

## ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК ЗОЛИ-ВИНЕСЕННЯ НА ВЛАСТИВОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТУ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** В даній роботі описано перші результати експерименту з визначення впливу мінеральних добавок, а саме золи-винесення, на властивості ґрунтоцементу.

**Ключові слова:** мінеральні добавки; ґрунтоцемент; зола-винесення.

**Abstract.** In this paper, we describe the first results of the experiment on the determination of the influence of mineral admixtures, namely ash-bearing, on the properties of the soil cement.

**Keywords:** mineral additives; soil cement; ash-bearing.

### Вступ

Для зниження вартості фундаментів можливе використання ґрунтів, які залягають в основі об'єктів будівництва як матеріалу для влаштування фундаментів. Істотно зміцнити ґрунт можливо за рахунок просочення його цементним розчином. Внаслідок цього отримують матеріал досить значної міцності - ґрунтоцемент. На даний момент успішно впроваджуються в будівництво змішувальні методи виготовлення ґрунтоцементу: струменевий, буро-змішувальний і струменево-змішувальний.

При виготовленні ґрунтоцементного елемента (ГЦЕ) в процесі буріння свердловини розпушується природний ґрунт без виїмки його зі свердловини за рахунок введення в нього спеціального змішувача, який являє собою бурову трубу на кінці з ріжучими елементами певного діаметру з отворами для подачі цементного розчину. У зону розпушування розчинонасосом 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, яка не розмокає у водному середовищі. Такі елементи можна виготовляти і у водонасиченому ґрунті, тобто нижче рівня ґрунтових вод. [1]

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.

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. [2]

Оскільки до міцності ґрунтоцементних елементів не ставляться надто високі вимоги, то для економії цементу можна пропонувати введення різноманітних мінеральних добавок. Поряд з цементом, наповнювачами і водою обов'язковими компонентами бетону стали мінеральні та хімічні добавки. Застосування золи-винесення в якості мінеральної добавки є сьогодні неодмінним атрибутом сучасної технології виготовлення бетону. [3]

Досвід вивчення бетонів свідчить про те, що зола, заміщуючи частину цементу, призводить до зменшення усадкових деформацій через зниження водо потреби бетонної суміші. Використання золи-винесення як активної мінеральної добавки сприяє підвищенню хімічної стійкості цементних бетонів. Помірний вміст золи-винесення в суміші підвищує водонепроникність бетону, що обумовлено гідравлічними властивостями золи-винесення, поліпшенням гранулометричного складу бетонної суміші і зменшенням відкритої пористості бетону.

### **Характеристика використовуваних матеріалів**

Вихідними матеріалами для виготовлення ґрунтоцементу прийнято цемент, глинисті ґрунти, воду.

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.

Портландцемент Марки М-400 являє собою складну композицію компонентів мінерального походження, що знаходяться в агрегатному стані. У складі суміші переважають оксиди кальцію, магнію, оксиди алюмінію, заліза, кремнію. Частка мінеральних складових досягає 98%.

Для виготовлення досліджуваних зразків ґрунтоцементу був використаний ґрунт – суглинок лесований, жовто-коричневий, твердий, високопористий, карбонатний, просадочний.

Для приготування ґрунтоцементних зразків використовувалась вода гідрокарбонатно-кальцієва, слабомінералізована, слаболужна, показник рН = 8, яка не містить шкідливих домішок, що перешкоджає нормальному твердінню цементу.

В якості мінеральної добавки застосовано золу-винесення Ладижинської ТЕС.

Зола-винесення - полімінеральний тонкодисперсний порошок, побічний продукт спалювання твердого палива на ТЕЦ. Фізико-механічні властивості золи-виносу такі: [1]

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

Результати мікроскопічних досліджень свідчать, що мікроструктура низько кальцієвої золи-винос (70-80 %) являється скловидна алюмосилікатна фаза у вигляді частинок кулеподібної форми розміром до 100 мкм [4,5]. Хімічний та мінералогічний склади відповідають основним вимогам, що висуваються до золи для бетонів.

### **Виклад основного матеріалу дослідження**

В якості базового ґрунту для аналізу складу ґрунтоцементу був прийнятий суглинок лесоподібний. На даний час було визначено основні властивості ґрунту, який використовується в дослідженнях, а саме:

- щільність ґрунту
- вологість ґрунту
- межа розкочування
- вологість на межі текучості

Визначення щільності ґрунту методом ріжучого кільця

Випробування проводилось за наступною технологією:

1. Кільце-пробовідбірник змазують із внутрішньої сторони тонким шаром вазеліну або консистентного мастила.

2. Верхню зачищену площину зразка ґрунту вирівнюють, зрізуючи надлишки ґрунту ножом, установлюють на ній ріжучий край кільця та гвинтовим пресом або вручну через насадку злегка вдвлюють кільце в ґрунт, фіксуючи межу зразка для випробувань.

3. Ґрунт зовні кільця обрізають на глибину від 5 мм до 10 мм нижче ріжучого краю кільця, формуючи стовпчик

діаметром на 1 мм або 2 мм більше ніж зовнішній діаметр кільця. Періодично, у міру зрізання ґрунту, легким натиском преса або насадки насаджують кільце на стовпчик ґрунту, не допускаючи перекосів. Після заповнення кільця ґрунт підрізають від 8 мм до 10 мм нижче ріжучого краю кільця й відокремлюють його.

4. Грунт, що виступає за краї кільця, підрізають ножем, зачищають поверхню ґрунту на рівні з краями кільця й закривають торці пластинками.

5. При пластичному або сипкому ґрунті кільце плавно, без перекосів, вдавлюють у нього та видаляють ґрунт навколо кільця. Потім зачищають поверхню ґрунту, накривають кільце пластинкою і підхоплюють його знизу плоскою лопаткою.

6. Кільце із ґрунтом і пластинками зважують.

Усі дані з визначення щільності ґрунту занесено до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати визначення щільності ґрунту

№	Маса, г			Висота кільця, см	Внутрішній діаметр, см	Об'єм ґрунту, м <sup>3</sup>	Щільність ґрунту	
	кільця	кіл з гр.	ґрунту				з досліду	середня
1	40,80	129,85	88,80	4	4	50	1,78	1,775
2	40,67	129,46	88,79	4	4	50	1,77	

Визначення вологості ґрунту методом висушування до постійної маси

Випробування проводилось за наступною технологією:

1. Зразок ґрунту в закритому стаканчику зважують.

2. Стаканчик відкривають і разом із кришкою поміщають у нагріту сушильну шафу. Ґрунт висушують до постійної маси за температури  $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ .

3. Після кожного висушування ґрунт у стаканчику охолоджують в ексікаторі із хлористим кальцієм до температури приміщення та зважують.

4. Висушування виконують до одержання різниці мас ґрунту зі стаканчиком при двох наступних зважуваннях не більше ніж 0,02 г. Якщо при повторному зважуванні ґрунту, що містить органічні речовини, спостерігається збільшення маси, то за результат зважування приймають найменшу масу.

Усі дані з визначення вологості ґрунту занесено до таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати визначення вологості ґрунту

№	Маса бюкси, г					Маса води	Маса сухого ґрунту	Вагова вологість	
	порожньої	з вол. гр.	з сухим ґрунтом					з досліду	середня
			m1	m2	постійна				
1	17,22	44,04	39,99	39,88	39,88	4,16	22,66	0,19	0,18
2	17,38	44,65	40,72	40,71	40,71	3,94	23,33	0,17	

Визначення межі розкочування

Випробування проводилось за наступною технологією:

1. Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують, беруть невеликий шматочок і розкочують долонею на скляній або пластмасовій пластинці до утворення джгута діаметром 3 мм. Якщо при цій товщині джгут зберігає зв'язність і пластичність, його збирають у грудку і знову розкочують до утворення джгута діаметром 3 мм. Розкочувати треба, злегка натискаючи на джгут, довжина джгута не повинна перевищувати ширини долоні.

2. Розкочування продовжують доти, поки джгут не починає розпадатися за поперечними тріщинами на шматочки завдовжки від 3 мм до 10 мм.

3. Шматочки джгута, що розпадається, збирають у стаканчики, які накриваються кришками.

4. Коли маса ґрунту в стаканчиках досягне від 10 до 15 г, визначають вологість.

Усі дані з визначення межі розкочування занесено до таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати визначення вологості на межі пластичності (межі розкочування)

№	Маса бюкси, г					Маса води	Маса сухого ґрунту	Вологість	
	порожньої	з вол. гр.	з сухим ґрунтом					з досліду	середня
			m1	m2	постійна				
1	12,44	30,71	28,02	28	28	2,71	15,56	0,17	0,175
2	12,21	32,96	29,83	29,78	29,78	3,18	17,57	0,18	

### Визначення вологості ґрунту на межі текучості

Випробування проводилось за наступною технологією:

1. Підготовлену ґрунтову пасту ретельно перемішують шпателем і невеликими порціями щільно (без повітряних порожнин) укладають у циліндричну чашку до балансирного конуса. Поверхню пасти заглажують шпателем урівень із краями чашки.

2. Балансирний конус, змазаний тонким шаром вазеліну, підводять до поверхні ґрунтової пасти так, щоб його вістря торкалось пасти. Потім плавно відпускають конус, дозволяючи йому поринати в пасту під дією власної ваги.

3. Занурення конуса в пасту протягом 5 с на глибину 10 мм показує, що ґрунт має вологість, яка відповідає границі текучості.

4. При зануренні конуса протягом 5 с. на глибину менше ніж 10 мм ґрунтову пасту витягають із чашки, приєднують до пасти, що залишилася, додають небагато дистильованої води, ретельно перемішують і повторюють операції.

5. При зануренні конуса за 5 с. на глибину більше ніж 10 мм ґрунтову пасту із чашки перекладають у порцелянову чашку, злегка підсушують на повітрі, безупинно перемішуючи шпателем і повторюють операції.

6. По досягненні границі текучості з пасти відбирають зразки масою від 15 г до 20 г для визначення вологості.

Усі дані з визначення вологості ґрунту на межі текучості занесено до таблиці 4.

Таблиця 4 - Результати визначення вологості на межі текучості

№	Маса бюкси, г					Маса води	Маса сухого ґрунту	Вологість	
	порожньої	з вол. гр.	з сухим ґрунтом					з досліду	середня
			m1	m2	постійна				
1	13,31	63,04	53,41	53,39	53,39	9,65	40,08	0,24	0,24

Також було виконано чотири заміси ґрунтоцементної суміші. Перший заміс виконувався із вмістом цементу у 100 %; другий заміс із вмістом цементу 80 % та золи-виносу 20 %; третій заміс із вмістом цементу 40 % та золи-виносу 60 %; четвертий заміс із вмістом цементу 20 % та золи-виносу 80 %.

Методика виготовлення ґрунтоцементної суміші полягає в наступному. Цемент та вода у необхідній кількості перемішуються вручну до отримання однорідного стану, так званого цементного молока. Кількість цементу беремо 20 % від ваги сухого ґрунту. Водоцементне відношення (В/Ц) приймаємо 0,6 – 1,0. Потім в отриманий розчин додається ґрунт з певною вологістю та зола-виносу – отримана суміш повинна перемішуватись до однорідної маси протягом 5 хвилин. Після перемішування ґрунтоцементна суміш викладатиметься у форми з розмірами 7x7x7 см. На третю добу після формування кубики витягались з форм і зберігались до випробування у воді протягом 28 діб (час 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 пресу. На кожне випробування було виготовлено по 3 зразки однієї серії (однаковий вміст ґрунту, цементу, В/Ц).

У результаті було отримано 4 графіки міцності ґрунтоцементу із різним відсотком мінеральної добавки та загальний графік із середніми значеннями міцності зразків.



Рис. 1 – Графік міцності ґрунтоцементу на стиск із вмістом цементу 100 %



Рис. 2 – Графік міцності ґрунтоцементу на стиск із вмістом цементу 80 % та золи-виносу 20 %



Рис. 3 – Графік міцності ґрунтоцементу на стиск із вмістом цементу 40 % та золи-виносу 60 %



Рис. 4 – Графік міцності ґрунтоцементу на стиск із вмістом цементу 20 % та золи-виносу 80 %



Рис. 5 – Графік міцності ґрунтоцементу на стиск із різним відсотком мінеральної добавки

### Висновок

Застосування золи в якості мінеральної добавки при виготовленні ґрунтоцементу дає позитивний ефект. За допомогою додавання оптимальної кількості золи може бути підвищена 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 золовмістних 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. Дворкин Л. И., Дворкин О. Л., Корнейчук Ю. А. Эффективные цементно-золевые бетоны. — Ровно, 1998. — 196 с.
2. Зоценко М.Л., Борт О.В., Бідношья М.В., Петраш Р.В. До оцінки механічних властивостей ґрунтоцементу залежно від вмісту 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
3. 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)
4. Очеретний В. П., Ковальський В. П., Бондар А. В. Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей.
5. Очеретний В. П., Ковальський В. П., Машницький М. П. Комплексна активна мінеральна добавка на основі відходів промисловості.

**Гончарук Марина Сергіївна** — студентка групи Б-18м, факультет будівництва теплоенергетики та газопостачання, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: [b16ms.plyatsok@gmail.com](mailto:b16ms.plyatsok@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)

Науковий керівник: **Очеретний Володимир Петрович** — доцент кафедри "Будівництва, міського господарства та архітектури". Вінницький національний технічний університет, Вінниця.

**Honcharook Marina** - student of the group B-18m, faculty of heat and power engineering and gas supply, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: [b16ms.plyatsok@gmail.com](mailto:b16ms.plyatsok@gmail.com)

Supervisor: **Maievskaaya 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)

Supervisor: **Ocheretniyi Volodymyr Petrovich** - associate professor of the Department of "Building, Urban and Architecture". Vinnitsa National Technical University, Vinnytsia.