



**ЛАРЦЕВА ІРИНА ІГОРІВНА**

Кандидат технічних наук, доцент кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, член Всеукраїнського товариства механіки ґрунтів, геотехніки та фундаментобудування.

Основні напрямки діяльності: дослідження і розрахунок закріплення ґрунтів ґрунтоцементними елементами; дослідження фізико-механічних характеристик та водонепроникності ґрунтоцементу як матеріалу; розрахунок і проектування основ, фундаментів, підпірних стін у складних інженерно-геологічних умовах.

Автор 20 наукових праць.  
e-mail: larchik.84@mail.ru

УДК 624.131.543

## ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІЦНОСТІ ҐРУНТІВ, ЗАКРІПЛЕНИХ ВЕРТИКАЛЬНИМИ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

*Ключові слова:* зсувонебезпечний схил, бурозмішувальна технологія, ґрунтоцементні елементи, структурне зчеплення, одноплосинне зрушення.

*Вивчення поліпшення структурного зчеплення цементациєю виконане на лабораторному та стендовому приладі шляхом проведення випробувань на одноплосинне зрушення закріплених зразків. Проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану закріпленого ґрунту методом скінченних елементів, результати якого узгоджуються з експериментальними даними. Запропоновано методіку визначення характеристик міцності закріпленого ґрунту, зокрема, структурного зчеплення.*

*Изучение улучшения структурного сцепления цементацией выполнено на лабораторном и стендовом приборах путем проведения испытаний на одноплоскостной срез закрепленных образцов. Проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния закрепленного грунта методом конечных элементов, результаты которого согласованы с экспериментальными данными. Предложена методика определения характеристик прочности закрепленного грунта, в частности, структурного сцепления.*

*Examination of improvement of structural cohesion by cementation was performed on a laboratory and stand device by testing it concerning one-plane displacement of the fastened samples.. The numerical design of tensely-deformed state of fastened soil is performed by the method of ultimate elements and results of which are coordinated with experimental information. The method of determination of durability characteristics of the fastened soil is offered, particularly for structural cohesion*

### ВСТУП

В наш час, у зв'язку з освоєнням зсувонебезпечних територій під будівництво, виникає необхідність збереження їх у стабільному (стійкому) стані протягом тривалого часу. Поширеними методами стабілізації та запобігання зсувам є спорудження утримуючих споруд різних типів, таких, як підпірні стінки, пальові ряди, контрбанкети тощо. Використовується також поліпшення властивостей ґрунтів з метою штучного збільшення їх міцності. Серед цих методів ін'єкційна цементация ґрунтів застосовується частіше за інші, але вона ефективна лише для тріщинуватих скельних порід, щебенів і крупних пісків. Слабопроникні глинисті ґрунти, які в центральній Україні найбільш розповсюджені та беруть участь у зсувних процесах, таким методом не закріплюються.

В останні роки дістав визнання метод цементациі глинистих ґрунтів шляхом їх армування вертикальними ґрунтоцементними елементами (ГЦЕ). Такі елементи можна влаштувати, використовуючи наступні технології: бурозмішувальну, струминну та струминно-змішувальну [1–6]. На території України поширена цементация за бурозмішувальною технологією, яка дозволяє поліпшувати слабкі глинисті ґрунти навіть текучої консистенції. Завдяки нагнітанню в ґрунт цементного розчину відбувається скріплення частинок і агрегатів ґрунту, тобто виникає штучне структурне зчеплення, а ґрунт набуває певної жорсткості.

Надійність, технологічність, економічність, невеликі енергоємність і матеріаломісткість – це основні показники, які обґрунтовують актуальність досліджень використання ґрунтоцементу для закріплення ґрунтів зсувонебезпечних схилів.



**НЕВИРШЕНІ ПРОБЛЕМИ, ЯКИМ ПРИСВЯЧЕНА РОБОТА**

Характеристики міцності ґрунтів, зокрема структурне зчеплення ґрунту, є визначальними в багатьох розрахунках, особливо при оцінюванні стійкості зсувних і зсувонебезпечних територій та схилів. Існує багато методів визначення показників механічних характеристик, які ввійшли у державні стандарти. При визначенні показників міцності ґрунтів, котрі утворюють схил, необхідно користуватися методом, що найбільш повно відповідає виду деформацій ґрунтової основи. Для дослідження ґрунтів зсувонебезпечних схилів таким методом є випробування на прямий зріз.

Визначення напружено-деформованого стану (НДС) при різних параметрах армованої основи нині реалізується за допомогою чисельних методів.

Згідно з діючими нормами [7] деформативність утвореної штучної основи визначається як середньозважена між ґрунтом та елементами закріплення. Проте сьогодні ще немає методики, яка дозволяє визначати показники міцності системи "ґрунт – елементи армування".

**ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕНЬ**

За основний метод визначення характеристик міцності ґрунтів прийнято випробування на одноплощинне зрушення. Цей метод найточніше моделює особливості роботи ґрунту при зсувних процесах і дозволяє визначати кут внутрішнього тертя  $\phi$  та питоме (довготривале) зчеплення  $c$  ґрунту, яке складається зі структурного  $c_{st}$  і водноколоїдного  $c_w$  зчеплень.

Для дослідження ефекту закріплення ґрунтів зсувонебезпечних територій ГЦЕ використано такі ґрунти:

- ґрунт №1 – суглинок лесований, світло-жовтий, високопористий, просадочний, твердий, із числом пластичності  $I_p = 0,09$ ;
- ґрунт №2 – суглинок лесований, світло-коричневий, напівтвердий, високопористий, із числом пластичності  $I_p = 0,11$ .

Ці ґрунти найчастіше беруть участь у зсувних процесах: по них проходять поверхні ковзання; вони зсуваються по підстилаючих шарах. Для досліджень спеціально були використані ґрунти порушеної структури, оскільки в них структурні зв'язки вже зруйновані. Для випробувань ґрунтів зсувних і зсувонебезпечних територій необхідно, щоб їх фізичні характеристики при випробуванні якнайточніше відповідали природним при прогнозованій критичній ситуації, тому досліджувані суглинки були доведені до текучопластичної консистенції. На момент випробувань вологість закріплених ґрунтів становила  $W = 0,28$ .

Лабораторні випробування армованих ґрунтів виконувались на приладі одноплощинного зрізу ПСГ-2М конструкції інституту "Гідропроєкт". Розміщення ГЦЕ армування виконувалося за схемою, поданою на рис. 1. Також одна серія зразків виготовлялася без армування. За процент армування ґрунту прийнято відношення сумарної площі поперечних перерізів ГЦЕ до площі поперечного перерізу зразка. В цьому випадку площа зразка дорівнює  $40 \text{ см}^2$ . Діаметр елементів становить 4 мм, висота – 30 мм. Верхні та нижні 2 – 3 мм свердловини заповнювалися ґрунтом. Ґрунтоцемент був виготовлений із ґрунту, цементу (15 % від ваги сухоґрунту) й води ( $V/C = 1$ ). Після виготовлення зразки зберігалися протягом 28 діб у вологому ексікаторі для набуття ґрунтоцементом необхідної міцності. По закінченні цього строку зразки випробовувались на приладі ПСГ-2М при трьох вертикальних тисках 0,05, 0,1 та 0,15 МПа за схе-

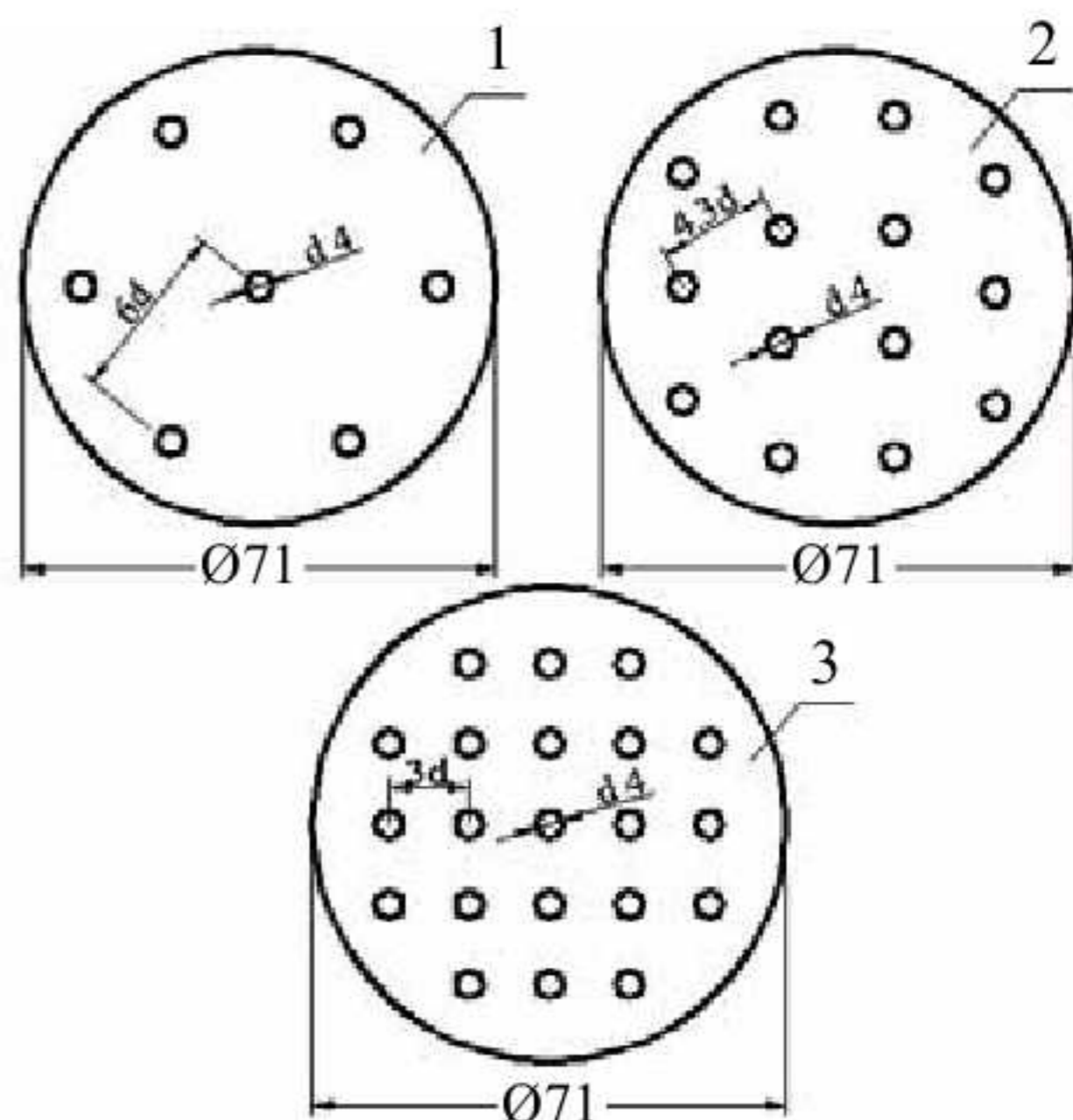


Рис. 1 Зразки закріпленого ґрунту: 1 – 2,2 % (7 ГЦЕ); 2 – 4,4 % (14 ГЦЕ); 3 – 6,6 % (21 ГЦЕ).

мою неконсолідовано-недренованого випробування. Для однієї серії зразків проводилося 6 випробувань на одноплощинне зрушення.

За результатами кожного окремого зрушення були побудовані графіки залежності дотичних напружень від деформацій у логарифмічних координатах " $lg\tau - lg\Delta l$ ". Приклад одного з таких графіків подано на рис. 2. Такі побудови дозволяють не проводити повторних випробувань ґрунту "плашка по плашці", як того вимагає ДСТУ Б В.2.1-2-96, а визначати дотичні напруження, котрі відповідають структурному та довготривалому зчепленню, за одним графіком випробувань зразків ґрунту.

Далі за методом найменших квадратів згідно з формулами вищезгаданого ДСТУ визначалися параметри міцності (структурне  $c_{st}$  і довготривале  $c$  зчеплення та кут внутрішнього тертя  $\phi$ ), значення яких для досліджуваних ґрунтів наведено в табл. 1. Графіки залежності міцності закріплених суглинків лесованих № 1 ( $I_p = 0,09$ ) і

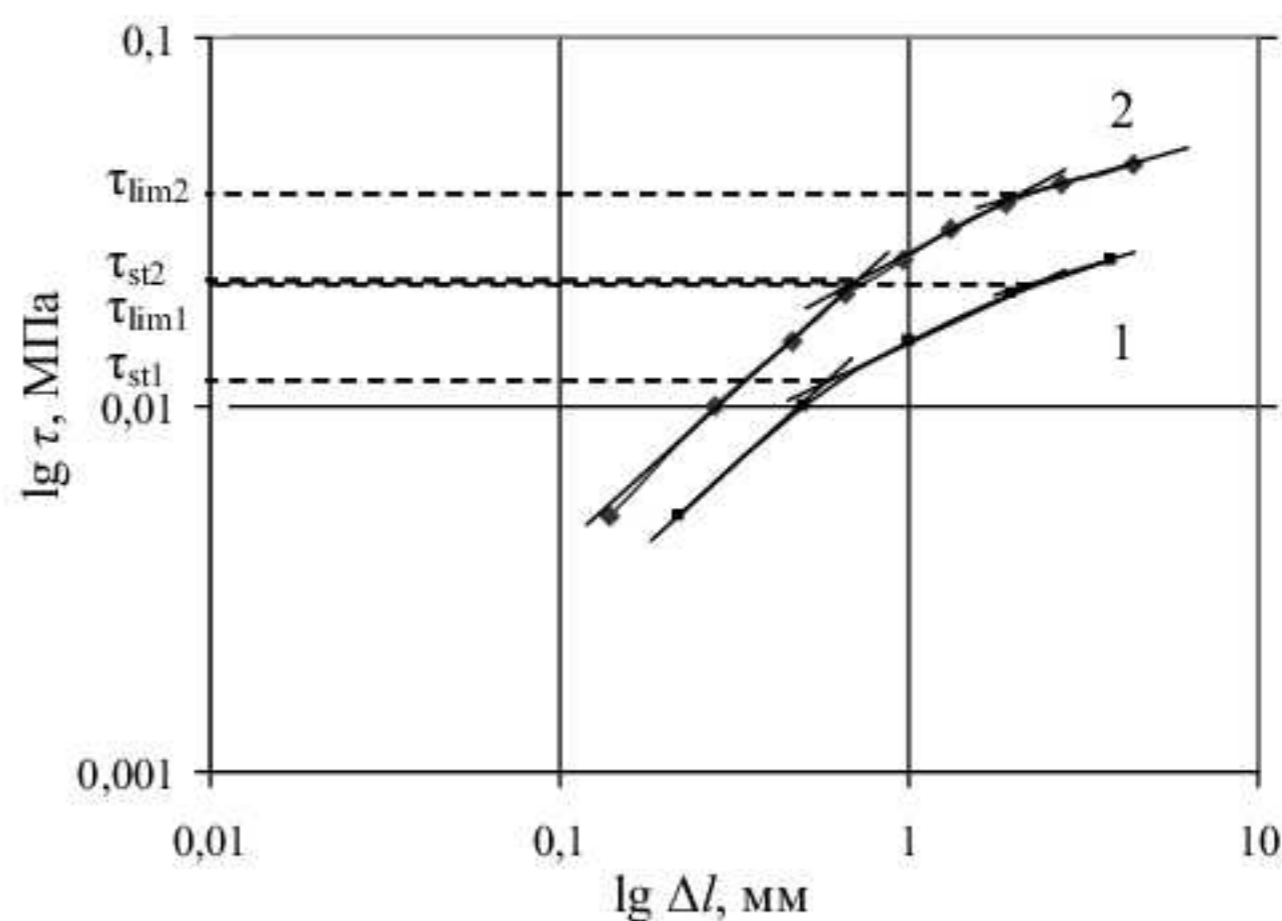


Рис. 2 Графік залежності дотичних напружень  $lg\tau$  від деформацій  $lg\Delta l$  при  $\sigma = 0,1 \text{ МПа}$  для ґрунту №1: 1 – незакріпленого; 2 – при  $i = 4,4 \%$ .



Таблиця 1  
Зіставлення характеристик міцності незакріпленого і закріпленого ґрунту за результатами лабораторних досліджень

Процент армування $i$ , %	Ґрунт №1 ( $I_p = 0,09$ ) (порушена структура)		Ґрунт №2 ( $I_p = 0,11$ ) (порушена структура)	
	$c_{st}$ , кПа/ $\varphi_1$ , град.	$c$ , кПа/ $\varphi_2$ , град.	$c_{st}$ , кПа/ $\varphi_1$ , град.	$c$ , кПа/ $\varphi_2$ , град.
0	1,2/6	11,8/7	0,7/10	20,6/10
2,2	5,3/6	20,3/7	6,8/10	33,7/10
4,4	12,3/7	23/8	-	-
6,6	14,3/7	33/9	12,3/10	38,3/10

теристики міцності армованих ґрунтів був використаний стендовий прилад одноплощинного зрушення ґрунту СПЗ-1, зображений на рис. 5. Прилад СПЗ-1 відповідає всім вимогам ДСТУ стосовно обладнання, яке застосовується для випробувань на одноплощинне зрушення. На відміну від лабораторного приладу

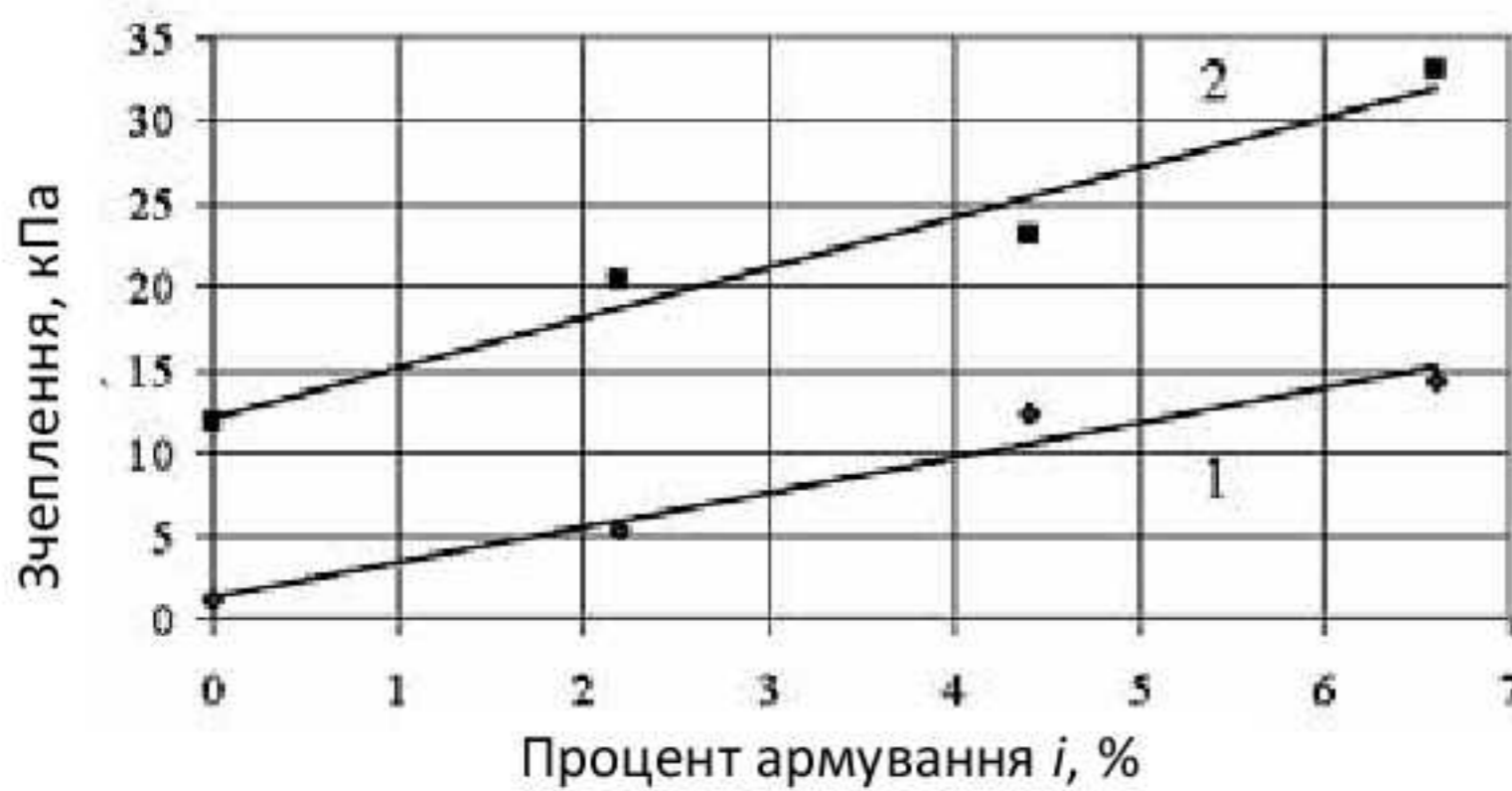


Рис. 3 Залежність структурної та довготривалої міцності від процента армування для ґрунту №1 ( $I_p = 0,09$ ): 1 - структурне зчеплення; 2 - довготривале (питоме) зчеплення.  
 $1 - c_{st} = 2,105 i + 1,33 (r = 0,96) [кПа]$ ;  
 $2 - c = 3,01 i + 12,08 (r = 0,96) [кПа]$ .

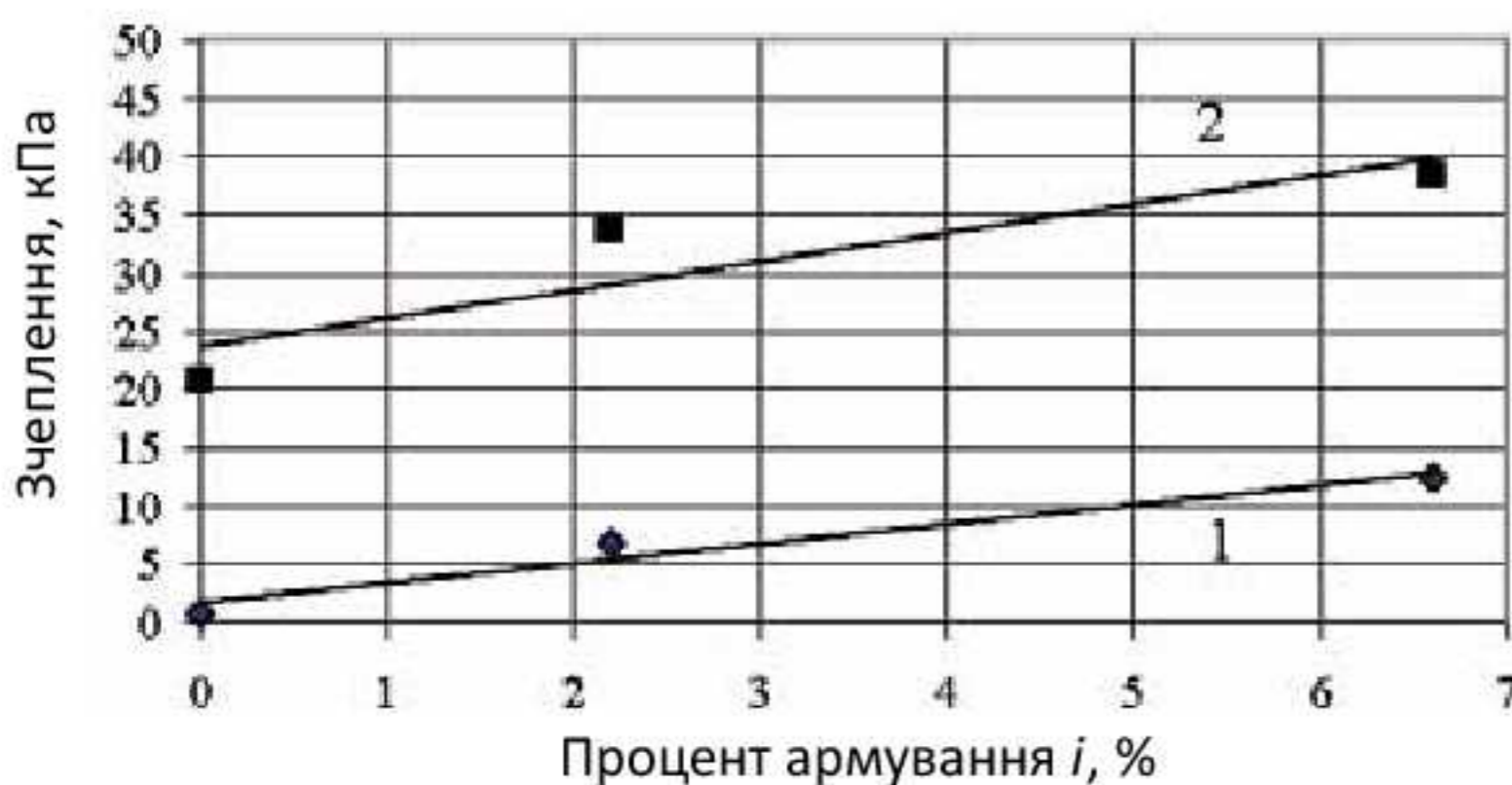


Рис. 4 Залежність структурної та довготривалої міцності від процента армування для ґрунту №2 ( $I_p = 0,11$ ): 1 - структурне зчеплення; 2 - довготривале (питоме) зчеплення.  
 $1 - c_{st} = 1,685 i + 1,66 (r = 0,95) [кПа]$ ;  
 $2 - c = 2,45 i + 23,69 (r = 0,81) [кПа]$ .

№2 ( $I_p = 0,11$ ) від процента армування за результатами лабораторних випробувань подано на рис. 3 та рис. 4 відповідно.

Ці графіки (рис. 3, 4) чітко ілюструють ефект закріплення ґрунтів ГЦЕ: при збільшенні процента армування збільшується міцність поліпшеного ґрунту, причому ця залежність є лінійною, що підтверджується коефіцієнтом кореляції, значення якого більше ніж 0,80.

Для оцінювання впливу масштабного фактора на харак-

ПСГ-2М стендовий прилад передбачає зміщення нижньої частини зразка відносно верхньої.

За допомогою цього приладу були проведені випробування на одноплощинне зрушення ґрунтів №1 і №2 порушеної структури без закріплення та із закріпленням вертикальними ГЦЕ. Діаметр зразків становить 290 мм ( $A = 660 \text{ см}^2$ ) та 260 мм ( $A = 530,7 \text{ см}^2$ ), висота - 220 мм. Тобто площа поперечного перерізу досліджуваних зразків для стендових випробувань в 16,5 і 12,8 разів відповідно перевищує площу зразків ґрунту для лабораторних випробувань, у яких площа поперечного перерізу становить  $A = 40 \text{ см}^2$ . На момент випробувань вологість закріплених ґрунтів становила  $W = 0,28$ .

Розміщення вертикальних ГЦЕ виконувалося за схемою, поданою на рис. 6. Ґрунт №1 закріплювався з процентом армування  $i = 2,6$  та 4,4 %; ґрунт №2 - з  $i = 2,6$  та 3,0 %. Також одна серія зразків виготовлялася без армування. Діаметр елементів становить 14 мм, висота - 180 мм. Верхні та нижні 20 мм свердловини заповнювалися ґрунтом. Ґрунтоцемент був виготовлений із ґрунту, цементу (15 % від ваги сухого ґрунту) й води ( $B/C = 1,5-2$ ). Витрата води для суміші порівняно з ґрунтоцементом, яким закріплювались кільця діаметром 71 мм, збільшена для того, щоб досягти достатньої пластичності суміші при нагнітанні у свердловину. Після виготовлення зразки зберігалися протягом 28 діб у вологих умовах. По закінченні цього строку вони випробовувались на приладі СПЗ-1 тільки при одному вертикальному тискові 0,1 МПа. Для однієї серії зразків проводилося 6 випробувань на прямий зріз.

За результатами зрушень були побудовані графіки залежності "логарифм дотичних напружень  $lgt$  - логарифм деформацій  $lg\Delta l$ ", за якими визначили граничні опори зрушенню, що відповідають структурному та довготривалому зчепленню. Параметри міцності для закріплених ґрунтів розраховувались із рівняння Мора - Кулона

$$\tau_{st} = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c_{st}; \quad (1)$$

$$\tau = \sigma \operatorname{tg} \varphi + c. \quad (2)$$

При визначенні параметрів міцності прийнято наступне: кут внутрішнього тертя ґрунту при закріпленні ГЦЕ не змінюється; структурне зчеплення незакріпленого



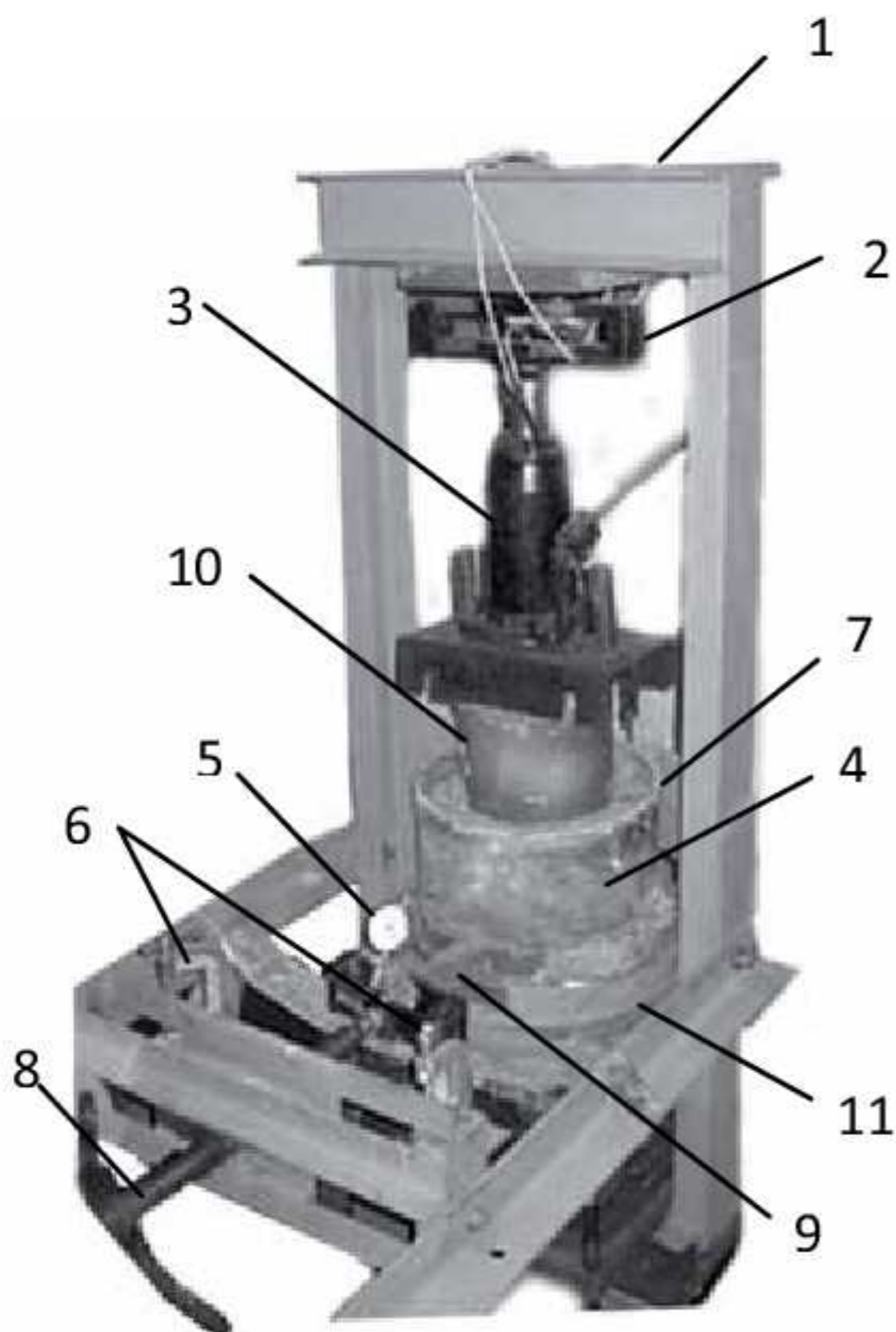


Рис. 5 Стендовий прилад СПЗ-1 для одноплощинного зрушення:  
 1 – металева станина; 2 – динамометр визначення вертикального зусилля;  
 3 – гідравлічний домкрат; 4 – кільце з нижньою рухомою частиною;  
 5 – динамометр визначення горизонтального зусилля;  
 6 – прогиномір; 7 – нерухомий упор; 8 – гвинтовий домкрат;  
 9 – “лапка” для передачі горизонтального навантаження;  
 10 – штамп; 11 – рухома каретка

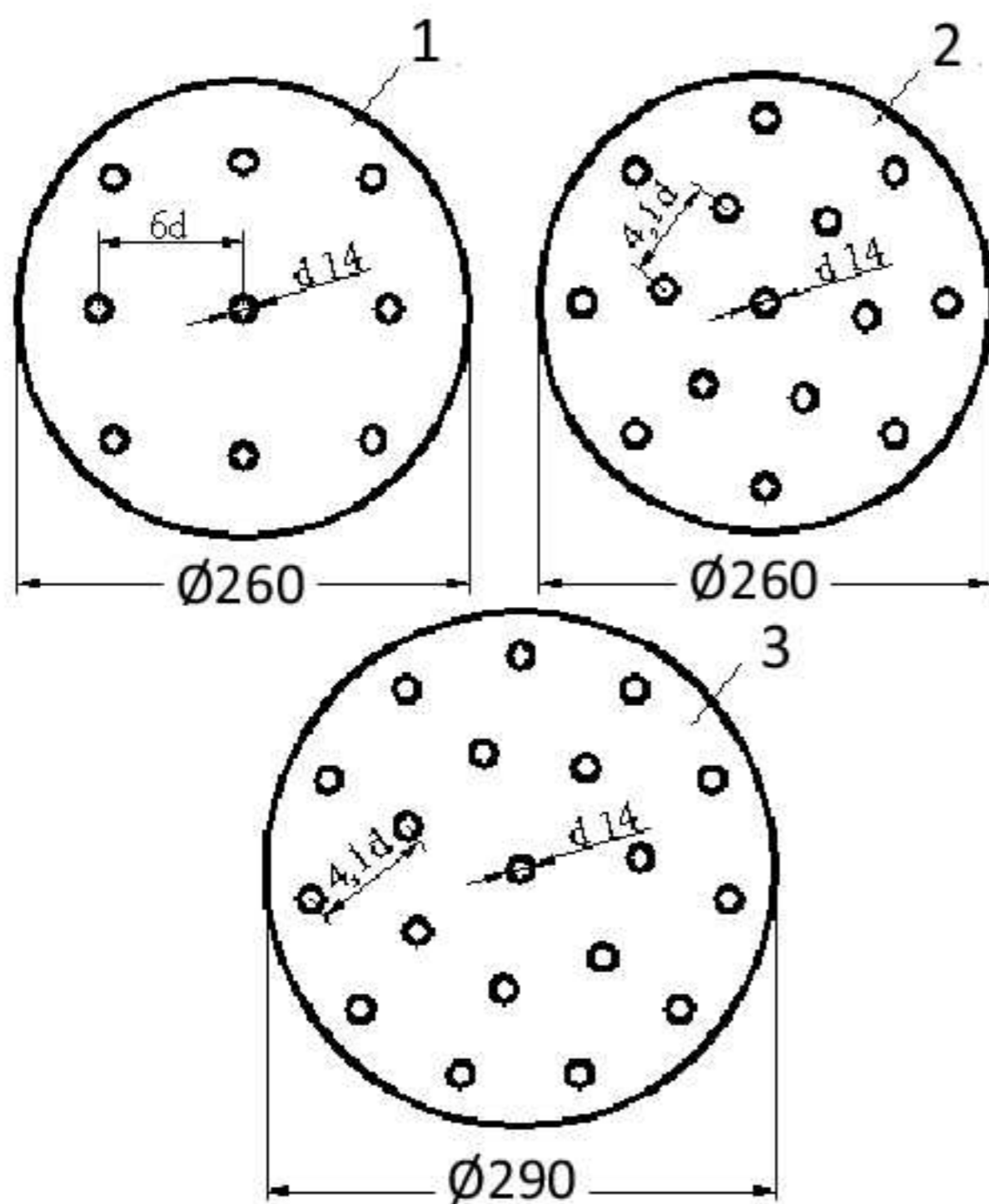


Рис. 6 Зразки закріпленого ґрунту: 1 – 2,6 % (9 ГЦЕ);  
 2 – 4,4 % (15 ГЦЕ); 3 – 4,4 % (19 ГЦЕ)

ґрунту порушеної структури дорівнює 0. При розв’язанні рівнянь (1) і (2) були визначені характеристики міцності незакріплених та закріплених ґрунтів, значення яких наведено в табл. 2.

За результатами стендових випробувань також були побудовані графіки залежності міцності закріплених ґрунтів від проценту армування  $i$ , рівняння яких залежно від виду ґрунту такі:

– для ґрунту № 1 – суглинку лесованого з числом пластичності  $I_p = 0,09$ :

$$c_{st} = 2,16 i (r = 0,98) \text{ – структурне зчеплення, кПа;}$$

$$c = 2,73 i + 10,23 (r = 0,95) \text{ – довготривале зчеплення, кПа;}$$

– для ґрунту № 2 – суглинку лесованого з числом пластичності  $I_p = 0,11$ :

$$c_{st} = 2,86 i (r = 0,999) \text{ – структурне зчеплення, кПа;}$$

$$c = 6,74 i + 16,88 (r = 0,998) \text{ – довготривале зчеплення, кПа.}$$

Проведені лабораторні та стендові випробування закріплених лесованих просадочних ґрунтів з числом пластичності  $I_p = 0,09; 0,11$  на одноплощинне зрушення показали, що при збільшенні кількості елементів закріплення у масиві, а відповідно й збільшенні процента армування як структурне, так і питоме зчеплення зростають. При цьому кут внутрішнього тертя для закріпленого ґрунту порівняно з незакріпленим залишається незмінним або зростає на 1 – 2° (табл. 1, 2).

Залежності структурного  $c_{st}$  та довготривалого  $c$  зчеплень закріпленого ґрунту від процента закріплення  $i$  є лінійними й описуються рівняннями

$$c_{st} = ni + c_{s,st}; \tag{3}$$

$$c = mi + c_s, \tag{4}$$

де  $c_{st}$  – структурне зчеплення закріпленого масиву ґрунту, кПа;  $c$  – довготривале зчеплення закріпленого масиву ґрунту, кПа;  $c_{s,st}$  – структурне зчеплення ґрунту (soil), кПа;  $c_s$  – довготривале зчеплення ґрунту, кПа;  $i$  – процент армування, %;  $n, m$  – емпіричні коефіцієнти, кПа / %.

Результати лабораторних і стендових випробувань на одноплощинне зрушення показали, що значення структурного зчеплення для досліджуваних ґрунтів при рівному проценті армування приблизно однакові. Хоча характеристики міцності, визначені шляхом стендових випробувань, менші за лабораторні, чим і підтверджується масштабний ефект: при збільшенні розмірів зразків значення характеристики зменшуються. Близькість результатів дає право побудувати за всіма дослідними точками графік залежності структурного зчеплення від процента армування  $c_{st} = f(i)$ , що поданий на рис. 7.

Узагальнююче рівняння, за яким можна визначати структурне зчеплення суглинку лесованого, що закріпленій вертикальними ГЦЕ, виготовленими за бурозмішувальною технологією, з урахуванням формули (3) набуде вигляду

$$c_{st} = 2,05i + c_{s,st} \text{ [кПа]}, \tag{5}$$

де 2,05 – емпіричний коефіцієнт для суглинків лесованих із числом пластичності  $I_p = 0,09 - 0,11$ , кПа / %.

Як відомо, повне питоме зчеплення зв’язних ґрунтів змінюється залежно від вологості та структури ґрунту. З огляду на результати дослідів із закріплення лесованих суглинків, не виявляється можливим виведення узагальнюючого рівняння щодо визначення довготривалого зчеплення закріпленого за бурозмішувальною технологією водонасиченого суглинку з числом пластичності  $I_p = 0,09 - 0,11$



Таблиця. 2

Зіставлення характеристик міцності незакріпленого і закріпленого ґрунту за результатами стендових досліджень

Процент армування $i$ , %	Ґрунт №1 ( $I_p = 0,09$ ) (порушена структура)		Ґрунт №2 ( $I_p = 0,11$ ) (порушена структура)	
	$c_{st}$ , кПа/ $\varphi_1$ , град.	$c$ , кПа/ $\varphi_2$ , град.	$c_{st}$ , кПа/ $\varphi_1$ , град.	$c$ , кПа/ $\varphi_2$ , град.
0	0/5,2	10,9/5,2	0/8,4	16,8/8,4
2,6	4,8/5,2	15,7/5,2	7,3/8,4	35,1/8,4
3,0	-	-	8,8/8,4	36,8/8,4
4,4	10,0/5,2	23,2/5,2	-	-

Таблиця. 3

Зіставлення міцності незакріпленого і закріпленого ґрунту за результатами моделювання одноплосинного зрушення

№	Процент армування $i$ , %	Характеристики міцності			
		за структурною міцністю		за довготривалою міцністю	
		$c_{st}$ , кПа	$\varphi$ , град	$c$ , кПа	$\varphi$ , град
1	0	2,3	6	10,7	9
2	2,2	8,7	6	15,3	11
3	4,4	15,0	7	19,7	11
4	6,6	16,3	8	23	12

залежно від процента армування.

Також для визначення характеристик міцності закріплених ґрунтів проведено моделювання одноплосинного зрізу армованого ґрунту програмою "Plaxis 3D Foundation" у постановці просторової задачі з використанням пружно-пластичної моделі. Встановлено [8, 9], що результати моделювання і лабораторні дослідження мають високий рівень збіжності, а прийнята пружно-пластична модель ґрунту повністю відповідає умовам проведення лабораторних випробувань.

Розрахункова схема, що зображена на рис. 8, моделює зріз

зразка ґрунту в приладі одноплосинного зрушення конструкції "Гідропроект" ПСГ-2М. Зрізна коробка приладу циліндричної форми діаметром 71 мм, висотою 35 мм, складається з двох частин: верхньої – рухомої, нижньої – нерухомої, що забезпечується накладанням в'язей. Проміжок між рухомою та нерухомою частинами зрізної коробки становить 1 мм, як і при лабораторних випробуваннях.

При моделюванні досліджувався вплив процента армування ( $i = 2,2; 4,4$  та  $6,6$  %) на характеристики міцності. Закріплення зразків ґрунту ГЦЕ проводилося за схемами, які подані на рис. 1. Висота елементів приймалася 33 мм, що на 2 мм коротше від висоти зразка ( $h = 35$  мм), для того, щоб запобігти безпосередньому сприйняттю вертикального навантаження більш жорсткими елементами закріплення.

Моделювання одноплосинного зрушення проводилося для суглинку лесованого, світло-жовтого, високопористого, карбонатного, просадочного, з числом пластичності  $I_p = 0,09$ , з вологістю  $W = 0,28$  (аналогічно лабораторним дослідженням). Вихідні дані при моделюванні системи "ґрунт – елементи армування" за умови пружно-пластичної моделі приймалися для:

- ґрунту:  $\gamma = 18$  кН/м<sup>3</sup>;  $E = 5$  МПа;  $c = 11,8$  кПа;  $\varphi = 6^\circ$ ;  $\nu = 0,35$ ;  $\psi = 0$ ;
- ґрунтоцементу:  $\gamma = 18,2$  кН/м<sup>3</sup>;  $E = 100$  МПа;  $c = 100$  кПа;  $\varphi = 7^\circ$ ;  $\nu = 0,2$ ;  $\psi = 0$ .

Після складання розрахункової схеми зразок автоматично був поділений на скінченні елементи різних розмірів клиноподібної форми (рис. 9). Далі проходило прикладання вертикального (0,05, 0,1 та 0,15 МПа) і горизонтального тисків.

У результаті моделювання отримано дотичні напруження та відповідні їм деформації зрізу, за якими були побудовані графіки залежностей "дотичні напруження – деформації" у логарифмічних координатах. Після обробки

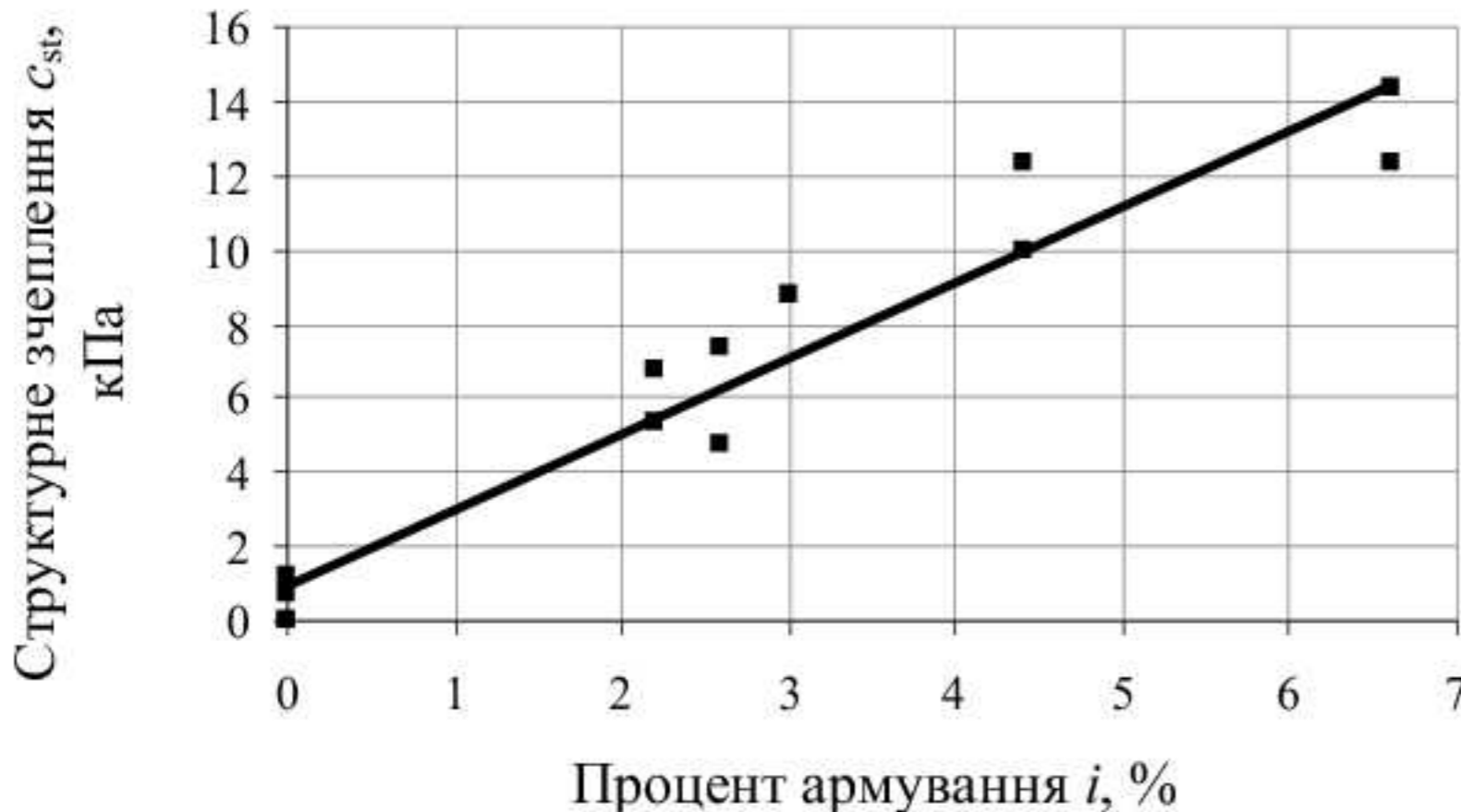


Рис. 7 Залежність структурної міцності для суглинків із  $I_p = 0,09$  та з  $I_p = 0,11$  від процента армування

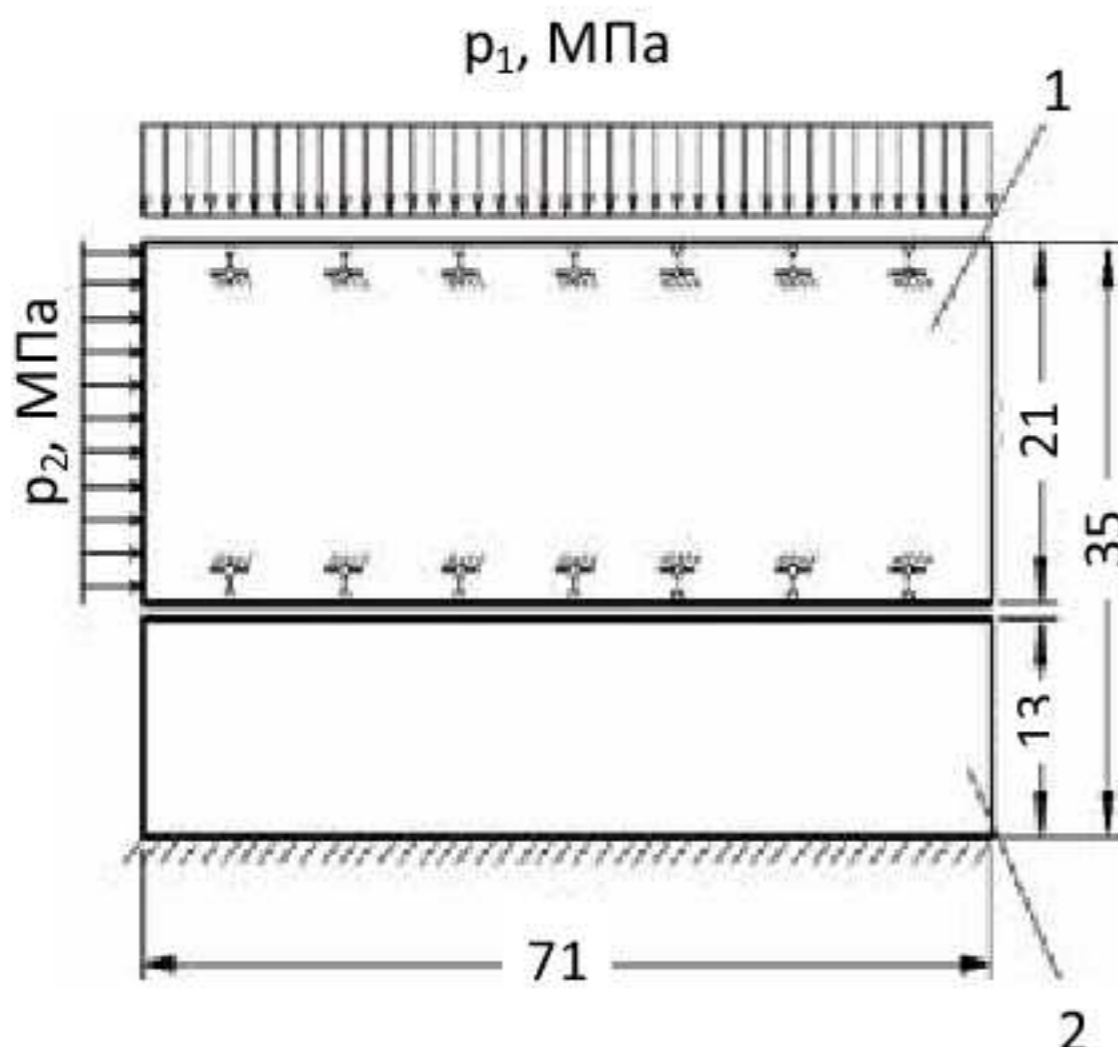


Рис. 8 Розрахункова схема зразка:

1 – верхня рухома та 2 – нижня нерухома частини зрізної коробки



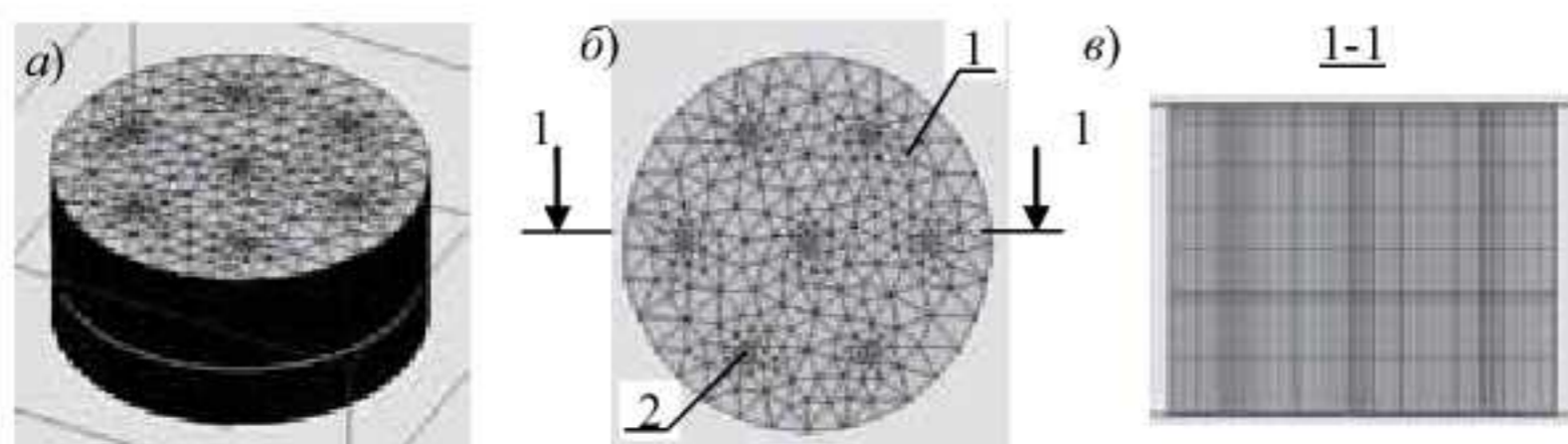


Рис. 9 Сітка скінченних елементів для зразка з процентом армування  $i = 2,2\%$  (7 ГЦЕ): а – загальний вигляд закріпленого зразка; б – вид зверху; в – поперечний переріз 1-1; 1 – ґрунт, 2 – елемент армування

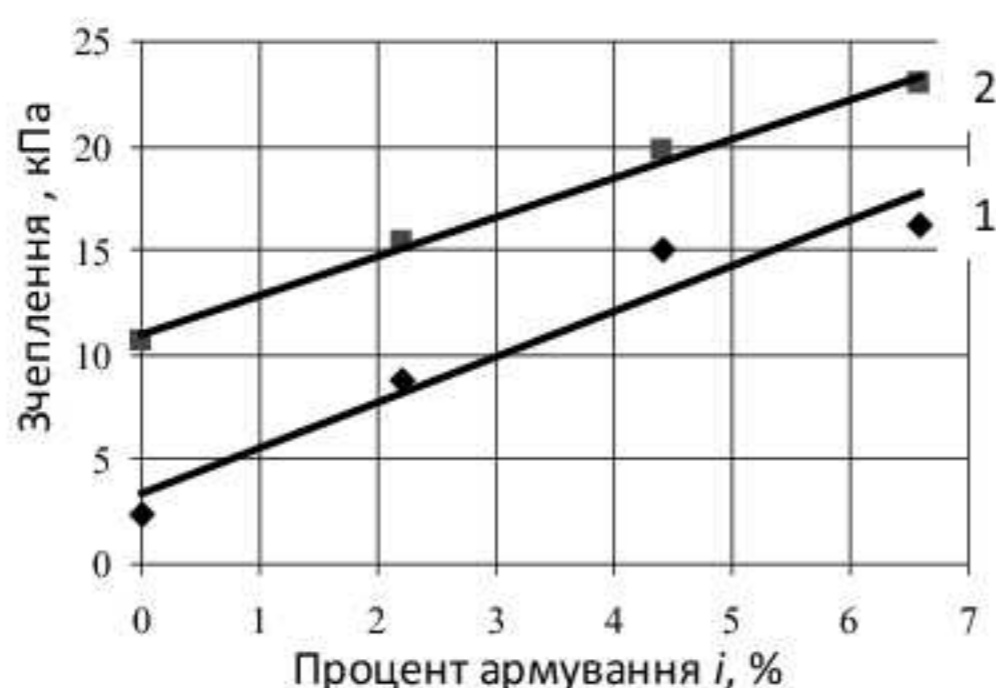


Рис. 10 Графіки залежності зчеплення ґрунту від процента армування: 1 – за структурною міцністю; 2 – за довготривалою міцністю  
 $c_{st}^{mod} = 2,19i + 3,33$  ( $r = 0,94$ ) [кПа];  
 $c^{mod} = 1,88i + 10,98$  ( $r = 0,99$ ) [кПа].

графіків, аналогічно побудованим за результатами лабораторних досліджень, визначалися характеристики міцності закріплених ґрунтів (табл. 3).

За даними табл. 3 побудовані графіки залежності структурного та питомого (довготривалого) зчеплення від процента армування, які зображені на рис. 10 та описані відповідними рівняннями.

З графіків (рис. 10) видно, що залежності між значенням структурного та питомого зчеплення й процентом армування мають лінійний характер. Відповідність залежностей установленому закону підтверджується коефіцієнтом кореляції  $r > 0,80$ .

Порівнюючи результати лабораторних випробувань (табл. 1) та моделювання (табл. 3), бачимо їх відмінність. Значення структурного зчеплення за результатами моделювання виявилися більшими за відповідні результати лабораторних випробувань. Зворотна картина спостерігається

щодо питомого зчеплення закріплених ґрунтів. Також кути внутрішнього тертя за результатами моделювання більші, ніж за лабораторними дослідженнями. Незважаючи на вищевикладені відмінності між значеннями отриманих характеристик міцності ґрунтів, як лабораторні дослідження, так і моделювання показали позитивний вплив закріплення суглинку лесованого вертикальними ґрунтоцементними елементами. Особливо це стосується збільшення структурного зчеплення при збільшенні кількості елементів армування, в чому й проявляється ефект закріплення ґрунтів зсувонебезпечних територій.

**ВИСНОВКИ:**

1. Запропоновано для уникнення розвитку зсувних деформацій, а отже, і появи зсувного тиску, виконувати поліпшення властивостей ґрунту, тобто збільшення його механічних характеристик, шляхом цементації за бурозмішувальною технологією. Закріплення ґрунтів повинно використовуватись в якості допоміжного заходу, а іноді й альтернативи найбільш поширеним методам стабілізації та попередження зсувів – спорудженню різних типів утримуючих споруд, таких, як підпірні стінки, контрбанкети тощо.

2. Встановлено, що при цементації ґрунтів, в результаті з'єднання частинок і агрегатів ґрунту цементом, виникає штучне структурне зчеплення. Ґрунтоцементні елементи, влаштовані за бурозмішувальною технологією, разом з незакріпленим ґрунтом утворюють єдиний масив ґрунту з поліпшеними механічними характеристиками, методів оцінювання яких досі не існує.

3. Доведено ефект закріплення лесованих суглинків шляхом їх армування ґрунтоцементом за результатами лабораторних і стендових випробувань цих ґрунтів на одноплощинне зрушення. Підвищення міцності ґрунту при закріпленні ґрунтоцементними елементами відбувається більшою мірою за рахунок збільшення структурного зчеплення, при цьому водно-колоїдне зчеплення і кут внутрішнього тертя збільшується несуттєво; міцність закріпленого ґрунту, головним чином, залежить від процента армування.

4. Порівняння залежностей “навантаження – деформації”, які отримані за даними моделювання за допомогою програмного комплексу PLAXIS й експериментальним шляхом, показало достатній збіг результатів. Це свідчить про правомірність вибору та використання пружно-пластичної моделі ґрунту.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ**

1. Зоценко Н.Л. Закрепление оснований цементацией буросмесительным методом / Н.Л. Зоценко, И.И. Ларцева, В.И. Марченко // Труды Международ. конф. по геотехнике “Геотехнические проблемы мегаполисов”. Т. 5. – М.: ПИ “Теореконструкция”, 2010. – С. 1781–1788.
2. Богов С.Г. Исследование прочностных свойств грунтов, закрепленных цементными растворами по струйной технологии [Електронний ресурс] / С.Г. Богов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2000. – № 2.
3. Крисан В.І. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовлені по струминно-змішувальній методиці: автореф. дис. канд. техн. наук.: 05.23.02 / В.І. Крисан. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 24с.
4. Томаш Михальськи. Применение технологи JET GROUTING в целях обеспечения устойчивости стен глубоких котлованов / Томаш Михальськи // Будівельні конструкції: міжвід. наук.-техн. зб. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 66. – С. 158–168.
5. Cesare Melegari. Introduction to the jet-grouting Methods // Seminar on jet-grouting Singapore, 1997.
6. Larsson S. Mixing processes for Ground Improvement by Deep Mixing // Doctoral Thesis. Stockholm, 2003.
7. ДБН В.2.1-10-2009. Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 104 с.
8. Борт О.В. Напружено-деформований стан системи “будівля – основа” в умовах зсувонебезпечних територій: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.02 / О.В. Борт. – Полтава: ПолтНТУ, 2006. – 23 с.
9. Титаренко В.А. Прогнозування змінності характеристик глинистих ґрунтів при оцінці стійкості зсувонебезпечних схилів: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.23.02 / В.А. Титаренко. – К.: НДІБК, 2005. – 20 с.