

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

УДК 628.477:666.9

А. М. ПЕТРОВ^{1*}, С. Ю. ШЕПТУН²

^{1*} Кафедра надійності та міцності машин і споруд ім. В. Я. Аніловича, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002, тел. +38 (067) 981 58 43, ел. пошта petrovbmg@btu.kharkov.ua
ORCID 0000-0001-6644-223X

² Кафедра надійності та міцності машин і споруд ім. В. Я. Аніловича, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, м. Харків, Україна, 61002, тел. +38 (098) 480 66 52. ел. пошта zoooooms@btu.kharkov.ua
ORCID 0000-0002-1981-4560

ВПЛИВ МІКРОНАПОВНЮВАЧІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА МІЦНІСТЬ ЗЧЕПЛЕННЯ З ОСНОВОЮ РОЗЧИНУ СУХОЇ БУДІВЕЛЬНОЇ СУМІШІ

Мета. Дослідження полягає в збільшенні адгезії розчину сухої будівельної суміші на цементній основі до бетонної основи шляхом модифікування складу мікродисперсними відходами промислових виробництв. При застосуванні мікродисперсних наповнювачів техногенного походження повинна зменшитись собівартість продукції, підвищитись енергоефективність виробництв, зменшитись техногенний вплив на навколишнє середовище. **Методика.** Дослідження сухих сумішей для влаштування наливних підлог проведено відповідно до ДСТУ Б В. 2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови». За основу була прийнята суха будівельна суміш на цементній основі зі складом: цемент, пісок кварцовий, пластифікатор, целюлоза Vertocol, редиспергований сополімерний порошок. В якості модифікаторів: шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію Запорізького феросплавного заводу, шлам водопом'якшення харківської ТЕЦ – 5, керамзитовий пил харківського керамзитового заводу. **Результати.** Встановлена залежність міцності зчеплення з основою зразків від кількості і виду мікронаповнювачів техногенного походження. Проаналізовано вплив на міцність зчеплення з основою шламу водопом'якшення і керамзитового пилу. **Наукова новизна.** Вивчено вплив спільного додавання мікродисперсних наповнювачів таких як шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію, керамзитового пилу, шламу водопом'якшення до складу сухої будівельної суміші на цементній основі для самовирівнювальної підлоги. **Практична значимість.** Застосування відходів промисловості в складах сухих будівельних сумішей для наливних підлог допомагає одночасно зменшити згубний вплив на екологію промисловими підприємствами і збільшити механічні та економічні показники цементних розчинів. При додаванні керамзитового пилу і шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію збільшується контактна зона між розчином і бетонною основою. В результаті чого збільшується міцність зчеплення розчину з основою.

Ключові слова: мікронаповнювач, суха будівельна суміш, шлам, керамзитовий пил, відходи виробництва

Вступ

Підлога промислових і громадських будівель – це елемент інтер'єру, що постійно сприймає експлуатаційні навантаження.

На промислових об'єктах часто застосовують монолітні покриття із застосуванням сухих будівельних сумішей на основі цементного в'язкого. Такі покриття мають добрі техніко-експлуатаційні властивості і порівняно невисоку вартість. Підлоги повинні мати необхідну міцність на стиск, міцне зчеплення з основою, гладку поверхню, низьку теплопровідність,

легко очищатись, гармоніювати з дизайном приміщення.

У останні роки було здійснено численні наукові дослідження у сфері використання відходів промислового виробництва як компонентів в'язучих речовин. При цьому, потенціал використання техногенних відходів у виробництві будівельних матеріалів не розкрито в повній мірі в Україні та світі, про що свідчать роботи (de Matos, Marcon, Schankoski, & Prudêncio, 2019; Yang, Lu, & Poon, 2020; Арутюнян & Шуваєв, 2020; Duan, Liao, Wei, Wang J., Wu J., & Cheng F., 2022).

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

В наш час проводяться активні дослідження по покращенню властивостей сухих будівельних сумішей. Автори (Бондарь, Ковальський, Очеретний, Мороз, & Вознюк, 2019) в складі сухої будівельної суміші використали карбонатний заповнювач техногенного походження, що утворювався при каменерізанні карбонатних гірських порід. Отримано підвищення міцності зчеплення з бетонною основою в декілька разів.

Суміші золи та шлаку, отримані з теплових електростанцій, можуть бути важливим джерелом інтересу для підприємств будівельної галузі в якості складової частини бетону. (Дерев'яно, Мосьпан, Колохов, Дзюбан, & Мальцев, 2022). Збільшення обсягів цих сировинних матеріалів може суттєво зменшити існуючий дефіцит заповнювачів для бетону. Проте, нерівномірний гранульований склад золошлакових сумішей на різних ділянках накопичувача може ускладнити їх використання у якості наповнювачів. Витрати цементу при використанні золошлакової сировини були вище, ніж при виготовленні бетонів з такими самими характеристиками за допомогою традиційних наповнювачів.

Шляхом аналізу фізико-механічних властивостей затверділих проб складу на основі магnezіально-бішофітної композиції з додаванням техногенних порошкоподібних компонентів і модифікатора Mowilith у кількості 5 % було встановлено (Гришко, 2017), що висока міцність досягнута за рахунок формування $5\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 13\text{H}_2\text{O}$ та $3\text{MgO} \cdot \text{MgCl}_2 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$. Крім того, підвищенню водостійкості сприяють гідросилікати кальцію і магнію, які зв'язані полімерними сполуками Mowilith.

У роботі (Теліцина, Квітка, & Шахновський, 2023) використовуючи методи параметричної ідентифікації експериментально-статистичних моделей та багатоцільової оптимізації, були визначені параметри якості сухої будівельної суміші для мурувальних робіт, враховуючи чинні норми і вимоги виробників та споживачів.

В проведеному дослідженні (Малишевська, Гаркавий, Мельник, Мізюк, & Мищенко, 2017) було досліджено вплив нанесення поверхнево активних речовин на поверхню полімерних

ПЕТ-відходів, які використовуються для наповнення цементно-піщаних сумішей, на їх адгезивні властивості до компонентів цементної матриці. Встановлено, що нанесення поверхнево активних речовин на поверхню полімеру суттєво підвищує міцність цементного каменю. Позитивний вплив нанесення поверхнево активних речовин на поверхню полімеру на ранніх стадіях твердіння обумовлений утворенням центрів кристалізації на поверхні полімерів. Поверхнево активні речовини виступають як своєрідний «клей» між полімером та цементною матрицею. У результаті отримано збільшення міцності на стиск на 20,3 % на ранній стадії та на 15,2 % на 28-й добу твердіння; на згин – на 27,6 % на 3-й добу та на 30,4 % на 28-й добу від початку твердіння при додаванні 8 % активованих відходів ПЕТ. Дослідження показали, що цементно-піщана суміш може вміщувати до 10 % ПЕТ-відходів без втрати її фізико-механічних властивостей.

В результаті досліджень, проведених автором (Мельниченко Н. П., 2018), було теоретично доведено і експериментально підтверджено, що застосування відходів гірничозбагачувального комбінату, призначених для виготовлення та ремонту бетонних і залізобетонних конструкцій, під час твердіння в умовах коливання температури навколишнього середовища, забезпечує високі значення міцності при стисканні, адгезії до будівельних конструкцій і морозостійкості бетону. Це досягається завдяки модифікації комплексною добавкою, що включає в себе залізовмісну мінеральну речовину та натрієві солі насичених жирних і кремнієвої кислот.

Автори (Терновий, & Уманець, 2017) провели аналіз можливості використання вітчизняних матеріалів для виробництва сухих будівельних сумішей. Прийшли до висновку, що в Україні існує широка база сировини як спеціально виготовленої, так і побічних продуктів промисловості для виробництва будівельних сумішей різного призначення.

Мета

Мета дослідження полягає в збільшенні адгезії розчину сухої будівельної суміші на цеме-

нтній основі до бетонної основи шляхом модифікування складу мікродисперсними відходами промислових виробництв. При застосуванні у якості відходів виробництва шламу мокрого газоочищення виробництва феросиліцію, шламу водопом'якшення і керамзитового пилу повинна зменшитись собівартість продукції і підвищитись енергоефективність виробництв.

Методика

За основу була прийнята суха будівельна суміш на цементній основі зі складом: цемент, пісок кварцовий, пластифікатор, целюлоза Vermocoll, редиспергований сополімерний порошок. В якості модифікаторів: шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію Запорізького феросплавного заводу, шлам водопом'якшення харківської ТЕЦ-5, керамзитовий пил харківського керамзитового заводу.

Під час виплавки феросиліцію утворюються феросплавний газ, що очищається по технології мокрого газоочищення. В результаті формується пульпа, що транспортується в шламонакопичувачі.

Нажаль, використовувати шлам одразу зі шламонакопичувачів для модифікування сухої суміші неможливо. Впродовж багатьох років під відкритим небом він злежувався і набирався вологи. Тому, перед використанням, його пот-

рібно висушити і подрібнити. Подрібнення шламу проводилось на дезінтеграторі. Таким чином було отримано мікродисперсний порошок з питомою поверхнею 15000-25000 см²/г. Попередньо були проведені дослідження впливу строків зберігання шламу і визначено, що найкращий результат досягається при використанні шламу більше 25 років у кількості 15 % від маси цементу (Петров, & Шептун, 2021).

Шлам водопом'якшення харківської ТЕЦ-5 утворюється в результаті демінералізації води. Перед використанням його, теж, необхідно висушити. Через високу дисперсність шламу водопом'якшення (більше 2870 см²/г) немає необхідності в його поглибленому подрібненні на дезінтеграторі.

Керамзитовий пил виникає як відхід виробництва при випаленні керамзитового гравію на Харківському керамзитовому заводі. Перед використанням його необхідно висушити. Питома поверхня керамзитового пилу складає 2500-3000 см²/г. Випробування проводились відповідно з методикою ДСТУ Б В.2.7-126:2011 «Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови».

Результати

Результати випробувань розчинів на адгезію наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати випробування зразків на міцність зчеплення з основою

Найменування компоненту	Кількість (мас.ч.)				
Цемент Пц-500	30				
Пісок	68				
Пластифікатор	0,5				
Целюлоза Vermocoll	0,01				
Редиспергований порошок ELOTEX	1,49				
Шлам ЗФЗ, % від цементу	15 %	15 %	15 %	15 %	15 %
Шлам ТЕЦ-5, % від цементу	-	5 %	10 %	-	-
Керамзитовий пил ХКЗ, % від цементу	-	-	-	5 %	10 %
В/Ц	0,5	0,5	0,6	0,5	0,6
Міцність контакту з бетонною основою (кгс/см ²)					
3 дні	4,5	4,5	2,5	5,5	5,5
7 днів	7,5	4,5	1,5	4,0	7,5
14 днів	4,5	4,5	2,5	5,5	5,5
28 днів	10,0	10,0	8,5	13,5	12,5

Після аналізу результатів, що наведені в табл. 1, встановлена залежність міцності зчеплення з основою зразків від кількості і виду мікронаповнювачів.

При одночасному додаванні шламу ЗФЗ і керамзитового пилу ХКЗ спостерігається зростання міцності зчеплення з основою на 25...35 % порівняно з контрольним зразком.

При одночасному додаванні шламу ЗФЗ і шламу ТЕЦ-5 очікуваного збільшення міцності зчеплення не відбулось. Більше того, при збільшенні вмісту шламу ТЕЦ-5 до 10 %, спостерігається зниження міцності на 15 %.

Такий вплив на міцність зчеплення з основою шламу водопом'якшення харківської ТЕЦ-5 можна пояснити формуванням навколо зерен аліту кристалів кальциту. Кристали кальциту мають меншу твердість порівняно з кристалами кварцу, що призводить до зменшення міцності зчеплення з основою.

Наукова новизна та практична значимість

Вивчено вплив спільного додавання мікродисперсних наповнювачів таких як шлам від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію, керамзитового пилу, шламу водопом'якшення до складу сухої будівельної суміші на цементній основі для самовирівнювальної підлоги.

Проаналізовано вплив твердості кристалів кальциту, що утворюються при додаванні шламу водопом'якшення харківської ТЕЦ-5 до складу сухої будівельної суміші на цементній основі, на міцність зчеплення розчину сухої будівельної суміші до бетонної основи.

Висновки

При додаванні керамзитового пилу ХКЗ і шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію ЗФЗ збільшується контактна зона між розчином і бетонною основою. В результаті чого збільшується міцність зчеплення розчину з основою. Одночасне використання шламу водопом'якшення харківської ТЕЦ-5 і шламу від мокрого газоочищення виробництва феросиліцію ЗФЗ не привело до збільшення міцності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- de Matos, P. R., Marcon, M. F., Schankoski, R. A., & Prudêncio Jr, L. R. (2019). Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. *Journal of environmental management*, 244, 294-303.
- Duan, D., Liao, H., Wei, F., Wang, J., Wu, J., & Cheng, F. (2022). Solid waste-based dry-mix mortar using fly ash, carbide slag, and flue gas desulfurization gypsum. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 3636-3649.
- Yang, S., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2020). Recycling of waste glass in dry-mixed concrete blocks: Evaluation of alkali-silica reaction (ASR) by accelerated laboratory tests and long-term field monitoring. *Construction and Building Materials*, 262, 120865.
- Арутюнян, А. І., & Шуваєв, А. А. (2020). Екологічно-економічна доцільність комплексного управління потоками відходів в будівельній галузі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 18, 10-17.
- Бондарь, А. В., Ковальский, В. П., Очеретный, В. П., Мороз, Д. В., & Вознюк, И. М. (2019). Влияние механической активации минеральных составляющих на свойства облегченных составов цементных сухих смесей для полов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 74, 82-96.
- Гришко, Г. М. (2017). Суша будівельна суміш модифікована полімерними порошками. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*, 69, 69-73.
- Дерев'яно, В. М., Мосьпан, В. І., Колохов, В. В., Дзюбан, О. В., & Мальцев, С. В. (2022). Основні напрямки досліджень із використання золи ТЕС у виробництві будівельних матеріалів. *Український журнал будівництва та архітектури*, 1, 38-44.
- Ковалик, І. В., Безусяк, О. В., & Мельник, Д. О. (2018). Розрахунок складів поризованих будівельних сумішей на прикладі піногіпсу. *Ресурсоекономічні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, 36, 39-46.
- Малишевська, О. С., Гаркавий, С. І., Мельник, О. Д., Мізюк, М. І., & Мищенко, І. А. (2017). Збільшення тріщиностійкості будівельних матеріалів полімерними відходами. Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування, 206-210.
- Мельниченко, Н. П. (2018). Використання відходів гірничо-збагачувального комплексу для виробництва бетонів, призначених для ремонту будівельних конструкцій. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 54, 68-77.

Петров, А. М., & Шептун, С. Ю. (2021). Вплив строків зберігання шламів феросплавної промисловості на властивості сумішей на цементній основі. *Мости та тунелі: теорія, дослідження, практика*, 20, 50-55.

Теліцина, Н., Квітка, О., & Шахновський, А. (2023). Експериментально-статистичне моделювання

складу сухих будівельних сумішей: визначення оптимальної частки модифікуючої добавки. *Вісник Херсонського національного технічного університету*, 1(84), 72-79.

Терновий, В. І., & Ішук, О. С. (2017). До створення вітчизняної реставраційної штукатурки. *Будівельне виробництво*, 62(1), 44-46.

A. M. PETROV^{1*}, S. Y. SHEPTUN²

^{1*} Department of Reliability and Strength of Machines and Structures, State Biotechnological University Alchevskys Street, Kharkiv, Ukraine, 61002. tel. +38 (067) 981 58 43, e-mail petrovbmg@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0001-6644-223X

² Department of Reliability and Strength of Machines and Structures, State Biotechnological University Alchevskys Street, Kharkiv, Ukraine, 61002. tel. +38 (098) 480 66 52, e-mail zooms@btu.kharkov.ua, ORCID 0000-0002-1981-4560

THE EFFECT OF MAN-MADE MICROFILLERS ON THE STRENGTH OF ADHESION TO THE BASE OF THE SOLUTION OF THE DRY CONSTRUCTION MIXTURE

Purpose. The study consists in increasing the adhesion of a cement-based dry mortar to a concrete base by modifying the composition with microfine waste from industrial production. When using microfine fillers of technogenic origin, the cost of production should decrease, the energy efficiency of production will increase, and the technogenic impact on the environment will decrease. **Methodology.** The study of dry mixtures for the installation of poured floors was carried out in accordance with DSTU B V. 2.7-126:2011 "Modified dry construction mixtures. General technical conditions". The basis was a cement-based dry building mix with the composition: cement, quartz sand, plasticizer, Bermocoll cellulose, redispersed copolymer powder. As modifiers: sludge from the wet gas cleaning of the ferrosilicon production of the Zaporizhia Ferroalloy Plant, water softening sludge from the Kharkiv Heat and Power Plant, expanded clay dust from the Kharkiv expanded clay plant. **Findings.** The dependence of the strength of adhesion with the base of the samples on the amount and type of microfillers of technogenic origin has been established. The effect of water softening sludge and expanded clay dust on the strength of adhesion to the base is analyzed. **Originality.** The impact of incorporating microdispersed fillers such as wet gas desulfurization sludge from ferrosilicon production, expanded clay dust, and water softening sludge into a cement-based dry construction mixture for self-leveling floors has been studied. **Practical value.** The use of industrial waste in warehouses of dry construction mixes for bulk floors helps to simultaneously reduce the harmful impact on the environment by industrial enterprises and increase the mechanical and economic indicators of cement mortars. When adding expanded clay dust and sludge from wet gas cleaning of ferrosilicon production, the contact zone between the solution and the concrete base increases. As a result, the adhesion strength of the solution to the base increases.

Keywords: sludge, dry mortar, microfiller, expanded clay saw, waste production

REFERENCES

- de Matos, P. R., Marcon, M. F., Schankoski, R. A., & Prudêncio Jr, L. R. (2019). Novel applications of waste foundry sand in conventional and dry-mix concretes. *Journal of environmental management*, 244, 294-303. (in English)
- Duan, D., Liao, H., Wei, F., Wang, J., Wu, J., & Cheng, F. (2022). Solid waste-based dry-mix mortar using fly ash, carbide slag, and flue gas desulfurization gypsum. *Journal of Materials Research and Technology*, 21, 3636-3649. (in English)
- Yang, S., Lu, J. X., & Poon, C. S. (2020). Recycling of waste glass in dry-mixed concrete blocks: Evaluation of alkali-silica reaction (ASR) by accelerated laboratory tests and long-term field monitoring. *Construction and Building Materials*, 262, 120865. (in English)
- Arutunian, A. I., & Shuvaiev, A. A. (2020). Ekolohichno-ekonomichna dotsilnist kompleksnoho upravlinnia potokamy vidkhodiv v budivelnii haluzi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 18, 10-17. (in Ukrainian)
- Bondar, A. V., Kovalskiy, V. P., Ocheretnyy, V. P., Moroz, D. V., & Voznyuk, I. M. (2019). Vliyanie mekhanicheskoy aktivatsii mineralnykh sostavlyayushchikh na svoystva oblegchennykh sostavov tsementnykh sukhikh smesey dlya polov. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 74, 82-96. (in Russian)

МОСТИ ТА ТУНЕЛІ: ТЕОРІЯ, ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРАКТИКА

- Hryshko, H. M. (2017). Sukha budivelna sumish modyfikovana polimernymu poroshkamy. *Visnyk Odeskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury*, 69, 69-73. (in Ukrainian)
- Derevianko, V. M., Mospan, V. I., Kolokhov, V. V., Dziuban, O. V., & Maltsev, S. V. (2022). Osnovni napriamky doslidzhen iz vykorystannia zoly TES u vyrobnytstvi budivelnykh materialiv. *Ukrainskyi zhurnal budivnytstva ta arkhitektury*, 1, 38-44. (in Ukrainian)
- Kovalyk, I. V., Bezusiak, O. V., & Melnyk, D. O. (2018). Rozrakhunok skladiv poryzovanykh budivelnykh sumishei na prykladi pinohipsu. *Resursoekonomni materialy, konstruksii, budivli ta sporudy*, 36, 39-46. (in Ukrainian)
- Malyshevska, O. S., Harkavyi, S. I., Melnyk, O. D., Miziuk, M. I., & Myshchenko, I. A. (2017). Zbilshennia trishchynostiikosti budivelnykh materialiv polimernymu vidkhodamy. Poshkodzhennia materialiv pid chas ekspluatatsii, metody yoho diahnostuvannia i prohnozuvannia, 206-210. (in Ukrainian)
- Melnychenko, N. P. (2018). Vykorystannia vidkhodiv hirnycho-zbahachuvalnoho kompleksu dlia vyrobnytstva betoniv, pryznachenykh dlia remontu budivelnykh konstruksii. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, 54, 68-77. (in Ukrainian)
- Petrov, A. M., & Sheptun, S. Yu. (2021). Vplyv strokiv zberihannia shlamiv ferosplavnoi promyslovosti na vlastyosti sumishei na tsementnii osnovi. *Mosty ta tuneli: teoriia, doslidzhennia, praktyka*, 20, 50-55. (in Ukrainian)
- Telitsyna, N., Kvitka, O., & Shakhnovskyi, A. (2023). Eksperymentalno-statystychni modeliuvannia skladu sukhykh budivelnykh sumishei: vyznachennia optimalnoi chastky modyfikuiuchoi dobavky. *Visnyk Khersonskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu*, 1(84), 72-79. (in Ukrainian)
- Ternovyi, V. I., & Ishchuk, O. S. (2017). Do stvorennia vitchyznianoї restavratsiinoї shtukaturky. *Budivelne vyrobnytstvo*, 62(1), 44-46. (in Ukrainian)

Надійшла до редколегії 18.10.2023.

Прийнята до друку 06.11.2023.