

## ВПЛИВ ЗОЛИ ВИНЕСЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ҐРУНТОЦЕМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

У даній роботі описані результати дослідження впливу побічних продуктів промислового виробництва в якості мінеральної добавки до ґрунтоцементної суміші, а саме золи винесення. Досліджено ступінь впливу мінеральної добавки на водопоглинання та коефіцієнт розм'якшення ґрунтоцементу, оскільки ці показники безпосередньо впливають на надійність, довговічність та експлуатаційні характеристики основ будівель та споруд, особливо тих, що експлуатуються в умовах підвищеної вологості чи в умовах перепадів температур.

Використання золи винесення в якості мінеральної добавки є перспективним напрямком, адже зола винесення добре зарекомендувала себе при додаванні її до бетонних сумішей. Беручи до уваги те, що однією із найдорожчих складових ґрунтоцементної суміші є в'язуча речовина, то часткова її заміна на доступні промислові відходи буде забезпечувати позитивний вплив на економічну та екологічну ефективність ґрунтоцементу. Тому в даній роботі виконано дослідження властивостей ґрунтоцементу із різним ступенем заміщення в'язучої речовини на золу винесення.

На основі отриманих результатів встановлено, що зола винесення в якості мінеральної добавки при певному відсотковому співвідношенні має позитивний вплив на характеристики ґрунтоцементу як матеріалу, а саме на зниження водопоглинання в порівнянні з контрольним зразком у якому не використовувалась зола винесення, а також збільшення коефіцієнту розм'якшення. Отримані результати наочно демонструють, що використання золи винесення в якості мінеральної добавки у складі ґрунтоцементної суміші є ефективним інженерним рішенням, яке не лише дозволить знизити собівартість ґрунтоцементу, а також надасть змогу утилізувати відходи промисловості та покращити характеристики самого матеріалу.

**Ключові слова:** ґрунтоцемент, зола-винесення, водопоглинання, мінеральні добавки, коефіцієнт розм'якшення.

### Вступ

Використання ґрунтоцементу як основного матеріалу для зміцнення ґрунтових основ будівельних об'єктів є одним із найбільш ефективних напрямків у сучасному будівництві. Цей підхід дозволяє суттєво підвищити несучу здатність основ під фундаменти, роблячи їх придатними для прийняття значних навантажень від будівель та споруд. Основною особливістю влаштування ґрунтоцементних елементів (ГЦЕ) є змішування місцевих ґрунтів з цементом та водою, тому основним методом виготовлення ґрунтоцементних елементів є змішувальний. Розрізняють декілька типів методів: струменевий (Jet Grouting), буро-змішувальний та струменево змішувальний.

На даний час поширилась технологія виготовлення ґрунтоцементу за буро змішувальною технологією – розпушування ґрунту при бурінні свердловини спеціальним долотом безпосередньо в масиві, насичення розпушеного ґрунту цементним молоком та ретельним перемішуванням суміші. Внаслідок утворюється циліндрична конструкція у ґрунті, подібна до набивної палі [1].

Струменева цементация або Jet Grouting - це сучасний та досить ефективний метод зміцнення ґрунтів, який широко застосовується в будівництві. Технологія базується на ін'єкції водо-цементної суміші під високим тиском, що дозволяє руйнувати структуру ґрунту і змішувати його з цементом прямо в самому масиві ґрунту. Як результат отримують міцні ґрунтоцементні елементи.

Останнім часом для ґрунтоцементних елементів не ставлять надто високі вимоги, все більше досліджень спрямовані на покращення міцнісних характеристик даного матеріалу та на можливості додавання різних добавок до ґрунтоцементу, щоб підвищити його економічність.

Різними авторами [2-3] пропонуються різноманітні добавки по типу хвостів (відходи від збагачення корисних копалин), вапна, різних типів пластифікаторів і т.д. Автор [4] пропонує метод вібрування для покращення характеристик міцності ґрунтоцементу.

Питання можливості покращення характеристик ґрунтоцементу залишається актуальним і надалі, триває пошук шляхів зниження вартості даного матеріалу.

Використання золи винесення в якості мінеральної добавки до ґрунтоцементу є перспективним напрямком, це підтверджено досвідом ряду авторів [5-7]. Зокрема, зола винесення є відходом промисловості, який з часом накопичується та може становити загрозу довкіллю. Вона потребує утилізації чи великих площ для зберігання, тому економічний ефект від її застосування буде присутній [8-9] не лише за рахунок зменшення кількості в'язучого. Саме тому в даній роботі пропонується дослідити вплив золи винесення на властивості ґрунтоцементу.

**Характеристика матеріалів, що використовуються**

Вихідними матеріалами для виготовлення ґрунтоцементу було прийнято цемент, золу винесення Київської ТЕС, ґрунт, воду.

В якості ґрунту було використано місцевий ґрунт - суглинок лесоподібний, твердий, просідний.

Для виготовлення зразків в якості в'язучого прийнято цемент марки М400. Цемент виготовлений згідно ДСТУ Б В. 2.7-46-96. Цемент марки М400 відноситься до виду портландцементу, до складу якого входять породи карбонатної та глинистих груп, оксиди алюмінію, кальцію, заліза, магнію, кремнію, тонкий клінкерний помел, гіпс та мінеральні добавки. Ці складові служать для покращення характеристик таких як еластичність, міцність, швидкість тужавіння та ін.

Вода, яка використовувалась, не містить шкідливих домішок, що могли б зашкодити процесу тужавіння ґрунтоцементу, показник рН = 8, вода слабо лужна, слабомінералізована, гідрокарбонатно-кальцієва.

В якості мінеральної добавки використовували золу винесення Київської ТЕС. Зола винесення - це побічний продукт, який утворюється внаслідок спалювання твердих палив на ТЕС, вона являє собою дрібнодисперсний порошок. Основні фізико-механічні властивості:

- гідравлічна активність 0,4 МПа;
- питома поверхня 2000...3000 см<sup>2</sup>/г;
- насипна густина 1150 кг/м<sup>3</sup>;
- істинна густина 1,95 г/см<sup>3</sup>.

Хімічний та мінералогічний склад відповідають основним вимогам, що висуваються до золи винесення для бетонів.

Таблиця 1

**Хімічний склад золи винесення Київської ТЕС**

Оксиди	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MgO	MnO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Масова частка оксидів, %	55,3	1,4	22,34	5,42	2,52	0,12	2,46	5,96	0,75	2,46	0,38	0,33

**Виклад основного матеріалу дослідження**

Для проведення дослідження було виконано шість замісів ґрунтоцементної суміші та виготовлено зразки, 6 серій по 2 зразки з різним відсотком заміщення в'язучої речовини на золу винесення. У першій серії зола винесення відсутня, в другій серії частка золи винесення від в'язучого складала 10%, в третій серії частка золи складала 20% від в'язучого, в четвертій серії частка золи складала 30% від в'язучого, в п'ятій серії частка золи складала 40% від в'язучого, в шостій серії частка золи складала 50% від в'язучої речовини.

Ґрунтоцементну суміш виготовляли за наступною методикою:

1. Цемент та воду перемішувати у необхідній кількості до отримання однорідної маси.
2. Кількість цементу приймаємо 20% від ваги ґрунту.
3. Водоцементне відношення приймаємо 0,8-1,0.
4. В отриману однорідну суміш з цементу та води поступово додається ґрунт та зола винесення, після чого перемішується на протязі 5-7 хвилин до отримання однорідної маси.
5. Отриману ґрунтоцементну суміш необхідно викласти у форми.
6. Через три доби зберігання в лабораторних умовах ґрунтоцементні кубики були переміщені до вологого середовища, де набирали міцність протягом 28 діб.

Для визначення впливу золи винесення на водопоглинання зразки після набору міцності у вологому середовищі виймали та обтирали від надлишкової вологи після чого зважували і надалі поміщали до сушильної шафи (рис.1), під час сушіння зразки періодично зважували (рис.2) до моменту набуття ними сталої маси. Результати дослідження занесені до таблиці 2.

На основі отриманих результатів з дослідження був побудовано графік (рис.3).

З результатів випробування бачимо позитивну тенденцію у зменшенні водопоглинання при додаванні золи винесення для зразків 3-6. Заміщення в'язучого на золу винесення в цих зразках складало 10-20%.

На основі отриманих даних було вирішено дослідити вплив золи винесення на коефіцієнт розм'якшення за тією ж програмою що і для водопоглинання.



Рисунок 1 – Процес сушіння до сталої маси



Рисунок 2 – Процес контролю ваги зразків

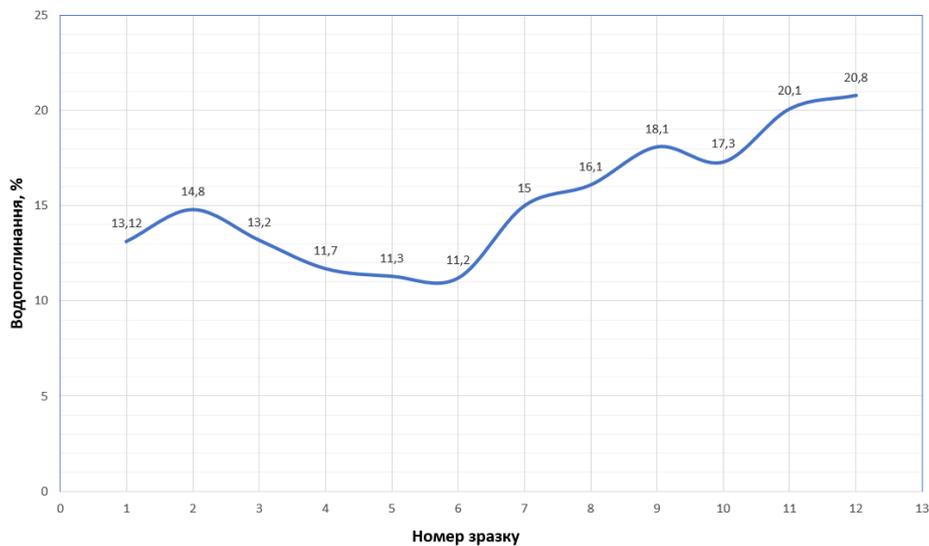


Рисунок 3 – Графік водопоглинання зразків

На основі отриманих результатів з дослідження наведено графік (рис.4).

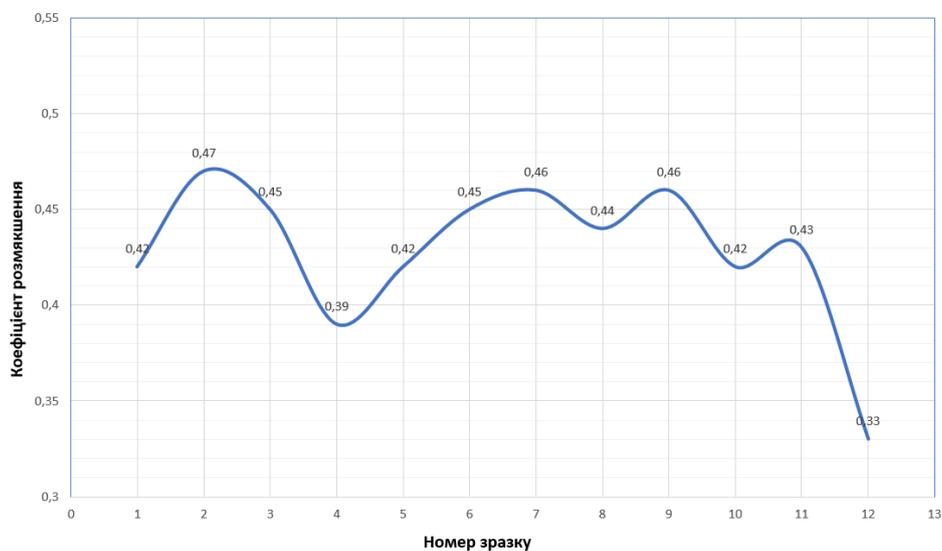


Рисунок 4 – Графік зміни коефіцієнту розм'якшення

## Результати визначення водопоглинання

№	Маса зразку, г			Маса води	Водопоглинання, %	Середнє водопоглинання W, %
	m 1	m 2	m постійна			
1	1767	1562	1562	205	13,12	13,96
2	1806	1573	1573	233	14,8	
3	1919	1695	1695	224	13,2	12,45
4	1803	1614	1614	189	11,7	
5	1782	1601	1601	181	11,3	11,3
6	1879	1689	1689	190	11,2	
7	1942	1687	1687	255	15	15,55
8	1952	1682	1682	270	16,1	
9	1735	1468	1468	267	18,1	17,7
10	1748	1489	1489	259	17,3	
11	1921	1599	1599	322	20,1	20,45
12	1894	1567	1567	327	20,8	

Таблиця 3

## Результати визначення коефіцієнту розм'якшення

№	Міцність вологих, Мпа	Міцність сухих, Мпа	Коеф. розм'якшення	Середнє значення
1	5,56	13,18	0,42	0,44
2	5,32	11,22	0,47	
3	3,91	8,64	0,45	0,42
4	4,3	11,0	0,39	
5	5,15	12,1	0,42	0,44
6	4,74	10,34	0,45	
7	3,86	8,38	0,46	0,45
8	3,62	8,2	0,44	
9	3,78	8,1	0,46	0,44
10	3,38	7,97	0,42	
11	2,75	6,29	0,43	0,38
12	2,38	7,21	0,33	

Результати дослідження впливу золи виносення на коефіцієнт розм'якшення наведено до таблиці 3. З результатів випробування бачимо позитивну тенденцію у збільшенні коефіцієнту розм'якшення для зразків 5-7. Заміщення в'язучого на золу виносення в цих зразках складало 20-30%.

## Висновки

Застосування золи виносення в якості мінеральної добавки у складі ґрунтоцементної суміші позитивно впливає на його властивості. Зокрема, при застосуванні до 30% заміщення в'язучого на золу

винесення спостерігаємо зменшення водопоглинання, а також збільшення коефіцієнту розм'якшення. Отримані результати свідчать, що використання золи винесення в якості мінеральної добавки є ефективним рішенням, яке не лише дозволить знизити собівартість ґрунтоцементу та утилізувати відходи промисловості, але й надасть можливість покращити характеристики самого матеріалу.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Зоценко М.Л., Борт О.В., Бідношья 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] Зоценко М. Л., Винников Ю. Л., Зоценко В. М. Бурові ґрунтоцементні палі, які виготовляються за бурозмішувальним методом: монографія. Харків: «Друкарня Мадрид», 2016. 94 с.
- [3] Новицький О. П. Вплив пластифікуючих добавок на міцність ґрунтоцементу / Збірник наукових праць (галузеве машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2012. Вип. 4 (34) – с. 171 – 177.
- [4] Нестеренко Т. М. Вплив вібрування на механічні характеристики ґрунтоцементу / Будівельні конструкції: міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво). – Вип. 75. Кн. 2. – К.: ДП НДІБК, 2011. С. 656 – 660.
- [5] Масвська І. В., Очеретний В. П., Гончарук М.С. Визначення впливу добавок золи-винесення на властивості ґрунтоцементу / Інноваційні технології в будівництві. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2018. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020>.
- [6] Гріщенко Р. П., Масвська І. В. Аналіз міцності ґрунтоцементу при частковій заміні ґрунту на золу винесення. / Енергоефективність в галузях економіки України. Міжнародна н/т конф. ВНТУ, Вінниця, 2019. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/viewFile/8263/6946>.
- [7] Блащук Н.В. Масвська І. В. (2020) Використання золи винесення у складі ґрунтоцементу. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/allfbtegp-2020/paper/download/9154/7828>.
- [8] Очеретний В. П., Ковальський В. П., Бондар А. В. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей. Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві: міжнародний н/т журнал ВНТУ, Вінниця. 2009. №1(6). С.36-40.
- [9] Очеретний В. П., Ковальський В. П., Машницький М. П. Мінерально-фазовий склад новоутворень зола шлакового в'язучого. Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві: міжнародний н/т журнал ВНТУ, Вінниця. 2006. №3. С.41-45.

## REFERENCES

- [1] Zotsenko M.L., Bort O.V., Bidnoshyia M.V., Petrash R.V. Do otsinky mekhanichnykh vlastyvostei hruntotseментu zalezno vid umistu yoho skladovykh. // Zb. nauk. prats (haluzeve mashyno bud., bud-vo)/ Polt. nats. tekhn. un-t im. Yu. Kondratiuka. – Poltava: PNTU, 2007. – Vyp. 19. – S. 44-52.
- [2] Zotsenko M. L., Vynnykov Yu. L., Zotsenko V. M. Burovi hruntotseментni pali, yaki vyhotovliaiutsia za burozmišivalnym metodom: monohrafiia. Kharkiv: «Drukarnia Madryd», 2016. 94 s.
- [3] Novytskyi O. P. Vplyv plastyfikuiuchykh dobavok na mitsnist hruntotseментu / Zbirnyk naukovykh prats (haluzeve mashynobuduvannia, budivnytstvo). – Poltava: PoltNTU, 2012. Vyp. 4 (34) – s. 171 – 177.
- [4] Nesterenko T. M. Vplyv vibruvannia na mekhanichni kharakterystyky hruntotseментu / Budivelni konstrukttsii: mizhvidomchyi nauково-tekhnichnyi zbirnyk naukovykh prats (budivnytstvo). – Vyp. 75. Kn. 2. – K.: DP NDIBK, 2011. S. 656 – 660.
- [5] Maievska I. V., Ocheretnyi V. P., Honcharuk M.S. Vyznachennia vplyvu dobavok zoly-vynesennia na vlastyvosti hruntotseментu / Innovatsiini tekhnolohii v budivnytstvi. Mizhnarodna n/t конф. VNTU, Vinnytsia, 2018. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/itb/itb2018/paper/view/6020>
- [6] Hrishchenko R. P., Maievska I. V. Analiz mitsnosti hruntotseментu pry chastkovii zamini hruntu na zolu vynesennia. / Enerhoefektyvnist v haluziakh ekonomiky Ukrainy. Mizhnarodna n/t конф. VNTU, Vinnytsia, 2019. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/egeu/egeu2019/paper/viewFile/8263/6946>.
- [7] Blashchuk N.V. Maievska I. V. (2020) Vykorystannia zoly vynesennia u skladi hruntotseментu. Rezhym dostupu: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fbtegp/allfbtegp-2020/paper/download/9154/7828>
- [8] Ocheretnyi V. P., Kovalskyi V. P., Bondar A. V. Vykorystannia vidkhodiv vapniaku ta promyslovykh vidkhodiv u vyrobnytstvi suchykh budivelnnykh sumishei. Suchasni tekhnolohii, materialy ta konstrukttsii v budivnytstvi: mizhnarodnyi n/t zhurnal VNTU, Vinnytsia. 2009. №1(6). S.36-40.
- [9] Ocheretnyi V. P., Kovalskyi V. P., Mashnytskyi M. P. Mineralno-fazovyi sklad novoutvoren zolo shlakovoho v'iazuchoho. Suchasni tekhnolohii, materialy ta konstrukttsii v budivnytstvi: mizhnarodnyi n/t zhurnal VNTU, Vinnytsia. 2006. №3. S.41-45.

**Шевчук Олексій Михайлович** — аспірант групи 192-22а, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: omshevchuk@gmail.com.

**Блащук Наталя Вікторівна** — доцент кафедри “Будівництва, міського господарства та архітектури”. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [blaschuk@vntu.edu.ua](mailto:blaschuk@vntu.edu.ua), ORCID: 0000-0001-9764-0271.

## **INFLUENCE OF FLY ASH ON THE PROPERTIES OF SOIL-CEMENT**

Vinnitsia National Technical University

*This work describes the results of the study of the impact of by-products of industrial production as a mineral additive to the soil-cement mixture, namely fly ash. The degree of influence of the mineral additive on water absorption and the softening coefficient of soil-cement was studied, since these indicators directly affect the reliability, durability and operational characteristics of the foundations of buildings and structures, especially those operated in conditions of high humidity or in conditions of temperature changes.*

*The use of fly ash as a mineral additive is a promising direction, because fly ash has proven itself well when added to concrete mixtures. Taking into account the fact that one of the most expensive components of the soil-cement mixture is the binder, its partial replacement with available industrial waste will provide a positive impact on the economic and ecological efficiency of the soil-cement. Therefore, in this work, a study of the properties of soil cement with different degrees of replacement of the binding agent on fly ash was carried out.*

*Based on the obtained results, it was found that fly ash as a mineral additive at a certain percentage ratio has a positive effect on the characteristics of soil cement as a material, namely on the reduction of water absorption compared to the control sample in which no fly ash was used, as well as an increase in the softening coefficient. The obtained results clearly demonstrate that the use of fly ash as a mineral additive in the soil-cement mixture is an effective engineering solution that will not only reduce the cost of soil-cement, but also make it possible to dispose of industrial waste and improve the characteristics of the material itself.*

**Keywords:** soil cement, fly ash, water absorption, mineral additives, softening factor.

**Oleksiy Shevchuk** — postgraduate student of group 192-22a, Faculty of Construction, Civil and Environmental Engineering, Vinnitsia National Technical University, Vinnitsia, e-mail: [omshevchuk@gmail.com](mailto:omshevchuk@gmail.com).

**Natalia Blashchuk** — candidate. Sc., assistant professor of department of construction, architecture and municipal economy, Vinnitsia National Technical University. Vinnitsa, e-mail: [blaschuk@vntu.edu.ua](mailto:blaschuk@vntu.edu.ua), ORCID: 0000-0001-9764-0271.