

*М.В. Петруняк, к.т.н., ст. викладач
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

МЕТОДИКА ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ГРУНТОЦЕМЕНТУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ

Розглянуто методику виготовлення ґрунтоцементу та досліджено фізико-механічні характеристик зразків-кубиків і циліндрів. Вибрано більш доцільний вид зразків для подальших досліджень у лабораторних умовах.

Ключові слова: ґрунтоцемент, зразок-кубик, зразок-циліндр, методика, стиск, модуль деформації, міцність.

*М.В. Петруняк, к.т.н., ст. преподаватель
Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

МЕТОДИКА ПРИГОТОВЛЕННЯ И ИССЛЕДОВАНИЯ ГРУНТОЦЕМЕНТА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрено методику изготовления ґрунтоцемента и исследовано физико-механические характеристик образцов-кубиков і цилиндров. Выбран наиболее целесообразный вид образцов для дальнейших исследований в лабораторных условиях.

Ключевые слова: ґрунтоцемент, образец-кубик, образец-цилиндр, методика, сжатие, модуль деформации, прочность.

*M.V. Petrunyak, Ph.D, senior lecturer
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

METHOD OF PREPARATION AND STUDY OF SOIL-CEMENT UNDER LABORATORY CONDITIONS

The method of manufacturing soil-cement and investigated physical and mechanical characteristics of the sample cubes and cylinders. Selected more appropriate type of samples for further research in the laboratory.

Keywords: soil-cement, sample-cube, sample-cylinder, methodology, compression, deformation modulus, strength.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями. На основі накопичених експериментальних даних робіт В.І. Крисана, І.І. Ларцевої, Р.В. Петраша, А.Н. Токіна [1 – 5] можна стверджувати, що механічні властивості ґрунтоцементу залежать від: літології ґрунтів, умісту цементу, ступеня ущільнення ґрунтоцементної суміші, водноцементного відношення суміші (В/Ц), показника води рН, вмісту водорозчинних солей, різних добавок тощо. Оскільки сьогодні немає нормативних документів з виготовлення та випробування ґрунтоцементу, то використовуємо аналогові методики для лабораторних випробувань.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання проблеми. Встановлено [3], що при виготовленні ґрунтоцементу щільність його залежить від насиченості ґрунту водою, залишкова вода після гідратації цементу формує пористу структуру матеріалу, яка у свою чергу є провідною у формуванні механічних характеристик ґрунтоцементу.

Найбільш ефективно використання в'язучих властивостей цементу при укріпленні ґрунту залежить не тільки від правильності дозування та рівномірності

перемішування, а й від ступеня зволоження ґрунтоцементної суміші з наступним її ущільненням [6, 7].

У випадку недостатнього зволоження суміші, що не забезпечує нормальних умов для гідролізу та твердіння цементу, неможливо досягти великої міцності ґрунтоцементу, навіть за умови надлишкової кількості високоактивного цементу, задовільних властивостей ґрунту чи достатнього ущільнення.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття. Ефективність застосування ґрунтоцементу особливо висока в районах, бідних на кам'яні будівельні матеріали, та районах розповсюдження лесових ґрунтів, з яких може бути отриманий матеріал для фундаментів з найбільш високими характеристиками міцності. Це досягається завдяки сприятливим фізичним та хімічним властивостям лесових ґрунтів, які мають невеликий вміст глинистих частинок, лужну реакцію середовища, невелику кількість легкорозчинних солей. Лесові ґрунти також є доступним, економічним, міцним та довговічним місцевим будівельним матеріалом [4]. Оптимальні умови тужавіння цементу і структуроутворення ініціюються при надлишку іонів кальцію в суміші, гідраті оксиду кальцію, а отже, і лужного середовища [7].

Проте ще не накопичено достатньої кількості дослідних даних для прогнозування фізико-механічних характеристик ґрунтоцементу на тому чи іншому будівельному майданчику. Для цього попередньо в лабораторних умовах необхідно проводити дослідження ґрунтів, які використовуються для виготовлення ґрунтоцементу.

Метою роботи є підбір оптимального розміру зразків ґрунтоцементу для подальших лабораторних досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження. Так як сьогодні немає нормативних документів з випробування, то випробування проводилися згідно з ДСТУ Б В.2.7-214:2009 як для бетонів [8] з урахуванням ДСТУ Б В.2.1-4-96 [9]. Визначення міцності ґрунтоцементу полягає у вимірюванні мінімальних зусиль, що руйнують спеціально виготовлені контрольні зразки при їх статичному навантаженні з постійною швидкістю росту навантаження.

Критеріями експерименту призначимо модуль деформації E та міцність ґрунтоцементу на стиск R .

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

Цемент виготовлений згідно з вимогами ДСТУ Б В. 2.7-46-96.

В якості в'язучого для виготовлення експериментальних зразків і їх дослідження використовувався портландцемент марки ПЦ-П/Б-Ш-400 – продукт тонкого подрібнення цементного клінкеру, який отримують випалюванням до спікання (при $t = 1450$ °C) вапнякових мергелів або штучної суміші з 75% вапняку і 25% глини. За цим ДСТУ цемент відноситься до II типу – з добавками (від 6 – 35% мінеральних добавок; з добавкою доменного гранульованого шлаку – 21 – 25%; додаткових компонентів – 0 – 5%; клінкеру – 65 – 79%). Портландцементи належать до цементів високої якості з гідравлічно-пуцолановими властивостями.

Характерні особливості портландцементів ПЦ-П:

- більш сповільнені терміни тужавіння порівняно з портландцементами ПЦ-І;
- помірна динаміка наростання ранньої міцності;
- висока міцність у більш пізні терміни твердіння.

Для виготовлення досліджуваних зразків ґрунтоцементу був використаний ґрунт – суглинок лесований, жовто-коричневий, твердий, високопористий, карбонатний, просадочний. Цей ґрунт був відібраний на глибині 3 м від поверхні землі на майданчику будівництва житлового будинку, розташованого по вул. Гребінки, 19, у м. Полтава.

Ґрунт має такі характеристики:

- щільність ґрунту $\rho = 1,67 \text{ г/см}^3$;
- вологість природна $W = 0,20$;
- щільність частинок ґрунту $\rho_s = 2,66 \text{ г/см}^3$;
- щільність скелета ґрунту $\rho_d = 1,40 \text{ г/см}^3$;
- вологість на межі текучості $W_L = 0,35$;
- вологість на межі розкочування $W_P = 0,21$;
- число пластичності $I_P = 0,14$.

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

Методика виготовлення ґрунтоцементної суміші полягала в наступному. Цемент та вода у необхідній кількості перемішувалися вручну до отримання однорідного стану, так званого цементного молока. Кількість цементу беремо 20 % від ваги сухого ґрунту. Водоцементне відношення (В/Ц) приймаємо 0,6 – 0,8. Потім в отриманий розчин додається ґрунт з певною вологістю – отримана суміш перемішувалася до однорідної маси протягом 5 хвилин (рис. 1).



Рисунок 1 – Виготовлення цементного розчину та ґрунтоцементної суміші

Після перемішування ґрунтоцементна суміш викладається у дерев'яні форми з розмірами 7,07x7,07x7,07 см та циліндри з розмірами $h = 3,0 \text{ см}$ $d = 3,0 \text{ см}$. Кубики та циліндри формувалися методом лиття (рис. 2, а, б).

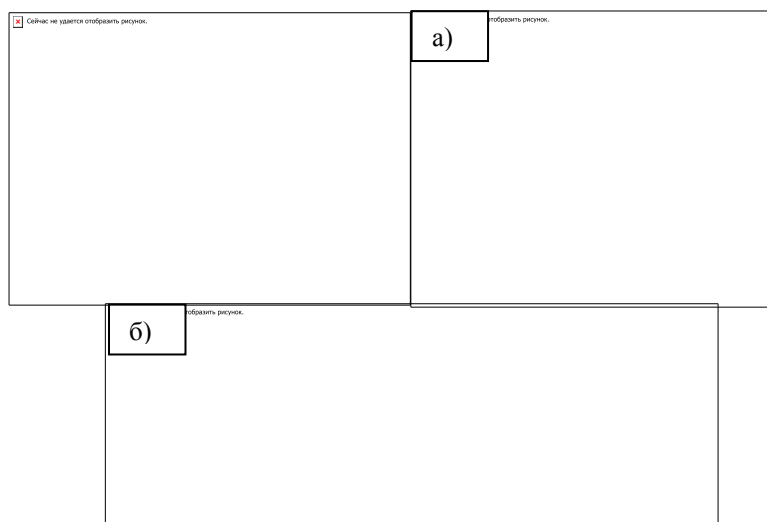


Рисунок 2 – Формування зразків ґрунтоцементу: а – циліндри; б – кубики

На другу добу після формування кубики витягалися з форм і зберігалися до випробування у воді протягом 28 діб (час набору міцності) (рис. 3, а, б).



Рисунок 3 – Зберігання готових зразків ґрунтоцементу у воді: а – кубики; б – циліндри

Випробування зразків (кубиків, циліндрів) на стиск виконувалося у віці 28, 90, 365 та 730 діб за допомогою преса та компресійного приладу УГПС (рис. 4). На кожне випробування було виготовлено по 6 – 8 зразків однієї серії (однаковий вміст ґрунту, цементу, В/Ц). Прикладення навантаження проводилося до руйнування зразка.

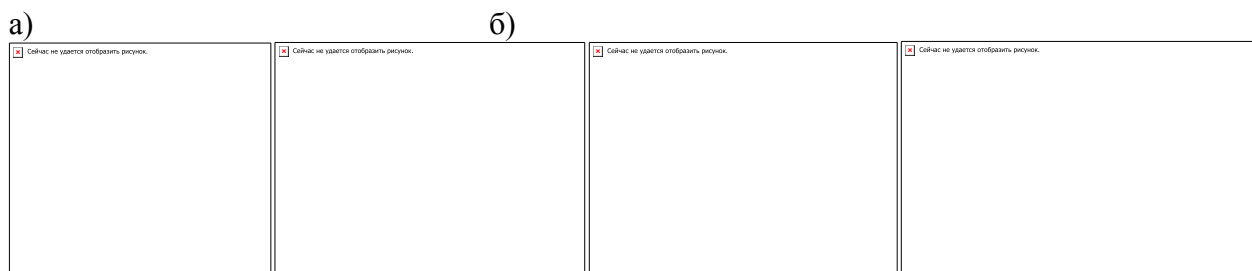


Рисунок 4 – Випробування зразків ґрунтоцементу на стиск: а – кубики; б – циліндри

У результаті випробувань отримано середнє значення міцності на стиск ґрунтоцементу певного віку та модуль деформації. Також для кожного зразка ґрунтоцементу визначалася щільність та вологість.

Максимальне зусилля, досягнуте в процесі випробування, приймали за руйнуюче навантаження і заносили в журнал випробувань.

Результати випробувань зразків-кубиків та циліндрів на стиск зведено у загальну таблицю міцності ґрунтоцементних зразків при різному терміні тужавіння (табл. 1).

Таблиця 1 – Осереднені результати для ґрунтоцементу однакового складу та при різному терміні тужавіння

Період тужавіння T, діб	Вологість W, % (коефіцієнт варіації V)	Щільність скелета ρ_d , кг/м ³ (коефіцієнт варіації V)	Міцність R, МПа (коефіцієнт варіації V)	Модуль деформації E, МПа (коефіцієнт варіації V)	Кореляційні рівняння залежностей: R = f(T); E = f(T) (коефіцієнт кореляції r)
Кубики з розмірами 7,07x7,07x7,07 см					
10	23,2 (0,09)	1,36 (0,09)	1,85 (0,11)	302 (0,16)	$R = 2\ln T + 1,19$ (r = 0,96); $E = 51,1\ln T + 300$ (r = 0,93)
28	24,3 (0,10)	1,36 (0,1)	2,8 (0,1)	325 (0,12)	
90	24,6 (0,09)	1,365 (0,11)	4,5 (0,12)	450 (0,13)	
365	24,3 (0,08)	1,363 (0,09)	9 (0,11)	375 (0,11)	
730	24 (0,1)	1,37 (0,09)	9,5 (0,07)	523 (0,14)	
Циліндри з розмірами h = 3,0 см d = 3,0 см					
10	25,8 (0,09)	1,37 (0,1)	1,92 (0,14)	315,5 (0,14)	$R = 1,99\ln T + 1,37$ (r = 0,97); $E = 56,3\ln T + 313$ (r = 0,94)
28	25,4 (0,07)	1,38 (0,09)	3 (0,13)	339 (0,16)	
90	25,1 (0,08)	1,38 (0,1)	5 (0,12)	390 (0,13)	
365	25,8 (0,12)	1,38 (0,08)	9,35 (0,11)	500 (0,16)	
730	25,5 (0,1)	1,38 (0,12)	9,69 (0,12)	550 (0,13)	

За даними таблиці 1 побудуємо графіки набору міцності (рис. 5) та модуля деформації ґрунтоцементу (рис. 6) для порівняння характеристик міцності і деформативності ґрунтоцементу, отриманих шляхом випробовування зразків – кубиків та циліндрів.

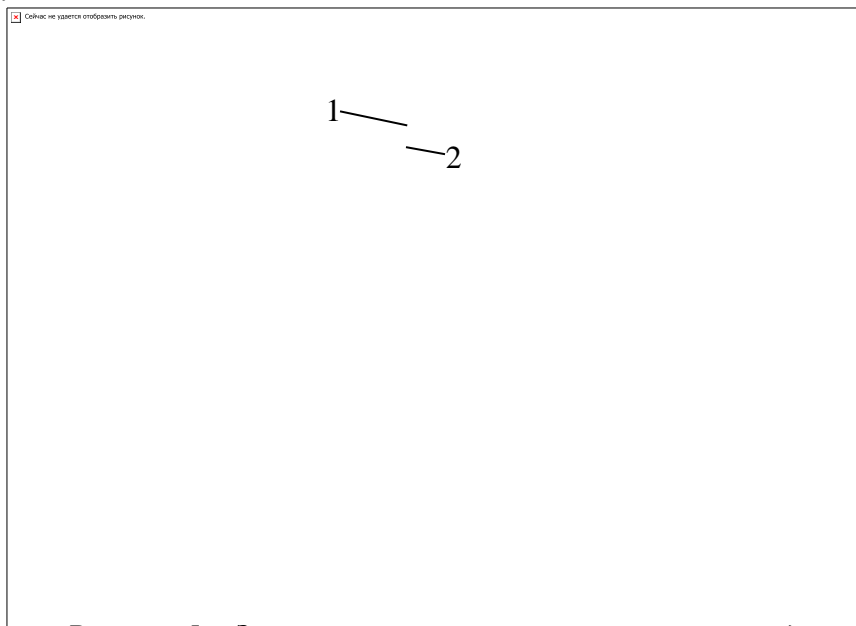


Рисунок 5 – Залежність міцності ґрунтоцементу від терміну тужавіння: 1 – зразки-кубики; 2 – зразки-циліндри

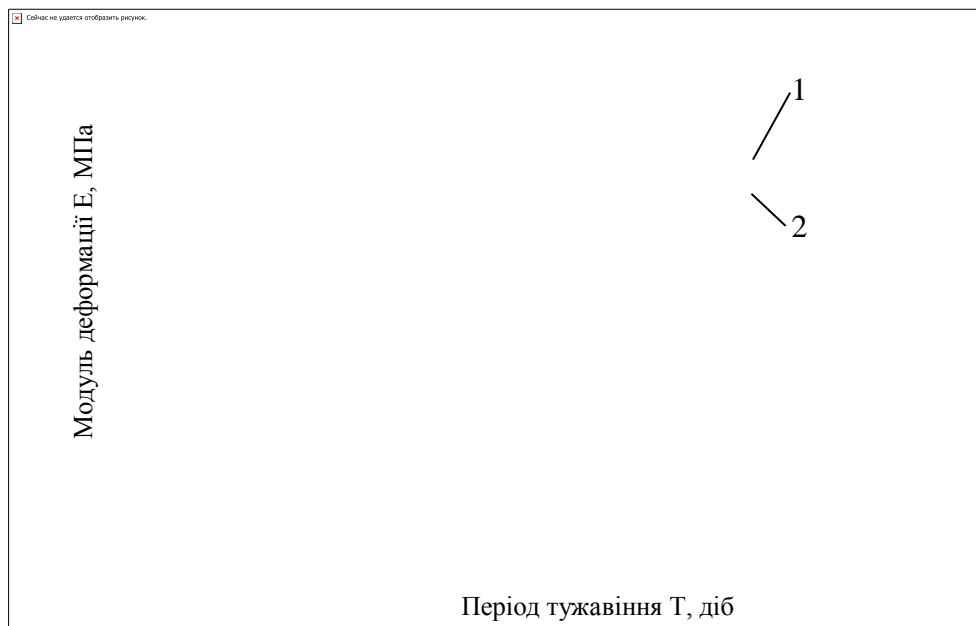


Рисунок 6 – Залежність модуля деформації ґрунтоцементу від терміну тужавіння: 1 – зразки-кубики; 2 – зразки-циліндри

Як бачимо з таблиці 1 і графіків (рис. 5 і 6), різниця між отриманими даними по зразках-кубах та циліндрів незначна.

Висновки. Проведені дослідження показали, що при виготовленні ґрунтоцементу в лабораторних умовах за допомогою бурозмішувальної технології його стисливість і міцність залежать ще від такого фактору, як вплив часу тужавіння, тобто ґрунтоцемент набирає оптимальну міцність протягом тужавіння, але і в подальшому набирає міцність при тужавінні у вологому середовищі.

У зв'язку з великими витратами матеріалів, значним терміном тужавіння у воді та великою чисельністю зразків, прийнято за доцільне використовувати для лабораторних дослідів зразки-циліндри розмірами $h = 3,0$ см, $d = 3,0$ см.

Усі ці фактори слід урахувати при організації і проведенні лабораторних досліджень властивостей ґрунтоцементу.

Література

1. 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.

2. Ларцева, І. І. Закріплення зсувонебезпечних територій за допомогою цементації за бурозмішувальною технологією: автореф. дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.23.02 / І. І. Ларцева. – Полтава: ПолтНТУ, 2010. – 21 с.

3. 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.

4. Токин, А. Н. Влияние влажности цементогрунтовой смеси на качество перемешивания ее компонентов бурсмесительным способом / А. Н. Токин, А. И. Ветштейн // *Строительство и архитектура*. – М.: ВНИИС, 1981. – Вып. 10. – С. 36–41.

5. Токин, А. Н. Способ изготовления цементогрунтовых свай / А. Н. Токин, Я. Я. Мотузов, А. И. Ветштейн. – М.: Стройиздат, 1981. – С. 29–33.

6. Trhliková, J. Artificially cemented clay – a laboratory study / J. Trhliková, J. Boháè // *Charles University, Prague, Czech Republic/ Proc. of the 17th EYGEC*. – Zagreb, 2006. – P. 301–306.

7. Виленкина, Н. М. Цементогрунтовые камни / Н. М. Виленкина – М.: Стройиздат, 1961. – 205 с.

8. ДСТУ Б В.2.7-214:2009. Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 44 с.

ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформативності. – К.: Держбуд України, 1997. – 24 с.

Надійшла до редакції 01.10.2012

© М. В. Петруняк