

М. Л. ЗОЦЕНКО, О. І. НАЛИВАЙКО, І. І. ЛАРЦЕВА (Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка), О. М. ПАНЬКО (Державне управління справами Президента України, Київ)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДОНЕПРОНИКНОСТІ ГРУНТОЦЕМЕНТУ

У статті представлено дослідження водонепроникності ґрунтоцементу прискореним методом визначення повітропроникності за допомогою пристрою ВВ-2 (типу «Агама»), а також коефіцієнта розм'якшення.

В статті представлені дослідження водонепроницаемости ґрунтоцемента ускоренным методом определения воздухопроницаемости при помощи прибора ВВ-2 (типа «Агама»), а также коэффициента размягчения.

The study of watertightness of the soil cement by speed-up method for air permeability determination by means of the ВВ-2 device («Агама» type) is presented in this article. The coefficient of softening is also determined.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими практичними завданнями

Одним із ефективних напрямків зниження вартості пального фундаментобудування є використання у якості матеріалу ґрунтів, які залягають в основі будівель. За допомогою спеціального обладнання виконують розпушування ґрунту безпосередньо у масиві без його виймання. Одночасно у розпушений ґрунт нагнітається цементна суспензія та виконується перемішування й ущільнення ґрунтоцементної суміші. Після тужавіння суміші за всією товщиною слабого шару утворюється міцний ґрунтоцементний матеріал, який не розмокає у водному середовищі. Такі елементи можливо утворювати й у водонасиченому ґрунті, тобто нижче рівня ґрунтових вод. Досліди, які були проведені у часі з визначення міцності ґрунтоцементу, показали його зростання навіть через роки після виготовлення [1].

Відомим є метод влаштування штучних основ шляхом армування слабких ґрунтів вертикальними жорсткими елементами. Ефект такого армування основ полягає у тому, що у певному об'ємі слабого ґрунту частина його замінюється жорстким матеріалом з достатньо великими, порівняно з природним ґрунтом, механічними характеристиками. Ці характеристики утвореної штучної основи визначаються як середньовиважені. Вони можуть регулюватися за рахунок зміни відстані між сусідніми елементами армування [2]. В останні роки доволі часто влаштування штучних основ (закріплення слабких ґрунтів) здійснюють шляхом цементації ґрунту за струминною та бурозмішувальною технологіями. За допомогою вказаних техноло-

гій у масиві ґрунтів можна утворювати вертикальні, горизонтальні та похилі жорсткі ґрунтоцементні елементи. Ці технології також можна застосовувати не тільки для закріплення основи під фундаментами будівель і споруд, а й для стабілізації зсувонебезпечних схилів, укосів [3], влаштування протифільтраційних завіс, роздільних стінок для зниження впливу новобудов на існуючі будівлі і споруди тощо [2].

Відомо, що при закріпленні ґрунтів на схилах виникає так званий «баражний ефект», який проявляється у техногенному піднятті рівня ґрунтових вод на таких ділянках. Відомо також, що ґрунтоцемент, який виготовлено за бурозмішувальною технологією, має пористість, яка близька до пористості ґрунту природного складу. Цей факт породив хибну думку про те, що і проникність ґрунтоцементу близька до ґрунту. З цих міркувань актуально дослідити водонепроникність ґрунтоцементу за стандартними методами для подальшого прогнозування можливості виникнення баражного ефекту на закріплених схилах.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання поставленої проблеми

Ґрунтоцемент представляє собою складну багатофазну систему, яка складається із ґрунту, що має полідисперсний та полімінеральний склад, та цементуючої речовини – цементу, який з'єднує частинки ґрунту в моноліт. Гель, який виділяється при гідролізі цементу, просочує ґрунт та заповнює його пори.

Ґрунтоцемент на відміну від цементних бетонів має значно більшу пористість. Якщо пористість бетонів складає декілька процентів і

пори утворюються в основному у застиглому цементному камені, то в ґрунтоцементі залишкова пористість може складати 20...30 % і вище. Встановлено, що в ґрунтоцементі переважають ультрамікропори. Крім того, внаслідок перемішування суміші і наступного гідролізу цементу при тужавінні виникає так звана «закрита пористість», тобто пори ґрунтоцементу більшістю не зв'язані між собою. Все це робить матеріал практично водонепроникним. Характер пор, який утворюється у бетоні, залежить від цілого ряду факторів і, в першу чергу, від щільності матеріалу та процесу його твердіння, а також від складу використаного цементу. Так, більш якісний бетон за водонепроникністю може бути отриманий на пуцоланових портландцементях; з технологічної позиції ефективним способом отримання водонепроникного бетону є його ущільнення.

Вивчати ґрунтоцемент як будівельний матеріал почали приблизно з 30-х рр. ХХ сторіччя. Було доведено доцільність застосування монолітного ґрунтоцементу для укладання в ядро накидних дамб та улаштування облицювання зрошувальних каналів. Встановлено, що глинистий ґрунт до закріплення з коефіцієнтом фільтрації $K_f = n \cdot 10^{-3}$ см/с, після закріплення його цементом (на 2-гу добу після виготовлення) має $K_f = n \cdot 10^{-8} \dots n \cdot 10^{-10}$ см/с, тобто він стає практично водонепроникним. Для цементно-глинистих матеріалів коефіцієнт фільтрації складає $K_f = n \cdot 10^{-7} \dots n \cdot 10^{-8}$ см/с, в той час як для цементних – $K_f = n \cdot 10^{-4} \dots n \cdot 10^{-5}$ см/с [4].

Виділення не розв'язаних раніше частин проблеми, яким присвячується стаття

При дослідженні властивостей ґрунтоцементу виникає питання: якими методами проводити ці дослідження? Чи вважати ґрунтоцемент близьким за характеристиками до бетонів, чи до ґрунтів? При дослідженні водонепроникних властивостей бетонів необхідно користуватися наступними стандартами [5, 6] і виконувати дослідження за «микрою плямою» чи експрес-методами. Якщо розглядати ґрунтоцемент як ґрунт, що змінений під хіміко-фізичним впливом, тоді для нього згідно зі стандартом [7] потрібно визначати коефіцієнт розм'якливості у воді K_{sof} .

Тому **метою роботи** є дослідження водонепроникних властивостей ґрунтоцементу (за методикою визначення водонепроникних власти-

востей для бетонів) та визначення його коефіцієнту розм'якливості.

Виклад основного матеріалу досліджень

З метою визначення характеристик водонепроникності ґрунтоцементу на дослідному майданчику в листопаді 2008 р. були виготовлені вертикальні ґрунтоцементні елементи діаметром 200 мм та довжиною 2,5 м. Кількість цементу – 20 % від ваги сухого ґрунту, водоцементне відношення розчину – В/Ц = 1. Дослідний майданчик складений лесовими просадочними суглинками першого горизонту (ІГЕ-3) з наступними характеристиками: вологість на межі текучості $W_L = 0,30$; вологість на межі пластичності $W_p = 0,21$; число пластичності $I_p = 0,09$; природна вологість $W = 0,13$; показник текучості $I_L = -0,89$; щільність частинок ґрунту $\rho_s = 2,66$ г/см³; щільність ґрунту $\rho = 1,56$ г/см³; щільність сухого ґрунту $\rho_d = 1,39$ г/см³; коефіцієнт пористості $e = 0,91$; коефіцієнт водонасичення $S_y = 0,35$. У віці 6 місяців (у травні 2009 р.) ґрунтоцементні елементи були викопані з масиву для подальшого дослідження у лабораторних умовах (рис. 1).



Рис. 1. Ґрунтоцементний елемент діаметром 200 мм в масиві ґрунту

Для дослідження водонепроникності ґрунтоцементу був застосований пристрій для прискореного визначення водонепроникності бетону ВВ-2, що дозволяє оцінювати *повітропроникність бетонів експрес-методом*. Цей метод оснований на наявності експериментальної залежності між повітропроникністю поверхневих шарів бетону та його водонепроникністю, ви-

значеній за «мокрою плямою» згідно зі стандартом [6]. Водонепроникність бетонного зразка за «мокрою плямою» оцінюється максимальним тиском води, при якому ще не спостерігається її просочування крізь зразок. Марку бетону по водонепроникності приймають за табл. 1.

Таблиця 1

Марка бетону по водонепроникності за «мокрою плямою»						
Водонепроникність серії зразків, МПа	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Марка бетону по водонепроникності <i>W</i>	2	4	6	8	10	12

При застосуванні пристрою швидкісного оцінювання водонепроникності в якості параметру, який характеризує повітропроникність, використовується значення часу, за яке тиск в камері пристрою падає на певну величину.

Пристрій ВВ-2 (рис. 2) має необхідні атестати та сертифікати і відповідає всім нижченаведеним технічним характеристикам, що пред'являються до пристроїв визначення повітропроникності:

1. Початковий рівень вакууметричного тиску, що створюється всередині камери, – не менше 0,064 МПа.
2. Початковий тиск притиснення фланцю камери до поверхні бетону – не менше 0,05 МПа.
3. Ширина фланцю камери – не менше 25 мм.
4. Внутрішній об'єм порожнини камери – не менше 180 см³.

Діапазон показників вакуумметра прилада ВВ-2 – 0...1 кгс/см²; маса пристрою – 4 кг.

Пристрій ВВ-2 є порожнистою циліндричною камерою 1 з виступаючим фланцем 2. Зверху камери встановлений вакуумметр 3, з'єднаний з камерою через штуцер 4, на бічній поверхні – штуцер 5 підводу гнучкого шлангу 6. Шланг приєднаний до ручного вакуум-насосу 7. На осі штуцера 5 всередині камери розташований вакуумклапан 10. Штуцер 5 перекривається при досліді заглишкою 11. Для проведення випробувань пристрій встановлюють на поверхні зразка 8 за допомогою липкої герметизуючої мастики 9, яка накладається джгутом на фланці камери, при цьому контролюють, щоб фланець камери не виступав за край поверхні зразка.

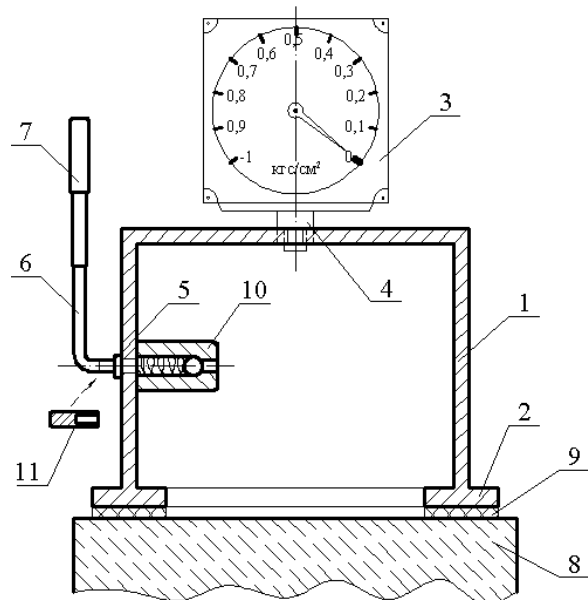


Рис. 2. Схема пристрою для прискореного визначення водонепроникності бетону ВВ-2

Згідно зі стандартами [5, 6], повітропроникність бетону визначається за результатами випробувань серії із 6 зразків-кубів розмірами ребра 150 мм чи циліндрів діаметром 150 мм та висотою не менше 100 мм. Випробування проводять при температурі повітря від +1 до +40 °С. Протягом двох діб до моменту випробування поверхня бетону не повинна піддаватися дії води чи іншої рідини. Поверхні, на яких будуть проводитись випробування, повинні бути очищені від поверхневої плівки цементного каменю. У зоні контакту фланцю камери з поверхнею бетону не повинно бути раковин глибиною більше 1 мм та діаметром більше 6 мм, а також виступів більше 1 мм та видимих тріщин.

Випробування проводять у наступній послідовності:

1. Встановлюють камеру на вибраній та підготовленій ділянці досліджуваного зразка та притискають пристрій до поверхні двома руками, створюючи необхідний тиск притиснення 0,05 МПа.

2. За допомогою вакуум-насосу в камері створюють розрідження до значення 0,075...0,08 МПа.

3. Знімають кінець шлангу, встановлюють на штуцер заглишку та спостерігають за показниками вакуумметра падіння тиску до значення $P_{01} = -0,060$ МПа. Даний тиск вважається тиском початкового розрідження. З цього моменту засікається час, за який тиск у камері падає до кінцевого розрідження $P_n = -0,054$ МПа.

Отримані значення часу t_i для досліджуваних зразків записують у порядку їх зростання та обчислюють середнє арифметичне значення часу двох середніх зразків (третього та четвертого) в якості параметру, який характеризує повітропроникність в серії зразків.

Водонепроникність бетону W визначають за градуовальною таблицею «час – марка бетону за водонепроникністю» (табл. 2).

Таблиця 2

Марка бетону за водонепроникністю для приладу ВВ-2

Діапазон t_i , с	Марка бетону за водонепроникністю W
41...59	2
60...87	4
88...126	6
127...183	8
184...261	10
262...387	12
388...561	14
562...814	16
815...1181	18
1182...1734	20

Для перевірки справності пристрою та підтвердження доцільності його застосування для зразків ґрунтоцементу, попередньо була визначена марка за водонепроникністю залізобетонної балки заводського виготовлення (рис. 3), яка за паспортом має марку $W2$.

За результатами проведення 6-ти випробувань час падіння тиску в камері для 3-го та 4-го випробування був наступний – 44 та 52 с, відповідно. Середнє арифметичне значення часу складає 48 с, що згідно з табл. 2 відповідає марці бетону за водонепроникністю $W2$. Отже, даний пристрій можна застосовувати для визначення водонепроникності зразків.

Для визначення водонепроникності елемент ґрунтоцементу, діаметром 200 мм, який був вилучений на дослідному майданчику, розрізали на циліндри висотою по 150 мм. Далі поверхня була очищена з урахуванням усіх вищевикладених вимог і було проведено 6 випробувань (рис. 4), результати яких наведені в табл. 3.

З урахуванням даних табл. 2 і 3 середнє арифметичне значення часу падіння тиску в камері для 3-го та 4-го випробувань складає

$t = 463$ с, що відповідає марці по водонепроникності для бетонів $W14$.



Рис. 3. Визначення повітропроникності бетонної балки



Рис. 4. Дослідження повітропроникності ґрунтоцементу пристроєм ВВ-2

Таблиця 3

Значення часу та марки для досліджуваних зразків ґрунтоцементу

№ зразка	Час t_i , с	Марка W
1	305,27	12
2	320,58	12
3	445,00	14
4	480,54	14
5	520,30	14
6	784,98	16

Якщо марку по водонепроникності визначати за середньоарифметичним значенням часу падіння тиску в камері всіх проведених досліджень (в нашому випадку – 6-ти), то за даними табл. 3 $t_{\text{сер}} = 476$ с, що відповідає марці по водонепроникності $W14$. Коефіцієнт варіації, визначений в результаті проведення статистичної обробки даних методом найменших квадратів, для даного випробування склав $v = 0,11$.

Значення коефіцієнту варіації відповідає загальним уявленням для ґрунтів, це підтверджує, що ґрунтоцемент має досить високу водостійкість. Слід зазначити наступне: для того, щоб виготовити бетон марки за водонепроникністю $W14$, в нього необхідно не тільки додати спеціальні гідрофобні добавки, але й суворо дотримуватись технології виготовлення бетону з цією добавкою. Всі ці заходи значно збільшують собівартість такого бетону, який сам по собі вже є дорожчим, ніж ґрунтоцемент.

Оскільки ґрунтоцемент розглядається також як *зміцнений ґрунт*, то для оцінювання його водостійкості потрібно визначати коефіцієнт розм'якливості у воді. Згідно зі стандартом [7], за коефіцієнтом розм'якливості ґрунти поділяють на нерозм'якшувальні ($K_{\text{sof}} \geq 0,75$) та розм'якшувальні ($K_{\text{sof}} < 0,75$).

З досліджуваних експрес-методом зразків ґрунтоцементу діаметром 200 мм та висотою 150 мм були виготовлені кубики розмірами 7x7x7 см. Кубики були заміряні та поділені на дві серії по 6 штук: зразки 1-ої серії зберігалися протягом 28 діб у воді; зразки 2-ої серії зберігалися протягом 28 діб у повітряно-сухих умовах. По проходженню вказаного терміну зразки випробовувалися на одноосьовий стиск (рис. 5) відповідно до стандарту [8]. Результати випробувань наведені в табл. 4.

За результатами випробувань (табл. 4) для кожного зразка була визначена границя міцності ґрунту на одноосьовий стиск R_c – відношення навантаження, при якому виникає руйнування зразка, до площі первісного поперечного перерізу. Також для отриманих значень міцності ґрунтоцементу була проведена статистична обробка даних методом найменших квадратів. Коефіцієнт варіації для зразків, що зберігалися у повітряно-сухих умовах, склав $v = 0,057$; для зразків, що зберігалися у воді – $v = 0,092$.

Отримані дані свідчать про однорідність ґрунтоцементу як матеріалу та високу точність проведення експерименту.

За даними табл. 4 коефіцієнт розм'якливості, який визначається як відношення серед-

ніх значень границь міцності на одноосьовий стиск у водонасиченому та у повітряно-сухому стані, для зразків ґрунтоцементу, який виготовлений за бурозмішувальною технологією шляхом перемішування суглинку лесового просадочного (ПГЕ-3) та цементного розчину з кількістю цементу 20 % від ваги сухого ґрунту, становить: $K_{\text{sof}} = \frac{1,54}{1,39} = 1,11 > 0,75$.



Рис. 5. Визначення міцності ґрунтоцементу на одноосьовий стиск

Таблиця 4

Границя міцності зразків ґрунтоцементу R_c , МПа

№ зразка	R_c , МПа (повітряно-сухі)	R_c , МПа (водонасичені)
1	1,38	1,55
2	1,50	1,48
3	1,45	1,45
4	1,31	1,59
5	1,30	1,74
6	1,37	1,46
Середнє	1,39	1,54

Висновки з проведених досліджень

– За допомогою пристрою для швидкого визначення водонепроникності бетонів доведено, що ґрунтоцементні елементи, які утворюються в результаті закріплення ґрунтів за бурозмішувальною технологією, мають високі водонепроникні характеристики ($W12 - W14$), які недосяжні для звичайних бетонів; слід враховувати і той факт, що 1 м³ бетону у тілі протифі-

льтраційної завіси коштує близько 3000 грн, у той час як 1 м³ ґрунтоцементу, який виготовлено у тілі завіси за бурозмішувальною технологією, коштує біля 1000 грн.

– Проведеними дослідженнями доведено, що пристрій експрес-методу для визначення повітропроникності бетонів можна застосовувати для швидкого визначення водонепроникності ґрунтоцементу.

– Випробування ґрунтоцементу як закріпленого ґрунту на розм'яктивість показали, що ґрунтоцемент не тільки не розмокає у воді, але й збільшує свою міцність; цей факт підтверджується даними інших дослідників [4].

– Спираючись на результати досліджень, можна зробити загальний висновок, що ґрунтоцемент, який виготовляється за бурозмішувальною технологією, доцільно використовувати для виготовлення протифільтраційних завіс, гідроізоляції підземних споруд, а також автомобільних доріг і злітних смуг аеродромів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Армирование лессовых грунтов оснований зданий и сооружений [Текст] / И. В. Степура и др. // Межд. конф. по проблемам механики грунтов,

фундаментостроению и транспортному строительству. – Пермь: ПГТУ, 2004. – С. 213.

2. Зоценко, М. Л. Ефективність роз'єднувальних стінок у ґрунті при захисті існуючих будівель від впливу новобудов [Текст] / М. Л. Зоценко, О. В. Борт // Бетон и железобетон в Украине. – 2007. – № 1. – С. 24-27.
3. ДБН В.1.1-3-97. Інженерний захист територій, будинків та споруд від зсувів та обвалів. Основні положення [Текст]. – К.: Держбуд України, 1998. – 40 с.
4. Токин, А. Н. Фундаменты из цементогрунта [Текст] / А. Н. Токин. – М.: Стройиздат, 1984. – 183 с.
5. ГОСТ 12730.0-78. Бетоны. Общие требования к методам определения плотности, влажности, водопоглощения, пористости и водонепроницаемости [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1994.
6. ГОСТ 12730.5-84. Бетоны. Методы определения водонепроницаемости [Текст]. – М.: Изд-во стандартов, 1989.
7. ДСТУ Б В.2.1-2-96. Ґрунти. Класифікація [Текст]. – К.: Держбуд України, 1997.
8. ГОСТ 10180-90. Бетоны. Методы определения прочности по контрольным образцам [Текст]. – М.: ЦИТП, 1990.

Надійшла до редколегії 16.03.2010.

Прийнята до друку 22.03.2010.