

УДК 624.016.7

**УЩІЛЬНЕННЯ ГРУНТОЦЕМЕНТНОЇ СУМІШІ ВІБРУВАННЯМ**

*аспірант Нестеренко Т.М.\**

*Полтавський національний технічний університет ім. Юрія Кондратюка*

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями.** Внаслідок насичення ґрунтів цементним розчином утворюється доволі міцний матеріал – ґрунтоцемент. Процес насичення ґрунтів цементним розчином проводиться безпосередньо в масиві ґрунту природного стану або з його локальним руйнуванням. В природному стані цементним розчином при невеликому тиску насичуються лише добре проникливі ґрунти – крупні піски, гравійні, щербисті та тріщинуваті скельні. При високих тисках природний ґрунт будь-якої проникності насичується цементним розчином, в основному, за рахунок утворення гідрозривних тріщин. Розташування таких тріщин складно прогнозується.

Наситити слабо проникну основу цементним розчином можливо за рахунок локального руйнування і перемішування ґрунтів струменем води чи цементного розчину – струменева технологія цементації, або спеціальним долотом бурової машини з паралельним подаванням цементного розчину – бурозмішувальна технологія цементації [1].

Далі ми будемо розглядається лише бурозмішувальний спосіб цементації ґрунтів, як найбільш універсальний і економічний при влаштуванні основ і фундаментів. Особливістю цього методу є те, що при його використанні немає можливості обирати найбільш придатні для виготовлення ґрунтоцементу ґрунти. Цементується конкретна товща ґрунтів з усіма їх позитивними і негативними властивостями. Необхідно оцінити фізико-механічні властивості ґрунту кожного шару товщі, щоб обрати оптимальну кількість цементу і визначити їх міцність. На підставі цих даних можливо обрати те значення кількості цементу, яке буде оптимальною для усієї товщі основи. Запропонована технологія виготовлення ґрунтоцементу значно ускладнює ущільнення ґрунтоцементної суміші при її влаштуванні. Можливий вплив лише власної ваги суміші, але цей процес короткий за часом і може проявлятися лише до початку тужавіння суміші.

При влаштуванні ґрунтоцементу нижче рівня ґрунтових вод, значення водо-цементного відношення суміші, практично, не може бути меншим ніж  $V/C = 2,0$ , що вже програмує високу пористість ґрунтоцементу  $n = 40 - 50\%$  і, відповідно, низьку міцність матеріалу [2]. Для ґрунтоцементу, який виготовлений за струменевою та бурозмішувальною технологіями кубикова міцність, звичайно, складає для пілуватих (лесових і лесованих) суглинків у віці 28 діб  $R = 1,6 - 2,6$  МПа, а для пілуватих і мілких кварцових пісків  $R = 4,0 - 6,0$  МПа [3]. Такі величини міцності ґрунтоцементу значно обмежують його використання як конструктивного матеріалу, наприклад, для виготовлення ґрунтоцементних паль або утримуючих протизсувних споруд.

Лабораторні дослідження, присвячені використанню інертних добавлень

до суміші ґрунтоцементу, як то пісків і хвостів гірничого виробництва показали деяке збільшення його міцності [4]. Але такі добавлення значно ускладнюють прийняту технологію виготовлення ґрунтоцементу.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття.** Як було сказано вище, основною причиною високої пористості ґрунтоцементу, що виготовлений за струменевою і бурозмішувальною технологіями, є високий вміст води у природному ґрунті. Саме він відіграє вирішальну роль у формуванні водоцементного відношення ґрунтоцементної суміші. Далі починає розвиватися процес гідратації цементу, який поглинає частину води (до 40% від ваги цементу), а уся залишкова вода створює пори у ґрунтоцементі.

Попередні результати лабораторних досліджень показали ефективність вібрування ґрунтоцементної суміші, яку виготовлено на основі пілуватого глинистого ґрунту, з метою збільшення міцності ґрунтоцементу. Проведені дослідження довели, що вібрування ґрунтоцементної суміші практично удвічі збільшило міцність ґрунтоцементу при 90 добовому його тужавінні у вологих умовах [5]. На даному етапі досліджень ставилося завдання встановлення залежності щільності ґрунтоцементу від часу прикладення вібраційної дії, та початкової вологості ґрунту.

**Метою даної роботи** є встановлення залежності щільності ґрунтоцементу різної початкової вологості від часу прикладення вібраційної дії.

**Виклад основного матеріалу дослідження** зразки ґрунтоцементу формувалися у формі кубиків з розмірами граней 100 мм. У якості ґрунту був використаний лесований еолово-делювіальний суглинок з межею текучості  $W_L = 0,35$ ; розкочування  $W_p = 0,21$ ; числом пластичності  $I_p = 0,14$ . Вміст порцелянцеземту М400 складав 20% від маси сухого ґрунту. Готовою сумішшю наповнювали металеві форми стандартного лабораторного вібростенду (рис.1). Параметри коливання навантаженого вібростенду склали: частота коливань = 50 Гц; амплітуда коливань  $A = 0,67$  мм.

Виготовлялись кубики чотирма партіями з заданою вологістю ґрунту  $W = 0,18; 0,23; 0,30$ , відповідно, водо-цементне відношення суміші складало  $В/Ц = 1,5; 1,75; 2,1$ . В кожній партії 8 серій по 12 зразків, разом 96 зразків. Загальна кількість зразків – 288.

Кожній серії відповідав певний час вібраційної дії на зразок, так для серії 1 зразки формувалися без вібрації, безпосереднім накладанням текучої суміші у форму до рівня торця форми. Усі інші серії виготовлялися з використанням вібраційної дії. Для цього металеві форми заповнювалися ґрунтоцементною сумішшю до рівня її торців, і піддавалися вібраційному впливу на вібростенді: для серії 2 на 60 с., серії 3 – 120 с., серії 4 – 180 с., серії 5 – 240 с., серії 6 – 300 с., серії 7 – 360 с., серії 8 – 420 с. Після проведення вібрування зразка, воду з його поверхні видаляли і додавали суміш так, щоб вирівняти торець зразка.

Для ґрунтоцементу визначалися такі фізичні характеристики: вологість  $W$  у долях одиниці за методом висушування при температурі  $105^{\circ}\text{C}$ .



Рис.1. Лабораторний вібростенд

Щільність після встановленого терміну тужавіння у вологих умовах  $\rho$ ,  $\text{т/м}^3$  за методом фіксованого об'єму; щільність частинок ґрунтоцементу  $\rho_s$ ,  $\text{т/м}^3$  за методом пікнометрії. Ці дані наведені у табл.1.

Таблиця 1

Усереднені показники для ґрунтоцементу після 150 діб тужавіння

В/Ц суміші	Вологість суміші, W	Час вібродії, t, с	Щільність скелету $r_d$ , $\text{т/м}^3$	Вологість, W	Кубикова міцність, R, МПа	Коэф. варіації, n
1,48	0,296	0	1,48	0,24	7,05	0,05
1,31	0,263	60	1,53	0,245	7,6	0,05
1,28	0,257	120	1,54	0,24	9,44	0,04
<b>1,28</b>	<b>0,257</b>	<b>180</b>	<b>1,54</b>	<b>0,242</b>	<b>9,51</b>	<b>0,03</b>
1,24	0,251	240	1,55	0,24	9,41	0,03
1,21	0,245	300	1,56	0,24	9,57	0,05
1,24	0,251	360	1,55	0,241	8,7	0,04
1,31	0,263	420	1,53	0,242	8,6	0,04
1,75	0,35	0	1,38	0,265	5,56	0,08
1,53	0,308	60	1,44	0,26	6,1	0,06
1,46	0,295	120	1,46	0,262	6,93	0,07
<b>1,39</b>	<b>0,28</b>	<b>180</b>	<b>1,48</b>	<b>0,262</b>	<b>7,83</b>	<b>0,05</b>
1,35	0,276	240	1,49	0,261	7,73	0,07
1,39	0,28	300	1,48	0,262	8,22	0,07
1,42	0,29	360	1,47	0,262	7,71	0,08
1,46	0,295	420	1,46	0,262	7,45	0,08
2,1	0,42	0	1,19	0,288	5,05	0,08
1,93	0,398	60	1,23	0,293	5,63	0,12
1,68	0,36	120	1,29	0,291	6,17	0,06
<b>1,56</b>	<b>0,32</b>	<b>180</b>	<b>1,32</b>	<b>0,292</b>	<b>6,47</b>	<b>0,09</b>
1,51	0,315	240	1,33	0,295	6,36	0,06
1,64	0,335	300	1,30	0,296	6,66	0,07
1,72	0,35	360	1,28	0,295	6,36	0,12
1,76	0,36	420	1,27	0,292	6,18	0,07

Як витікає з табл. 1, внаслідок вібрування виникли такі зміни у фізико-механічних характеристиках ґрунтоцементу (табл.2).

Таблиця 2

Вплив вібрування на характеристики ґрунтоцементну

Серія	Водо-цементне відношення, В/Ц		Щільність скелету, $\rho_d, \text{т/м}^3$		Вологість, W		Кубикова міцність, у віці 150 діб R, МПа	
	до	після	до	після	до	після	до	після
1	1,48	1,21	1,48	1,56	0,296	0,245	7,05	9,5
2	1,75	1,35	1,38	1,49	0,35	0,276	5,56	7,73
3	2,1	1,51	1,19	1,33	0,42	0,315	5,05	6,47

Внаслідок вібрування із суміші ґрунтоцементу виділялася вода. Цей процес привів до збільшення щільності скелету ґрунтоцементу  $r_d$ , на 5 – 11% в залежності від початкових значень, що у свою чергу привело до збільшення кубикової міцності ґрунтоцементу у віці 150 діб на 39 – 28%.

Після тужавіння ґрунтоцементу зразків на протязі 28 діб у водному середовищі половину з них випробовували на одновісне стиснення для визначення кубикової міцності на лабораторному пресі. Так як для ґрунтоцементів не існує нормативів для визначення кубикової міцності, випробовування проводили за ДСТУ Б В.2.7-14:2009. Бетони, методи визначення міцності за контрольними зразками. Другу половину зразків випробовували через 150 діб після їх виготовлення.

За результатами даних табл.1 побудовані графіки на рис.2 і рис.3.

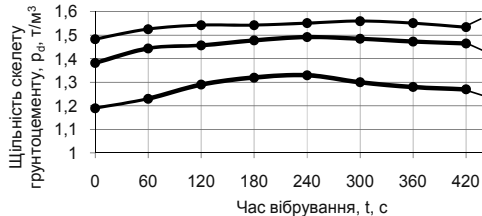


Рис. 2. Залежність щільності ґрунтоцементу від часу вібрування при В/Ц: 1 – 1,48; 2 – 1,75; 3 – 2,1

При статистичній обробці результатів залежності щільності ґрунтоцементу від часу вібрування та співвідношення води до цементу у суміші встановлено таке рівняння  $r_d = 1,69 - 0,0869 \times \hat{A}/\hat{O}^2 + 0,00017 \times t$ . Коефіцієнт кореляції для даного рівняння  $r = 0,9$ , критерій Фішера  $F_{\text{крит.}} = 5,78$ ,  $t_{\text{крит.}} = 2,83$ , при рівні значимості  $\alpha = 0,01$ .

А при статистичній обробці результатів залежності кубикової міцності ґрунтоцементу від часу вібрування та співвідношення води до цементу у суміші встановлено таке рівняння  $R = 12,14 - 1,9 \cdot \hat{A}/\hat{O}^2 + 0,0041 \cdot t$ .

Коефіцієнт кореляції для даного рівняння  $r = 0,82$ , критерій Фішера  $F_{\text{крит.}} = 5,42$ ,  $t_{\text{крит.}} = 2,76$ , при рівні значимості  $\alpha = 0,01$ .

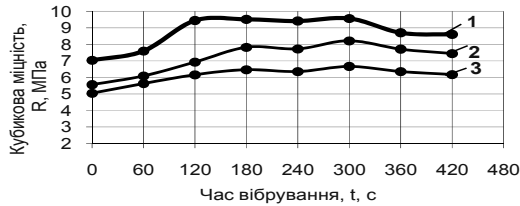


Рис.3. Залежність кубикової міцності ґрунтоцементу від часу вібрування при В/Ц: 1 – 1,5; 2 – 1,75; 3 – 2,1. Термін тужавіння 150дб.

З графіків видно, що зі збільшенням водо-цементного відношення ґрунтоцементної суміші щільність скелету ґрунтоцементу знижується. Цей факт можливо пояснити безпосередньо процесом утворення ґрунтоцементу. Частина води, яка спочатку входила до складу суміші ґрунтоцементу, прийняла участь у реакції гідратації цементу, а інша вода сформувала пористість матеріалу. Слід відмітити, що за даними табл. 1 і 2 не можна вірно визначити частину води, що витрачена на гідратацію цементу. Так як процес тужавіння ґрунтоцементу проходив у водному середовищі, вірогідне підсмоктування води зовні. Саме цим явищем можливо пояснити зростання міцності ґрунтоцементу фундаментів у часі на протязі років.

Кубикова міцність зразків в залежності від збільшення часу прикладення вібраційної дії зростає – від 0 до 300 с, а потім поступово починає падати. Пік кубикової міцності зразків припадає на 300 с, але далі зі збільшенням часу прикладення вібраційної дії розпочинається процес розшарування ґрунтоцементної суміші, що призводить до зниження міцності. Проаналізувавши результати експерименту з економічної точки зору – міцність зразків при часі прикладення вібраційної дії у 300 с у порівнянні з 180с коливається від 0,7 до 7 %, в залежності від вологості ґрунту. Але затрати на використану електроенергію, при 300 с значно більші ніж при 180с. Отже економічно вигідно формувати зразки 180 с.

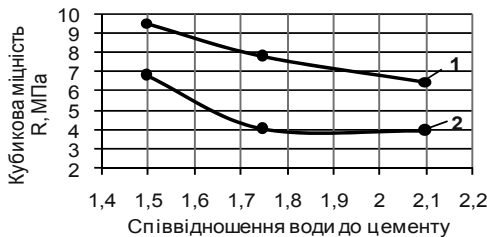


Рис.4. Вплив вологості ґрунту на міцність ґрунтоцементу при часі вібрування 180 с, для термінів тужавіння: 1 – 150 дб, 2 – 28 дб.

Простежимо за графіками на рис.4 за зміною кубикової міцності тужавіння при віброформуванні зразків на протязі 180с.

По-перше, залежність  $R = f(V/C)$  описується степеневою функцією і для різних термінів тужавіння ґрунтоцементу ці криві паралельні між собою. По-друге, для дослідженого складу ґрунтоцементу зі збільшенням водоцементної характеристики суміші, його кубикова міцність,  $R$ , зменшується до границі, де  $V/C = 1,8$ , а далі при збільшенні  $V/C$   $R$  залишається незмінною. По-третє, зі збільшенням водоцементного відношення суміші відносний ефект збільшення міцності ґрунтоцементу в часі більший для більших значень  $V/C$ . Для  $V/C = 1,5$  збільшення міцності ґрунтоцементу з 28 до 150 діб склало 37%, а для  $V/C = 2,1$  це збільшення склало 63%.

**Висновки.** Уперше експериментально доведено ефект збільшення щільності ґрунтоцементу, який виготовлений з пилюватих глинистих ґрунтів, внаслідок вібрування ґрунтоцементної суміші. Також доведено, що існує оптимальна величина інтенсивності вібрування, коли для певного складу ґрунтоцементної суміші досягається максимальне значення щільності ґрунтоцементу. При більшій інтенсивності вібрування ґрунтоцементна суміш розшаровується. Для складу ґрунтоцементу, який досліджувався, ця величина інтенсивності вібрування виміряна часом дії вібрації склала  $t = 180$  с.

Ефект ущільнення ґрунтоцементної суміші вібруванням виникає за рахунок витиснення з нього води, та бульбашок повітря. При більших значеннях  $V/C$  відносно збільшення міцності ґрунтоцементу більше.

#### ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Зоценко М.Л. Порівняльна характеристика фундаментів будівель і споруд із палі та на армованій основі / М.Л. Зоценко, І.М. Сухоросов, Л.М. Зоценко // Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. пр. (будівництво) / Держ. наук.-дослід. інститут будівель та конструкцій Мінбуду України. – К. : НДІБК, 2007. - Вип. 66. – С. 405 - 409.
2. Малинин А.Г. Обоснование расхода цемента при струйной цементации грунта // Подземное пространство мира, № 3, 2003. – 12-14 с.
3. Крисан В.І., Крисан В.В. Армирование насыпи подходов земляного полотна к путепроводу ґрунтоцементними сваями./В.І. Крисан, В.В. Крисан// У міжвідомчому науково-технічному збірнику наукових праць №66. Київ. - НДІБК. - 2007. - 204-211 с.
4. Бідношея М.В. До оцінки механічних властивостей ґрунтоценту залежно від умісту його складових / [М.Л. Зоценко, О.В. Борг, М.В.Бідношея, Р.В. Петраш] // Зб. наук. пр. (галузеве машинобуд., буд-во). – Полтава: ПолтНТУ, 2007. – Вип. 19. – С. 44-52.
5. Нестеренко Т.М. Вплив вібрування на механічні характеристики ґрунтоцемент/Міжвідомчий наук.-техн. зб. наук. пр. (будівельні конструкції)/Держ. підпр. держ. наук.-дослід. інститут буд. констр. – К. : ДП НДІБК, 2011.- Вип. 75. – С. 656- 660.