

*М.Л. Зоценко, д.т.н., професор*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ГРУНТОЦЕМЕНТНІ ПАЛІ, ЩО ВИГОТОВЛЯЮТЬСЯ БУРОЗМІШУВАЛЬНИМ МЕТОДОМ**

*Наведено експериментально-теоретичні дослідження та досвід упровадження ґрунтоцементних палей, які виготовляються бурозмішувальним методом. Основну увагу приділено шляхам підвищення міцності ґрунтоцементу. Сформульовано методіку контролю за якістю виготовлення ґрунтоцементних палей. Оцінено економічну ефективність таких палей у конкретних умовах будівництва.*

**Ключові слова:** ґрунтоцемент, металева арматура, вібрування, контроль якості.

*Н.Л. Зоценко, д.т.н., професор*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **ГРУНТОЦЕМЕНТНЫЕ СВАИ, ИЗГОТАВЛИВАЕМЫЕ БУРОСМЕСИТЕЛЬНЫМ МЕТОДОМ**

*Приведены экспериментально-теоретические исследования и опыт внедрения ґрунтоцементных свай, изготавливаемых буросмесительным методом. Основное внимание уделено путям повышения прочности ґрунтоцемента. Сформулирована методика контроля качества ґрунтоцементных свай. Оценена экономическая эффективность таких свай для конкретных условий строительства.*

**Ключевые слова:** ґрунтоцемент, металлическая арматура, вибрирование, контроль качества.

*M.L. Zotsenko, Prof., DrSc.*

*Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

## **SOIL-CEMENTS PILES, MANUFACTURED BY BORING-MIXING METHOD**

*The experimental and theoretical studies and experience in implementing soil-cements piles, which are made by boring-mixing method. The main attention is paid to ways of increasing the strength soil-cement. The method of quality control of manufacturing soil-cements piles is formulated. The economic efficiency of pile construction in specific circumstances is reviewed.*

**Keywords:** soil-cement, metal fittings, vibration, quality control.

**Вступ.** Набивні палі, а до них належать усі монолітні палі, все ширше використовуються у будівництві. З'являються і вдосконалюються нові технології їх виготовлення: бурін'єкційні, в розкатаних, пробитих або продавлених свердловинах тощо. Основною проблемою, яка визначає якість виготовлення набивних палей, є забезпечення стійкості стінок свердловини до заповнення її бетоном чи іншим матеріалом.

Найбільш розповсюджений метод буріння свердловин у нестійких ґрунтах є під захистом обсадної труби. Для того щоб не допустити виходу пливунів до свердловини, обсадку необхідно занурювати (загвинчувати) нижче вибою свердловини. Це не завжди можна реалізувати, частіше

обсадка рухається за долотом, і немає гарантії захисту від виходу пливуну. Наявність металевої трубчастої обсадки значно підвищує вартість палі [1].

Буріння свердловин під глинистим розчином нестійких ґрунтах за умови використання оптимального для конкретного складу глинистого розчину гарантовано забезпечує стійкість стінок свердловини в процесі буріння. За готовності свердловини без видалення глинистого розчину в неї встановлюють арматурний каркас і виконують підводне бетонування за допомогою ВПТ або бетононасоса. До недоліків таких палей слід віднести, по-перше, необхідність утилізації відробленого глинистого розчину, а, по-друге, за рахунок порушення природного ґрунту в процесі буріння на контакті з бетоном значно знижується його опір за бічною поверхнею палі, що враховується при розрахунках коефіцієнтом умови роботи за бічною поверхнею палі  $\gamma_{cf} = 0,6-0,7$  [1].

Буроін'єкційні палі, які влаштовуються за допомогою прохідного шнека, теж не виключають виходу слабого ґрунту у свердловину, що підтверджено дослідженнями проф. Г.І. Черного [2]. Буроін'єкційні палі, які влаштовують за допомогою продавлювання спеціальним снарядом, виключають вихід слабких ґрунтів до свердловини, але потребують потужного спеціального обладнання, котре не виготовляється в межах СНГ.

Тобто можна констатувати, що сучасні методи виготовлення набивних палей не завжди можуть забезпечувати достатню їх якість, особливо в нестійких ґрунтах. Це потребує розроблення нових ефективних методів, які надійно виключать прорив слабких ґрунтів у свердловину. Саме розв'язанню такого завдання присвячено цю статтю.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Таким вимогам відповідають ґрунтоцементні набивні палі, які виготовляються струминним або бурозмішувальним методами. На нашу думку, більш економічним, тобто менш витратним, є бурозмішувальний метод. При практично однаковому кінцевому результаті маємо менші витрати цементу, але втрачаємо у продуктивності [3]. Основною перевагою ґрунтоцементних палей, котрі виготовляються за бурозмішувальним методом, є їх технологічність при влаштуванні у нестійких ґрунтах. Виготовлення ґрунтоцементу за вказаним методом починається від голови палі до проектної глибини. При цьому немає необхідності у кріпленні стінок свердловини, їх надійно втримує рідкий ґрунтоцемент не залежно від положення рівня ґрунтових вод. Одночасно маємо певний недолік таких палей, який полягає у недостатній міцності ґрунтоцементу. У багатьох випадках несуча здатність ґрунтоцементної палі за матеріалом нижча ніж за ґрунтом. Цей недолік звужує межі впровадження ґрунтоцементних палей.

Ґрунтоцемент як матеріал є не просто механічною сумішшю, а системою, що складається з двох, вельми складних за своїм вмістом і властивостями, багатокомпонентних систем – цементу і ґрунту. Основним провідним чинником у корінному перетворенні властивостей ґрунту є

цемент – полідисперсна і полімінеральна система, продукт тонкого помолу клінкеру, здатна після додавання води утворювати каменеподібне тіло.

Ґрунти у свою чергу розглядаються як тверді полідисперсні дуже складні системи, багато властивостей яких визначаються законами дисперсного стану речовин. В умовах природного залягання ґрунт у більшості випадків являє собою трифазну систему, що складається з твердої, рідкої та газоподібної фаз. Здатність ґрунтів до прояву складних взаємодій з доданими до нього речовинами підсилюються значною мірою тим, що ґрунти являють собою теж полідисперсні системи, які складаються із частинокрізної величини, мінералогічного й хімічного складу.

При зміцненні ґрунтів цементом можливе поглинання катіонів та аніонів. Хімічне поглинання відіграє досить значну роль і супроводжується хемосорбційними процесами, в результаті яких гідроліз та твердіння цементу в ґрунтоцементі проходять за трохи іншими закономірностями, ніж у бетоні чи в будівельних розчинах. Залежно від величини обмінної здатності та складу обмінних катіонів різні ґрунти навіть при однаковому гранулометричному складі мають досить різноманітні фізичні й механічні властивості, що суттєво впливають на стійкість ґрунтів в інженерних спорудах.

У технологічному процесі приготування ґрунтоцементу вирішальними факторами є: а) максимальний ступінь подрібнення мікроагрегатів ґрунту; б) точність дозування цементу (чи інших в'язучих речовин) і рівномірність перемішування його з ґрунтом; в) оптимальний ступінь зволоження (водоцементне відношення) та рівномірний розподіл вологи в суміші; г) максимальне ущільнення ґрунтоцементу при відповідній оптимальній вологості; д) оптимальний режим вологості й температури при твердінні ґрунтоцементу [4, 7].

Для приготування ґрунтоцементу використовують різні дисперсні ґрунти: піски, супіски, суглинки, глини. Найкращі результати виготовлення ґрунтоцементу отримано в піщаних ґрунтах. При додаванні до піску цементу й оптимальному значенні водоцементного відношення (В/Ц) практично маємо справу із цементно-піщаним розчином, міцність якого залежить переважно від умісту та марки цементу. Згідно з інструкцією СН-23-58 для виготовлення ґрунтоцементу придатні також і глинисті ґрунти. Із них найбільше відповідають вимогам лесові та лесовані суглинки й супіски.

Характеристиками ґрунтоцементу, за якими можна оцінювати його як будівельний матеріал, є:  $\rho_d$ , т/м<sup>3</sup> – щільність скелета;  $R_n$ , МПа, – призмова міцність;  $E_r$ , МПа, – модуль пружності;  $E_o$ , МПа, – загальний модуль деформації. За дослідними даними значення цих характеристик суттєво залежать від того, в яких умовах виготовлений ґрунтоцемент. При виготовленні ґрунтоцементу в умовах будівельної бази (стаціонарних) із ґрунту порушеного складу з використанням змішувальних машин наступними ущільненням і навіть термічним обробленням отримують

найвищі характеристики. Коли ґрунтоцемент виготовляється безпосередньо у масиві ґрунту, за однією з перелічених вище технологій, знижується якість перемішування суміші, практично неможливе її додаткове ущільнення і термічна обробка. Наявність у природних ґрунтах води, особливо нижче її рівня, значно підвищує В/Ц суміші, що знижує щільність ґрунтоцементу і відповідно його механічні характеристики. Дані для порівняння наведено у табл. 1. Усі зразки мають термін витримування у часі – 90 діб, уміст цементу М400 15% від ваги ґрунту.

**Таблиця 1. Фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу**

№№ з/п	Умови виготовлення ґрунтоцементу	Особливі умови	Фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу			
			$\rho_d$ , т/м <sup>3</sup>	$R_n$ , МПа	$E_r$ , МПа	$E_o$ , МПа
1	Стаціонарні, Омськ, лесовий $I_p = 0,04$ ; Токін А.М.	Обтиснені $\sigma = 16$ МПа	1,83	11,6	6430	1300
2	Стаціонарні, Одеса, лесовий суглинок, $I_p = 0,13$ , Токін А.М.	Обтиснені $\sigma = 16$ МПа	2,0	17,3	5020	1800
3	Стаціонарні, Волгоград, лесовий сулинок, $I_p = 0,09$ , Токін А.М.	Обтиснені $\sigma = 16$ МПа	1,99	16,5	5400	1700
4	Бурозмішувальна, лесовий суглинок, Токін А.М.		1,6	3	2000	400
5	Бурозмішувальна, палі, суглинок, НвНовосибірськ		1,54	2,0	–	250
6	Струменево-змішувальна, суглинок, Крисан В.І.		1,50	2,5	–	300
7	Струминна, Москва, суглинок, Малінін А.Г.		1,7	2,2	–	270
8	Бурозмішувальна, лесовий супісок, $I_p = 0,04$ , Полтава		1,56	3,5	–	397
9	Бурозмішувальна, лесовий суглинок, $I_p = 0,07$ , Полтава		1,49	2,8	–	280
10	Бурозмішувальна, лесовий суглинок, $I_p = 0,10$ , Полтава		1,38	2,2	–	220
11	Бурозмішувальна, лесовий суглинок, $I_p = 0,14$ , Полтава		1,37	1,9	–	190
12	Бурозмішувальна, пісок мілкий, Полтава		1,76	4,2	–	397

Як свідчать дані табл. 1, у стаціонарних умовах виготовлення ґрунтоцементу можна використати оптимальне В/Ц відношення й ущільнити суміш. Саме це забезпечує достатню його щільність і відповідно суттєво більші механічні характеристики матеріалу. Виготовлення ґрунтоцементу безпосередньо у масиві ґрунту має свої

переваги з точки зору технологічності процесу, відпадає необхідність у переміщенні ґрунту. Таким чином можна виготовляти штучні основи, фундаменти, палі, різного призначення захисні споруди. Особливо ефективні струминний та бурозмішувальний методи при підсиленні основ будівель і споруд, які підлягають реконструкції.

Дослідно доведено, що з часом механічні властивості ґрунтоцементу суттєво зростають, особливо коли матеріал знаходиться у ґрунті нижче рівня ґрунтових вод. За даними Токіна А.М. [4] на відміну від бетону тужавіння ґрунтоцементу йде повільніше. Коли взяти для ґрунтоцементу за 100% призову міцність  $R_n$  при 28 добах тужавіння, то при терміні в 90 діб ця величина складе вже 130 – 150%; а через 2 роки – до 300%.

**Виділення не розв'язаних ранише частин загальної проблеми і постановка завдання досліджень.** Як свідчить проведений аналіз, для широкого впровадження ґрунтоцементних паль необхідно суттєво збільшити міцність матеріалу. Для умов бурозмішувального методу це можна зробити шляхом збільшення його ґрунтоцементу. Оскільки при бурозмішувальному методі виготовлення ґрунтоцементу ущільнення матеріалу може бути лише від власної ваги, необхідно розробити і дослідити можливі додаткові методи ущільнення рідкої ґрунтоцементної суміші в процесі її виготовлення.

Основною причиною недоущільненості ґрунтоцементу, виготовленого за струменевою та бурозмішувальною технологіями, є високий уміст води у природному ґрунті. Саме він відіграє вирішальну роль у формуванні водоцементного відношення ґрунтоцементної суміші. Далі починає розвиватися процес гідратації цементу, який поглинає частину води, а вся залишкова вода і газові бульбашки у її складі створюють пори у ґрунтоцементі. Позбавитися їх можна за допомогою вібрування рідкої ґрунтоцементної суміші безпосередньо після її виготовлення.

З іншого боку, ґрунтоцемент має багато спільного із цементними бетонами і розчинами, конструкції з яких підсилюють при виготовленні армуванням сталеву арматурою. Звідси **мета роботи** – дослідити ефективність такого армування ґрунтоцементу.

**Основний матеріал і результати.** Відомо, що ефективність вібрування рідких бетонів та розчинів залежить від гранулометрії їх складових. Наявність щебеню у бетонах найбільше сприяє їх ущільненню за рахунок більших інерційних сил порівняно з розчинами, у яких є тільки пісок. Існувала думка, що для рідких ґрунтоцементних сумішей вібрування не ефективно взагалі.

У рамках поставленої задачі досліджень аспірантка ПолтНТУ Нестеренко Т.М. перевірила ефективність вібрування рідких ґрунтоцементних сумішей, виготовлених з глинистих і піщаних ґрунтів. Для цього були використані лесований пилюватий, середній суглинок і кварцовий мілкий, однорідний пісок. Використовувався портландцемент

марки ПЦ-ІІ/Б-Ш-400 і гідрокарбонатно-кальцієва вода, слаболужна, показник рН =8. Уміст портландцементу М 400 складає 20% від маси сухого ґрунту. Глинистий ґрунтоцемент готували партіями з водоцементним відношенням суміші В/Ц = 1,5; 1,75 та 2,1. Піщаний ґрунтоцемент мав В/Ц = 1,75 і 2,1. Готову ґрунтоцементну суміш укладали у стандартні кубічні металеві форми з розмірами граней 100 мм.

Вібрування наповнених рідким ґрунтоцементом металевих форм виконували на стандартному лабораторному вібростенді. Він створював динамічну дію із частотою коливань  $n = 50$  Гц та амплітудою коливань під навантаженням  $A = 0,5$  мм [5]. Результати визначення міцності віброваного ґрунтоцементу залежно від часу вібрування наведено на рис. 1.

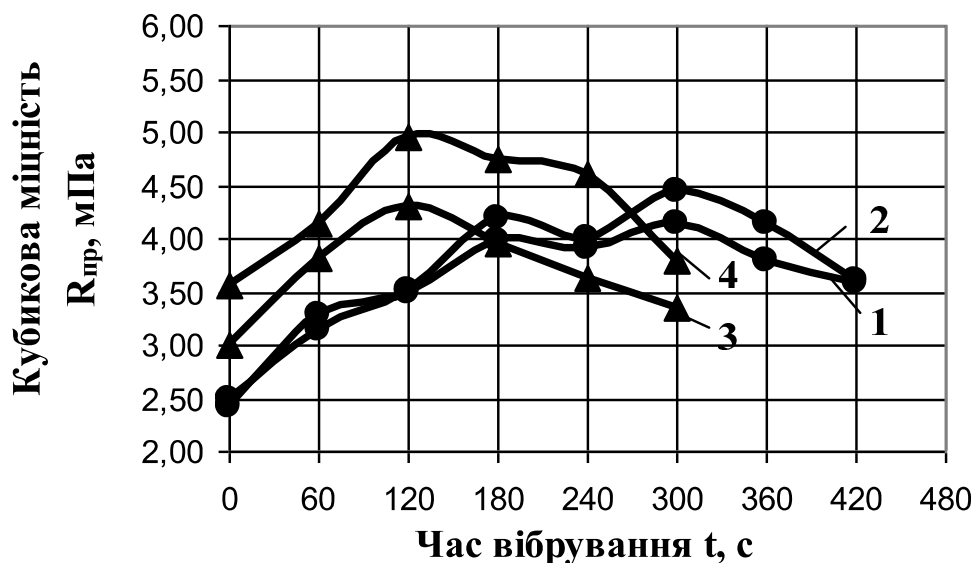


Рис. 1. Залежність міцності зразків ґрунтоцементу від часу вібрування (термін тужавіння – 28 діб): 1 – із глинистого ґрунту з В/Ц = 2,1; 2 – із глинистого ґрунту з В/Ц = 1,75; 3 – із мілкового однорідного піску В/Ц = 2,1; 4 – із мілкового однорідного піску з В/Ц = 1,75

Із графіків видно, що піщаний ґрунтоцемент (криві 3 і 4) має більші показники міцності, ніж ґрунтоцемент із глинистого ґрунту (криві 1 і 2). Початкові показники кубкової міцності для зразків ґрунтоцементу з мілкового однорідного піску (без вібрування) із прикладенням вібраційного впливу збільшилися на 40 і 44%, відповідно для В/Ц 1,75 та 2,1. Для глинистого ґрунтоцементу міцність при тих же значеннях В/Ц збільшилася на 78 і 66%. Максимальна кубова міцність досягається при прикладенні вібраційного впливу протягом 120 с для зразків із мілкового однорідного піску та 300 с для зразків із глинистого ґрунту. При цьому щільність ґрунтоцементу з піску збільшилася на 6%, а із суглинку – на 8%.

Таким чином, експериментально доведено ефект збільшення міцності ґрунтоцементу, виготовленого з пилюватих глинистих ґрунтів, унаслідок вібрування ґрунтоцементної суміші. Те ж саме можна стверджувати і для

кварцових мілких, однорідних пісків. Також доведено, що існує оптимальна величина інтенсивності вібрування (час дії вібрування), коли для певного складу ґрунтоцементної суміші досягається максимальне значення щільності ґрунтоцементу. При більшій інтенсивності вібрування ґрунтоцементна суміш розшаровується. Причиною збільшення міцності ґрунтоцементу є підвищення його щільності внаслідок вібрування.

Ефект ущільнення ґрунтоцементної суміші вібруванням виникає за рахунок витиснення з нього води та бульбашок повітря. При більших значеннях водоцементного відношення відносно збільшення міцності ґрунтоцементу більше.

За даними лабораторних досліджень було доведено, що вібрування підвищує щільність ґрунтоцементу, тобто таким чином можна збільшити несучу здатність палі на вертикальне навантаження за матеріалом, що є нагальною проблемою впровадження ґрунтоцементних паль. Розв'язати поставлену проблему можна шляхом зіставлення значень несучої здатності ґрунтоцементних паль, виготовлених за бурозмішувальною технологією з вібруванням рідкої суміші й без нього.

Щоб дослідження мали однозначний результат, необхідно в процесі випробувань визначити окремо несучу здатність за ґрунтом. Для цього одного розміру палі слід виконати з бетону класу за міцністю С20/25 з гарантованою несучою здатністю за матеріалом більшою, ніж за ґрунтом.

На дослідному майданчику, складеному водонасиченими лесованими суглинками, було виготовлено три серії набивних паль:

- I серія з двох буронабивних паль діаметром 500 мм і довжиною 600 см (БНП), які були заповнені важким бетоном класу С20/25;
- II серія з двох ґрунтоцементних паль діаметром 500 мм і довжиною 600 см (ГЦП), котрі були виконані за бурозмішувальною технологією;
- III серія з трьох ґрунтоцементних паль діаметром 500 мм і довжиною 600 см (ВГЦП), які були виконані за бурозмішувальною технологією з вібруванням рідкої суміші протягом 180 с.

Дослідні палі виготовлялися у межах будівельного майданчика, неармувалися поздовжнім металевим каркасом і були витримані впродовж 56 діб для тужавіння ґрунтоцементу. Для створення вертикального стискального навантаження було використано вантажну платформу з бетонними фундаментними блоками загальною вагою до 600 кН.

Для навантаження палі було застосовано гідравлічний домкрат ДГ-100. Тиск у домкраті створювали за допомогою насосної станції НС-600 (максимальний тиск 60 МПа). На насосній станції встановлено зразковий манометр на 60 МПа із ціною поділки 0,6 МПа.

Після вичерпання нормативного терміну тужавіння бетону та ґрунтоцементу палі випробовували вертикальним стискальним

навантаженням відповідно до ДСТУ Б В.2.1-27-2010 «Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань».

Характерні графіки статичних випробувань ґрунтів набивними палями на дослідному майданчику № 1 наведено на рис. 2.

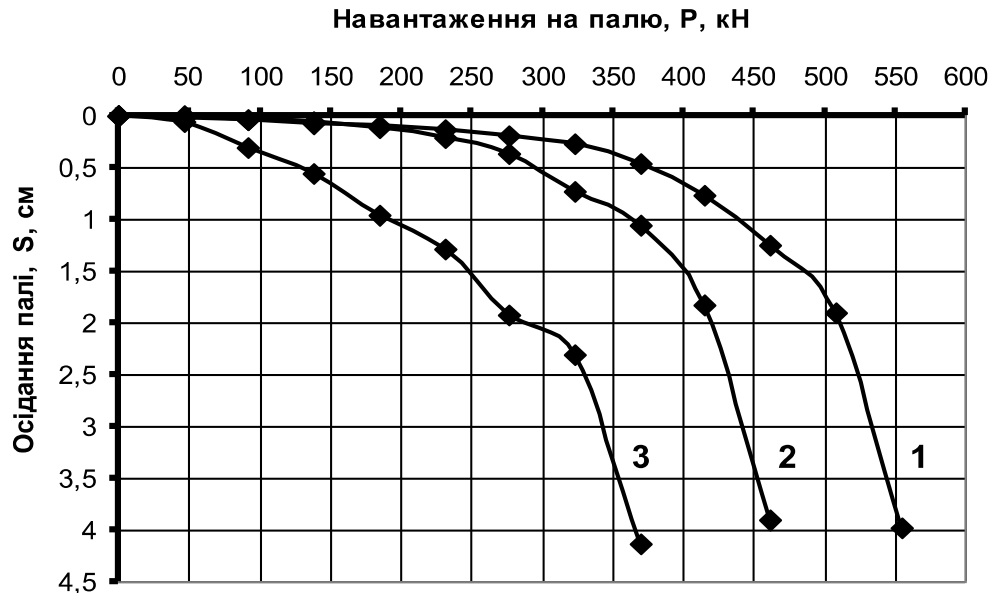


Рис. 2. Графіки випробувань дослідних палей: 1 – БНП; 2 – ВГЦП; 3 – ГЦП

Несуча здатність палей визначалася при осіданні дослідних палей  $\Delta = 2,0$  см. Результати визначень несучої здатності палей  $F_d$  наведено в табл. 2.

**Таблиця 2. Параметри дослідних палей та їх несуча здатність**

Марка дослідних палей	Довжина палей $l_d$ , м	Час вібрування $t$ , с	Осідання суміші $\Delta h$ , см	Показник ущільнення $k_v$	Несуча здатність палей $F_d$ , кН
ГЦП-1	6,0	0	0	0	325
ГЦП-2	6,0	0	0	0	285
ВГЦП-1	6,0	180	38	0,063	400
ВГЦП-2	6,0	180	41	0,068	425
ВГЦП-3	6,0	180	36	0,06	430
БНП-1	6,0	0	0	0	550
БНП-2	6,0	0	0	0	565

Несучу здатність набивної палі за ґрунтом можна однозначно визначити за результатами випробувань набивних бетонних палей тому, що вся бетонна палія в інженерно-геологічних умовах, які розглядаються, завжди має меншу несучу здатність за ґрунтом. Для конкретних умов дослідного майданчика несучу здатність набивної палі діаметром 500 мм і довжиною 6,0 м за ґрунтом за даними статичних випробувань визначимо як середнє значення з двох паралельних випробувань  $F_d = 557$  кН.

Щоб підвищити щільність ґрунтоцементу і відповідно його міцність, три дослідних палей виготовлялися з попереднім вібруванням рідкої суміші



грунтоцементу протягом 180 с. Унаслідок вібрування об'єм грунтоцементу зменшувався. Цей факт фіксувався мірною лінійкою. За цими даними розраховували показник ущільнення грунтоцементу, який склав  $k_v = 0,064$ . Після вимірювання додатковий об'єм заповнювався бетоном класу С 2/25. Такі палі промарковані як ВГЦП – вібрована грунтоцементна паля, за даними статичних випробовувань їх несуча здатність склала  $F_d = 418$  кН.

Коливзятидлянабивноїбетонноїпалідіаметром 500 ммдовжиною 6,0 мїнесучуздатністьзагрунтомяк 100 %–  $F_d = 557$  кН, точерез 56 дібневіброванаГЦПмає  $F_d = 305$  кНлише 55%, авіброванаВГЦП– $F_d = 418$  кН, тобто 75%.

Притакомупідрахункунесучаздатністьгрунтоцементноїпалізбільшуєтьсяна 20%.

Іншимшляхомзбільшенняміцностігрунтоцементу, якийвиготовляєтьсязабурозмішувальноютехнологією, єармуванняконструкційізньогосталевоюарматурою.

Для визначення ефекту армування грунтоцементу сталевою стержневою арматурою аспірант ПолтНТУО.В. Петраш виконав лабораторні дослідження на зразках у формі призми розміром 100x100x400 мм [6].

Усього було виготовлено чотири групи дослідних зразків по 6 шт. у кожній. Грунтоцемент, як і в попередньому досліді з вібруванням грунтоцементу, містив цементу в кількості 20% від ваги скелета ґрунту (лесованого суглинку), В/Ц дорівнювало 2,7. Осідання конуса для грунтоцементної суміші склало 11 см і забезпечило нормальне заповнення арматурного каркаса грунтоцементом. Зразки першої групи не мали армування і слугували контрольною групою. Максимальне напруження у нормальному перерізі зразків цієї групи дорівнювало призмівій міцності грунтоцементу.

Зразки 2 – 4-ї групи були армовані чотирма окремими стержнями арматури класу А-І з межею текучості  $f_{yd} = 225$  МПа й модулем пружності  $E_s = 210000$  МПа. Захисний шар арматури приймався з огляду на її діаметр та геометричні розміри зразка і складав 20 мм. На торцевих поверхнях призм передбачено сталеві опорні пластини товщиною 2 мм, до яких жорстко приєднані арматурні стержні. Призначення пластин полягало в рівномірному розподілі навантаження по нормальному перерізу та одночасному включенні у роботу грунтоцементу й усіх чотирьох стержнів арматури.

Характеристики арматурних каркасів та процент армування нормального перерізу дослідних зразків кожної з груп наведено в табл. 3.

**Таблиця 3. Параметри армування нормального перерізу дослідних зразків**

№ групи зразків	Спосіб армування	Процент армування $\rho_f$ , %
1	–	0,00

2	4Ø6 A-I	1,13
3	4Ø8 A-I	2,01
4	4Ø10 A-I	3,14

Описані вище зразки для спрощення досліду та наочності результатів було випробувані на дію осьового стиску на дослідній машині ГМС-50 (рис. 3). Навантаження на зразок передавалося через масивні опорні пластини пресу, площа яких відповідала площі робочих граней призми, чим також забезпечувався рівномірний його розподіл по поверхні досліджуваного зразка.



*Рис. 3. Випробування армованих ґрунтоцементних призм на осьовий стиск*

Навантаження призм здійснювалося з постійною швидкістю, яка складала  $0,6 \pm 0,2$  МПа/с. За даними попередніх експериментів було встановлено, що розвиток пластичних деформацій у ґрунтоцементі при такій швидкості не веде до завищення результатів випробування. Навантаження зразків продовжувалося до їх повного руйнування, яке відбувалося після сколювання захисного шару ґрунтоцементу та випинання арматури поблизу опорних пластин призми (рис.4).



*Рис. 4. Характер руйнування армованих ґрунтоцементних призм*

За результатами випробувань ґрунтоцементних зразків на осьовий стиск було отримано величини їх несучої здатності. У табл. 4 наведено середні дані для кожної серії випробувань. Коефіцієнт варіації, визначений у результаті статистичної обробки експериментальних даних методом найменших квадратів, склав  $V = 0,16$ .

**Таблиця 4. Несуча здатність армованих ґрунтоцементних призм за результатами їх випробування на осьовий стиск**

№ групи зразків	Процент армування $\rho_f, \%$	Руйнівне навантаження $N$ , кН	Розрахункове поздовжнє зусилля $N_f$ , кН
1	0,00	12,80	12,80
2	1,13	42,50	35,93
3	2,01	62,70	54,54
4	3,14	84,00	78,43

Як видно з результатів дослідження, армування моделей ґрунтоцементних паль дозволяє збільшувати їх міцність за матеріалом у шість разів при осьовому стиску. Маючи на увазі вищевказане, необхідно визначитись з аналітичними методами розрахунку несучої здатності армованих ґрунтоцементних паль за матеріалом, які найбільшою мірою відповідали б дійсності та враховували механічні особливості ґрунтоцементу.

Метод розрахунку залізобетонних елементів за граничними станами при випадкових ексцентриситетах є розвитком методу розрахунку за руйнівними зусиллями. У його основу покладено поняття розрахунків за граничними станами, а розрахунок міцності перерізів виконують за стадією руйнування, також у цьому методі прийнято систему розрахункових коефіцієнтів надійності: за навантаженнями, матеріалами й умовами роботи [8]. За цим методом міцність центрально стиснутого

елемента, перевіряється за формулою (1). Розміри поперечного перерізу, матеріали, армування та навантаження є відомими.

$$N_I \leq \varphi(f_{cd}A_b + f_{yd}A_s), \quad (1)$$

де  $N_I$  – розрахункове поздовжнє зусилля, кН;

$\varphi$  – коефіцієнт, який ураховує геометричні розміри зразка й співвідношення між поздовжньою силою від постійних з довготривалими навантаженнями та поздовжньою силою від дії всіх навантажень, складає 0,94;

$f_{cd}$  – розрахунковий опір ґрунтоцементу на стиск для граничних станів першої групи (призмova міцність), МПа;

$f_{yd}$  – розрахунковий опір арматури на стиск, МПа;

$A_b, A_s$  – площа ґрунтоцементу та площа арматури відповідно, мм<sup>2</sup>.

Результати розрахунку наведено в табл. 4. Як свідчать наведені дані, міцність армованих ґрунтоцементних призм за матеріалом зросла у шість разів відповідно до використаного методу розрахунку. Слід при цьому відмітити достатню близькість даних, які були отримані експериментально і за розрахунком.

**Висновки.** З точки зору технологічності процесу виготовлення ґрунтоцементні палі мають переваги над усіма іншими набивними палями у тому, що при їх виготовленні немає необхідності у додаткових заходах для утримання стінок свердловин (обсадних труб, бурових розчинів, спеціальних снарядів продавлювання тощо. Відомі бурозмішувальний і струминний метод їх виготовлення. Останній має перевагу своєю продуктивністю й більшими можливостями за глибиною та діаметрами ґрунтоцементних паль. При бурозмішувальному методі менше витрачається цементу, використовується просте обладнання, кошторисна вартість ґрунтоцементу менша.

До недоліків ґрунтоцементних паль слід віднести їх невелику міцність за матеріалом. Унаслідок цього несуча здатність таких паль за матеріалом значно менша, ніж за ґрунтом.

Одним зі шляхів збільшення міцності ґрунтоцементу, виготовленого за бурозмішувальним методом, є вібрування його рідкої суміші безпосередньо у свердловині. Експериментально доведено ефект збільшення щільності ґрунтоцементу, виготовленого з пилюватих глинистих ґрунтів чи мілкоого однорідного піску внаслідок вібрування ґрунтоцементної суміші. При цьому встановлено, що існує оптимальна величина інтенсивності вібрування, коли для певного складу ґрунтоцементної суміші досягається максимальне значення щільності матеріалу. Міцність віброваного ґрунтоцементу через 28 діб тужавіння збільшується до 30%.

За результатами лабораторних і натурних випробовувань, а також аналітичних розрахунків встановлено вплив армування ґрунтоцементу сталевую арматурою на його міцність, при цьому експериментально

доведено, що міцність ґрунтоцементу суттєво збільшується з підвищенням процента арматури.

У подальших дослідженнях заплановано дослідити ефект вібрування рідкого ґрунтоцементу при зануренні просторового каркаса зі стрижневої арматуризалежно від параметрів віброзанурювача і терміну вібраційної дії.

#### *Література*

1. Еремін, В.Я. *Некоторые проблемы качества буронабивных свай* / В.Я. Еремін, А.В. Еремін, Н.В. Сарафанов // *Труды междунар. научно-техн. конф. «Проблемы механики грунтов и фундаментостроения в сложных грунтовых условиях»*. Т.1. – Уфа: БашНИИстрой, 2006. – С. 85–96.
2. Черний, Г.І. *Будівництво нових спорудумовах щільної міської забудови* / Г.І. Черний. – *Будівництво України*. – К.; 2000. – №4. – С. 6 – 9.
3. Малинин, А.Г. *Обоснование расхода цемента при струйной цементации грунта* / А.Г. Малинин // *Подземное пространство мира*. – 2003. – №3. – С. 12–14.
4. Токин, А.Н. *Фундаменты из цементогрунта* / А.Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 184 с.
5. Зоценко, М.Л. *Порівняльний аналіз впливу вібрування на механічні характеристики ґрунтоцементу з мілкою однорідного піску та глинистого ґрунту* / М.Л. Зоценко, Т.М. Нестеренко // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПолтНТУ, 2012. – Вип. 4 (34). – С. 123 – 130.
6. Зоценко, М.Л. *Вплив поздовжнього армування на несучу здатність паль з ґрунтоцементу* / М.Л. Зоценко, А.М. Павліков, О.В. Петраш // *Сб. науч. тр. Строительство, материаловедение, машиностроение/ Приднепровская ГАСА*. Вип. 65. – Днепропетровск, 2012. – С. 240 – 244
7. Bilfinger, W. *Foundation and Retaining's Structures. Proceedings of the 18<sup>th</sup> Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Challenger and Innovations in Geotechnics Volume 3*. – Paris 2013. – P. 1915 – 1922
8. *Залізобетонні конструкції: підручник* / А.Я. Барашиков, Л.М. Буднікова, Л.В. Кузнєцов та ін.; за ред. А.Я. Барашикова. – К.: Вища шк., 1995. – 591 с.

*Надійшла до редакції 02.10.2013*

*©М.Л. Зоценко*