

О.В. Петраш, аспирант

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ ПІДЗЕМНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІНЖЕНЕРНИХ СПОРУД, ЯКІ ВИГОТОВЛЕНІ З ГРУНТОЦЕМЕНТУ

Розглянуто результати досліджень фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу. Проаналізовано їх вплив на ефективність роботи ґрунтоцементних підземних конструкцій на прикладі реальної інженерної споруди.

Ключові слова: ґрунтоцемент, несуча здатність, утримуюча споруда.

А.В. Петраш, аспирант

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ, КОТОРЫЕ ИЗГОТОВЛЕННЫ ИЗ ГРУНТОЦЕМЕНТА

Рассмотрены результаты исследований физико-механических характеристик ґрунтоцемента. Проанализировано их влияние на эффективность работы ґрунтоцементных подземных конструкций на примере реального инженерного сооружения.

Ключевые слова: ґрунтоцемент, несущая способность, удерживающее сооружение.

A.V. Petrash, post graduate student

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

INSURANCE OF EFFECTIVE SERVICE OF UNDERGROUND STRUCTURES OF ENGINEERING INSTALLATIONS WHICH MADE OF SOIL-CEMENT

The research results of physic and mechanic characteristics of soil-cement are under investigation. Its influence to durability of soil-cement underground structures is analyzed using real restraining structure as an example.

Keywords: soil-cement, load-carrying capacity, restraining structure.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. Упродовж останніх років ґрунтоцемент знаходить все ширше використання вже як конструктивний матеріал підземних конструкцій будівель і споруд. Постає актуальне питання про те, наскільки ефективно такі конструкції можливо експлуатувати та які механічні характеристики ґрунтоцементу змогли б це забезпечити.

Аналіз останніх публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Автори робіт [7, 8] наводять дані щодо міцності, водонепроникності та інших характеристик ґрунтоцементу. Зроблено висновки про значення отриманих результатів для конкретної сфери застосування цього матеріалу, наприклад, армування основи чи влаштування водонепроникних завіс. Але в розглянутих роботах [1, 2] передбачається використання ґрунтоцементу в складі певного інженерного заходу, спрямованого лише на покращення характеристик уже існуючого матеріалу.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. У згаданих роботах наведені важливі фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу, але сам матеріал не розглядається як конструктивний.

Виходячи з накопичених результатів досліджень ґрунтоцементу, за мету роботи поставлено завдання проаналізувати, як фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу впливають на ефективність роботи підземної конструкції, виготовленої повністю з цього матеріалу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо приклад використання ґрунтоцементу, виготовленого за бурозмішувальною технологією, як конструктивного матеріалу підземної частини інженерної споруди (рис. 1).

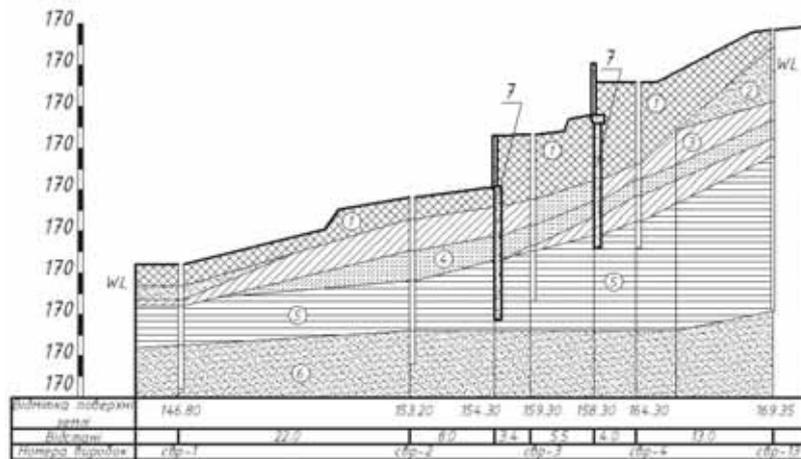


Рисунок 1 – Інженерно-геологічний розріз схилу з існуючою підпірною стінкою:
 1 – насипні ґрунти, неоднорідні; 2 – пісок жовто-сірий пілуватий;
 3 – суглинок пілуватий, тугопластичний з включеннями карбонатних конкрецій;
 4 – супісок пілуватий; 5 – глини бурі, тверді і напівтверді; 6 – піски кварцеві;
 7 – існуюча утримуюча споруда

Прикладом такої конструкції є підпірна стінка, споруджена для запобігання розвитку зсувних явищ на ділянці схилу в урочищі Козина Спина на території Новопетрівської сільської ради Вишгородського району Київської області.

Зображена на розрізі конструкція була виготовлена з бетону, але з ряду причин виявилася такою, що не відповідає вимогам, продиктованим інженерно-геологічними та експлуатаційними умовами території. Тому підпірну стінку було доповнено новими конструктивними елементами, виготовленими з ґрунтоцементу, в тому числі вертикальною та похилою палями як підземної частини споруди (рис. 2).

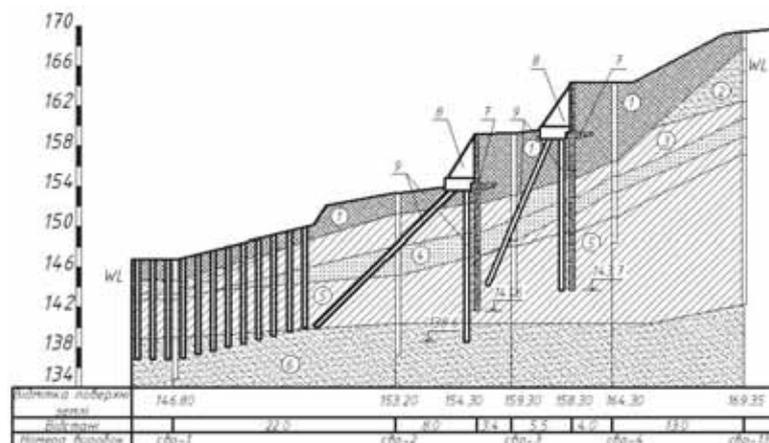


Рисунок 2 – Інженерно-геологічний розріз схилу з підпірною стінкою, доповненою ґрунтоцементними елементами: 1 – 7 див. рис. 1; 8 – надземна частина нової утримуючої споруди; 9 – ґрунтоцементні вертикальні та похилі паляки як підземна частина утримуючої споруди

Напружено-деформований стан (НДС) схилу було проаналізовано методами математичного моделювання, і виявилось, що його стійке положення забезпечене. Максимальний згинальний момент по довжині підземної конструкції виявився рівним 21 кНм. Проаналізуємо можливість безвідмовної роботи ґрунтоцементної підземної конструкції під дією різних чинників, зумовлених описаною ситуацією.

З механічної точки зору, на ефективність роботи ґрунтоцементних паль впливає низька міцність матеріалу, яка коливається в межах 1,5 – 3 МПа, залежно від вмісту води, цементу та хімічних добавок.

У лабораторії кафедри залізобетонних і кам'яних конструкцій та опору матеріалів ПолтНТУ автор експериментальним шляхом визначив, як повздожне армування впливає на міцність стиснутих ґрунтоцементних конструкцій [3]. Дослідними зразками були моделі ґрунтоцементної палі діаметром 500 мм, розмірами 100x100x400 мм (рис. 3).



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд армованого ґрунтоцементного зразка

Виготовлено 4 серії по 6 зразків у кожній. Зразки першої серії не мали у складі нормального перерізу арматури, зразки ж серій № 2, 3, 4 мали коефіцієнт армування 1,13%, 2,01% та 3,14%, відповідно. На рис. 4 представлено результати проведеного випробування. Як видно з графіка, насичення нормального перерізу стиснутого ґрунтоцементного елемента арматурою до 3% дозволяє збільшити його міцність у 7 і більше разів.



Рисунок 4 – Графік залежності несучої здатності дослідного зразка від процента армування

Тому при моделюванні НДС розглядуваного схилу та спорудженні утримуючої конструкції передбачалося використання армованого ґрунтоцементу як гарантії безвідмовної роботи останньої.

З геотехнічних міркувань відмову конструкції, що розглядається, може спричинити замокання ґрунтових нашарувань, у межах яких вона розташована, що в свою чергу може призвести до насичення вологою пор ґрунтоцементу та інтенсивної

корозії арматури всередині нього і зменшення несучої здатності конструкції в цілому. В описаних умовах важливою характеристикою ґрунтоцементу є його водонепроникність, що виявляється у максимальному тиску води на матеріал, при якому вона не просочується крізь нього. У лабораторії кафедри видобування нафти і газу та геотехніки ПолтНТУ для вивчення водонепроникних властивостей ґрунтоцементу були виготовлені зразки із суглинків лесових світло-брунатних за принципом бурозмішувальної технології, тобто цемент додавався до розпушеного лесового суглинку у вигляді цементного молока. Кількість портландцементу М400 – 20 % від ваги сухого ґрунту, водоцементне відношення розчину В/Ц = 2,7. Після виготовлення зразки зберігалися протягом 28 діб у вологих умовах. Зразки-циліндри висотою та діаметром 150 мм були випробувані (рис. 5) стандартним методом «мокрої плями» [4] та прискореним методом за допомогою приладу ВВ-2 [5].

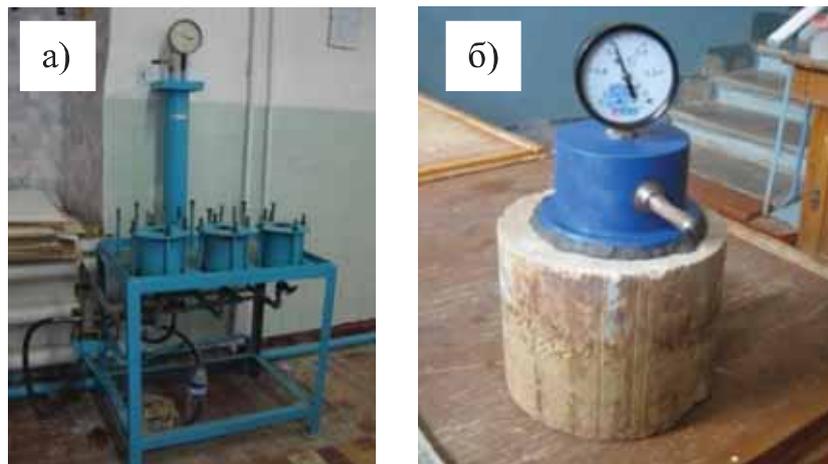


Рисунок 5 – Прилади для визначення водонепроникності ґрунтоцементу:
а – за методом «мокрої плями»; б – за прискореним методом

Як видно з результатів дослідження, ґрунтоцемент володіє аномальною для своєї густини водонепроникністю W14. Це є запорукою надійного захисту арматурного каркаса від корозії всередині ґрунтоцементної пали, а отже, її ефективності.

Таблиця 1 – Значення часу та водонепроникності зразків

№ зразка	Час падіння тиску розрідження в приладі ВВ-1 відповідно до [5]	Марка водонепроникності ґрунтоцементу W
1	380	12
2	420	14
3	534	14
4	548	14
5	560	14
6	612	16

З експлуатаційної точки зору, причиною відмови може стати недостатня тріщиностійкість ґрунтоцементних паль, котрі зазнають дії згину. При утворенні та розкритті нормальних тріщин у захисному шарі ґрунтоцементу корозія арматури матиме місце незалежно від водонепроникності ґрунтоцементу. Опір тріщиноутворенню ґрунтоцементу оцінюється, як і для залізобетонних конструкцій [6], наступною формулою:

$$M_r \leq M_{crc}, \quad (1)$$

де M_r – момент зовнішніх сил із статичних розрахунків, кНм;

M_{crc} – момент, який спроможний сприйняти переріз, нормальний до повздовжньої осі елемента, перед утворенням тріщин, кНм.

Величина M_{crc} визначається за формулою

$$M_{crc} = f_{ctk} \cdot W_{pl}, \quad (2)$$

де W_{pl} – момент опору приведенного перерізу для крайнього розтягнутого волокна елемента з урахуванням пластичних деформацій розтягу його матеріалу, який допускається визначати як добуток:

$$W_{pl} = \gamma \cdot W_{red}, \quad (3)$$

де γ – коефіцієнт, що враховує вплив непружних деформацій матеріалу розтягнутої зони елемента, а W_{red} – момент опору приведенного перерізу армованого ґрунтоцементного елемента.

Як бачимо з (2), міцність на розтяг ґрунтоцементу f_{ctk} має визначальний вплив на опір тріщиноутворенню виготовленої з нього палі. Для її визначення в лабораторії кафедри технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів ПолтНТУ було проведено випробування ґрунтоцементу на розтяг за двома методиками (рис. 6).



Рисунок 6 – Випробування ґрунтоцементу на розтяг:
а – зразків-балочок на розтяг при згині; б – призм на розрив

Отримані експериментальні дані дослідження міцності на розтяг ґрунтоцементу двома способами зведені у таблицю 2.

Таблиця 2 – Результати випробування ґрунтоцементу на розтяг

№ зразка	f_{ctk} , МПа, за першим способом	f_{ctk} , МПа, за другим способом
1	1,29	1,31
2	1,31	1,37
3	1,52	1,29
4	1,50	1,27
5	1,34	1,24
6	1,33	1,38

У формі табл. 3 представлений розрахунок опору тріщиноутворенню ґрунтоцементної підземної конструкції, який показує, що умова (1) виконується, оскільки

$$M_r = 21,0 \text{ кНм} \leq M_{crc} = 33,1 \text{ кНм}.$$

Отже, при розрахунковому навантаженні на інженерну споруду нормальні тріщини в її підземних ґрунтоцементних конструкціях не виникнуть, що забезпечує її ефективну роботу.

Таблиця 3 – Розрахунок армованого ґрунтоцементного елемента на утворення нормальних тріщин

Характеристики нормального перерізу ґрунтоцементного елемента			Характеристики тріщиностійкості ґрунтоцементного елемента		
H, м	D, м	W_{pl} , м ³	f_{ctk} , МПа	M_r , кНм	M_{crc} , кНм
17,000	0,500	0,024	1,380	21,000	33,120

Висновки. Проведені дослідження доводять ефективність роботи ґрунтоцементних підземних конструкцій, виготовлених за буро змішувальною технологією. Фізико-механічні характеристики ґрунтоцементу забезпечують як його сумісну роботу з арматурою, так і захист останньої від корозії під дією ґрунтових чи атмосферних вод.

Література

1. Петраш, Р.В. Підсилення існуючих фундаментів за допомогою бурозмішувальної технології / Р.В. Петраш, О.В. Петраш // *Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво)*. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 2(24). – С. 136 – 140.
2. Водонепроникні заповни з ґрунтоцементу, який виготовлюється за бурозмішувальною технологією / [М.Л. Зоценко, І.І. Ларцева, О.В. Петраш та ін.] // *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки: наук.-техн. зб.* – Київ: КНУБА, 2011. – Вип. 17. – С. 39 – 46.
3. Зоценко, М.Л. Вплив повздовжнього армування на несучу здатність паль з ґрунтоцементу / М.Л. Зоценко, А.М. Павліков, О.В. Петраш // *Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. науч. тр. Вып. 65.* – Д.: ГВУЗ «ПГАСА», 2012. – С. 240 – 245.
4. Дослідження водонепроникності ґрунтоцементу / [М.Л. Зоценко, О.І. Наливайко, І.І. Ларцева та ін.] // *Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна.* – Д.: ДНУЗТ, 2010. – Вип. 32. – С. 43 – 48.
5. ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 38 с.
6. Залізобетонні конструкції: підручник / П.Ф. Вахненко, А.М. Павліков, О.В. Горик, В.П. Вахненко, за ред. П.Ф. Вахненка. – К.: Вища шк., 1999. – 508 с., іл.
7. Мангушев, Р.А. Прочностные характеристики ґрунтобетона, выполненного по технологии jet grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, В.В. Конюшков, В.Э. Готовский // *Сб. тр. научн.-техн. конф. «Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции».* – СПб.: СПбГАСУ. – 2010. – С. 361 – 368.
8. Deep mixing research results in under water conditions / [W.F. Van Impe, R.D. Verástegui Flores, P.O. Van Impe et. al.] // *Proc. of the 16th Intern. Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (Osaka, 2005)*. – Millpress Science Publishers Rotterdam, 2005. – V. 3. – P. 1275 – 1278.

Надійшла до редакції 01.10.2012

© О.В. Петраш