

Н. В. Зуєвська, д-р. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-1716-1447
Л. В. Шайдецька, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-6593-0255
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
В. Є. Губашова, ORCID 0000-0003-4235-4440
Ведучий інженер проектного відділу Департаменту
спеціальних та гідротехнічних робіт
ТОВ СП «Основа-Солсіф»

ВПЛИВ ВИКОНАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУМЕНЕВОЇ ЦЕМЕНТАЦІЇ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАВКОЛИШНЬОГО ҐРУНТОВОГО МАСИВУ

Технологія струменевої цементациї використовується для досягнення різних будівельних і геотехнічних цілей, так як дозволяє створити елементи різної конфігурації та протяжності в різній складності інженерно-геологічних умовах.

З цього випливає, що сучасні процедури проектування фундаментів, огорожувальних та утримуючих конструкцій, гідроізоляційних бар'єрів та екранів, тунелів і т.д. повинні бути адаптовані до того щоб до альтернативи заміни жорстких елементів, такі як бурові і забивні палі на струменево-цементацийні елементи.

До звичайного процесу проектування необхідно додати специфічні аспекти, пов'язані зі струменевою цементациєю: вибір типу струменевої цементациї, оцінка параметрів обробки ґрунту, прогнозування розмірів і міцності струменево-цементацийних елементів, аналіз можливого небажаного впливу на навколишні будівлі та споруди.

До одного з таких специфічних аспектів відноситься вплив виконання ґрунтоцементних елементів, виконаних за струменевою технологією, на оточуючий ґрунтовий масив та зміна його фізико-механічних показників.

В даній статті проаналізовано результати дослідження фізико-механічних характеристик ґрунтів, що розташовані поміж двох ґрунтоцементних колон, що виконані за струменевою технологією. Виділені зони із покращеними параметрами ґрунтів. Виконано аналіз чисельних змін показників фізико-механічних характеристик і визначено зони максимального впливу. Запропоновано використання дослідних даних наявності зони покращеного ґрунту для моделювання та дослідження зміни напружено-деформованого стану масиву ґрунту з ґрунтоцементними елементами підсилення, при включенні в розрахунок покращених зон ґрунту, що в майбутньому дозволить зменшити кількість ґрунтоцементних елементів при виконанні підсилення ґрунтових масивів.

Ключові слова: *струменева цементация, ґрунтоцементні колони, джет-колони, напружено-деформований стан, зона впливу*

Вступ

Технологія струменевої цементациї заснована на високошвидкісній ін'єкції однієї або декількох рідин (розчин, повітря, вода) в ґрунт. Рідини ін'єктуються через форсунки малого діаметра, розташовані на гідромоніторі, який при звичайному застосуванні спочатку бурить свердловину до низу майбутнього ґрунтоцементного елемента, а потім піднімається до поверхні ґрунту, виконуючи постійну його обробку [1, 2, 3, 4].

Тип і фізико-механічні властивості ґрунтів, в яких виконується струменево-цементацийний елемент, будуть одними з основних чинників які впливають на геометричний розмір елементів і міцність ґрунтоцементного матеріалу.

Струмінь розчину, руйнуючи і перемішуючи ґрунт, в межах свого можливого радіуса впливу формує ґрунтоцементний елемент.

Дія високонапірного струменя, що володіє великим гідродинамічним тиском, завдаючи удари по ґрунту, призводить до руйнування його вихідної структури.

Канематцу в своїй роботі [2] наводить характеристики струменя води, що викидається в повітря (рис. 1). Зона 1 являє собою ядро, гідродинамічний тиск в якій постійний. Зона 2 являє собою проміжну зону і, як правило, відстань до кінця зони 2 дорівнює 300 діаметрів сопла. За межами даного радіуса впливу зони 3 потік води втрачає фокусування, стає переривчастим і починають переважати кавітаційні ефекти. Розподіл гідродинамічного тиску в зоні 3 уздовж осі струменя зменшується з відстанню по експоненті.

© Н.В. Зуєвська, Л.В. Шайдецька, В.Є. Губашова, 2019

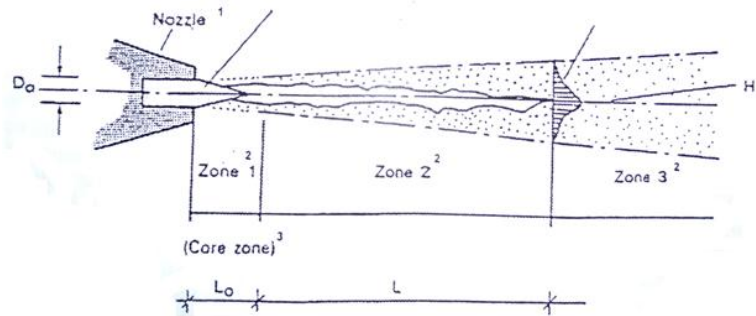


Рис. 1 – Характеристики водного струменя по Канематцу: 1 - сопло, 2 - зона, 3 - зона ядра

Високий тиск призводить до змішування ґрунту і безперервного руйнування ґрунту в межах радіусу впливу струменя. Отже, ґрунтуючись на своїх висновках, Канематцу припустив, що застосування струменевої цементації не впливає на напружено-деформований стан в ґрунті за межами радіуса впливу, фактично, навіть при роботі з дуже високим тиском, процес ін'єкції призводить тільки до збільшення тиску в межах області руйнування (зона 1 і 2). Таку ж думку підтримують в своїх роботах С.С. Ковил і А.Є. Скіннер [3].

У той же час практикуючі організації, ґрунтуючись на дослідних даних, показали, що виконання струменево-цементацийних елементів круглого перетину впливає на навколишній їх ґрунтовий масив.

Компанією Consolidamenti e Pali [4] в Італії були виконані ряд лабораторних тестів ґрунтів, що оточують колодязь, виконаний з пересічних колон струменевої ін'єктування (рис. 2).

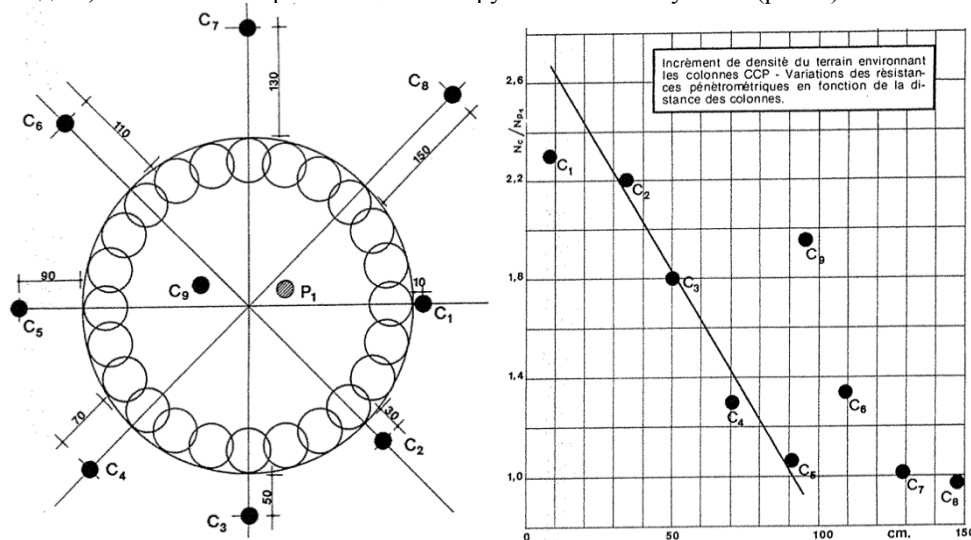


Рис. 2 – Зміна щільності ґрунту, що оточує колони струменевої цементації в залежності від віддаленості від колони [4]

Максимальний вплив високонапірного струменя на навколишній ґрунтовий масив спостерігається на відстані 10 і 30 см (зразки C_1 і C_2), граничний вплив на фізико-механічні характеристики ґрунту спостерігаються на відстані 110 см (C_6).

Мета роботи

Проаналізувати фізико-механічні властивості ґрунтів в зоні впливу струменевої цементації, а також визначити геометричні параметри зони із покращеними характеристиками, що в майбутньому дозволить використовувати отримані дані в моделюванні напружено-деформованного стану ґрунтового масиву підсиленого ґрунтоцементними елементами

Матеріал і результати дослідження

Для вивчення впливу виконання елементів струменевої цементації на навколишній масив розглянемо 2 об'єкти, де виконувалося підсилення основи фундаментів струменево-цементацийними колонами на території України:

1. Реконструкція будівлі ресторану «Лейпциг» в м.Києві

Досліджувана ґрунтова основа - підвалини будівлі, що реконструюється, ресторану «Лейпциг» на перетині вул. Володимирської та Прорізної. Будівля (колишній дохідний будинок) побудовано в 1900 р.

Будівля і фундаменти цегляні. У зв'язку з різницею відміток рельєфу будівля має різну поверховість (5-6 поверхів). Під усім будинком розташовані підвали.

В геоморфологічному відношенні досліджувана ділянка розташована на схилі корінного лесового плато, що знижується в напрямку Хрещатицької балки. Потужність супіску лесовидного - 6-13 м. Підземні води розкриті на глибинах 9-11,6 м.

Проект підсилення основи фундаментів будівлі "Лейпциг" був розроблений і виконаний в 2004 році СП "Основа-Солсиф". Згідно з проектом під усіма несучими стінами будівлі по обидва боки цегляного фундаменту були виконані колони струменевого ін'єктування діаметром 600 мм, під кутом 3°, глибиною 13,0 м і з кроком від 1,2 м до 2,4 м (рис. 3 а, б).

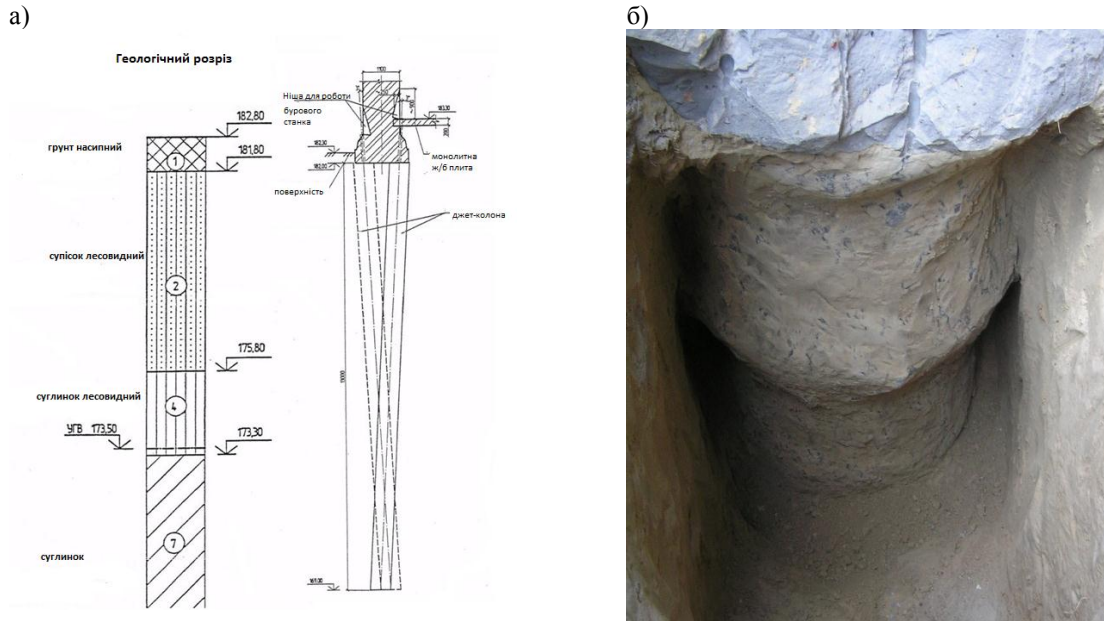


Рис. 3 – Виконання колон струменевого ін'єктування: а - схема підсилення фундаментів; б - колона струменевого ін'єктування

В кінці 2010 року були проведені роботи з дослідження навколишнього ґрунтового масиву. 3 внутрішнього двору будівлі були розкриті 3 струменево-цементацийні колони (№ 166, 167, 168). У горизонтальній площині між №167 і №166 були відібрані 20 кільцевих зразків ґрунту (рис. 4)

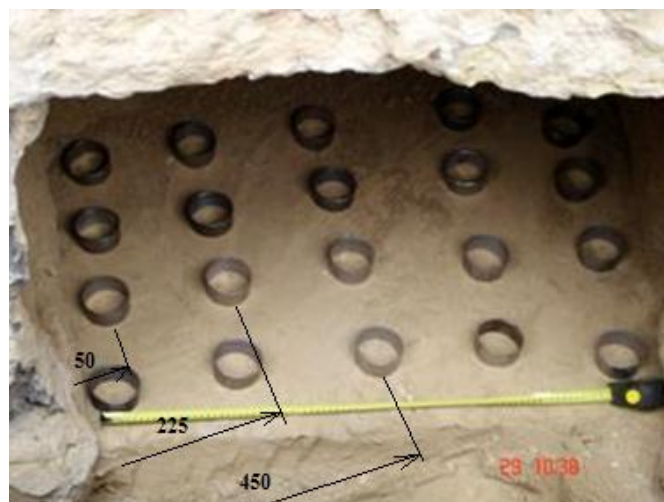


Рис. 4 – Схема відбору проб ґрунту.

Зразки відібраних з позицій 2 і 4 (225 і 450 мм від бокової поверхні колони) не мали суттєвих відмінностей між собою. Характеристики зразків 1 і 5 (50 мм від поверхні колони) показали зміну в бік поліпшення в порівнянні із зразками 2 і 4.

Досліджуваний ґрунт - супісок лесовидний, світло-коричневий, легкий пілуватий, в водонасиченому стані текучий, макропористий, просідний.

Результати лабораторних досліджень внесені до таблиці 1.

Таблиця 1 - Фізико-механічні характеристики ґрунтів відібраних зразків

<i>Характеристики ґрунтів</i>	<i>ІГЕ-2 (2 та 4)</i>	<i>ІГЕ-2* (1 та 5)</i>
Природна вологість	$W = 0,12$	$W = 0,135$
Вологість на межі текучості	$W_L = 0,24$	$W_L = 0,28$
Вологість на межі розкочування	$W_P = 0,20$	$W_P = 0,21$
Число пластичності	$I_P = 0,04$	$I_P = 0,075$
Показник текучості	$I_L < 0$	$I_L < 0$
Показник текучості при коефіцієнті водонасичення	$S_r = 0,9, I_L > 1$	$S_r = 0,9, I_L > 1$
Щільність частинок ґрунту	$\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$	$\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$
Щільність ґрунту	$\rho = 1,52 \text{ г/см}^3$	$\rho = 1,54 \text{ г/см}^3$
Щільність сухого ґрунту	$\rho_d = 1,36 \text{ г/см}^3$	$\rho_d = 1,355 \text{ г/см}^3$
Коефіцієнт пористості	$e = 0,96$	$e = 0,96$
Ступінь вологості	$S_r = 0,33$	$S_r = 0,37$
Початковий просадний тиск	$p_{sl} = 86 \text{ кПа}$	$p_{sl} = 175 \text{ кПа}$
Кут внутрішнього тертя	$\varphi_{II} = 26,5^\circ$	$\varphi_{II} = 29,5^\circ$;
Питоме зчеплення ґрунту	$C_{II} = 7,5 \text{ кПа}$	$C_{II} = 8,5 \text{ кПа}$
Кут внутрішнього тертя	$\varphi_I = 23,5^\circ$	$\varphi_I = 26^\circ$
Питоме зчеплення ґрунту	$C_I = 5 \text{ кПа}$	$C_I = 5,5 \text{ кПа}$
Модуль деформації ґрунту в природному стані	$E = 4 \text{ МПа}$	$E = 6 \text{ МПа}$
Модуль деформації ґрунту в водонасиченому стані	$E = 3 \text{ МПа}$	$E = 5 \text{ МПа}$

Необхідно відзначити, що час між виконанням колон струменевої цементації і проведенням досліджень ґрунтів склало 6 років, отже, інженерно-геологічні дані часу виконання підсилення основи не розглядалися. Всі порівняння характеристик зроблені тільки між отриманими зразками в міжколонному просторі.

За отриманими результатами, можна зробити висновок, що:

- максимальна зона впливу на навколишній ґрунтовий масив - 10 см;
- ґрунт зразків 1 і 5 - супісок (ІГЕ-2, число пластичності $I_P = 0,04$) придбав деякі властивості глинистого ґрунту, тобто перейшов в легкий пілуватий суглинок (ІГЕ-2 *, число пластичності $I_P=0,075$);
- питоме зчеплення збільшилося на 12% (8,5 кПа для зразків 1 і 5 і 7,5 кПа для зразків 2 і 4);
- кут внутрішнього тертя збільшився на 10% (26° і $23,5^\circ$);
- модуль деформації ґрунту збільшився на 33% (6 МПа для зразків ІГЕ-2 - 1 і 5, 4 МПа для ІГЕ-2 * - 2 і 4);
- знизилися значення просідання ґрунту - початковий просадний тиск збільшився з $p_{sl} = 86 \text{ кПа}$ до $p_{sl} = 175 \text{ кПа}$.

2. Реконструкція пам'ятника архітектури Андріївська церква в Києві.

Андріївська церква - пам'ятник архітектури XVIII ст., побудована в 1747-1762 рр. І.Ф. Мічуріним за проектом італійського архітектора Ф.-Б. Растреллі. З 1968 р Андріївська церква - музей, філіал Національного заповідника «Софія Київська».

З кінця 2008 року СП «Основа-Солсіф» почала виконання робіт з протиаварійних та ремонтно-реставраційних робіт, що включали в себе і закріплення схилу, і посилення фундаментів будівлі, і реставраційні роботи церкви і навколишніх елементів.

Ґрунтами основи фундаментів південного, західного і північного фасадів є еолово-делювіальні супіски. Основою фундаментів східного фасаду є моренні суглинки.

Проектне рішення з підсилення фундаментів Андріївської церкви являло собою виконання джет-колон в основі загальною кількістю 259 штук, довжиною від 10,8 до 13 5 м з кутами нахилу від 7° до 13° і діаметром 600 мм з розширенням 800 мм, крок 1,0 -2,7 м. Принципова схема підсилення фундаментів церкви показана на рисунку 5.

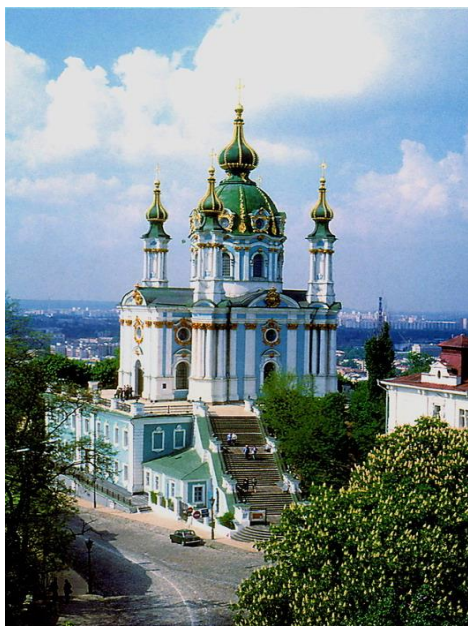
У червні 2010 року було проведено дослідження фізико-механічних характеристик ґрунтів в міжколонному просторі для підтвердження впливу виконання струменево-цементацийних елементів на навколишній ґрунтовий масив (супісок пілуватий).

Ґрутуючись на отриманих результатах, можна зробити такі висновки:

- на відстані 100 і 150 мм від поверхні 1-ї і другої колон при інженерно-геологічних вишукуваннях відзначено зростання щільності на 4 і 5% відповідно. При відборі зразків на відстані 60 мм від поверхні 3-ї колони було виміряне збільшення щільності на 5% і 8% (по обидві сторони від колони).
- при усередненні отриманих значень щільності ґрунтових зразків в міжколонному просторі простежується ущільнення ґрунту на значення в діапазоні від 1% до 7%. Коефіцієнт відносного ущільнення у всьому міжколонному ґрунтовому просторі дорівнює 1,03;

- зони максимального впливу на навколишній ґрунтовий масив 15 і 30 см відповідно від поверхні другої і першої ґрунтоцементної колони.

а)



б)

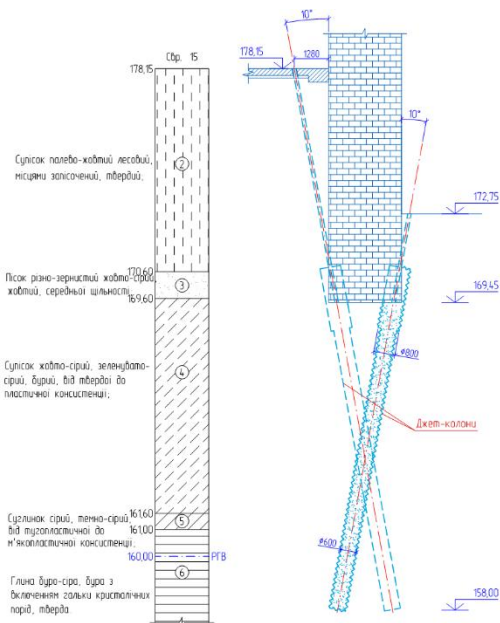


Рис. 5 – Андріївська церква. Схема підсилення фундаментів

Всі дослідження були проведені в Геотехнічній лабораторії СП "Основа-Солсіф". Результати досліджень внесені до таблиці 2.

Таблиця 2 - Фізико-механічні характеристики ґрунтів

Розташування зразків (глибина, м)	Номер зразка*	Відстань від бокової поверхні, мм	Щільність вологого ґрунту γ , т/м ³	Вологість W, д.о.	Щільність сухого ґрунту γ_d , т/м ³
2,2	1	100 (від 1-ї до 2-ї)	1,66	0,130	1,47
	2	200 (від 1-ї до 2-ї)	1,66	0,130	1,43
	3	300 (від 1-ї до 2-ї)	1,66	0,130	1,47
	4	400 (від 1-ї до 2-ї)	1,64	0,130	1,45
	5	700 (від 1-ї до 2-ї)	1,67	0,138	1,47
	6	800 (100 від поверхні 2-ї)	1,67	0,147	1,46
2,5	7	60 (від 2-ї до 3-ї)	1,68	0,141	1,47
	8	60 (від 3-ї)	1,69	0,152	1,47
	9	60 (від 3-ї)	1,72	0,133	1,52
Зразок не порушеної структури	10		1,60	0,130	1,42

Виходячи з того, що на двох об'єктах ґрунт, що був досліджений, - супісок, зробимо загальний графічний аналіз для визначення зони впливу на оточуюче ґрунтове середовище при виконанні струменево-ін'єкційних елементів.

Для побудови графіку розрахуємо відносне значення для щільності ґрунту: $\gamma' = \gamma / \gamma_d$, де γ - щільність ґрунту, відібраного із зони впливу, γ_d - щільність часток ґрунту. Та відносне значення розташування зразку ґрунту в залежності від міжколонної відстані: $b' = b / B$, b - відстань розташування ґрунтового зразку від поверхні ґрунтоцементної колони, B - міжколонна відстань.

На графік на рисунку 6 нанесені крива для супіску лесовидного та дві гілки, в залежності від поверхні двох колон, для супіску пилуватого твердого.

Згідно графіку точка перетину А для кривих двох видів супіску: $b' = 0,118$ та $\gamma' = 1,139$, тобто для відстані між двома ґрунтоцементними колонами 900 мм (що відповідає відстані на цих двох об'єктах) – зона покращеного ґрунту буде: $b = b' \cdot B = 0,118 \cdot 900 = 106$ мм.

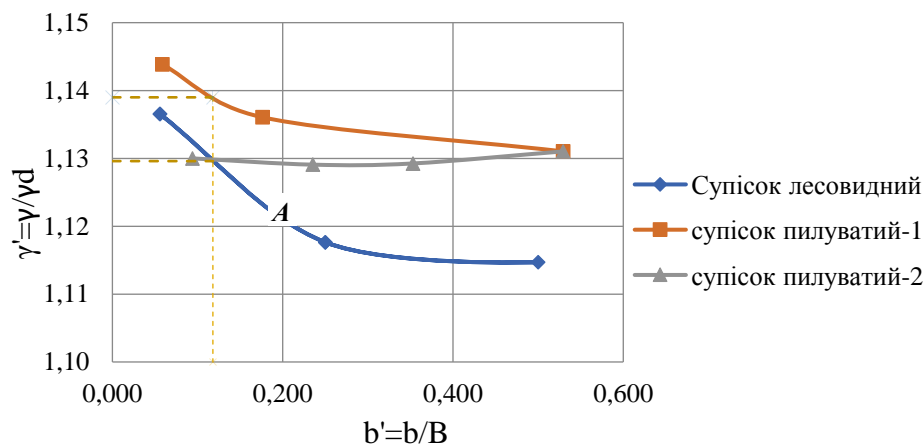


Рис. 6 – Залежність приведеної відстані міжколонного простору та приведеної щільності ґрунтів

Не дивлячись на припущення деяких авторів, що застосування струменевої цементації не впливає на напружено-деформований стан в ґрунті за межами радіуса впливу, на підставі результатів випробування на двох будівельних об'єктах, виконаних на території України, де застосовувалися струменево-цементацийні елементи, було доведено зворотнє.

Висновок

1. В процесі обробки результатів фізико-механічних властивостей ґрунту лесовидного супіску, що знаходився в зоні впливу виконання ґрунтоцементної колони, було відмічено, що на відстані 10 см від поверхні колони змінилися значення щільності (+2%), питомого зчеплення (+12%), кута внутрішнього тертя (+10%) та модуля пружності (+33%) по відношенню до зразків, розташованих далі від поверхні.

2. За результатами інженерно-геологічних вишукувань зразків супіску пілуватого твердої консистенції відзначено зростання щільності ґрунту від 4 до 7%. Коефіцієнт відносного ущільнення у всьому міжколонному ґрунтовому просторі дорівнює 1,03. Зони максимального впливу на навколишній ґрунтовий масив становить 15 і 30 см відповідно від поверхні другої і першої ґрунтоцементної колони.

Використовуючи дослідні дані змінення фізико-механічних властивостей ґрунту, що оточує струменево-цементацийний елемент та доведеної практично та графічно наявності зони покращеного ґрунту, можна дослідити змінення напружено-деформованого стану масиву ґрунту з елементами підсилення, виконаними за струменевою технологією, з включенням в розрахунок покращених зон ґрунту, що в майбутньому дозволить зменшити кількість ґрунтоцементних елементів при виконанні підсилення ґрунтових масивів.

Найкращим варіантом для інженера має бути поєднання теоретичних і технологічних знань, для того щоб на практиці можливими рішеннями забезпечити безпеку, функціональність і економічну доцільність.

Література

1. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие / Бройд Исаак Йосифович. – М.: Издательство ассоциации Строительных вузов, 2004. – 448 с
2. Малинин А.Г. Струйная цементация ґрунтов: монография / Малинин Алексей Генрихович. – Пермь: Пресстайм, 2007. – 168 с.
3. Croce P. Analysis of single-fluid jet grouting / Croce P., Flora A. // Géotechnique. – Vol. 50. – No. 6. – December, 2000. – Pp. 739-748.
4. P. Croce, A. Flora, G. Modoni., Jet Grouting. Technology, Design and Control. NW: SRS Press Taylor & Francis Group, 2014, p. 9
5. Kanematsu H. High pressur jet grouting method / Kanematsu H. // Doboku Sekoh (Civil Construction). – Vol. 21. – No. 13. – 1980.
6. Covil C.S. Jet grouting: a review of some of the operating parameters that form the basis of the jet grouting process / Covil C.S., Skinner A.E. // Grouting in the ground. – London: Thomas Telford, 1994. – pp. 605-629.

7. Technologiebrevetée pour consolidation et colonnes au moyend'injections à très haute pression // Compagnia Consolidamenti e Pali, Italia – material of company.

УДК 624.138

Н. В. Зуевская, д-р.техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-1716-1447
Л. В. Шайдецкая, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-6593-0255
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»
В. Е. Губашова, ORCID 0000-0003-4235-4440
Ведущий инженер проектного отдела Департамента
специальных и гидротехнических работ
ООО СП «Основа-Солсиф»

ВЛИЯНИЕ ВЫПОЛНЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУЙНОЙ ЦЕМЕНТАЦИИ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОКРУЖАЮЩЕГО ГРУНТОВОГО МАССИВА

Технология струйной цементации используется для достижения различных строительных и геотехнических целей, так как позволяет создать элементы различной конфигурации и протяженности в разной сложности инженерно-геологических условиях.

Из этого следует, что современные процедуры проектирования фундаментов, ограждающих и удерживающих конструкций, гидроизоляционных барьеров и экранов, тоннелей и т.д. должны быть адаптированы к тому, чтобы к альтернативе замены жестких элементов, такие как буровые и забивные сваи на струйно-цементационные элементы.

К обычному процессу проектирования необходимо добавить специфические аспекты, связанные со струйной цементацией: выбор типа струйной цементации, оценка параметров обработки грунта, прогнозирования размеров и прочности струйно-цементационных элементов, анализ возможного нежелательного воздействия на окружающие здания и сооружения.

К одному из таких специфических аспектов относится влияние выполнения грунтоцементных элементов, выполненных по струйной технологии, на окружающий грунтовый массив и изменение его физико-механических показателей.

В данной статье проанализированы результаты исследования физико-механических характеристик грунтов, расположенных между двухгрунтоцементных колонн, выполненных по струйной технологии. Выделены зоны с улучшенными параметрами грунта. Выполнен анализ многочисленных изменений показателей физико-механических характеристик и определены зоны максимального воздействия. Предложено использование опытных данных наличия зоны улучшенного грунта для моделирования и исследования изменения напряженно-деформированного состояния массива грунта с грунтоцементными элементами усиления, при включении в расчет улучшенных зон грунта, что в будущем позволит уменьшить количество грунтоцементных элементов при выполнении усиления грунтовых массивов.

Ключевые слова: струйная цементация, грунтоцементных колонны, джет-колонны, напряженно-деформированное состояние, зона влияния

N. Zuiavska, Dr. Eng. Sc., ORCID 0000-0002-1716-1447
L. Shaidetska, Cand. Sc. (Eng.), ORCID 0000-0002-6593-0255
National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»
V. Gubashova, ORCID 0000-0003-4235-4440
Lead engineer of project department of Department of special and hydraulic works of
LLC JV Osнова-Solsif

INFLUENCE OF PERFORMANCE OF ELEMENTS OF JET GROUTING ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF THE SURROUNDING SOIL MASSIF

The technology of jet grouting is used to achieve various construction and geotechnical goals, as it allows you to create elements of different configurations and lengths of varying complexity in engineering and geological conditions.

It follows that modern procedures for designing foundations, enclosing and holding structures, waterproofing barriers and screens, tunnels, etc. must be adapted to the alternative of replacing rigid elements such as drilling and driven piles with jet grouted elements.

Specific aspects related to jet grouting must be added to the usual design process: selection of the type of jet grouting, estimation of soil treatment parameters, prediction of the size and strength of the jet grouted elements, analysis of possible undesirable effects on the surrounding buildings and structures.

One of these specific aspects includes the effect of the implementation of soil grouted elements made by jet grouting technology on the surrounding soil massif and the change in its physical and mechanical properties.

This article analyzes the results of a study of the physical and mechanical characteristics of soils located between two soil-cement columns made using jet grouting technology. Areas with improved soil parameters are highlighted. The analysis of numerous changes in the indicators of physical and mechanical characteristics is carried out and the zones of maximum impact are determined. It is proposed to use the experimental data on the presence of an improved soil zone for modeling and studying the changes in the stress-strain state of an massif of soil with jet grouted reinforcing elements, when including improved soil zones in the calculation, which will make it possible to reduce the number of soil-cement elements in the future when reinforcing soil masses.

References

1. Бройд И.И. Струйная геотехнология: Учебное пособие / Бройд Исаак Йосифович. – М.: Издательство ассоциации Строительных вузов, 2004. – 448 с
2. Малинин А.Г. Струйная цементация грунтов: монография / Малинин Алексей Генрихович. – Пермь: Пресстайм, 2007. – 168 с.
3. Croce P. Analysis of single-fluid jet grouting / Croce P., Flora A. // Géotechnique. – Vol. 50. – No. 6. – December, 2000. – Pp. 739-748.
4. P. Croce, A. Flora, G. Modoni., Jet Grouting. Technology, Design and Control. NW: SRS Press Taylor & Francis Group, 2014, p. 9
5. Kanematsu H. High pressure jet grouting method / Kanematsu H. // Doboku Sekoh (Civil Construction). – Vol. 21. – No. 13. – 1980.
6. Covil C.S. Jet grouting: a review of some of the operating parameters that form the basis of the jet grouting process / Covil C.S., Skinner A.E. // Grouting in the ground. – London: Thomas Telford, 1994. – pp. 605-629.
7. Technologie brevetée pour consolidation et colonnes au moyen d'injections à très haute pression // Compagnia Consolidamenti e Pali, Italia – material of company.

Надійшла 15.01.2020
Received 15.01.2020