

## АНАЛІЗ МІЦНОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТУ ПРИ ЧАСТКОВІЙ ЗАМІНІ ГРУНТУ НА ЗОЛУ ВИНЕСЕННЯ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** В даній роботі наведено результати експерименту з визначення міцності ґрунтоцементу при введенні у склад суміші золи-винесення у значній кількості. Мінявся вміст золи-винесення від 30 до 50% від ваги ґрунту при сталому вмісті цементу.

**Ключові слова:** ґрунтоцемент; зола-винесення, міцність.

**Abstract.** This paper presents the results of an experiment to determine the strength of soil cement introducing the mixture of ash-removal in a significant amount into the composition. Changed content of fly ash from 30 to 50% by weight of soil with a constant content of cement.

**Keywords:** soil cement; ash-bearing, strength.

### Вступ

В останні роки отримав поширення метод влаштування штучних основ шляхом армування слабких ґрунтів вертикальними жорсткими елементами з ґрунтоцементу. Ефект такого армування основ полягає у тому, що у певному об'ємі слабого ґрунту частина його замінюється жорстким матеріалом із достатньо великим модулем деформації. Модуль деформації утвореної штучної основи значно збільшується у порівнянні з модулем деформації природного ґрунту. Він може регулюватися за рахунок зміни відстані між сусідніми елементами армування та їх розмірів [1, 2].

На даний момент успішно впроваджуються в будівництво змішувальні методи виготовлення ґрунтоцементу: струменевий, буро-змішувальний і струменево-змішувальний.

При виготовленні ґрунтоцементного елемента буро-змішувальним методом в процесі буріння свердловини розпушується природний ґрунт без виїмки його зі свердловини за рахунок введення в нього спеціального змішувача. У зону розпушування нагнітають цементний розчин під тиском 0,2 - 0,5 МПа, який робочим органом ретельно перемішується з розпушеним ґрунтом. Розпушення ґрунту, подача цементного розчину і перемішування його з ґрунтом виконується по всій довжині ґрунтоцементного елемента. Після затвердіння суміші утворюється міцний ґрунтоцементний елемент циліндричної форми, який не розмокає у водному середовищі [1 - 3].

Питання використання ґрунтоцементу як матеріалу паль та укріплення основи будівель протягом останніх років вивчають учені Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка, зокрема д.т.н., проф. М. Л. Зоценко, к.т.н. Ш. Ш. Ларцева, к.т.н. Р. В. Петраш, к.т.н. М. В. Петруняк та інші.

Міцність і стисливість ґрунтоцементу залежать від наступних факторів:

- вміст цементу і його якість;
- властивості ґрунтів (піщаний ґрунтоцемент завжди більш міцний, ніж глинистий);
- термін і умови затвердіння цементу: за рік міцність ґрунтоцементу збільшується вдвічі в порівнянні з 28-добовим терміном;
- за умови додаткового ущільнення ґрунтоцементу при виготовленні його зразків у лабораторних умовах можна досягти характеристик скельних ґрунтів при значному тиску ущільнення і термічній обробці.

Оскільки до міцності ґрунтоцементних елементів не ставляться надто високі вимоги, то для економії цементу можна пропонувати введення різноманітних мінеральних добавок. Зокрема такою добавкою може бути зола винесення, яка успішно використовується в якості мінеральної добавки при виготовленні бетону [4]. З 2018 року при кафедрі БМГА ВНТУ виконувались дослідження властивостей ґрунтоцементу, у склад в'язучого якого на заміну цементу надавалась зола винесення у кількості від 20 до 80% від ваги цементу [5]. Дослідження показали, що застосування золи в якості

мінеральної добавки при виготовленні ґрунтоцементу дає позитивний ефект. За допомогою додавання оптимальної кількості золи може бути підвищена міцність ґрунтоцементних конструкцій.

Оскільки зола виносення приймає участь у структуроутворенні ґрунтоцементу, то була поставлена задача дослідити варіант з додаванням у склад суміші значної кількості золи, замінюючи нею цемент, а ґрунт у складі суміші.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Вихідними матеріалами для виготовлення ґрунтоцементу прийнято цемент, зола виносення Ладжинської ТЕС, глинистий ґрунт, вода.

В якості в'язучого для виготовлення експериментальних зразків і їх дослідження використовувався цемент марки 400. Цемент виготовлений згідно з вимогами ДСТУ Б В. 2.7-46-96.

Для виготовлення досліджуваних зразків ґрунтоцементу був використаний ґрунт – суглинок лесоподібний, жовто-коричневий, твердий, високопористий, карбонатний, просадочний з такими характеристиками: щільність ґрунту  $\rho = 1,78 \text{ г/см}^3$ ; вологість ґрунту  $W = 0,18$ ; вологість на межі розкочування  $W_p = 0,17$ ; вологість на межі текучості  $W_L = 0,24$ .

Для приготування ґрунтоцементних зразків використовувалась вода гідрокарбонатно-кальцієва, слабомінералізована, слаболужна, показник  $\text{pH} = 8$ , яка не містить шкідливих домішок, що перешкоджає нормальному твердінню цементу.

Зола виносення Ладжинської ТЕС - полімінеральний тонкодисперсний порошок, побічний продукт спалювання твердого палива на ТЕЦ. Фізико-механічні властивості золи виносення такі: гідравлічна активність 0,4 МПа; насипна густина  $1150 \text{ кг/м}^3$ ; істинна густина  $1,95 \text{ г/см}^3$ ; питома поверхня  $2000 \dots 3000 \text{ см}^2/\text{г}$ .

Відсоток в'язучого у складі ґрунтоцементу за даними попередніх дослідників коливається в межах від 10 до 30 %. При дослідженнях виконано дві серії зразків, відсоток цементу в яких прийнято сталим і таким, що складає відповідно 20 та 10%.

При дослідженнях частина ґрунту замінювалась на золу виносення згідно з програмою, що наведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Програма дослідження

№ серії	Цемент, % від ваги ґрунту	Цемент, г	Зола, % від ваги ґрунту	Зола, г	Ґрунт, г	Вода, г
1	20	400	50	1000	1000	330
	20	400	40	800	1200	330
	20	400	30	600	1400	330
2	10	200	50	1000	1000	330
	10	200	40	800	1200	330
	10	200	30	600	1400	330

Методика виготовлення ґрунтоцементної суміші полягала в наступному. Цемент та вода у необхідній кількості перемішувались вручну до отримання однорідного стану, так званого цементного молока. Потім в отриманий розчин додавався ґрунт з певною вологістю та зола виносення – отримана суміш перемішувалась до однорідної маси. Після перемішування ґрунтоцементну суміш було викладено у форми (рис. 1). Розміри кубиків  $70 \times 70 \times 70 \text{ мм}$ .

На третю добу після формування кубики витягувались з форм і зберігались до випробування у воді протягом 28 діб (час набору міцності).

Після набору міцності випробування проводились згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 як для бетонів з урахуванням ДСТУ Б В.2.1-4-96. Зразки випробовувались за допомогою преси. На кожне випробування було виготовлено по 3 зразки однієї серії (однаковий вміст ґрунту, цементу, В/Ц).

Прикладення навантаження проводилось до руйнування зразка (рис. 2). На рисунку 3 показано структуру зразків ґрунтоцементу.

У таблиці 2 та на рис. 4 наведені результати випробувань.



Рис. 1 – Процес укладання ґрунтоцементної суміші у форми



Рис. 2 – Зразок ґрунтоцементу після руйнування на пресі



Рис. 3 – Структура ґрунтоцементу

Таблиця 2 – Значення міцності ґрунтоцементу із різним вмістом золи винесення

№ серії	Вміст цементу, %	Вміст золи винесення, %	Середня міцність на стиск за результатами випробування трьох кубиків, МПа
1	20	50	4,47
	20	40	2,95
	20	30	2,38
2	10	50	1,71
	10	40	1,29
	10	30	1,36

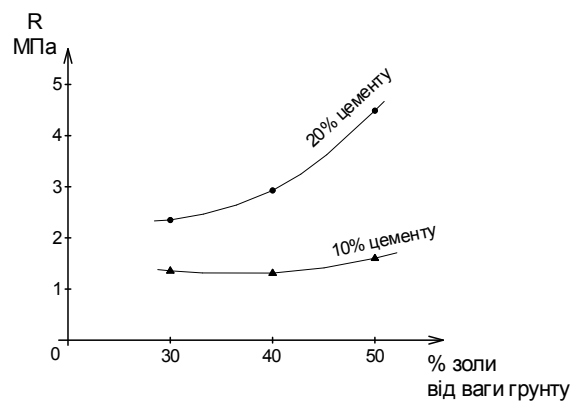


Рис. 2 – Графік залежності міцності ґрунтоцементу на стиск від вмісту золи винесення

З таблиці та графіку видно, що збільшення вмісту золи винесення призводить до збільшення міцності ґрунтоцементу. При вмісті цементу 20% від ваги ґрунту міцність ґрунтоцементу коливається в межах 2,3 – 4,5 МПа, при вмісті цементу 10% від ваги ґрунту міцність ґрунтоцементу коливається в межах 1,4 – 2,4 МПа.

Досвід використання ґрунтоцементу говорить про те, що така міцність достатня для цілей армування ґрунту, а в певних умовах і для влаштування ґрунтоцементних паль.

При подальших дослідженнях буде проаналізована економічна доцільність використання ґрунтоцементу із значним вмістом золи винесення у порівнянні з традиційним складом ґрунтоцементу.

### Висновок

Застосування золи винесення у складі суміші при виготовленні ґрунтоцементу дає позитивний ефект. За допомогою додавання оптимальної кількості золи може бути досягнена потрібна міцність ґрунтоцементних конструкцій.

При виробництві ґрунтоцементу велике значення мають реологічні властивості золи, особливо висока тонкість помелу, вигідне фракціонування і куляста форма її частинок. За допомогою оптимізування золувмістних ґрунтоцементних сумішей, є можливість запропонувати виробникам економічні склади сумішей, з дотриманням потрібних фізико-механічних властивостей. Використання золи веде до поліпшення технічних і економічних характеристик ґрунтоцементних виробів.

### СПИСОК ВИКОРИСАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Зоценко М.Л., Борт О.В., Бідношия М.В., Петраш Р.В. До оцінки механічних властивостей ґрунтоцементу залежно від умісту його складових. // Зб. наук. праць (галузеве машино буд., буд-во)/ Полт. нац. техн. ун-т ім. Ю. Кондратюка. – Полтава: ПНТУ, 2007. – Вип. 19. – С. 44-52
2. Петраш, Р. В. Спільна робота ґрунту та елементів армування, які виготовлені за бурозмішувальною технологією автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.23.02 / Р.В. Петраш. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. – 20 с.
3. Крисан, В. І. Дослідження напружено-деформованого стану ґрунтового масиву, армованого ґрунтоцементними елементами, що виготовлені по струминно-змішувальній методиці: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.23.02 / В. І. Крисан. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 24 с.
4. Использование золы-уноса ТЭС в качестве добавки при изготовлении бетонных и железобетонных конструкций и изделий. - Режим доступа: [http://www.cpi-web.ru/Archive/using\\_zola\\_7\\_05.htm](http://www.cpi-web.ru/Archive/using_zola_7_05.htm)
5. Маєвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М.С. Визначення впливу добавок золи-винесення на властивості ґрунтоцементу / Іноваційні технології в будівництві. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2018. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020>

**Грищенко Руслан Павлович** — студент групи Б-18мі, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [rusyagrishchen@gmail.com](mailto:rusyagrishchen@gmail.com)

Науковий керівник: **Маєвська Ірина Вікторівна** — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [irina.mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.mayevskaja@gmail.com)

**Grischenko Ruslan**- student of the group B-18mi, faculty of heat and power engineering and gas supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [rusyagrishchen@gmail.com](mailto:rusyagrishchen@gmail.com)

Supervisor: **Maievskaya Irina Victorivna** - associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [irina.mayevskaja@gmail.com](mailto:irina.mayevskaja@gmail.com)