

## ОСНОВИ ТА ФУНДАМЕНТИ

УДК 624.154/.155:624.138.2

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

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

**PROVIDING THE EFFICIENT EXPLOITATION OF UNDERGROUND  
ENGINEERING STRUCTURES MADE OF SOIL-CEMENT**

**Зоценко М.Л., д.т.н., професор, Петраш Р.В., к.т.н., доцент, Петраш О.В.,  
к.т.н., Попович Н.М., к.т.н., доцент, (Полтавський національний технічний  
університет імені Юрія Кондратюка)**

**Зоценко Н.Л., д.т.н., професор, Петраш Р.В., к.т.н., доцент, Петраш А.В.,  
к.т.н., Попович Н.Н., к.т.н., доцент (Полтавский национальный  
технический университет имени Юрия Кондратюка)**

**Zotcenko, M.L., ScD, Professor, Petrash, R.V., PhD, Associate Professor,  
Petrash, O.V., PhD, Popovich, N.M., Associate Professor (Poltava National  
Technical Yuri Kondratyuk University)**

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

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

**The research results of physic-mechanical characteristics of soil-cement are  
under investigation. Its influence on durability of soil-cement underground  
structures is analyzed by the example of real restraining structures.**

**Ключові слова:**

грунтоцемент, несуча здатність, утримуюча споруда

грунтоцемент, несущая способность, удерживающее сооружение  
 soil-cement, load-carrying capacity, restraining structure

**Стан питання та задачі дослідження.**

Упродовж останніх років грунтоцемент 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 грунтоцементу змогли б це забезпечити.

Автори робіт [7, 8] наводять дані щодо міцності, водонепроникності та інших характеристик грунтоцементу. 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 грунтоцементу в складі певного інженерного заходу, спрямованого лише на покращення характеристик уже існуючого матеріалу. У згаданих роботах наведені важливі фізико-механічні характеристики грунтоцементу, але сам матеріал не розглядається як конструктивний.

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

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

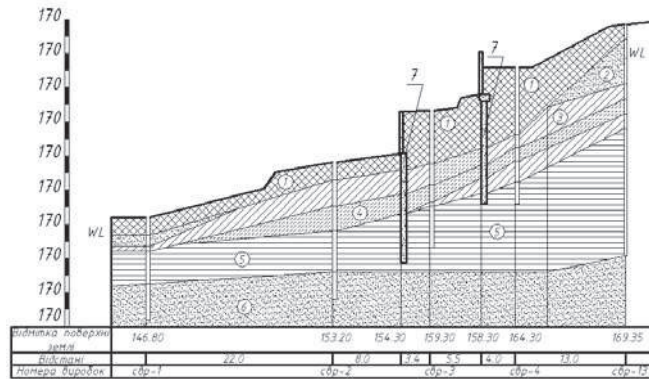


Рис. 1. Інженерно-геологічний розріз схилу з існуючою підпірною стінкою: 1 – насипні ґрунти, неоднорідні; 2 – пісок жовто-сірий пилуватий; 3 – суглинок пилуватий, тугопластичний з включеннями карбонатних конкрецій; 4 – супісок пилуватий; 5 – глини бурі, тверді і напівтверді; 6 – піски кварцеві; 7 – існуюча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

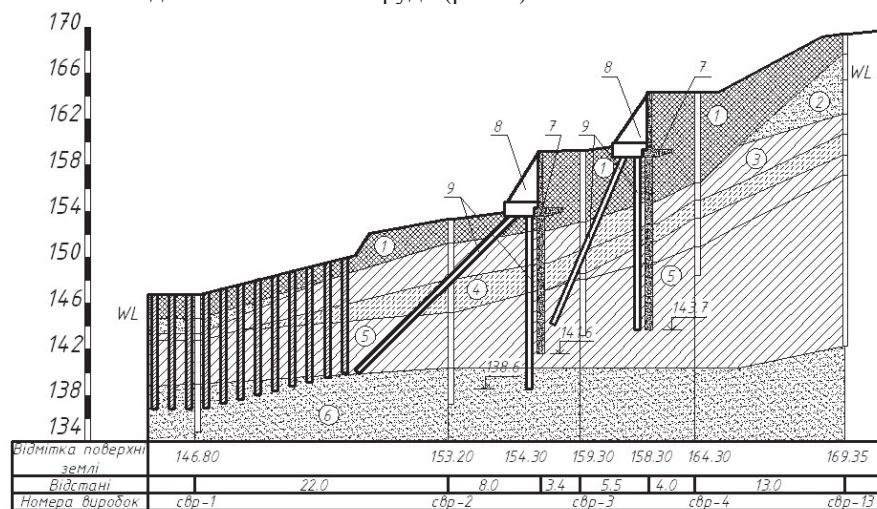


Рис. 2. Інженерно-геологічний розріз схилу з підпірною стінкою, доповненою ґрунтоцементними елементами: 1 – 7 див. рис. 1; 8 – надземна частина нової утримуючої споруди; 9 – ґрунтоцементні вертикальні та похилі паля як підземна частина утримуючої споруди

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 повздовжнє армування впливає на міцність стиснутих ґрунтоцементних

конструкцій [3]. Дослідними зразками були моделі ґрунтоцементної палі діаметром 500 мм, розмірами 100x100x400 мм (рис. 3).

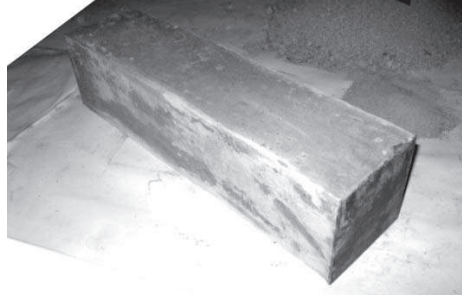


Рис. 3. Зовнішній вигляд армованого ґрунтоцементного зразка

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.

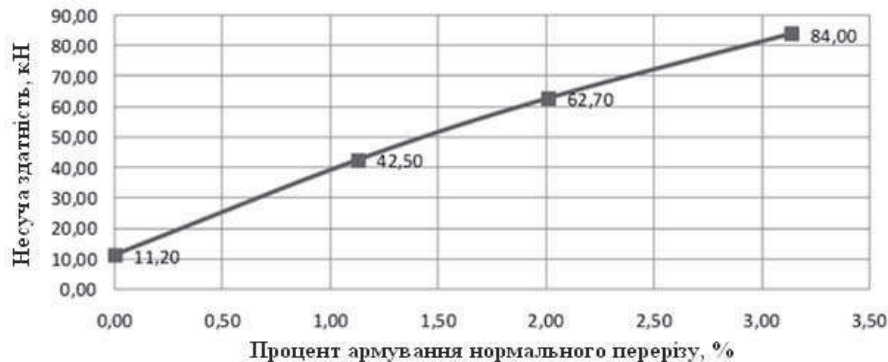


Рис. 4. Графік залежності несучої здатності дослідного зразка від процента армування

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 «микрої плями» [4] та прискореним методом за допомогою приладу ВВ-2 [5].

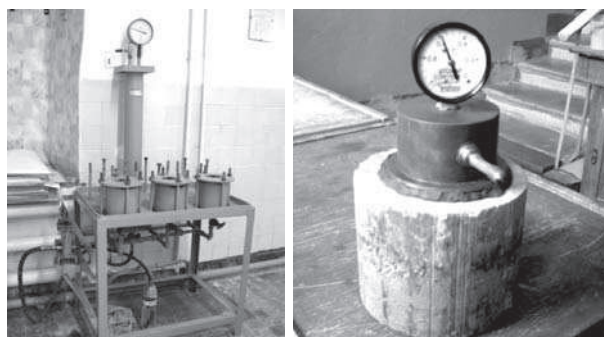


Рис. 5. Прилади для визначення водонепроникності ґрунтоцементу: за методом «микрої плями» (зліва) та за прискореним методом (справа)

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 палей, котрі зазнають дії згину. При утворенні та розкритті нормальних тріщин у захисному шарі ґрунтоцементу корозія арматури матиме місце незалежно від водонепроникності

грунтоцементу. Опір тріщиноутворенню грунтоцементу 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 поздовжньої 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 приведеного 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  $\gamma$  – коефіцієнт, що враховує вплив непружних деформацій матеріалу розтягнутої зони елемента, а  $W_{red}$  – момент опору приведеного перерізу армованого грунтоцементного елемента.

Як бачимо з (2), міцність на розтяг грунтоцементу  $f_{ctk}$  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 грунтоцементу на розтяг за двома методиками (рис. 6).



Рис. 6. Випробування грунтоцементу на розтяг: зразків-балочок на розтяг при згині (зліва) та призм на розрив (справа)

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

Таблиця 2

Результати випробування грунтоцементу 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

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

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	$W_{pe}$ , м <sup>3</sup>	$f_{ctk}$ , МПа	$M_r$ , кНм	$M_{сгс}$ , кНм
17,000	0,500	0,024	1,380	21,000	33,120

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

- Петраш, Р.В. Підсилення існуючих фундаментів за допомогою бурозмішувальної технології / Р.В. Петраш, О.В. Петраш // Збірник наукових праць (галузево машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – Вип. 2(24). – С. 136 – 140.
- Водонепроникні запони з ґрунтоцементу, який виготовлюється за бурозмішувальною технологією / [М.Л. Зоценко, І.І. Ларцева, О.В. Петраш та ін.] // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідраліки: наук.-техн. зб. – Київ: КНУБА, 2011. – Вип. 17. – С. 39 – 46.
- 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.
- 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.
- ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Бетони. Методи визначення середньої густини, вологості, водопоглинання, пористості і водонепроникності. – К.: Мінрегіонбуд, 2009. – 38 с.
- 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.
- Мангушев, Р.А. Прочностные характеристики ґрунтобетона, выполненного по технологии jet grouting в инженерно-геологических условиях Санкт-Петербурга / Р.А. Мангушев, В.В. Коношков, В.Э. Гутовский // Сб. тр. научн.-техн. конф. «Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции». – СПб.: СПбГАСУ. – 2010. – С. 361 – 368.
- 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.