Терцаги К. Строительная механика грунта на основе его физических свойств / К. Терцаги. – М.-Л. : Госстройиздат, 1933. – 389 с.
6. Тер-Мартirosян З. Г. Механика грунтов : монография / З. Г Тер-Мартirosян. – М. : Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2009. – 552 с. – ISBN 978-5-93093-376-6.
7. Герсеванов Н. М. Основы динамики грунтовой массы / Н. М. Герсеванов. – М. : Госстройиздат, 1937. – 357 с.
8. Ананьев В. П., Передельский Л. В. Набухающие глинистые грунты Северного Кавказа / В. П. Ананьев, Л. В. Передельский. – Ростов н/Д. : Изд-во Ростов. ун-та, 1978. – 142 с.
9. Сорочан Е. А. Строительство сооружений на набухающих грунтах / Е. А. Сорочан. – М. : Стройиздат, 1989. – 312 с.
10. Храпатова И. В. Набухающие грунты в многослойном основании для фундаментных плит и малоэтажных зданий: дисс. ... канд. техн. наук : 25.23.02. / И. В. Храпатова. – Харків, 2008. – 184 с.
11. Boardman, D.I., Glendinning, S., Rogers, C.D.F., Development of stabilization and solidification in lime-clay mixtures / D. I. Boardman,

S. Glendinning, C. D. F. Rogers // *Geotechnique*, LI, 6 (August 2001). – pp. 533–543.

12. URL: <http://saitinpro.ru/glavnaya/nesushchie-konstruktsii/grunty-i-fundamenty/osnovaniya-fundamentov/nabuhayushhie-grunty/>

13. Piriyaikul K. & Haegeman W. Anisotropic stiffness parameters for cross anisotropy of kaolinite clay / K. Piriyaikul & W. Haegeman // *Proc. 16th Intern. Conf. Soil Mech. And Geot. Engng.* – Osaka, 2005. – P. 421–424.

14. Romana M. & Seron J. B. Characterization of swelling material by Huder-Amberg oedometric test / M. Romana & J. B. Seron. // *Proc. 16th Intern. Conf. Soil Mech. And Geot. Engng.* – Osaka, 2005. – P. 591–594.

15. Schultze E. Field methods to determine soil deformability under static loading / E. Schultze // *Proc. 6th Intern. Conf. Soil Mech. And Geot. Engng.*, – Canada, 1965. – vol. III, – P. 65–70.

16. Takahashi A., Fung D. W. H., Jarsine R. J. Swelling effects on mechanical behaviour of natural London clay / A. Takahashi, D. W. H. Fung, R. J. Jarsine // *Proc. 16th Intern. Conf. Soil Mech. And Geot. Engng.* – Osaka, 2005. – P. 443–446.

17. О природе сезонных деформаций толщи набухающе-усадочных грунтов / Е. А. Сорочан, В. Г. Чунихин // *Основания и фундаменты*. – 1968. – № 5. – С. 12–14.

18. Atkinson J. *The mechanics of soils and foundation* / J. Atkinson. – London and New York : Taylor & Francis, 2007. – 442 p.

19. Verruijt A. *Soil mechanics* / A. Verruijt. – VSSD, Delft, 2007. – pp. 346.

20. Head, K. H. *Manual of soils laboratory testing* / K. H. Head // Vol 2. *Permeability, shear strength and compressibility Tests*, ELE international limited, 1982.

21. ASTM D 4318-10 (2010). Standard test methods for liquid limit, plastic limit, and plasticity index of soils, Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA., USA.

22. Anderson K. O., Thompson S. Modification of expansive soils of western Canada with lime / K. O. Anderson, S. Thompson // Texas conference on expansive soils, 1969.

23. Лысенко М. П. Глинистые породы русской платформы / М. П. Лысенко. – М. : Недра, 1986. – 276 с.

24. Голли О. Р. Использование закономерностей набухания глинистых грунтов в строительстве / О. Р. Голли // Реконструкция городов и геотехническое строительство, 2004. – № 8.

25. Warkentin B. P., Bozozuk M. Shrinkage and swelling properties of two Canadian clays / B. P. Warkentin, M. Bozozuk // 5-th Congr. Int. soil mech. and found/ Eng., Paris, vol. 1.

26. Горькова И. И. Комплексная оценка набухающих грунтов / И. И. Горькова // *Строительство на набухающих грунтах: тезисы докладов II Всесоюзного совещания*. – М., 1972. – С. 26–28.

27. Горькова И. И. Природа прочности и деформационные особенности глинистых пород в зависимости от условий деформирования и увлажнения / И. И. Горькова. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 154 с.

28. Избаш Ю. В., Мишурова Т. В., Бронжаев М. Ф. Ликвидация последствий аварийного замачивания кислотой основания цеха ПО "ХИМПРОМ" в г. Славянске / Ю. В. Избаш, Т. В. Мишурова, М. Ф. Бронжаев // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 1989. – № 3. С. 11–12.

29. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В., Гринь В. И. Разрушение строительных конструкций цеха жидкого каустика, вызванное проливами щелочи в грунты основания / М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова, В. И. Гринь // *Труды научно-технич. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников*. – Харьков : ХГАГХ "Строительство и экология", 1996. – С. 16–17.

30. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лёссовой геологической среды / Н. М. Хансиварова, В. И. Коробкин, Р. М. Филь // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Сб. докл. Междунар. экологического конгресса. – Т. 2. (Санкт-Петербург, 14–16 июня 2000 г.) [под ред. Н. И. Иванова] // Балт. гос. техн. ун-т СПб., 2000. – С. 369–372.

31. Пособие по химическому закреплению грунтов инъекцией в промышленном и гражданском строительстве (к СНиП 3.02.01-83). – М. : Стройиздат, 1986. – С. 114.

32. Васильев А. М. Влияние коллоидов на некоторые строительные свойства глинистых грунтов: автореф. дисс. ... канд. геол.-минерал. наук / А. М. Васильев, 1960. – 17 с.

33. Хартута Н. Я., Васильев Ю. М. Некоторые закономерности набухания глинистых грунтов / Н. Я. Хартута, Ю. М. Васильев // *Инж.-физ. журнал*, 1960. – Т. 39. – С. 25–30.

34. Мальцев А. В. Химическое пучение грунтов в основании сооружений: дисс. канд. техн. наук 05.23.02. / Мальцев А. В. – М., 1993. – 399 с.

35. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В., Гринь В. И. Разрушение строительных конструкций цеха жидкого каустика, вызванное проливами щелочи в грунты основания / М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова, В. И. Гринь // Труды научно-техн. конф. преподавателей, аспирантов и сотрудников. – Харьков : ХГАГХ "Строительство и экология", 1996. – С. 16–17.

36. Хансиварова Н. М., Коробкин В. И., Филь Р. М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лёссовой геологической среды / Н. М. Хансиварова, В. И. Коробкин, Р. М. Филь // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Сб. докл. Междунар. экологического конгресса. Т. 2. (Санкт-Петербург, 14–16 июня 2000 г.) [под ред. Н. И. Иванова] // Балт. гос. техн. ун-т, СПб., 2000. – С. 369–372.

37. Мальцев А. В. Теоретические и экспериментальные исследования воздействия агрессивного замачивания на различные типы грунтов оснований // А. В. Мальцев // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1998. – № 3. – С. 15–18.

38. Евдокимова Л. А. Изменение химико-минерального состава глинистых грунтов при обработке их кремнефтористоводородной кислотой / Л. А. Евдокимова // Изменение геологической среды под влиянием деятельности человека. – М. : Наука, 1982. – С. 28–32.

39. Волков Ф. Е., Злочевская Р. И., Воронкевич С. Д. Влияние растворов щелочи высоких концентраций на деформационные и прочностные свойства полиминеральных глинистых грунтов / Ф. Е. Волков, Р. И. Злочевская, С. Д. Воронкевич // *Изменение геологической среды под влиянием человека*. – М. : Наука, 1982. – С. 9–13.

40. Белик Ф. А. Влияние кислотной обработки на физико-химические свойства глинистых минералов / Ф. А. Белик // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. – Киев : Наук. думка, 1973. – № 10. – С. 67.

41. Schwertmann U., Susser P., Natscher L. Protonen buffersubstanzen in Boden / U. Schwertmann, P. Susser, L. Natscher // *Pflanz. ernahr. und Bodenkunde*. – 1987. – Bd. 150 (3).

42. Mowbrey T., Schlesinger W. H. The buffer capacity of organic soils of the Bluff mountain fen, North Carolina / T. Mowbrey, W. H. Schlesinger // *Soil Sci*, 1988. – № 6. – V. 146.

43. Надточий П. П. Опыт составления картограммы кислотно-основной буферности почв / П. П. Надточий // *Агрохимия*, 1996. – № 6. – С. 20–26.

44. URL : <http://stroj-archive.ru/mehanika-gruntov/524-obschie-polozheniya-o-massivah-strukturno-neustoychivyh-gruntov.html>

45. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. – М., 2011. – 166 с.

46. Еврокод 7. Геотехническое проектирование. Часть 1. Общие правила. EN 1997-1:2008.

47. ВСН 33-2.2.07-86. Мелиоративные системы и сооружения. Сооружения на набухающих грунтах. Нормы проектирования. – М., 1986.

48. Преснов О. М., Лобанов В. С., Емельянов А. Н. Проблемы строительства на набухающих глинистых грунтах / О. М. Преснов, В. С. Лобанов, А. Н. Емельянов // *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.

49. Герсеванов Н. М. Основы динамики грунтовой массы / Н. М. Герсеванов. – ред. строит., мат. – М.–Л., 1937. – 242 с.

50. Нгуен Нгок Бик. Циклическое набухание глинистых грунтов : дисс. ... канд. геолого-минералог. наук : 05.23.02. / Нгок Бик Нгуен. – М., 1984. – 140 с.

51. Соколов В. Н. Влияние влажности на прочность структурных связей глинистых частиц / В. Н. Соколов // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. Геол.*, 1973. – № 6. – С. 100–104.

52. Рогаткина Ж. Е. Набухание и его влияние на изменение физико-механических свойств грунтов : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Ж. Е. Рогаткина. – М., 1968. – 25 с.

53. Преснов О. М., Лобанов В. С., Емельянов А. Н. Проблемы строительства на набухающих глинистых грунтах / О. М. Преснов, В. С. Лобанов, А. Н. Емельянов // *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.

54. Мишурова Т. В. Закрепление песчаных оснований, загрязненных фосфорнокислыми промстоками, в условиях действующего производства : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.02. Д. / Т. В. Мишурова. – 2001. – 171 с.

55. Бронжаев М. Ф. Метод расчёта параметров химического закрепления грунтовых массивов, загрязнённых фосфорнокислыми промстоками : дисс. ... канд. техн. наук : 05.23.02. Д. / Бронжаев М. Ф., 1997. – 179 с.

56. Воронкевич С. Д., Ларионова Н. А., Абрамова Т. Т. Физико-химические методы профилактики и ликвидации техногенных поражений геологической среды / С. Д. Воронкевич, Н. А. Ларионова, Т. Т. Абрамова // *Геоэкология*. – 2000. – № 1. – С. 72–79.

57. Воронкевич С. Д. Принципы и методы управления свойствами грунтов средствами технической мелиорации / С. Д. Воронкевич // *Инженерная геология*. – 1991. – № 5. – С. 3–18.

58. Бронжаев М. Ф. Метод стабилизации закислованных оснований промышленных предприятий здания цеха термофосфорной кислоты / М. Ф. Бронжаев // *Проблемы и перспективы освоения подземного пространства крупных городов*: III Междунар. научно-технич. конференция (Днепропетровск, 25-27 мая 1998 г.). Д. : РИК НГАУ, – 1998. – С. 46–49.

59. El Sharif M. Abdulaziz, Yahya K. Taha, Mamdouh A. Kenawi, Ahmed O. Kamel. Treatment of expansive soil with chemical additives / El Sharif M. Abdulaziz, Yahya K. Taha, Mamdouh A. Kenawi, Ahmed O. Kamel // *Journal of Engineering Sciences, Assiut University, Faculty of Engineering*, Vol. 41, No. 5. – 2013, pp. 1765–1777.

60. Honghua Zhao, Louis Ge, Thomas M. Petry, Yi-Zhen Sun. Effects of Chemical Stabilizers on an Expansive Clay / Honghua Zhao, Louis Ge, Thomas M. Petry, Yi-Zhen Sun // *KSCE Journal of Civil Engineering* (2014) 18(4), pp. 1009–1017.

61. Muhanned Qahtan Waheed. A Laboratory Evaluation of stabilization of silty clay soil by using Chloride Compounds / Muhanned Qahtan Waheed // *Engineering & Technology Journal*. – Vol. 30. – No.17, 2012. – pp. 3054–3064.

62. Phanikumar B. R., & Radhey S. Sharma. Effect of flyash on the Engineering properties of Expansive Soil / Phanikumar B. R., & Radhey S. Sharma. // *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. – Vol. 130. – No. 7, 2004. – pp. 764–767.

63. Radhakrishnan G., Dr M. Anjan Kumar, Dr GVR Prasada Raju. Swelling Properties of Expansive Soils Treated with Chemicals and Flyash / G. Radhakrishnan, Dr M. Anjan Kumar, Dr GVR Prasada Raju // *American Journal of Engineering Research (AJER)*. – Volume-03. – Issue-04, 2014. – pp. 245–250.

64. Amin Eisazadeh. Solid-state NMR and FTIR studies of lime stabilized montmorillonitic and lateritic clays / Eisazadeh Amin // *Journal of Applied Clay Science*. – Volume 67–68, 2012. – pp. 5–10.

65. Бронжаев М. Ф. Химическое закрепление закисленного грунта на Славянском ПО "ХИМПРОМ" / М. Ф. Бронжаев // *Коммунальное хозяйство городов*. – Київ : Техніка, 1996. – С. 95–98.

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

67. Мишурова Т. В. Свойства силикатно-фосфорнокислых гелей на основе силикатов калия и натрия / Т. В. Мишурова // *Комунальное хозяйство городов: Республиканский, межведомственный научно – технический сборник*. Вып. 14. – Київ : Техніка, 1998. – С. 61–64.

68. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В. Изучение вопроса надежности параметров закрепления грунтов фосфорно-силикатной рецептурой / М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова // XXVII науч.-техн. конф. преподавателей, аспирантов и студентов ХИИГХ. *Архитектура, строительство и экология*. – Харьков, 1994. – С. 20–21.

69. Бронжаев М. Ф., Мишурова Т. В. Физико-механические свойства силикатно-фосфорнокислых гелей при закреплении оснований коммунальных предприятий / М. Ф. Бронжаев, Т. В. Мишурова // *Коммунальное хозяйство городов. Республиканский, межведомственный научно – технический сборник*. Вып. 3. – Київ : Техніка, 1994. – С. 59–64.

70. Аскалонов В. В. Однорастворный способ силикатизации грунтов и перспективы его применения в строительстве: дисс... докт. геол.-минер. наук : 05.23.02. / В. В. Аскалонов. – М., 1949. – 290 с.

71. URL : <http://ru-ecology.info/term/77410/>

72. <http://www.geol.vsu.ru/ecology/ForStudents/4Graduate/GroundCleaning/Lecture2.pdf>

73. Трускавецький Р. С., Чешко Н. Ф., Цапко Ю. Л. Буферні механізми ґрунту: актуальність, стан і перспективи досліджень / Р. С. Трускавецький, Н. Ф. Чешко, Ю. Л. Цапко // *Вісн. аграрної науки*, 2006. – Спец. випуск, квітень. – С. 27–33.

74. Пособие по проектированию оснований зданий (к СНиП 2.02.01-83). – М. : Стройиздат, 1986. – 415 с.

75. ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 18 с.

76. ГОСТ 25584-83 Грунты. Метод лабораторного определения коэффициента фильтрации. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 7 с.

77. Грунти. Методи визначення характеристик міцності та деформованості. ДСТУ БВ.2.1 – 4 – 96. – Київ, 1997.

78. ГОСТ 12248-78. Грунты. Метод лабораторного определения сопротивления срезу. – М. : Изд-во стандартов, 1978. – 11 с.

79. ГОСТ 23908 - 79*. Грунты. Метод лабораторного определения сжимаемости. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 11 с.

80. ДСТУ Б В.2.1-3-96 (ГОСТ 30416-96). Грунти. Лабораторні випробування. Загальні положення.

81. ГОСТ 25100-82. Грунты. Классификация. – М. : Изд-во стандартов, 1983. – 12 с.

82. ГОСТ 12536-79. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 15 с.

83. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород. Том 2: Лабораторные методы / [под ред. Е. М. Сергеева, 2-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Недра, 1984. – 438 с.

84. Лурье Ю. В. Справочник по аналитической химии / Ю. В. Лурье. – М. : Химия, 1979. – С. 228–230.

85. Ананьев В. П., Зеленский В. Ю., Шувалова Л. П., Исаев Б. Н. Силикатизация лёссовых грунтов / В. П. Ананьев, В. Ю. Зеленский, Л. П. Шувалова, Б. Н. Исаев. – Ростов н/Д. : Изд-во Ростовского ун-та, 1985. – С. 23–31.

86. Bronchaev M. F., Mishurova T. V. The newest techniques on improving industrial polluted soils / M. F. Bronchaev, T. V. Mishurova // Second International Conference on Ground Improvement Geosystem. Grouting and Deep Mixing. – Arusaka, Minato-ku, Tokio, 1996.

87. Камберфор А. Инъекция грунтов / А. Камберфор. – М. : Энергия, 1971. – С. 243–269.

88. ДСТУ БВ.2.1 – 4 – 96. Грунти. Методи визначення характеристик міцності та деформованості. – Київ, 1997.

89. ГОСТ 17245-79. Грунты. Методы лабораторного определения временного сопротивления при одноосном сжатии. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 31 с.

90. ДСТУ Б В.2.1-2-96. (ГОСТ 25100-95). Грунти. Класифікація. "Укрархбудінформ". – С. 51.

91. Левенко А. М., Бронжаев М. Ф. Механические свойства песчаных и пылевато-глинистых грунтов под воздействием перуксусной кислоты /

А. М. Левенко, М. Ф. Бронжаев // *Будівельні конструкції: Міжвідомчий наук.-техн. збірник наук. праць (будівництво)* / ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій». Вип. 83: К.1. – Київ : ДП НДІБК, 2016. – С. 334–341.

92. Бронжаев М. Ф., Левенко А. М. Исследование параметров, влияющих на набухающие свойства грунтов / М. Ф. Бронжаев, А. М. Левенко // *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць*. Випуск 30. – Рівне, 2015. – С. 448–456.

93. Филеп Д., Рэдли М. Формы кислотности и кислотнo-основная буферность почв / Д. Филеп, М. Рэдли // *Почвоведение*, 1989. – № 12. – С. 48–59.

94. Хуа Ло. Буферность почв по отношению к тяжелым металлам и фтору в некоторых почвах КНР / Ло Хуа // *Изв. ТСХА*. – Вып.1, 1991. – С. 202–206.

95. Трускавецький Р. С. Буферність ґрунту: методологія, види, меліоративне та агроєкологічне значення / Р. С. Трускавецький // *Матеріали IV з'їзду УТГА. Пленарні доповіді*. – Харків, 1994. – С. 38–41.

96. Позняк С. П., Гамкало М. З. Кислотнo-основная буферность бурозёмов Украинских Карпат / С. П. Позняк, М. З. Гамкало // *Почвоведение*, 2001. – № 6. – С. 660–669.

97. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції / Р. С. Трускавецький. – Харків : ППВ „Нове слово”, 2003. – 225 с.

98. Левенко Г. М. Визначення буферних властивостей пілувато-глинистих та піщаних ґрунтів / Г. М. Левенко // *Зб. наук. праць УЖУЗТ*. – Харків, 2015. – № 153. – С. 143–148.

99. Цапко Ю. Л. Науковий моніторинг ґрунтів за графічними моделями буферності / Ю. Л. Цапко // *Вісник ХНАУ*. – Харків, 2004. – № 1. – С. 114–117.

100. Городный Н. М. Агрохимия / Городный Н. М. – Киев : Высшая школа, 1990. – С. 88.

101. Анньев В. П., Передельский Л. В. Инженерная геология и гидрогеология / В. П. Анньев, Л. В. Передельский. – М. : Высшая школа, 1980. – С. 68.

102. Соколович В. Е. Химическое пучение глинистых и песчаных грунтов / В. Е. Соколович // Основания, фундаменты и механика грунтов, 1995. – № 4.

103. Хансиварова Н. М., Коробкин В. И., Филь Р. М. Экологические проблемы городов в связи с химическим загрязнением лессовой геологической среды / Н. М. Хансиварова, В. И. Коробкин, Р. М. Филь // *Новое в экологии: Сб. докладов Международного экологического конгресса*. – Т. 2; Балт. гос. тех. ун-т, СПб, 2000. – С. 369–372.

104. Patil B. M., Patil K. A. Effect of industrial waste and RBI Grade 81 on swelling characteristics of clayey soil / B. M. Patil, K. A. Patil // *Facta Universitatis Series : Architecture and Civil Engineering*, 2013; 11(3), hh. 231–236.

105. Покровский Т. И. Капиллярные силы в грунтах / Т. И. Покровский. – М. : Госстройиздат, 1933. – 20 с.

106. Соколович В. Е., Заварин В. С. Устойчивость песчаных грунтов, закреплённых способом однорастворной силикатизации / В. Е. Соколович, В. С. Заварин // *Основания и фундаменты в сложных инженерно-геологических условиях. Межвузовский сборник*. – Казань, 1989. – С. 12–14.

107. Чаликова Е. С., Степанова Е. В. Долговечность силикатных тампонажных растворов / Е. С. Чаликова, Е. В. Степанова // *Материалы к пятому совещанию по закреплению и уплотнению грунтов*. – Новосибирск, 1966. – С. 163–167.

108. Соколович В. Е. Химическое закрепление грунтов / Соколович В. Е. – М. : Стройиздат, 1980. – С. 118.

109. Головкин С. И. Теория и практика усиления грунтовых оснований методом высоконапорной цементации : монография / С. И. Головкин. – Днепропетровск : Пороги, 2010. – 247 с.

110. Петросян Л. Р., Ржаницын С. Ю. Опыт применения гидроструйной технологии для укрепления грунтов / Л. Р. Петросян, С. Ю. Ржаницын // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 1988. – № 1. – С. 12–13.

111. Yahiro T., Yoshida H., Nishi K. Sheet piles driving and h-steel pulling by high speed water jets / T. Yahiro, H. Yoshida, K. Nishi // *Iet Gutting Technology. / Fifth international symposium on jet cutting technology*. – Hannover, 1980. – P. 237–250.

112. Смородинов М. И., Корольков В. Н. Струйная технология устройства противодиффузионных завес и несущих конструкций в грунте / М. И. Смородинов, В. Н. Корольков // *Технология строительно-монтажных работ*. – М. : ВНИИМС Госстроя СССР, 1984. – Вып. 1. – 41 с.

113. Хасин М. Ф., Малышев Л. И., Бройд И. И. Струйная технология закрепления грунтов / М. Ф. Хасин, Л. И. Малышев, И. И. Бройд // *Основания, фундаменты и механика грунтов*, 1984. – № 5. – С. 10–12.

114. Губкин В. А. Опыт внедрения барьерной силикатизации в строительстве / В. А. Губкин // *Ускорение научн.-техн. прогресса в фундаментостроении. Сб. науч. трудов*. – М. : Стройиздат, 1987. – Т. 1. – С. 271–272.

115. ДБН В.21.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. – С. 107.

116. Винников Ю. Л. Математичне моделювання взаємодії фундаментів з ущільненими основами при їх зведенні та наступній роботі : монографія / Ю. Л. Винников. – Полтава : ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка, 2004. – 237 с.

117. Габибов Ф. Г. Проблемы регулирования свойств структурно-неустойчивых глинистых грунтов в основаниях сооружений / Габибов Ф. Г. – Баку : «ЭЛМ», 1997. – 287 с.

118. Воблых В. А., Кичаева О. В. Моделирование грунтового основания из набухающих грунтов при определении напряженно-деформированного состояния системы «основание – фундамент – сооружение» / В. А. Воблых,

О. В. Кичаева // *Науковий вісник будівництва*. – Харьков : ХГТУСА, 2003. – Вып. 23. – С. 55–59.

119. Головки С. И. Напряженно-деформированное состояние основания в процессе высоконапорного инъецирования / С. И. Головки // *Будівельні конструкції: Зб. наук. праць*. – Київ : НДІБК, 2004. – Вип. 61. – Том 1. – С. 42–47.

120. <http://stroj-archive.ru/mehanika-gruntov/526-nabuhayuschie-glinistye-grunty.html>

121. Шигаев В. Ю. Геофизические методы геоэкологических исследований урбанизированных территорий / В. Ю. Шигаев // *Экология фундаментальная и прикладная: Проблемы урбанизации*. Матер. Междунар. научно-практической конференции (Екатеринбург, 3-4 февр., 2005 г.). – Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2005. – С. 387–395.

122. Rogobete Gh., Tarau D., Bertici R. Study of a soil with swelling and shrinking phenomena / Gh. Rogobete, D. Tarau, R. Bertici // *Factori și Procese Pedogenetice din Zona Temperată 10 S. nouă* (2011) pp. 148–155 .

123. URL : <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/thesis/s035/s035-054.pdf>

124. Radhakrishnan G., Dr M. Anjan Kumar. Dr GVR Prasada Raji. Swelling properties of expansive soils treated with chemicals and flash / G. Radhakrishnan, Dr M. Anjan Kumar. Dr GVR Prasada Raji. // *American Journal of Engineering Research (AJER)*, volume 03, issue – 04, 2014, hh. 245–250.

Додаток А

МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ УКРАЇНИ

Державне підприємство "Харківський регіональний
науково-виробничий центр стандартизації,
метрології та сертифікації"



СВІДОЦТВО ПРО АТЕСТАЦІЮ

№ 100-284/2012

Видано "20" листопада 2012 р.

Чинно до "19" листопада 2015 р.

Це свідоцтво засвідчує, що геотехнічна лабораторія
Товариства з обмеженою відповідальністю
«МІЖВІДОМЧИЙ ЦЕНТР ІНЖЕНЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ»,
розташована за адресою:
61058, м. Харків, вул. Ромена Ролана, 12,
відповідає критеріям атестації й атестована на
проведення вимірювань у сфері поширення державного
метрологічного нагляду згідно з галуззю атестації.

Галузь атестації наведена в додатку до цього свідоцтва
і є його невід'ємною частиною.

Заступник генерального
директора з метрології

В. М. Чепела



Без додатку свідоцтво про атестацію не дійсне.

Додаток на 1 аркуші.

Додаток Б

ДОВІДКА

Дана на підставі Угоди про співпрацю №113 від 17 грудня 2013 року, для додатка в дисертаційну роботу Левенко Г. М. на тему "Закріплення ґрунтових основ закислених промисловими стоками харчової промисловості" про те, що дослідження фізичних і механічних властивостей ґрунтів проводилися на базі геотехнічної лабораторії ТОВ "Міжвідомчий центр інженерних досліджень", розташований за адресою 61058, м. Харків, вул. Ромена Ролана, 12. Свідчення про атестацію №100-284/2012. Свідчення про атестацію додається.

Технічний директор

ТОВ "Міжвідомчий центр
інженерних досліджень"



В.В. Галат

Додаток В

Украина, г. Харьков,
Ул. Автогенная, 12
Тел. 8 (0572) 93-40-25
8 (0572) 94-37-30
8 (057) 719-96-93



СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА

СТЕКЛО ЖИДКОЕ (НАТРИЕВОЕ)

ГОСТ 13078-81

Партия : № 04
Дата производства : 01.2012г
Упаковка :

Страна происхождения : Украина
Срок годности : 2 года
Масса нетто :

Химическая формула :

Молекулярная масса :

Физико-технические параметры

Показатель	Норма	Факт
Внешний вид	Желеобразная масса серого цвета	Соответствует
Показатели качества в перерасчете на силикат натрия сухой:		
-SiO ₂	72,2	72,2
-Na ₂ O	27,3	27,3
-силикатный модуль	2,73	2,98
Плотность	1,45	1,45

Экологически чистый продукт. Не горюче, не взрывоопасно.

Соответствует ГОСТ 13078-81

Додаток Г

ПУБЛІЧНЕ АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
"УКРГІДРОПРОЕКТ"



UKRHYDROPROJECT
PUBLIC JOINT-STOCK COMPANY

61166, Україна, м. Харків, пр. Леніна, 9
Телефон +38(057)7-175-705
Факс +38(057)7-194-730
E-mail water@uhp.kharkov.ua
http www.uhp.kharkov.ua



9 Lenin Avenue, Kharkiv, 61166 Ukraine
Telephone +38(057)7-175-705
Fax +38(057)7-194-730
E-mail water@uhp.kharkov.ua
http www.uhp.kharkov.ua

ЗАТВЕРДЖУЮ

Генеральний директор
ПАО «УКРГІДРОПРОЕКТ»
Кривицький В. В.

АКТ

впровадження результатів дисертаційного дослідження **Левенко Ганни Михайлівни** на тему «**Закріплення ґрунтових основ закислених промисловими стоками підприємств харчової промисловості**» на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.02 – основи та фундаменти.

Ми, що нижче підписалися, склали даний акт про впровадження результатів дисертаційного дослідження Левенко Ганни Михайлівни на тему «Закріплення ґрунтових основ закислених промисловими стоками підприємств харчової промисловості».

Запропоновані удосконалена методика розрахунку параметрів хімічного закріплення ґрунтів та рекомендації щодо ефективних співвідношень компонентів запропонованих розчинів були застосовані при:

1 Реконструкції гідротехнічних споруд Дніпровського каскаду ГЕС та ГАЕС.

2 Реконструкції Дністровських ГЕС та ГАЕС.

Економічний ефект від впровадження розробленої здобувачем рецептури закріплення ґрунтів, що були забруднені промисловими стоками усередньому склав 50- 70грн на 1м3 закріпленого ґрунтів основи. Що в цілому дає до 5 % економії загальної вартості з урахуванням додаткових витрат.

Керівники:

Технічний директор

Керівник відділу гідротехнічних споруд

Галат В.В.

Крайнік В.Я.



ПРОЕКТНО-ІНЖЕНЕРНИЙ КОМПЛЕКС "ГРАНТ"
ТОВ "УКРАЇНСЬКИЙ ПРОЕКТ"
ТОВ "УКРГІДРОПРОЕКТ"
ТОВ "УКРАТОМЕНЕРГОПРОЕКТ"
ТОВ "МІЖВІДОМЧИЙ ЦЕНТР ІНЖЕНЕРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ"