

ДОСЛІДЖЕННЯ СТИСЛИВОСТІ АРМОВАНИХ ҐРУНТІВ МЕТОДОМ ПРЕСІОМЕТРІЇ

Роботу присвячено оцінюванню стисливості армованого ґрунту в польових умовах шляхом проведення пресіометричних випробувань. Сформовано концепцію розшифрування пресіометричних випробувань армованої основи ґрунтоцементними елементами, які виготовляються за бурозмішувальною технологією. Оцінювання стисливості армованої основи за допомогою пресіометричних випробувань базується на тому положенні, що у межах стислої товщі зонда (штампа) за наявності у її зоні нестислої перепони опір стисненню ґрунту збільшується. Перевірку методу виконано на реальному будівельному майданчику шляхом шестикратного повторення. На підставі статистичного аналізу отримано розрахункові значення модуля загальної деформації, зіставлені з результатами штампових випробувань та лабораторних даних.

Ключові слова: армована основа, ґрунтоцемент, бурозмішувальна технологія, пресіометрія, зонд пресіометра, деформація, межа стислої товщі.

ИССЛЕДОВАНИЕ СЖИМАЕМОСТИ АРМИРОВАННЫХ ҐРУНТОВ МЕТОДОМ ПРЕССИОМЕТРИИ

Работа посвящена оценке сжимаемости армированного ґрунта в полевых условиях путем проведения прессиометрических испытаний. Сформирована концепция расшифровки прессиометрических испытаний армированной основы ґрунтоцементными элементами, которые изготавливаются по буросмесительной технологии. Оценка сжимаемости армированной основы с помощью прессиометрических испытаний базируется на том положении, что в пределах сжимаемой толщи зонда (штампа) при наличии в ее зоне несжимаемой преграды сопротивление сжатию ґрунта увеличивается. Проверка метода выполнена на реальной строительной площадке в шестикратном повторении. На основании статистического анализа получены расчетные значения модуля общей деформации, которые сопоставлены с результатами штамповых испытаний и лабораторных данных.

Ключевые слова: армированное основание, ґрунтоцемент, буросмесительная технология, прессиометрия, зонд прессиометра, деформация, граница сжимаемой толщи.

RESEARCH OF REINFORCED SOIL COMPRESSIBILITY BY PRESSIOMETRY TEST

The work is devoted to estimation of reinforced soil in the field conditions by the way of pressiometric. Formed the pressiometric investigation decryption of reinforced basics which are manufactured by the help of drilling-mixing technology. Evaluation method of reinforced basics with help of pressiometric investigation is based on that position on compressible thickness in boundary limits (stamp) by the way of that boundary and compressible obstacles resistance of soil compression increase. Method of checking is made on the real building area in six times repeating. Based on static analysis are received calculations values of total deformation that are compared with stamp trials results and laboratory data.

Keywords: *reinforced base, soil-cement, drilling-mixing technology, pressiometry, pressiometry probe, deformation, boundary of compressible strata.*

Вступ. Польові випробування є найбільш достовірним способом дослідження ґрунтів – вони дозволяють не тільки виявити стан і характеристики ґрунтів на момент проведення досліджень, але й спрогнозувати їх зміну внаслідок будівництва. Для підрахунків осідань основ використовується характеристика їх стисливості – модуль загальної деформації E . Для оцінювання цієї характеристики ґрунтів у польових умовах використовують метод статичного навантаження основ моделями фундаментів – штампами. Штампи використовуються плоскі сферичні круглі та квадратні різних розмірів [1].

У сучасній практиці будівництва отримав широке розповсюдження новий метод улаштування штучних основ шляхом пронизування товщі слабого ґрунту жорсткими вертикальними, похилими чи горизонтальними елементами, які можуть виготовлятися за різними технологіями. Це можуть бути призматичні забивні, буронабивні, піщані або ґрунтові палі. Зараз у світі для цієї мети широко використовуються ґрунтоцементні елементи (ГЦЕ), що виготовляються за бурозмішувальною чи струминною технологіями. Різниця між армованою основою і пальовим фундаментом полягає у тому, що в армованій основі відсутній прямий контакт між головами елементів та підшвою фундаменту, їх розділяє подушка зі щебеню чи добре ущільненого ґрунту [2]. Армування поліпшує механічні характеристики ґрунтів за рахунок їх сумісної роботи з жорсткими елементами. Досягнення необхідних властивостей основи реалізується кількістю елементів у ґрунті, які мають достатню міцність і високе зчеплення зі слабким ґрунтом. Усе це забезпечує сумісну роботу слабого ґрунту й елементів армування. Відстань у плані між елементами приймається з умов необхідної міцності та деформативності штучної основи. Шляхом варіювання розмірами і відстанню між елементами можна підвищити модуль деформації слабкої основи у 2 – 10 разів. Частіше за все метод використовується для поліпшення структурно нестійких ґрунтів – лесових просадочних, пухких водонасичених пісків, насипних та ін. [3].

Огляд останніх джерел досліджень і публікацій. Дослідження стисливості армованої основи зараз проводять за допомогою залізобетонних штампів квадратної форми перерізом $1 \times 1 \text{ м}^2$ та $1,2 \times 1,2 \text{ м}^2$, що складає площу відповідно 10000 і 14400 см^2 [4]. Велика площа штампа потрібна для більш повного охоплення ділянки ґрунту між

елементами армування. Модуль деформації основи за цими випробовуваннями розраховується з урахуванням масштабного коефіцієнта відповідно до досліджень М.О. Цитовича [1].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. До недоліків випробовування армованих основ штампами великих розмірів слід віднести, по-перше, трудомісткість робіт, які полягають у монтажі-демонтажі платформи, її завантаженні-розвантаженні, транспортуванні не менше 40 т вантажів; по-друге, такі випробовування можна проводити лише з рівня підшви фундаменту, тобто оцінюється лише невелика товща армованої основи – 2,0 – 2,5 м залежно від розміру штампа, у той час як армування основи, наприклад для ліквідації просадочних властивостей ґрунтів у м. Запоріжжі, виконується на глибину 27 м [5].

Формулювання мети роботи. Розв'язати проблему дослідження стисливості ґрунтів за всією товщею їх армування можна за допомогою пресіометричних випробовувань, тобто метою роботи є розроблення методики визначення стисливості армованих основ пресіометричним методом.

Основний матеріал та результати. Для виконання поставленої мети було використано гідравлічний пресіометр конструкції Д-76 (рис.1).

Пресіометр працює за повітряно-гідравлічною схемою, за якою тиск у ньому створюється газом (азотом), а деформації вимірюються за зміною рівня рідини (води, антифризу). Діаметр зонда – 108 мм, глибина випробування – до 25 м, максимальний тиск на ґрунт – 10 МПа, довжина ділянки навантаження ґрунту у свердловині – 460 мм. Максимальне радіальне переміщення ґрунту – до 40 мм. Цим пресіометром можна визначати модуль деформації ґрунтів від 1 до 80 МПа.

Характерною відмінністю пресіометричного методу є те, що ним оцінюється стисливість ґрунту лише в горизонтальному напрямку, паралельному нашаруванням основи, а не перпендикулярно до них, як це має місце при передачі навантаження від будівель і споруд чи при проведенні штампових випробовувань. У зв'язку із цим для пресіометричних випробовувань анізотропних за механічними властивостями ґрунтів необхідно використовувати коефіцієнт анізотропії, що являє собою відношення відповідних показників властивостей, за нашаруванням ґрунтів і перпендикулярно до нього. Величина цього коефіцієнта може бути визначена в лабораторних умовах.

Зонд пресіометра – це циліндрична оболонка з гуми, котру встановлено на металевому каркасі. При створенні внутрішнього тиску оболонка передає його на ґрунт. Цей процес виконується ступенями, при кожному з них фіксується деформація ґрунту. У результаті встановлюється залежність «навантаження σ – деформація U », за якою визначаються механічні характеристики ґрунтів у місці встановлення зонда [6, 7].

Схему розміщення зонда пресіометра в армованій ґрунтоцементними елементами основи наведено на рис. 2.

Метод оцінювання стисливості армованої основи за допомогою пресіометричних випробовувань базується на тому, що у межах стислої товщі зонда (штампа) за наявності у її зоні нестислої перепони опір стисненню ґрунту збільшується [8]. Тобто модуль деформації такої основи буде вищим, ніж тієї, що без перепони. У цьому випадку такою перепорою слугують ґрунтоцементні елементи армування основи.

Запропоновану версію було перевірено шляхом проведення пресіометричних випробовувань армованої основи при реконструкції корпусу збагачення Полтавського ГЗК. З геоморфологічної точки зору майданчик реконструкції знаходиться у межах другої (піщаної) лівобережної тераси долини р. Дніпро. Інженерно-геологічний розріз ділянки реконструкції наведено на рис. 3.

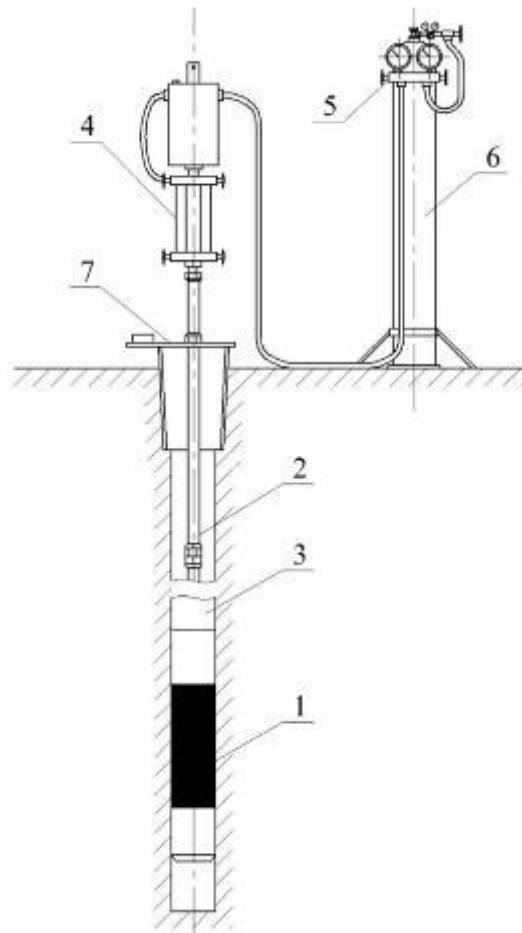


Рис. 1. Схема гідралічного пресіометра:
1 – зонд; 2 – жорсткий трубопровід; 3 – свердловина; 4 – водомірний вузол;
5 – манометр; 6 – балон зі стиснутим газом; 7 – фіксувальна вилка

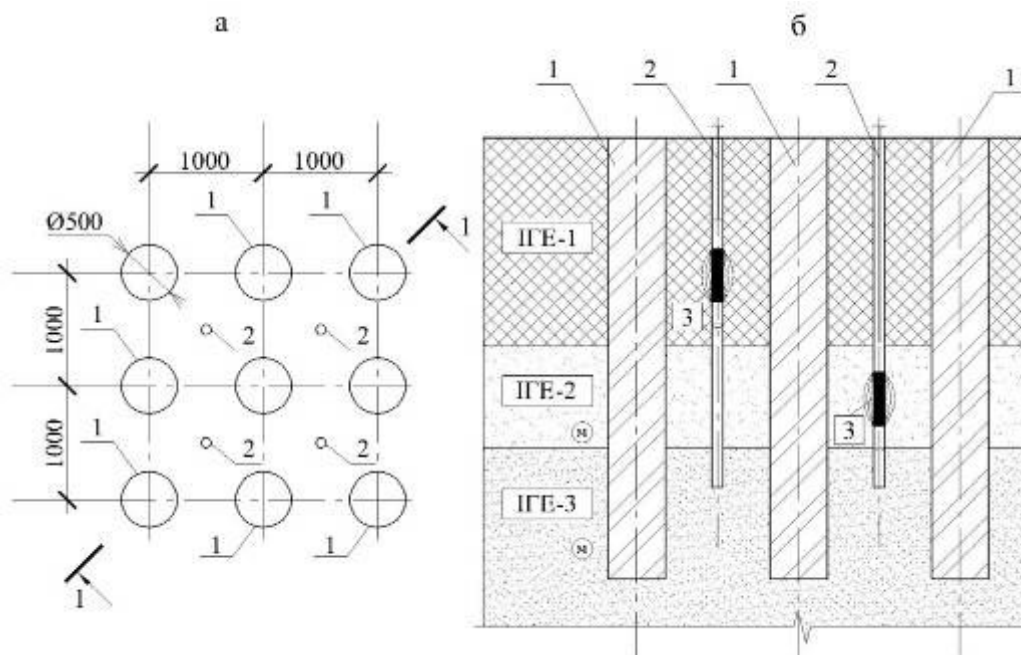


Рис. 2. Схема розміщення зонда пресіометра в армованому масиві:
а – вид зверху; б – розріз по 1-1: 1 – ґрунтоцементні елементи;
2 – пресіометрична свердловина; 3 – зонд пресіометра

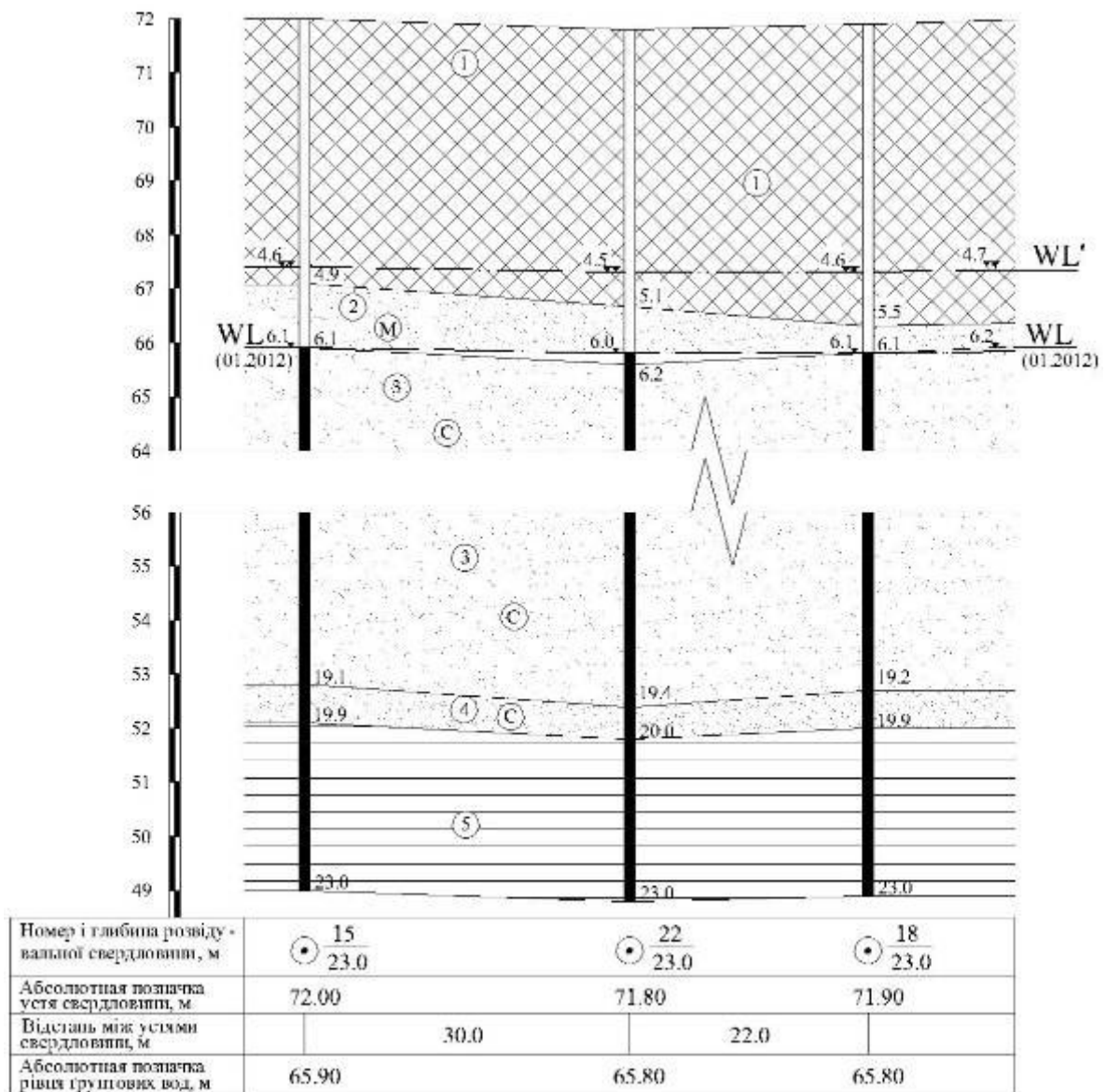


Рис. 3. Інженерно-геологічний розріз по об'єкту «Додаткові технологічні тракти СМД-1 та СМД-2 на ВАТ Полтавський ГЗК»

На будівельному майданчику в межах котловану:

- при бурінні свердловин для пресіометрії були відібрані зразки першого інженерно-геологічного елемента (ІГЕ) для проведення лабораторних випробовувань з метою визначення фізико-механічних характеристик шару;

- до армування основи були проведені шість пресіометричних випробовувань у шести свердловинах на глибині 2,2 м (абсолютна відмітка 70,00 м);

- через місяць після армування основи вертикальними ГЦЕ, виготовленими за бурозмішувальною технологією з витратою цементу М400 20% від ваги сухого ґрунту з умови один ГЦЕ діаметром 500 мм і довжиною 4 м на 1 м² площі фундаменту, міцність на стиск ґрунтоцементу склала $R = 2,1$ МПа; тоді були пробурені шість свердловин, у яких проведено шість пресіометричних випробовувань на абсолютній відмітці 70,00 м.

У межах ділянки виділені такі ІГЕ:

ІГЕ-1 – насипний шар – пісок буро-сірий, темно-сірий, брунатно-сірий, темно-брунатний, чорний, мілкий, з домішками будівельного сміття, злежалий; потужність шару – 4,9 – 5,5 м;

ІГЕ-2 – пісок наливний, жовто-сірий, м'який, однорідний, середньої щільності, від малого ступеню водонасичення до насиченого водою (нижче РГВ); потужність шару – 0,6 – 1,2 м;

ІГЕ-3 – пісок сірий, світло-сірий, м'який, однорідний, середньої щільності, насичений водою; потужність шару – 13,0 – 13,8 м;

ІГЕ-4 – пісок сірий, світло-сірий, середньої крупності, з прошарками та лінзами м'якого, однорідний, середньої щільності, насичений водою; потужність шару – 0,6 – 0,8 м;

ІГЕ-5 – глина зеленувато-сіра, тонкошарувата, глауконітова, легка пилувата, напівтверда; пройдена до глибини 23 м.

Паралельно на поверхні армованої основи були проведені два статичних випробування залізобетонним штампом перерізом 1,2×1,2 м.

Польові випробування ґрунтів радіальним пресіометром і штампом виконували відповідно до ДСТУ [9].

У камері зонда створювали тиск ступенями по 0,025 МПа до моменту стикання оболонки зонда зі стінками свердловини, а далі – ступенями, вказаними в таблиці 1.

Кожний ступінь навантаження витримували у часі до умовної стабілізації деформацій згідно з ДСТУ [9].

Для кожного випробування будували графік залежності в координатах «тиск на ґрунт σ , МПа – горизонтальна деформація ґрунту U , мм». Типові графіки пресіометричних кривих наведені на рис. 4.

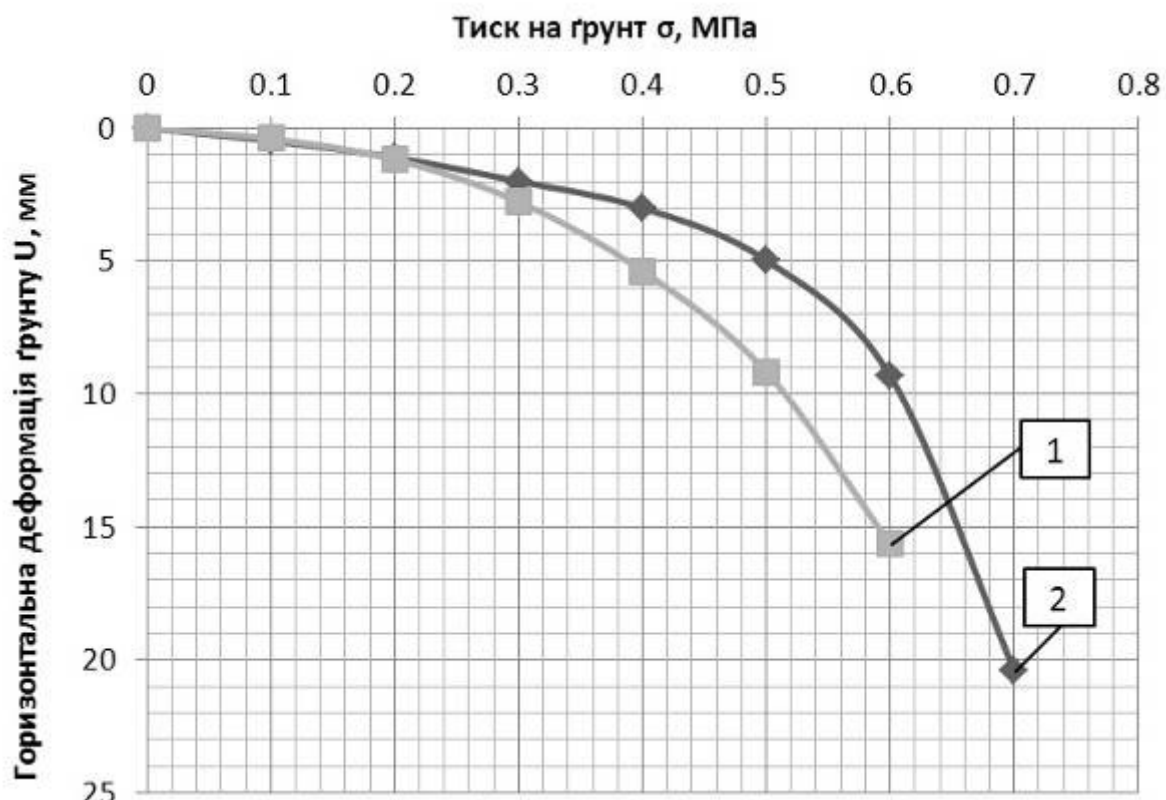


Рис. 4. Усереднені графіки пресіометричних випробувань на об'єкті «Додаткові технологічні тракти СМД-1 та СМД-2 на ВАТ Полтавський ГЗК»: 1 – для природного ґрунту; 2 – для армованої основи

Унаслідок проведених досліджень було складено табл.1, у якій наведені результати визначення фізико-механічних характеристик ґрунтів переліченими вище методами на об'єкті «Додаткові технологічні тракти СМД-1 та СМД-2 на ВАТ Полтавський ГЗК».

Таблиця 1. Значення фізико-механічних характеристик ґрунтів ділянки досліджень за даними польових і лабораторних досліджень

Номер досліджу	Визначено в лабораторії							За даними пресіометра		Модуль деформації за проектом E, МПа	Модуль деформації за штамповими випробуваннями E, МПа
	Природна вологість W	Щільність частинок ґрунту ρ_s , т/м ³	Щільність ґрунту ρ , т/м ³	Коефіцієнт пористості e	Питоме зчеплення c_l , МПа	Кут внутрішнього тертя ϕ_l , град	Модуль деформації E, МПа	Модуль деформації природного ґрунту	Модуль деформації армованого ґрунту E, МПа		
1	19	2,66	1,75	0,809	2	32	9	8,4	23,1	18	22
2	17	2,65	1,84	0,685	1,6	30	9	9	27,0		25
3	20	2,65	1,85	0,719	2,2	28	7,3	7,8	22,8		
4	17	2,69	1,91	0,648	1,5	27	8	8,7	24,8		
5	18	2,64	1,86	0,675	1,8	25	7,5	7,64	22,5		
6	18	2,63	1,77	0,753	1,6	28	9	8,55	23,7		
Сер. зн.	18,2	2,65	1,83	0,714	1,86	28,3	8,17	8,35	23,98		22
Коеф. ν	0,14	0,02	0,07	0,18	0,34	0,14	0,20	0,14	0,16		

За даними проведених досліджень можна зробити такі **висновки**:

1. У сучасному будівництві отримав розповсюдження метод створення штучних основ шляхом армування їх вертикальними ґрунтоцементними елементами, що виготовляються за бурозмішувальною технологією. Контроль за стисливістю таких основ виконується за допомогою статичних випробовувань великими штампами (площею $A = 14400 \text{ см}^2$). Цей метод має істотні недоліки, які полягають у тому, що такі випробовування реально проводяться лише з поверхні основи, тобто досліджується лише невелика (до 2,5 м) товща штучної основи.

2. Запропоновано здійснювати такий контроль за допомогою пресіометричних випробовувань у свердловинах, що дозволить визначати модуль деформації армованої основи за всією її глибиною. Метод оцінювання стисливості армованої основи шляхом пресіометричних випробовувань базується на тому, що у межах стисливої товщі зонда (штампа) за наявності у її зоні нестисливої перепони опір стисненню ґрунту збільшується. Тобто модуль деформації такої основи буде вищим, ніж тієї, що без перепони. У цьому випадку такою перепорою слугують ґрунтоцементні елементи армування основи.

3. На дослідному майданчику, складеному 6-метровою товщею насипного злежалого ізотропного піщаного ґрунту, проведені 6-кратні паралельні визначення модуля деформації неармованої та армованої основ за допомогою пресіометричних випробовувань. На підставі статистичного оброблення результатів установлені характеристики модуля деформації, які для розглянутих основ суттєво відрізняються.

Отримані дані для армованої основи близькі до результатів випробовувань штампом великого розміру і дещо перевищують величину, розраховану в проекті за рекомендаціями ДБН [10].

4. Проведені дослідження доводять принципову можливість використання пресіометричних випробовувань для оцінювання стисливості армованих основ. Наступні дослідження планується присвятити методиці проведення пресіометричних випробовувань. Необхідно підібрати розміри зонда таким чином, щоб його стислива товща була найбільшою, тобто підвищити його чутливість до жорстких перепон.

Література

1. Цытович Н.А. *Механика грунтов* / Н.А. Цытович. – М.: Стройиздат, 1963. – 635 с.
2. *Особенности армування ґрунтів вертикальними ґрунтоцементними елементами* / М.Л. Зоценко, С.Ф. Пічугін, Р.В. Петраш, О.О. Гудімов // *Міжвід. науково-техн. зб. наук. праць (будівництво)*. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 66. – С. 65 – 72.
3. Тимошук В.І. *Дослідження параметрів закріплення нестійких ґрунтових масивів з використанням технології ґрунтоцементного армування* / В.І. Тимошук, В.І. Крисан, В.В. Крисан // *Міжвід. науково-техн. зб. наук. праць*. – К.: НДІБК, 2007. – Вип. 71, Т. 2. – С. 264 – 274.
4. Зоценко Н.Л. *Сравнительная оценка эффективности армирования основания по данным штамповых испытаний и математического моделирования* / Н.Л. Зоценко, Н.И. Латын, Р.В. Петраш // *Основания, фундаменты и механика грунтов*. – 2008. – № 4. – С. 17 – 20.
5. *К вопросу определения приведенных характеристик ґрунтовых оснований, армированных жесткими вертикальными элементами* / А.В. Шаповал, Е.А. Шокарев, В.Г. Шаповал, А.В. Шокарев // *Світ геотехніки*. – 2012. – № 2 (34). – С. 28 – 30.
6. Бондарик Г.К. *Методические рекомендации по определению деформационных и прочностных свойств глинистых пород методом прессиометрии* / Г.К. Бондарик, С.Л. Коренева, Д.С. Горячева. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1971. – 96 с.
7. Poulos H.G. *Foundations and retaining structures – research and practice* / H.G. Poulos, J.P. Carter, J.C. Small // *Proc. of the 15th intern. Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, A. A. Balkema Publ., Theme Lecture, Vol. 4 Istanbul, Turkey, 2001*. – P. 252 – 2606.
8. Зоценко Н.Л. *Исследование границ зоны вытирания песчаного ґрунта, возникающей при погружении конического наконечника с углом раскрытия 30°* / Н.Л. Зоценко // *Инженерные изыскания в строительстве*. – К.: УкрГІІІНТІЗ, 1968. – Вып. 1/6. – С. 89 – 99.
9. ДСТУ Б В.2.1-7-2000 (ГОСТ 20276-99). *Ґрунти. Методи польового визначення характеристик міцності і реформованості*. – К.: Держбуд України, 2000 – 80 с.
10. ДБН В.2.1-10-2009. *Основи та фундаменти споруд. Основні положення*. – К.: Мінрегіобуд України, 2009 – 83 с.

© М.Л. Зоценко, В.Г. Іванченко
Надійшла до редакції 25.05.2015