

ТРАНСПОРТНЕ БУДІВНИЦТВО

УДК 624.131.7:628.477

Л. В. ТРИКОЗ^{1*}, В. Ю. САВЧУК²

^{1*}Каф. «Будівельні матеріали, конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, ел. пошта lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

²Каф. «Будівельні матеріали, конструкції та споруди», Український державний університет залізничного транспорту, пл. Фейербаха, 7, Харків, Україна, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, ел. пошта kalmukova2@mail.ru, ORCID 0000-0001-5971-5041

ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВОГО МАТЕРІАЛУ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ

Мета. Для підвищення екологічної чистоти все частіше кондиційні будівельні матеріали замінюють відходами виробництва. Це стосується як металургійних шлаків, так і активного мулу станцій біологічного очищення міських стічних вод. Для з'ясування можливості їх використання необхідно дослідити деформаційні властивості композиційних ґрунтових матеріалів із додаванням вказаних відходів. **Методика.** При вивченні напружено-деформованого стану ґрунту в складних умовах, в яких і знаходиться ґрунт основ реальних будівель та споруд, як деформаційну характеристику застосовують модуль загальної деформації E_0 . Цю характеристику визначали за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійних приладах (одометрах), які виключають можливість бічного розширення зразка ґрунту при його навантажуванні вертикальним навантаженням. **Результати.** У результаті вимірювань було побудовано компресійні криві залежності коефіцієнта пористості від тиску. За цими даними визначено коефіцієнт стисливості та модуль деформації. Встановлено, що додавання активного мулу зменшує коефіцієнт стисливості зразків у 4 рази порівняно з глиною. У порівнянні зі зразками, які містять 50 % активного мулу, зразки з додаванням 50 % шлаку, зменшують стисливість у 12 разів. Додавання в глину активного мулу дозволяє збільшити модуль деформації з 7,8 до 20,3 МПа, шлак підвищує цю величину до 52,7 МПа. **Наукова новизна.** При виготовленні композиційного матеріалу на основі глинистих ґрунтів функціональні групи активного мулу взаємодіють із гідроксильними групами, розташованими на поверхні глинистих частинок, із утворенням просторової структури. Крім того, введення активного мулу сприяє пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту і утворенню контактів між окремими частинками, що й призводить до зменшення стисливості зразків за рахунок зменшення загальної пористості. Додавання шлаку сприяє утворенню оптимальної структури зразків із розміщенням менших за розмірами частинок у прошарках між більшими частинками. **Практична значимість.** Застосування активного мулу та шлаку забезпечує підвищену несучу здатність ґрунту, розширення сировинної бази для його отримання з одночасним покращенням екологічної ситуації у містах, забезпечення можливості вторинного використання укріпленого ґрунту.

Ключові слова: укріплений ґрунт; шлак; активний мул; модуль деформації; коефіцієнт пористості; коефіцієнт стисливості

Вступ

При будь-якому виді будівництва (улаштуванні земляного полотна залізничних та автомобільних доріг, будівництві пасажирських платформ чи прокладанні підземного газопроводу) сучасні умови потребують розробки ін-

дивідуальних проектів та вибору ефективних будівельних матеріалів, обґрунтованих відповідними розрахунками. Значною мірою це стосується умов проектування й будівництва на ділянках залягання «слабких» ґрунтів, схильних до консолідаційного осідання. У випадку неоднакових умов ущільнення виникає нерівномір-

ТРАНСПОРТЕ БУДІВНИЦТВО

не осідання ґрунту, що призводить до деформації будівлі чи інженерної споруди та великих капітальних вкладень на ремонт або відновлення. Вибір найбільш раціональних матеріалів для майбутнього будівництва залежить від величини осідання ущільнення та її розвитку в часі під дією постійних та тимчасових навантажень.

Основною метою під час вибору будівельних матеріалів є визначення здатності сприймати тривалий час навантаження, що не перешкоджають нормальній експлуатації будівлі чи інженерної споруди. Для встановлення основних показників деформованості ґрунтів виконують їх випробування на ущільнення під навантаженням, коли деформації ґрунту можуть розвиватися тільки в одному напрямку під дією тільки зовнішнього навантаження [3]. Характер деформації ґрунту та її величина залежить від напрямку і інтенсивності внутрішніх зусиль, на які впливає низка чинників: хіміко-мінеральний склад, структурно-текстурні особливості, ступінь водонасичення, вологість та ін. [15]. Незворотні деформації є наслідком проявлення пластичних властивостей тіл. Основними чинниками незворотності деформацій є руйнування окремих структурних зв'язків при деформації, зміщення частинок (кристалів, зерен, уламків та ін.), витиснення рідини та газів із пор, поступове накопичення мікродефектів у структурі ґрунту. Незворотні або пластичні деформації більшою мірою характерні для дисперсних пластичних ґрунтів із слабкими коагуляційними структурними зв'язками.

У цей час у світовій практиці накопичено певний досвід поліпшення властивостей ґрунтів для їх подальшого використання шляхом введення неорганічних або органічних закріплюючих компонентів. Виходячи з економічних та екологічних міркувань найбільше застосування в будівельній практиці матимуть композиційні матеріали на основі ґрунтів, в яких дефіцитні й енергозатратні в'язучі та добавки до них використовуються в мінімальних обсягах, а основну частину становлять ті чи інші відходи й побічні продукти промислових підприємств [9]. Одним з таких відходів є активний мул станцій біологічного очищення, проблема утилізації якого є досить актуальною для великих міст.

Набули широкого використання ґрунтові композиційні матеріали з різноманітними домішками, які дозволяють збільшити модуль дефо-

рмації й підвищити несучу здатність ґрунту [7, 12]. Однією з таких домішок є шлак – каменеподібна або склоподібна речовина, яка є сплавом оксидів змінного складу з головним компонентом – оксидом SiO_2 . Шлак – це вторинна речовина для отримання різноманітних будівельних матеріалів, наприклад, шлакопортландцементу, безклінкерних в'язучих, шлаколуужних бетонів, мінеральної вати, шлакоситалів, заповнювачів цементних і асфальтових бетонів [1, 4], щебеню для дорожнього будівництва [2].

Загальноприйнято, що шлаки тверднуть тільки за наявності активізатора – лужного компонента. Однак, у літературі описано випадки застосування шлаків і без активізації [11, 13, 14]. Так, згідно з [6] композиція для улаштування основ дорожнього одягу містить суглинний ґрунт, шлак, воду з таким співвідношенням компонентів, мас. %: шлак 10–90, ґрунт 90–10, вода (понад). При цьому досягається певна міцність отриманого матеріалу, яка дорівнює 3,44 МПа у віці 28 діб. Це достатня міцність для улаштування основ автомобільних та залізничних доріг відповідних категорій. При додаванні у такі композиції для укріплення зв'язних ґрунтів вапна, наприклад [5], досягається міцність 4,2 МПа на 90 добу твердіння. На наш погляд, сповільнене набирання міцності має свої переваги при повторному застосуванні виїнятого із котловану або траншеї ґрунту замість кондиційного, який привозиться. При цьому може бути здійснено попереднє змішування ґрунту зі шлаком, а потім зворотна засипка у котлован або траншею, де відбудеться твердіння композиції без руйнування конденсаційно-кристалізаційних зв'язків, які встигли б виникнути за наявності лужного активатора.

Мета

Встановлення залежності між показниками деформаційних властивостей глинистих ґрунтів, отриманих при статичному навантаженні, та додаванням у композиційний ґрунтовий матеріал вторинної сировини промислових підприємств.

Методика

При вивченні напружено-деформованого стану ґрунту в складних умовах (в яких і знаходиться ґрунт основ реальних будівель і споруд) як деформаційну характеристику застосовують

ТРАНСПОРТЕ БУДІВНИЦТВО

модуль загальної деформації E_0 . Грунт не є пружним середовищем, і залишкові деформації значно перевищують пружні. Параметр E_0 враховує пружні деформації і залишкові за умови, що грунт сприймає лише одноразову завантаженість стискаючим навантаженням. Ці характеристики визначають за результатами випробувань зразків ґрунту в компресійних приладах (одометрах), які виключають можливість бічного розширення зразка ґрунту при його навантажуванні вертикальним навантаженням.

У лабораторних умовах було досліджено залежність зміни коефіцієнта пористості глинистого ґрунту від вмісту в ньому активного мулу, який змінювався від 15 до 50 %.

Із суміші глини, води й активного мулу були виготовлені зразки, які після витримання в нормальних умовах протягом 7 діб були розміщені в одометрі. Індикатором годинникового типу для кожного ступеня навантажування вимірювали деформації зразків та обчислювали абсолютну вертикальну стабілізовану деформацію зразка ґрунту Δh , мм, як середнєарифметичне показань вимірювального приладу після віднімання поправки на деформацію компресійного приладу. Відносну вертикальну деформацію зразка ґрунту розраховували за формулою згідно з [3]

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta h}{h}, \quad (1)$$

де h – початкова висота зразка, мм.

Обчислювали коефіцієнти пористості e_i ґрунту при різних тисках за формулою згідно з [3]

$$e_i = e_0 - \varepsilon_i \cdot (1 + e_0), \quad (2)$$

де e_0 – початковий коефіцієнт пористості.

Зразки для подальших досліджень готували шляхом перемішування глинистого ґрунту з активним мулом у пропорційному відношенні за масою 1:1. Оптимальність такого співвідношення було встановлено попередніми дослідженнями [8, 10]. У підготовлену таким чином суміш додавали різну кількість шлаку і випробовували в одометрах з подальшим визначенням коефіцієнта пористості. У лабораторних умовах було досліджено залежність зміни коефіцієнта пористості глинистого ґрунту від вмісту в ньому шлаку, який змінювався від 15 до 50 %. Досліджен-

ня виконувалися за стандартною методикою [3] при тиску від 0,05 МПа до 0,3 МПа.

Коефіцієнт стисливості m_o , МПа⁻¹ в заданому інтервалі тисків p_i і p_{i+1} обчислювали з точністю 0,001 МПа⁻¹ за формулою

$$m_o = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i}, \quad (3)$$

де e_i і e_{i+1} – коефіцієнти пористості, які відповідають тискам p_i і p_{i+1} .

Модуль деформації E , МПа в інтервалі тисків p_i і p_{i+1} обчислювали з точністю 0,1 МПа за формулою

$$E = \frac{1 + e_o}{m_o} \beta, \quad (4)$$

де β – коефіцієнт, який враховує відсутність поперечного розширення ґрунту в компресійному приладі (дорівнює 0,37).

Результати

За результатами вимірювань та обчислень за формулами (1)–(2) побудовано графіки залежності коефіцієнта пористості від тиску для зразків, які містять різну кількість активного мулу (рис. 1) та шлаку (рис. 2). Як свідчать наведені дані, додавання активного мулу у кількості 50 % зменшує коефіцієнт стисливості зразків (3) у 4 рази порівняно з глиною. Порівняно із зразками, які містять 50 % активного мулу, зразки із додаванням 50 % шлаку зменшують стисливість у 12 разів. Додавання в глину активного мулу дозволяє збільшити модуль деформації з 7,8 до 20,3 МПа, шлак підвищує цю величину до 52,7 МПа.

Модуль деформації зразків композиційного матеріалу, розрахований за формулою (4), становить; МПа:

Глина 100%	7,8
Глина 50 % + активний мул 50 %	20,3
Глина 65 % + активний мул 35 %	15,5
Глина 85 % + активний мул 15 %	10,7
Глина 50 % + активний мул 50 % + шлак 50 %	21,0
Глина 50 % + активний мул 50 % + шлак 15 %	31,3
Глина 50 % + активний мул 50 % + шлак 35 %	43,2
Глина 50 % + активний мул 50 % + шлак 50 %	52,7

ТРАНСПОРТЕ БУДІВНИЦТВО

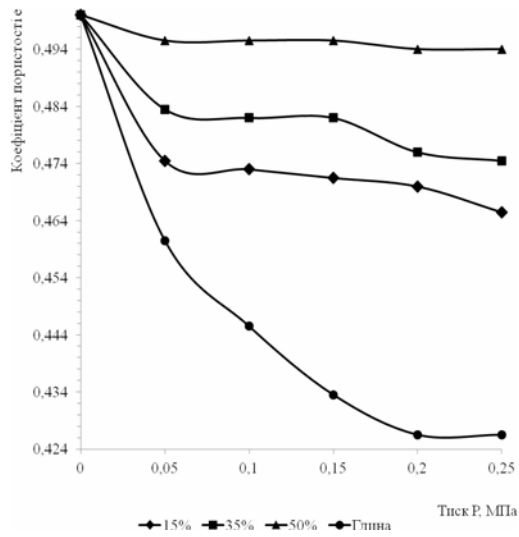


Рис. 1. Зміна коефіцієнтів пористості глинистих зразків з різною кількістю активного мулу

Fig. 1. Change of the porosity coefficients of clay samples with different amount of activated sludge

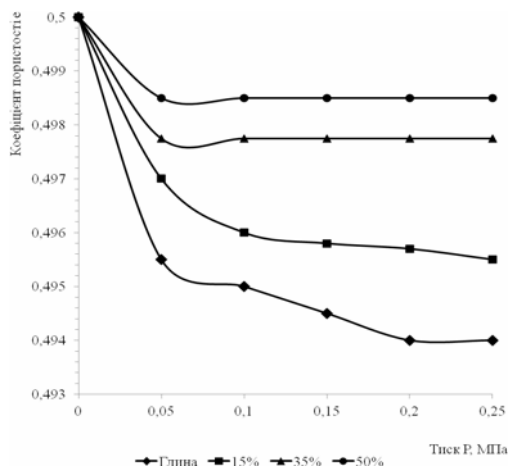


Рис. 2. Зміна коефіцієнтів пористості глинистих зразків з різною кількістю шлаку

Fig. 2. Change of the porosity coefficients of clay samples with different amount of activated slag

Наукова новизна та практична значимість

Активний мул є продуктом біологічної очистки промислових стічних вод у вигляді колоїдно-дисперсної системи, яка складається з комплексу мікроорганізмів з адсорбованими на них органічними і неорганічними речовинами. До хімічного складу активного мулу входить від 30 до 50% білку, що дозволяє застосовувати його як зв'язуюче ґрунтових матеріалів з метою

підвищення їх стійкості та міцності. Білки містять такі функціональні групи: $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$ та ін., тобто є типовими поверхнево-активними речовинами. При виготовленні композиційного матеріалу на основі глинистих ґрунтів зазначені функціональні групи взаємодіють з гідроксильними групами, розташованими на поверхні глинистих частинок, з утворенням просторової структури. Крім того, введення активного мулу сприяє пептизації – руйнуванню агрегатів ґрунту і утворенню контактів між окремими частинками, що й призводить до зменшення стисливості зразків за рахунок зменшення загальної пористості. Додавання шлаку сприяє утворенню оптимальної структури зразків з розміщенням менших за розмірами частинок у прошарках між більшими частинками (рис. 3).

Отримані в лабораторії результати дають підґрунтя припустити добру здатність ґрунтового композиційного матеріалу з додаванням шлаку зменшувати свою стисливість. Це зумовлено збільшенням кількості коагуляційних контактів в одиниці об'єму ґрунту і збільшенням його щільності за рахунок більшого зближення високодисперсних частинок. Застосування активного мулу та шлаку забезпечує підвищену несучу здатність ґрунту, розширення сировинної бази для його отримання з одночасним покращенням екологічної ситуації в містах, забезпечення можливості вторинного використання укріпленого ґрунту.

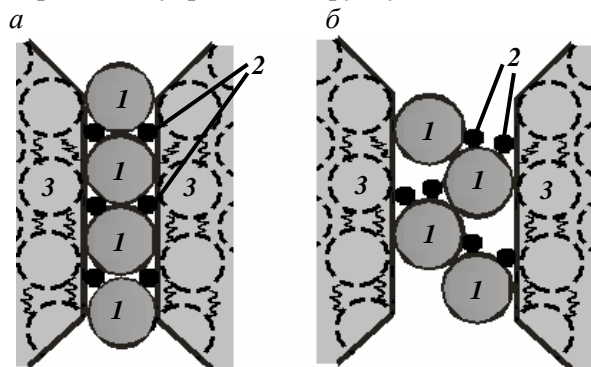


Рис. 3. Схема розміщення частинок шлаку (1) та активного мулу (2) у прошарках між агрегатами ґрунту (3) у випадку оптимальної (а) та неоптимальної (б) структури

Fig. 3. Allocation scheme of slag particles (1) and activated sludge (2) in between the layers of soil aggregates (3) in case of optimal (a) and non-optimal (b) structure

Висновки

У результаті проведених досліджень встановлено, що деформаційні властивості глинистих ґрунтів, отриманих при статичному навантаженні, покращуються при додаванні шлаку та активного мулу, що проявляється у зменшенні стисливості та збільшенні модуля деформації ґрунту. Це дозволяє отримати технічний ре-

зультат, виражений у збільшенні міцності композиційного матеріалу на стиск без використання кондиційних високовитратних в'язучих (цементу, вапна), зниженні витрат кондиційного ґрунту та відповідно зниженні вартості закріплення, розширенні сировинної бази для отримання матеріалу, можливості вторинного використання укріпленого ґрунту без його вивезення та утилізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Большаков, В. И. Контактная прочность механоактивированных мелкозернистых бетонов из доменных гранулированных шлаков / В. И. Большаков, М. А. Елисеева, С. А. Щербак // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 138–149. doi: 10.15802/stp2014/29975.
2. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности : учеб.-справ. пособие / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2007. – 368 с.
3. ДСТУ Б В.2.1-4-96. Ґрунти. Методи лабораторного визначення характеристик міцності і деформованості. – Введ. 1996–11–01. – Київ : Укрархбудінформ, 1996. – 101 с.
4. Иванова, А. П. Анализ и перспективы применения эффективных ресурсосберегающих технологий в производстве бетона / А. П. Иванова, О. И. Труфанова // Наука та прогрес транспорту. – 2014. – № 5 (53). – С. 150–156. doi: 10.15802/stp2014/30453.
5. Пат. 58654 Україна, МПК Е 01 С 3/00, Е 02 D 3/00, Е 01 С 21/00, Е 01 С 23/00. Композиція для укріплення зв'язних ґрунтів / Кожушко В. П., Грано Н. М.; заявник та патентовласник Сум. нац. аграр. ун-т. – № u201009294; опубл. 26.04.2011, Бюл. № 8. – 4 с.
6. Пат. 102551 Україна, МПК Е 01 С 21/00, Е 01 С 7/00. Композиція для улаштування основ дорожніх одягів на основі укріплених суглинних ґрунтів / Черногіль Віталій Богданович; заявник та патентовласник Черногіль В. Б. – № u201502893; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 21. – 2 с.
7. Платонов, А. П. Композиционные материалы на основе ґрунтов / А. П. Платонов, М. Н. Першин. – Москва : Химия, 1987. – 144 с.
8. Трикоз, Л. В. Застосування активного мулу станцій біологічного очищення для стабілізації ґрунтів / Л. В. Трикоз, В. Ю. Савчук // Зб. наук. пр. Укр. держ. акад. залізн. трансп. – Харків, 2014. – Вип. 148, ч. 2. – С. 58–62.
9. Яковишина, Т. Ф. Екологічна оцінка включення важких металів до продуктів техногенезу / Т. Ф. Яковишина // Вестн. Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-та : сб. науч. тр. – Харьков, 2015. – Вып. 70. – С. 50–54.
10. Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed / L. V. Trykoz, I. V. Bagiyanc, V. Yu. Savchuk [et al.] // Intern. J. of Engineering Research in Africa. – 2016. – Vol. 25. – P. 52–57. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.25.52.
11. Kaneko, T. Effect of sand content on stabilization of dredged soil-steel slag mixture / T. Kaneko, Y. Watabe // Japanese Geotechnical Society Special Publication. – 2016. – Vol. 2. – Iss. 6. – P. 302–305. doi: 10.3208/jgssp.jp-120.
12. Kavak, A. Reuse of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) in Lime Stabilized Embankment Materials / A. Kavak, G. Bilgen // Intern. J. of Engineering and Technology. – 2016. – Vol. 8. – Iss. 1. – P. 11–14. doi: 10.7763/ijet.2016.v6.850.
13. Oh, M. Evaluation on the compressive strength of dredged soil-steel slag / M. Oh, G. L. Yoon, Y. W. Yoon // Japanese Geotechnical Society Special Publication. – 2016. – Vol. 2. – Iss. 6. – P. 298–301. doi: 10.3208/jgssp.kor-12.
14. Perná, I. The setting time of a clay-slag geopolymer matrix: the influence of blast-furnace-slag addition and the mixing method / I. Perná, T. Hanzlíček // J. of Cleaner Production. – 2016. – Vol. 112. – P. 1150–1155. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.069.
15. Vekli, M. Effects of iron and chrome slag on the index compaction and strength parameters of clayey soils / M. Vekli, C. C. Çadır, F. Şahinkaya // Environmental Earth Sciences. – 2016. – Vol. 75. – Iss. 5. doi: 10.1007/s12665-016-5312-3.

Л. В. ТРИКОЗ^{1*}, В. Ю. САВЧУК²

^{1*}Каф. «Строительные материалы, конструкции и сооружения», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, эл. почта lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

²Каф. «Строительные материалы, конструкции и сооружения», Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, пл. Фейербаха, 7, Харьков, Украина, 61050, тел. +38 (057) 730 10 68, эл. почта kalmukova2@mail.ru, ORCID 0000-0001-5971-5041

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ОТХОДОВ

Цель. Для повышения экологической чистоты все чаще кондиционные строительные материалы заменяют отходами производств. Это касается как металлургических шлаков, так и активного ила станций биологической очистки городских сточных вод. Для выяснения возможности их использования необходимо исследовать деформационные свойства композиционных грунтовых материалов с добавлением указанных отходов. **Методика.** При изучении напряженно-деформированного состояния грунта в сложных условиях, в которых и находится грунт оснований реальных зданий и сооружений, в качестве деформационной характеристики используют модуль общей деформации E_0 . Эту характеристику определяли по результатам испытаний образцов грунта в компрессионных приборах (одометрах), которые исключают возможность бокового расширения образца грунта при его нагружении вертикальной нагрузкой. **Результаты.** В результате измерений были построены компрессионные кривые зависимости коэффициента пористости от давления. По этим данным определен коэффициент сжимаемости и модуль деформации. Установлено, что добавление активного ила уменьшает коэффициент сжимаемости образцов в 4 раза по сравнению с глиной. По сравнению с образцами, которые содержат 50 % активного ила, образцы с добавлением 50 % шлака уменьшают сжимаемость в 12 раз. Добавление в глину активного ила позволяет увеличить модуль деформации с 7,8 до 20,3 МПа, шлак повышает эту величину до 52,7 МПа. **Научная новизна.** При изготовлении композиционного материала на основе глинистых грунтов функциональные группы активного ила взаимодействуют с гидроксильными группами, расположенными на поверхности глинистых частиц, с образованием пространственной структуры. Кроме того, введение активного ила способствует пептизации и разрушению грунтовых агрегатов, образованию контактов между отдельными частицами, что приводит к уменьшению сжимаемости образцов за счет уменьшения общей пористости. Добавление шлака способствует образованию оптимальной структуры образцов с размещением меньших по размерам частиц в слоях между большими частицами. **Практическая значимость.** Применение активного ила и шлака обеспечивает повышенную несущую способность грунта, расширение сырьевой базы для его получения с одновременным улучшением экологической ситуации в городах, обеспечивает возможности вторичного использования укрепленного грунта.

Ключевые слова: укрепленный грунт; шлак; активный ил; модуль деформации; коэффициент пористости; коэффициент сжимаемости

L. V. TRYKOZ^{1*}, V. U. SAVCHUK²

^{1*}Dep. «Building Materials, Constructions and Structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057) 730 10 68, e-mail lvtrikoz@ukr.net, ORCID 0000-0002-8531-7546

²Dep. «Building Materials, Constructions and Structures», Ukrainian State University of Railway Transport, Feierbakh Sq., 7, Kharkiv, Ukraine, 61050, tel. +38 (057)730 10 68, e-mail kalmukova2@mail.ru, ORCID 0000-0001-5971-5041

THE STUDY OF DEFORMATION CHARACTERISTICS OF SOIL MATERIALS WITH THE USAGE OF WASTES

Purpose. More often the qualified building materials are replaced by the industrial wastes for environmental improvement. This refers to both metallurgical slags and biological solids of water treatment plants. In order to understand the possibilities of their usage it needs studying deformation properties of composite soil materials with industrial wastes addition. **Methodology.** The soil of real buildings and structures foundation is in the complicated conditions and the stress-strained state. While studying this state the total deformation modulus E_0 is used as the deformation characteristic. This one is determined according to the results of sample soil testing in the compression

ТРАНСПОРТЕ БУДІВНИЦТВО

instrument (odometer). This instrument prevents the possibility of lateral expansion of sample soil under the vertical load. **Findings.** As a result of the testing the compression curves are plotted as the dependence of the porosity coefficient on pressure. These data allow determining the compressibility coefficient and the strain modulus. It is found that a biological solids addition increases the compressibility coefficient four times compared to the clay. The two types of samples are compared. The first type contains 50% of biological solids. The second type contains 50% of biological solids and 50% of slag. The comparison shows that the second type is compressed twelve times less. An addition into the clay of biological solids increases the strain modulus from 7.8 to 20.3 MPa. The slag increases the strain modulus to 52.7 MPa. **Originality.** While making the composition based clay materials the functional groups of biological solids interact with hydroxyl groups which are placed on the surface of clay particles and form a spatial structure. Besides an addition of biological solids contributes to peptization, soil aggregates destroy themselves, and form contacts between separate particles. It causes the decrease of soil compressibility due to the total porosity decrease. An addition of slag results in formation of optimal structure where particles of less sizes are placed in layers between bigger particles. **Practical value.** An application of biological solids and slag provides the increased load-carrying capacity of soil, extending of raw material sources while improving the environmental situation in the cities. Also it provides the recycling of reinforced soil.

Keywords: reinforced soil; slag; biological solids; strain modulus; porosity coefficient; compressibility coefficient

REFERENCES

1. Bolshakov, V. I., Yeliseieva, M. O., & Shcherbak, S. A. (2014). Contact strength of mechanoactivated fine concretes from granulated blast-furnace slags. *Science and Transport Progress*, 5(53), 138-149. doi: 10.15802/stp2014/29975
2. Dvorkin, L. I., & Dvorkin, O. L. (2007). *Stroitelnye materialy iz otkhodov promyshlennosti*. Rostov-on-Don: Feniks.
3. Hrunty. Metody laboratornoho vyznachennia kharakterystyk mitsnosti i deformovanosti, DSTU B V.2.1-4-96 (1996).
4. Ivanova, H. P., & Trufanova, O. I. (2014). Analysis and application prospects of effective resources-saving technologies in concrete manufacture. *Science and Transport Progress*, 5(53), 150-156. doi: 10.15802/stp2014/30453
5. Kozhushko, V. P., & Hrano, N. M. (2011). *UA Patent No. 58654*. Ukrainian Intellectual Property Institute.
6. Chernogil, V. B. (2015). *UA Patent No. 102551*. Ukrainian Intellectual Property Institute (UKRPATENT). Retrieved from <http://base.uipv.org/searchINV/search.php?action=viewdetails&IdClaim=217496>
7. Platonov, A.P., & Pershin, M. N. (1987). *Kompozitsionnyye materialy na osnove gruntov*. Moscow: Khimiya.
8. Trykoz, L. V., & Savchuc, V. U. (2014). Using of activated sludge of biological treatment plant for soil stabilization. *Collected Scientific Works of Ukrainian State University of Railway Transport*, 148(2), 58-62.
9. Yakovishina, T. (2015). Environmental assessment of including heavy metals into the products of technogenesis. *Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University*, 70, 50-54.
10. Trykoz, L. V., Bagiyanc, I. V., Savchuk, V. Y., Pustovoitova, O. M., Kamchatnaya, S. M., & Saiapin, O. S. (2016). Investigation into Electrical Conductivity of the Multicomponent System of Trackbed. *International Journal of Engineering Research in Africa*, 25, 52-57. doi: 10.4028/www.scientific.net/JERA.25.52
11. Kaneko, T., & Watabe, Y. (2016). Effect of sand content on stabilization of dredged soil-steel slag mixture. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(6), 302-305. doi: 10.3208/jgssp.jp-120
12. Kavak, A., & Bilgen, G. (2016). Reuse of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBFS) in Lime Stabilized Embankment Materials. *International Journal of Engineering and Technology*, 8(1), 11-14. doi: 10.7763/ijet.2016.v6.850
13. Oh, M., Yoon, G. L., & Yoon, Y. W. (2016). Evaluation on the compressive strength of dredged soil-steel slag. *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(6), 298-301. doi: 10.3208/jgssp.kor-12
14. Perná, I., & Hanzlíček, T. (2016). The setting time of a clay-slag geopolymer matrix: the influence of blast-furnace-slag addition and the mixing method. *Journal of Cleaner Production*, 112, 1150-1155. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.05.069
15. Vekli, M., Çadır, C. C., Şahinkaya F. (2016). Effects of iron and chrome slag on the index compaction and strength parameters of clayey soils. *Environmental Earth Sciences*, 75(5). doi: 10.1007/s12665-016-5312-3

Стаття рекомендована до друку д.т.н., проф. В. Д. Петренко (Україна); д.т.н., проф. А. А. Плуґінім (Україна)

Прийнята до друку: 08.12.2016

Надійшла до редколегії: 09.03.2017