

ЗОЦЕНКО МИКОЛА ЛЕОНІДОВИЧ

Доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри «Видобування нафти і газу та геотехніки» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Основні напрямки наукової діяльності: вдосконалення технологій розрахунку основ будинків та конструкцій фундаментів.

Автор понад 300 наукових робіт

E-mail: slekfa@e-mail.pl.ua

ЛАРЦЕВА ІРИНА ІГОРІВНА

Асистент кафедри «Видобування нафти і газу та геотехніки» Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка.

Основні напрямки наукової діяльності: вдосконалення технологій розрахунку основ будинків та конструкцій фундаментів.

Автор 9 наукових робіт

E-mail: slekfa@e-mail.pl.ua

КРИСАН ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ

Кандидат технічних наук, член Українського товариства механіки ґрунтів і геотехнічному будівництву. Директор ТОВ НПО «Рембуд».

Основні напрямки наукової діяльності: дослідження в області улаштування основ і фундаментів у складних геологічних умовах.

Автор 15 наукових статей.

E-mail: krysan.v@mail.ru

ВИННИКОВ ЮРІЙ ЛЕОНІДОВИЧ

Доктор технічних наук, професор, професор кафедри видобування нафти і газу та геотехніки Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, дійсний член Академії будівництва України, член ISSMGE.

Основні напрямки діяльності: дослідження, розрахунок і проектування основ і фундаментів з ущільненням ґрунту, зокрема із реалізацією чисельних та імовірнісних методів; обстеження та проектування фундаментів при реконструкції споруд.

Автор понад 250 наукових праць.

E-mail: vynnykov@yandex.ru

ШОКАРЕВ ВІКТОР СЕМЕНОВИЧ

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, директор Запорізького відділення ДП НДІБК, член Міжнародного товариства механіки ґрунтів і геотехнічному будівництву.

Основні напрямки наукової діяльності: будівництво, реконструкція й експлуатація будинків і споруд у складних інженерно-геологічних умовах, технічне діагностування будівельних конструкцій, розробка геотехнологій і автоматизованих систем моніторингу будівельних об'єктів.

Автор понад 150 наукових праць.

E-mail: zoniisk@mail.ru

УДК 624.13

ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТУЧНИХ ТВЕРДИХ ҐРУНТІВ, ЯКІ ПОЛІПШЕНІ БУРОЗМІШУВАЛЬНИМ МЕТОДОМ

Ключові слова: ґрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, фізико-механічні властивості, час тужавіння суміші, водонепроникність, протифільтраційна завіса, армування ґрунтового масиву.

Наведені результати досліджень фізико-механічних властивостей ґрунтоцементу залежно від складу ґрунтів, марки і вмісту цементу, часу тужавіння суміші. Надаються рекомендації для використання ґрунтоцементу при армуванні ґрунтових масивів для збільшення їх міцності та зниження стисливості, виготовлення пальових фундаментів і протизсувних споруд.

Приведенные результаты исследований физико-механических свойств ґрунтоцемента в зависимости от состава ґрунтов, марки и содержания цемента, времени отвердевания смеси. Предоставлены рекомендации для использования ґрунтоцемента при армировании

ґрунтовых массивов для увеличения их прочности и снижения сжимаемости, изготовление свайных фундаментов и противооползневых сооружений.

The results of investigation of physical and mechanical properties of soil-cement according to composition of soils, brand and cement content, time of mixture setting are given. Impermeability of soil-cement appeared to be significantly less than in the concrete. Recommendations for using soil-cement in reinforcing the soil massifs for increase of its strength, reduction of compressibility, production of pile foundations and landslide control structures are given..

1 ВСТУП

Одним із ефективних напрямків зниження вартості фундаментобудування є використання у якості матеріалу ґрунтів, які залягають в основі будівель [1]. За допомогою спеціального обладнання виконують розпушування ґрунту безпосередньо у масиві без його виймання. Одночасно у розпушений ґрунт нагнітається цементна суспензія, виконується перемішування й ущільнення ґрунтоцементної суміші [7]. Внаслідок у ґрунті утворюється циліндричний ґрунтоцементний елемент [2].

Такі елементи використовують як фундаменти будівель, протифільтраційні запони, підпирні стіни, утримуючі споруди при закріпленні укосів котлованів і зсувних схилів і як елементи поліпшення слабких і просадочних ґрунтів [3,6].

Для виготовлення ґрунтоцементу придатні піски різної крупності, леси, лесовані й карбонатні суглинки та супіски [4]. Приблизний гранулометричний склад їх повинен знаходитися у межах, які встановлені у табл. 1. Вміст водорозчинних солей – не більше 3 %, у тому числі сірчаноокислих – не більше 2 %. Стосовно водневого показника рН, то оптимальним для утворення ґрунтоце-



Рис. 1. Загальний вигляд машини БМ-811.

ту має отвори для розподілення цементної суспензії за усім перерізом свердловини. Для з'єднання шнеків з розчинонасосом передбачено напірні шланги та вертлюг;

- розчиномішалка для виготовлення цементного розчину;
- розчинонасос для нагнітання розчину до свердловини.

Цементну суспензію замішують у розчиномішалці та нагнітають за допомогою розчинонасосу крізь вертлюг у бурову штангу й далі до розпушеного ґрунту. Виготовлення цементної суспензії можна проводити за допомогою розчинозмішувачів при умові забезпечення однорідності суспензії для закріплення ґрунту.

В якості розчинонасосів можуть бути використані будівельні діафрагмові чи бурові плунжерні насоси, які створюють тиск 0,50 – 0,70 МПа. Буріння свердловини починається з першої штанги, яка обладнана наконечником для руйнування ґрунту та його змішування з цементною суспензією. У ньому влаштовані отвори для подавання суспензії до свердловини. Проектна глибина свердловини досягається поступовим нарощуванням штанг, які з'єднуються між собою спеціальними муфтами.

При зворотному ході штанги виконується додаткове перемішування суміші з додаванням цементної суспензії. За висотою одного шнеку перемішування можна проводити кілька разів для досягнення більш однорідного складу ґрунтоцементу. Після цього верхній шнек видаляється і багатократне перемішування суміші виконується на наступній ділянці. Таким чином, поступовим видаленням шнеків досягається заповнення усієї свердловини ґрунтоцементом і проводиться його ретельне перемішування. При необхідності у свіжий ґрунтоцемент занурюють арматурний каркас за допомогою гідравліки чи вібрації.

Виконання прийнятої технології влаштування ґрунтоцементних елементів забезпечує необхідну однорідність ґрунтоцементу і надійну стійкість стінок свердловини у будь-яких нестійких ґрунтах, у тому числі пливунах, тому що щільність рідкого ґрунтоцементу більша за щільність пливуна [5]. Ця особливість ґрунтоцементних елементів ставить їх у ряд самих технологічних, тобто універсальних фундаментів.

Таблиця 1
Рекомендований гранулометричний склад глинистих ґрунтів для виготовлення ґрунтоцементу

Розмір частинок ґрунту, мм	Глинисті, до 0,005	Пилуваті, 0,005 – 0,05	Піщані, 0,05 – 2
Примірний відсоток за масою	5 - 30	15 - 90	не більше 75
Середній лесований суглинок	19,8	62,2	18

менту слід вважати величину рН = 8.

Більшість дослідників підкреслюють, що хімічний склад ґрунту значно впливає на механічні властивості ґрунтоцементу. Тому маємо великі труднощі при складанні загальних нормативів на цей матеріал. На кожному будівельному майданчику необхідно проводити експериментальні дослідження з визначення механічних властивостей ґрунтоцементу у лабораторних і польових умовах.

Це робиться шляхом виготовлення лабораторних зразків і відбирання зразків ґрунтоцементу в процесі влаштування елементів. Завершальним етапом цих визначень є статичні випробування ґрунтоцементних паль вертикальним осьовим навантаженням у 1,5 рази більшим, ніж проектне значення розрахункового навантаження на палю, чи проведення штампових випробувань основ, які підсилені вертикальними, похилими чи горизонтальними ґрунтоцементними елементами.

2 ТЕХНОЛОГІЯ ВЛАШТУВАННЯ ҐРУНТОЦЕМЕНТНИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Влаштування ґрунтоцементних елементів проводиться за допомогою комплексу обладнання, до складу якого входять:

- буровий станок БМ-811 (рис.1), модернізований тим, що шнеки замінено на бурові штанги діаметром 100 мм, які виготовлено з внутрішнім каналом для подавання розчину. Робочий орган для руйнування ґрун-

3 ЛАБОРАТОРНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОЦЕМЕНТУ

Дослідження механічних характеристик ґрунтоцементу проводились у лабораторних умовах. В якості ґрунту для виготовлення ґрун-тоцементу прийнято лесований суглинок.

Його число пластичності складає $I_p = 15-17 \%$; щільність частинок ґрунту $\rho_d = 2,68 \text{ т/м}^3$; щільність скелету $\rho_d = 1,3-1,5 \text{ т/м}^3$; природна вологість $W = 18-24 \%$ (вище рівня ґрунтових вод) і $W = 28-30 \%$ (нижче рівня ґрунтових вод).

Зразки ґрунтоцементу виготовляли циліндричної форми діаметром 32 мм і довжиною 64 мм. Використано портландцемент М400. Виготовлено три серії зразків з різною початковою вологістю ґрунту $W = 22; 26; 30 \%$. У кожній серії зразки виготовляли при 5, 10, 15, 20, 25, 30 % цементу від маси сухого ґрунту. Тужавіння зразків проходило у водному середовищі.

Випробовування зразків проводили на од-ноосьовий стиск, за даними якого визначали призмову міцність σ_{bp} і модуль деформації E . Зразки досліджували для термінів тужавіння 10, 28, 90 діб. Кожне визначення проводили у 4-8-кратній повторності.

Залежність зростання міцності ґрунтоцементу в часі від вмісту цементу показана на рис. 2.

У табл. 2 подано осереднені дані для зразків, які виготовлені при вмісті цементу 25 % і випробувані при часі тужавіння у воді 90 діб.

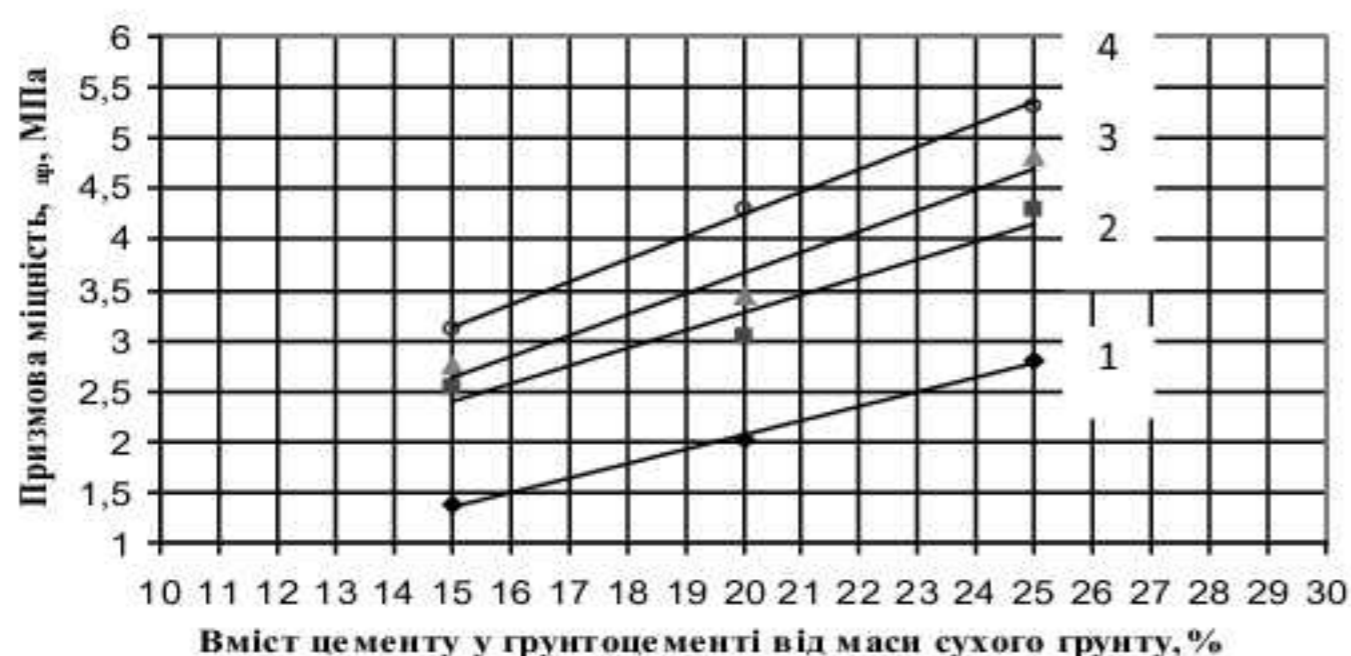


Рис. 2 Залежність міцності R, МПа, ґрунтоцементу від вмісту цементу при терміні тужавіння: 1 – 28 діб; 2 – 90 діб; 3 – 1 рік; 4 – 2 роки.

Таблиця 2
Осереднені дані для ґрунтоцементу при вмісті цементу 25% через 90 діб тужавіння

Первісна вологість суміші W, %	42,7	35	31
Водоцементне відношення В/Ц	1,72	1,52	1,4
Щільність скелету ρ_d , т/м ³	1,28-1,34	1,43-1,46	1,49-1,53
Коефіцієнт пористості e	1,1-1,0	0,87-0,84	0,79-0,75
Вологість W, %	29-31	26-27	22-24
Модуль деформації E, МПа	500	730	900
Призмova міцність R, МПа	4	6	8

На рис. 3 подані результати лабораторних випробовувань зразків ґрунтоцементу різного вмісту за цементом і щільністю скелету.

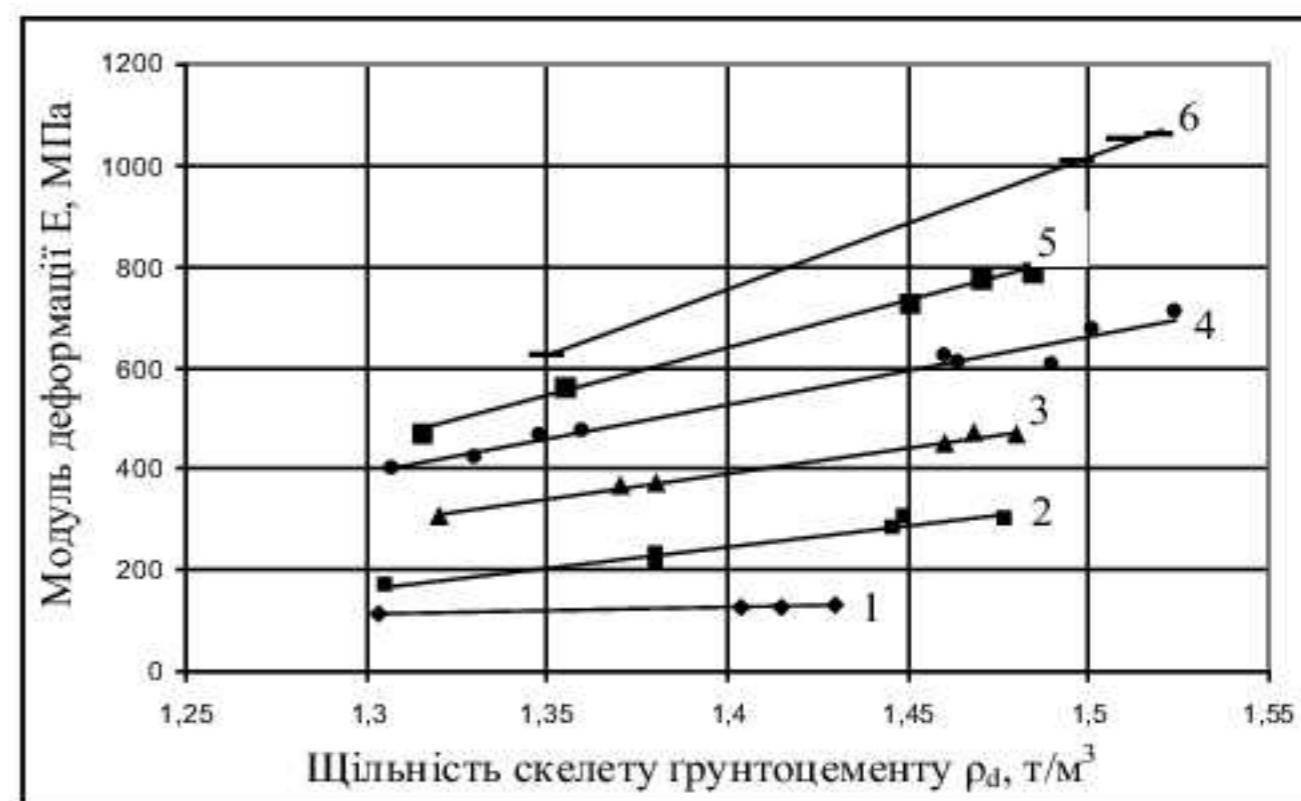


Рис. 3 Залежність модуля деформації ґрунтоцементу після 90 діб тужавіння у воді від щільності його скелету при вмісті цементу n: 1 – 5 %; 2 – 10 %; 3 – 15%; 4 – 20%; 5 – 25 %; 6 – 30 %.

Загальне рівняння залежності (при коефіцієнті кореляції $r = 0,84$) має вигляд:

$$E = 848\rho_d + 1329n - 118, \text{ МПа} \quad (1)$$

Залежність (1) представлена у вигляді, наведеному на рис. 4, при умові, що $\rho_d = \text{const}$.

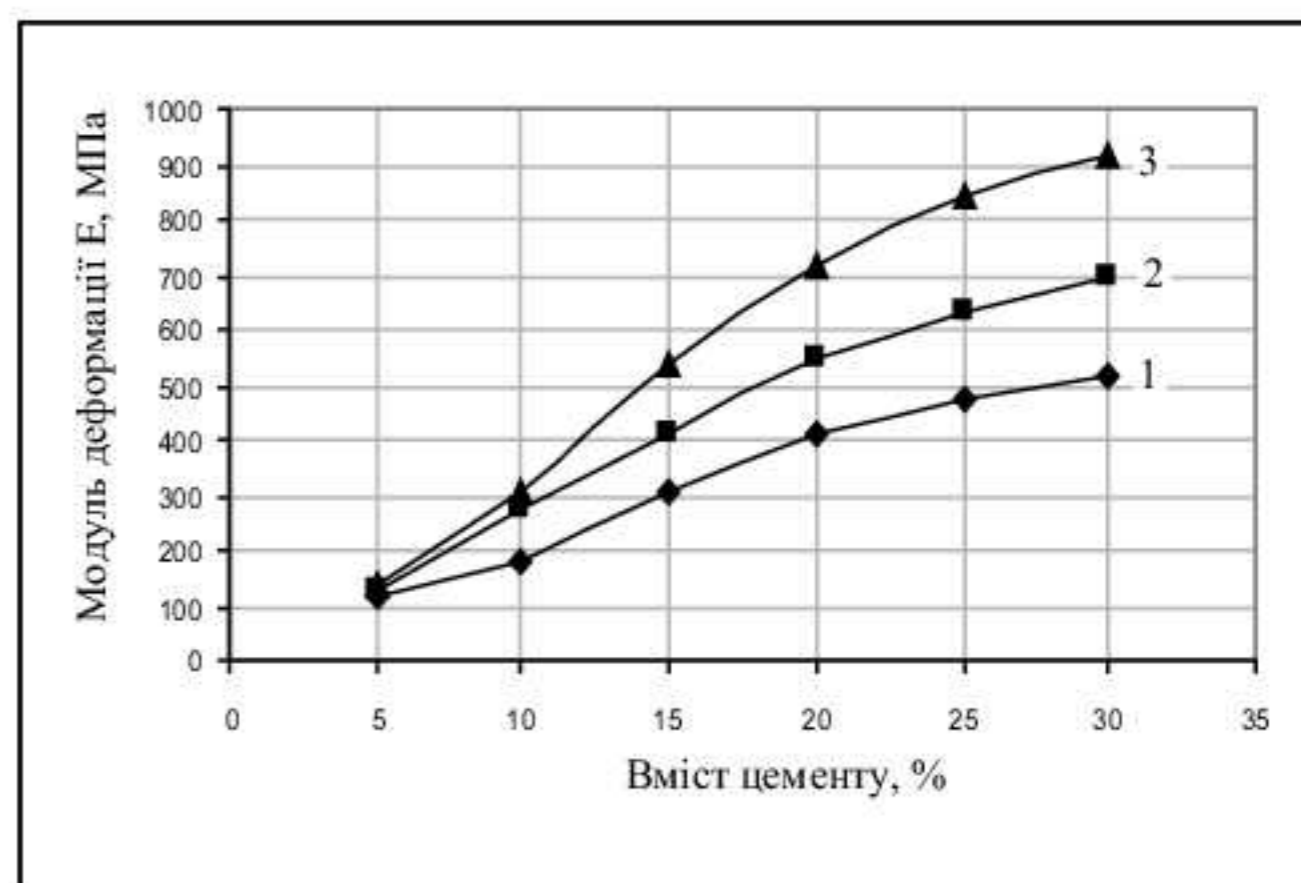


Рис. 4 Залежність модуля деформації ґрунтоцементу після 90 діб тужавіння у воді від вмісту цементу при щільності скелету ρ_d , т/м³: 1 – 1,31; 2 – 1,42; 3 – 1,52.

Аналіз наведених даних дозволяє зробити такі висновки, що коли ґрунтом при виготовленні ґрунтоцементу є лесоподібний суглинок з числом пластичності $I_p = 15-17 \%$, то:

- щільність скелету ґрунтоцементу при бурозмішувальному способі його виготовлення залежить тільки від водоцементного відношення суміші;
- величину водоцементного відношення суміші «ґрунт – цемент – вода» формує природна вологість ґрунту, максимальне її значення спостерігається для ґрунтів нижче рівня ґрунтових вод;
- модуль деформації E і призмova міцність R ґрунтоцементу, виготовленого із лесоподібного суглинка, зменшуються удвічі нижче рівня ґрунтових вод; при цьому перехідна зона починається на 1 – 1,5 м вище цього

рівня;

- залежність між модулем деформації E (призмовою міцністю R) та щільністю скелету ρ_d ґрунтоцементу має лінійний характер, при цьому інтенсивність збільшення модуля E росте з підвищенням щільності ρ_d ;
- підвищення механічних характеристик ґрунтоцементу в залежності від вмісту цементу уповільнюється з досягненням величини у 20 %, тобто цей вміст слід вважати оптимальним при використанні ґрунтоцементу для армування ґрунту.

Отже, при проектуванні ґрунтоцементних елементів у однорідному шарі важких лесованих суглинків, з перетинанням рівня ґрунтових вод, слід механічні характеристики ґрунтоцементу приймати, як для частини, що влаштована нижче його рівня. При цьому не слід вважати, що при водонасиченні механічні характеристики існуючих ґрунтоцементних елементів знижуються. Величини опору осьовому стиску (призмовою міцністю) в залежності від марки ґрунтоцементу наведені у табл. 3.

Таблиця 3
Нормативний опір ґрунтоцементу R , МПа, при проектній марці за міцністю на стиск

Нормативний опір ґрунтоцементу, МПа, при проектній марці ґрунтоцементу за міцністю на стиск				
50	75	100	150	200
4	6	8	12	16

4 ПОЛЬОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ҐРУНТОЦЕМЕНТУ

При проектуванні багатоповерхового житлового будинку проведені дослідження розрахункового навантаження на ґрунтоцементні палі діаметром 0,5 м і довжиною 8 м. Кількість портландцементу М400 при виготовленні палей прийнята 15 % від маси скелету ґрунту. Палі прорізали товщу лесованих пілуватих суглинків і спиралися на тугопластичний суглинок. Кубики для випробувань вирізані з тіла дослідних палей, тужавіння яких тривало біля 60 діб в умовах природного ґрунту. Нижче наведені дані про окремі визначення призмової міцності та статистичну обробку експериментальних досліджень.

Досліджено 11 зразків ґрунтоцементу. Середнє значення нормативного опору $R = 6,04$ МПа. Відповідно до табл. 3 марка ґрунтоцементу складала М75. Коефіцієнт варіації $v_m = 13,4 \% < 16 \%$, що дозволяє встановити, що ґрунтоцементна суміш задовільної якості.

Показник точності при вірогідності 0,95 склав $\rho_\alpha = 0,054$ (при коефіцієнті надійності $\gamma_g = 1,06$); розрахункове значення $R = 5,7$ МПа. Розрахункове навантаження на ґрунтоцементну палю діаметром 500 мм за матеріалом складо $N = 850$ кН. Слід урахувати, що в конкретному випадку, який розглядається, розрахункове навантаження на ґрунтоцементну палю діаметром 500 мм за ґрунтом складо $N = 600$ кН (за даними статичних випробувань).

Метод улаштування стрічкових фундаментів на основі, яка підсилена вертикальними елементами, було досліджено при будівництві багатоповерхового житлового будинку в нагорній частині м. Полтави. Будинок має цегляні несучі стіни з максимальним навантаженням до 1400 кН на один погонний метр. Інженерно-геологічні умови будівництва

ускладнені тим, що ділянка забудови складена просадочними ґрунтами.

Армоцементні елементи, які виготовлялися за бурозмішувальною технологією, мали діаметр 200 мм і довжину – 5300 мм. Наявність армування в основі збільшує до необхідної величини її модуль деформації. Величина його залежить від відстані між елементами армування, яка у даному випадку коливалася від 600 до 800 мм.

Для перевірки ефективності армування основи у конкретних умовах будівельного майданчика проведені дослідження стисливості основи шляхом випробування штампом ґрунтів у природному і зволоженому станах ґрунту до та після його армування. Розрахункову схему випробувань наведено на рис. 5.

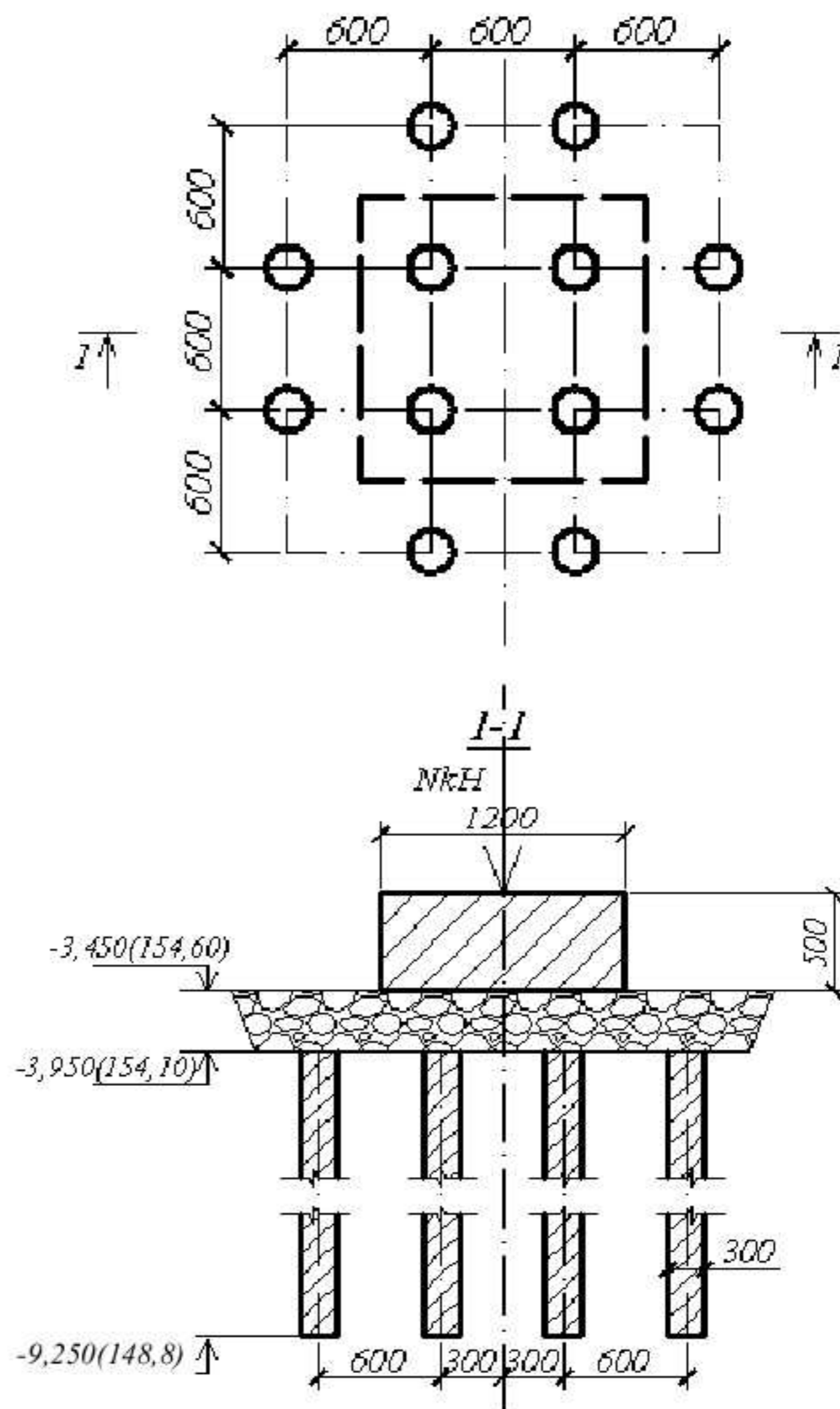


Рис. 5 Схема випробувань штампом основи, яка армована вертикальними ґрунтоцементними елементами.

При відстані між елементами 600 мм залізобетонний штамп розміром 1200x1200 мм завантажує площу, армовану 12 елементами. Для створення вертикального стискуючого навантаження на штамп використана вантажна платформа з бетонними блоками загальною вагою 800 кН, яка служила упором гідравлічному домкрату. Навантаження штамп ступенями по 62 – 92 кН проведено гідравлічним домкратом ДГ – 100. Для виміру осідання штамп на реперній системі з сталю прокату використано чотири прогиноміри.

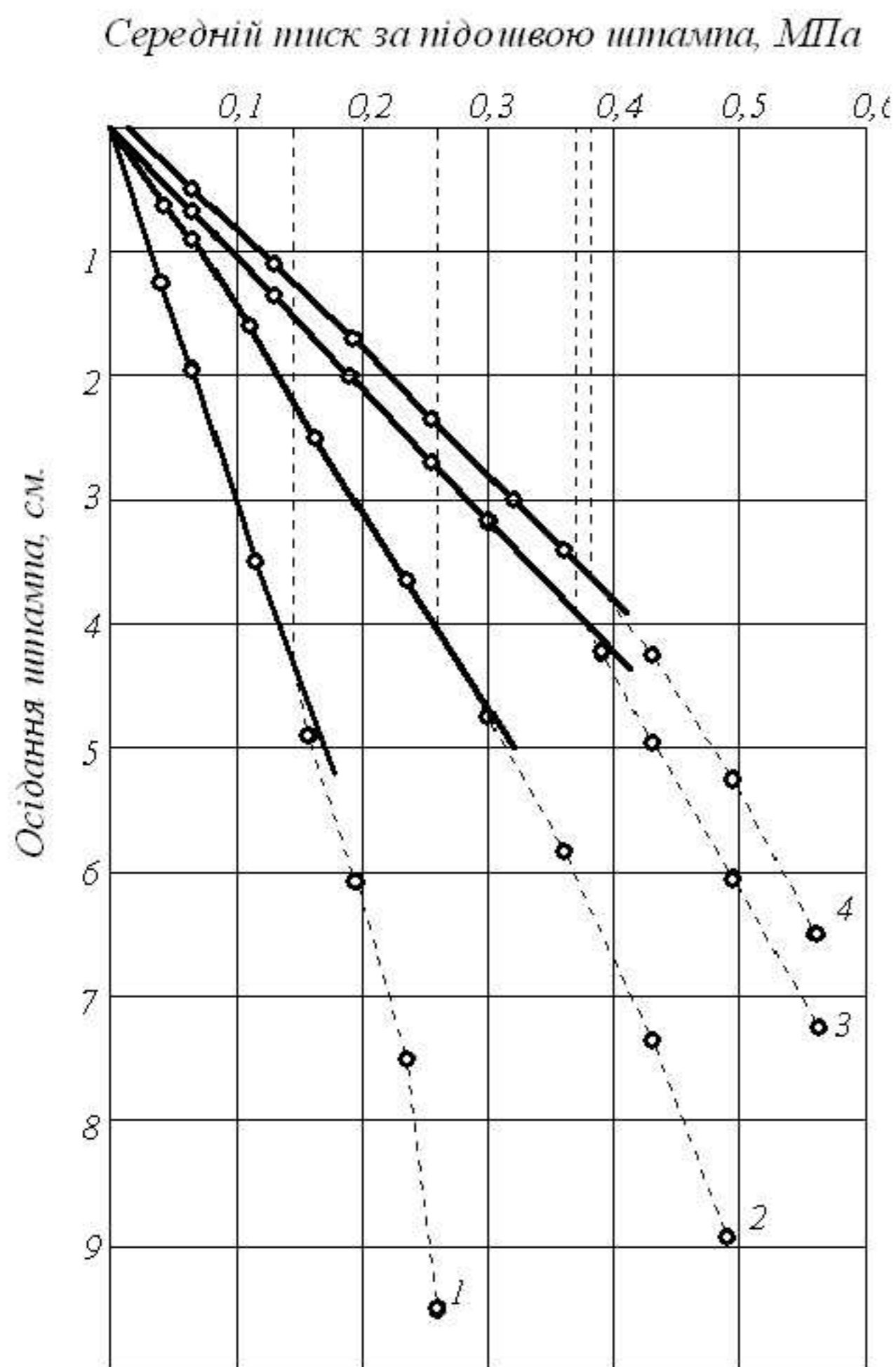


Рис. 6 Підсумки випробовувань штампом основи:
 1 – природної зволоженої; 2 – природної; 3 – армованої зволоженої;
 4 – армованої незволоженої.

На рис.6 наведені графіки залежності осідання штампів від тиску для чотирьох вище визначених різних станів основи будинку.

Нормами передбачена максимальна площа штампів

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. А.Н. Токин. Фундаменты из цеметогрунта, Москва, Стройиздат, 1984.
2. P.S. Seco e Pinto. Ground improvement, New developments, Proc. of 17th EYGEC, Zagreb (2006), 3–36.
3. M. Kuokkanen Mass and Column for a Stabilization of Peat and Clay for a Road Embankment in Sodertalje, Sweden, Proc. of 17th EYGEC, Zagreb (2006), 123–132.
4. И.В. Степура, В.С. Шокарев, А.С. Трегуб. Армирование лессовых грунтов оснований зданий и сооружений, Тр. Междунар. конф. по проблемам механики грунтов, фундаментостроению и транспортному строительству, Пермь, ПГТУ (2004), 213–221.
5. В.Е. Соколович, Закрепление илов цементами, Строительство на слабых водонасыщенных грунтах, Одесса: Госстрой СССР (1975), 267–267.
6. J. Chu, S. Varaksin, U. Klotz, Construction Processes, Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington, JOS Press (2009), 3006–3135.
7. M. Kitazume, H. Takahashi, 27 Years' investigation on property of in-situ quicklime treated clay, Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington, JOS Press (2009), 2358–2361.
8. W. Lemanza, A. Lesmana, Deep soil improvement technique using combined deep mixing and jet grouting method, Proc. of the 17th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Amsterdam, Berlin, Tokyo, Washington, JOS Press (2009), 2439–242.
9. Цытович Н.А. Механика грунтов, Москва, Книж-ный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.

$A=5000 \text{ см}^2$. Ми використали штамп площею $A = 14400 \text{ см}^2$. Тому при під-рахунках модуля деформації враховано масштабний ефект. Чим більший штамп, тим менше значення модуля деформації E . Тому, щоб привести модуль деформації до стандартного штампів, слід використати масштабний коефіцієнт, який при $p = 0,20 - 0,30 \text{ МПа}$ складає $m = 1,4$ [9]. Розрахунковий опір ґрунту R визначався як перше критичне напруження σ_1 (абсолютно безпечне за міцністю основи), яке визначено за точкою відхилення графіка від прямої.

З урахуванням цих положень модуль деформації і розрахунковий опір основи за результатами випробовувань штампів склали для:

- природної основи $E = 9,5 \text{ МПа}$; $R = 260 \text{ кПа}$;
- зволоженої основи $E = 5 \text{ МПа}$; $R = 145 \text{ кПа}$;
- армованої основи $E = 15,6 \text{ МПа}$; $R = 385 \text{ кПа}$;
- зволоженої армованої основи $E = 14,5 \text{ МПа}$; $R = 370 \text{ кПа}$.

Отже, за даними штампів випробовувань для неармованої основи при зволоженні ґрунту до коефіцієнта водонасичення $S_r > 0,8$ модуль деформації зменшився майже в два рази. Після армування основи, складеної просадочними ґрунтами, модуль деформації зменшився внаслідок зволоження лише на 7,5 %, тобто у межах точності визначення характеристик ґрунту. Внаслідок армування основи вертикальними ґрунтоцементними елементами модуль деформації ґрунту при водонасиченні до $S_r > 0,8$ збільшився у 3 рази, а розрахунковий опір – більше, ніж удвічі.

ВИСНОВКИ:

Ці дослідження довели, що ґрунтоцемент, створений за бурозмішувальною технологією, за глибиною масиву для влаштування паль чи підвищення механічних властивостей основи шляхом її армування жорсткими елементами, має значну неоднорідність за довжиною конструкції. Ця неоднорідність пов'язана з літологічною і петрографічною неоднорідністю ґрунтів і гідрогеологічними умовами ділянки. Ці особливості ґрунтоцементу, на відміну від інших конструктивних матеріалів, які використовують для влаштування паль і армоелементів (бетон, залізобетон, розчин, метал), слід урахувувати при проектуванні основ і фундаментів, у тому числі й при проведенні інженерних вишукувань.