УДК 691.311

к.т.н., **Ліннік Д.С.** (ВА м. Одеса)
к.т.н., доц. **Кушнарьова Г.О.** (ВА м. Одеса)
к.т.н., доц. **Рабоча Т.В.** (ВА м. Одеса)
ст. викл. **Фролов О.С.** (ВА м. Одеса)

DOI: http://doi.org/10.17721/2519-481X/2024/82-05

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНОГО МОДИФІКАТОРА НА ВОДОСТІЙКІСТЬ КОМПОЗИЦІЙНОГО ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО

У статті висвітлюється питання підвищення водостійкості композиційного гіпсового в'яжучого на основі аналізу натурного експерименту. Для розв'язання задачі у роботі було застосовано 24-х точковий план у вигляді "трикутників на кубі" експериментально-статистичної моделі впливу на властивості композиційного гіпсового в'яжучогодобавок різного виду і призначення з урахуванням взаємодій між ними розрахованний в програмі COMPEX.

Універсальним методом підвищення водостійкості гіпсових матеріалів є зменшення їхньої пористості. З цією метою у гіпсове в'яжуче вводять невеликі кількості полімерних або пластифікуючих добавок для збільшення їхньої щільності. Способом підвищення водостійкості є додавання до 10-40 % мінеральних компонентів, які завдяки своїм в'яжучим властивостям тверднуть у водостійкий каменеподібний матеріал.

На першому етапі досліду проведено аналіз зміни водостійкості за величиною коефіцієнта розм'якшення Кр під впливом мікропуццоланових добавок, мікроармуючої добавки-модифікатора і суперпластифікатора Sika. Діапазон варіювання всіх добавок встановлено планом експерименту.

На наступному етапі дослідження проаналізовано можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних і поверхневих гідрофобізаторів. Для оцінки впливу гідрофобізуючих ґрунтувань на властивості поверхні зразків із гіпсового в'яжучого проводится вимірювання крайового кута змочування методом лежачої краплі (sitting drop method).

Показано, що комплексна модифікація композиційного гіпсового в'яжучого мікроармувальною, полімінеральними мікропуццолановими добавками-наповнювачами та суперпластифікатором Sika в оптимальних співвідношеннях дають змогу одержати композиційне гіпсове в'яжуче з коефіцієнтом розм'якшення 0,9. Об'ємна гідрофобізація забезпечує додаткове підвищення міцності під час стискування та водостійкості.

Ключові слова: композиційне гіпсове в'яжуче, експериментально-статистиче моделювання, гідрофобізація, водостійкість.

Вступ. Енергоефективність, ресурсозбереження, скорочення експлуатаційних витрат та підвищення комфорту житла є головними пріоритетами в будівельній практиці. Тенденції розвитку сучасної будівельної галузі спрямовані на розробку та впровадження нових технологічних рішень, які підвищують конкурентоспроможність і забезпечують ресурсо- та енергоефективність, а також високі техніко-економічні та споживчі показники якості. Оптимізація якості продукції досягається за рахунок використання довговічних, міцних і високоякісних будівельних матеріалів. [1].

Гіпсові матеріали та вироби є одними з найсучасніших будівельних матеріалів завдяки своїй простоті та низькій енергоємності: на виробництво однієї тонни гіпсового в'яжучого витрачається в 4,5 та 4,9 рази менше палива та електроенергії відповідно, ніж на виробництво однієї тонни портландцементу. Україна має достатні запаси природної гіпсової сировини та велику кількість гіпсовмісних відходів. Одним з недоліків гіпсових в'яжучих є їх низька водостійкість. Одним з останніх ефективних способів підвищення водостійкості є зміна структури в'яжучого за допомогою мультимінералізованої мікродисперсної добавки-наповнювача [2-4].

Подальшого покращення якості можна досягти за рахунок використання нових видів гідрофобізаторів. Водовідштовхувальні композиції випускаються у вигляді концентрованих або готових до використання розчинів у водних або органічних розчинниках. Вони створюють водовідштовхувальний ефект, але на паропроникність такі склади практично не впливають. Додавання водовідштовхувальних речовин не змінює колір виробу, а гідрофобізація значно

підвищує морозостійкість всіх матеріалів. Ці властивості дозволяють використовувати водовідштовхувальні речовини в композиційних гіпсових в'яжучих.

Аналіз досліджень і публікацій. Затверділе гіпсове в'яжуче характеризується високим поглинанням води і низьким коефіцієнтом розм'якшення: у водонасиченому стані міцність каменю на основі гіпсу знижується на 40-50 %. Матеріали на основі гіпсу демонструють значну повзучість при зволоження і мають низьку стійкість до атмосферних впливів, а тому не рекомендуються для експлуатації в умовах високої вологості.

Універсальним методом підвищення водостійкості гіпсових матеріалів є зменшення їхньої пористості. З цією метою у гіпсове в'яжуче вводять невеликі кількості полімерних або пластифікуючих добавок для збільшення їхньої щільності.

Способом підвищення водостійкості є додавання до 10-40 % мінеральних компонентів, які завдяки своїм в'яжучим властивостям тверднуть у водостійкий каменеподібний матеріал. У світі відомі два основних відомих у світі напрямків, що сформувалися в практичному підході до вирішення питання підвищення водостійкості в'яжучих на основі гіпсу: один напрямок [5-7], спрямований на використання певної кількості портландцементу в якості гідравлічної складової; а інший - на розробку [8-11] композицій на основі активних мінеральних добавок.

Мета дослідження: розробка комплексу з полімінеральних високодисперсних добавок, мікроармувальної добавки-наповнювача та органічного суперпластифікатора для композиційного гіпсового в'яжучого з поліпшеними властивостями.

Основна частина. Для розв'язання задачі у роботі було застосовано 24-х точковий план у вигляді "трикутників на кубі" експериментально-статистичної моделі впливу на властивості КГВ добавок різного виду і призначення з урахуванням взаємодій між ними розрахованний в програмі COMPEX [12,13].

На першому етапі досліду проведено аналіз зміни водостійкості за величиною коефіцієнта розм'якшення Кр під впливом мікропуццоланових добавок, мікроармуючої добавки-модифікатора і суперпластифікатора Sika. Діапазон варіювання всіх добавок встановлено планом експерименту. Зміна водостійкості КГВ під впливом добавок описується моделлю (1):

$$\begin{matrix} +0.676v_1 + 0.209v_1v_2 & \pm 0v_1x_4 - 0.033v_1x_5 + 0.069v_1x_6 & \pm 0x_4^2 - 0.057x_4x_5 \\ Y(K_p) = +0.711v_2 + 0.432v_1v_3 + & +0.071v_2x_4 - 0.037v_2x_5 \pm 0v_2x_6 & +-0.033x_5^2 \pm 0x_4x_6 \\ +0.690v_3 - 0.437v_2v_3 & +0.027v_3x_4 - 0.071v_3x_5 - 0.071v_3x_6 & +0.056x_6^2 \pm 0x_5x_6 \end{matrix} \quad (1)$$

Графічна інтерпретація моделі (1) представлена на рисунку 1 у вигляді сумішевих трикутників у координатах (V_1, V_2, V_3) на квадратичній діаграмі в координатах (X4, X5). Вміст добавки-суперпластифікатора Sika (X_6) фіксувався на рівнях 0,1%; 0,6%; 1,1%.

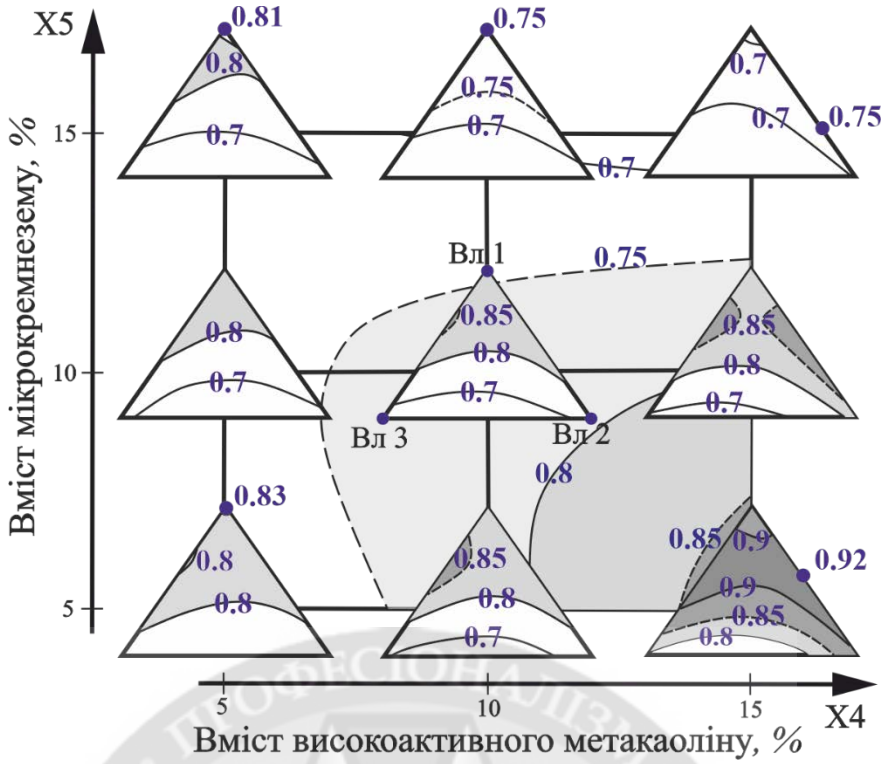

Рисунок 1 - Вплив полімінеральних мікропуцоланових добавок, мікроармуючої добавки-наповнювача (волластоніт) на водостійкість композиційного гіпсового в'яжучого

Вплив трьох фракцій волластоніту ілюструється на графічних образах ЕС моделей у вигляді трикутних діаграм. Голчаста форма зерна волластоніту визначає основний напрямок його використання як мікроармуючого наповнювача. Фізико-хімічна спорідненість волластоніту з композиційними будівельними матеріалами, що містять цемент, сприяє активній виборчій адсорбції продуктів гідратації в'яжучого, має істотний вплив на реологічні параметри, формування структури, міцнісні та деформативні властивості затверділих композитів.

На трикутних діаграмах відображено вплив на властивості трьох залежних факторів (v1, v2, v3). Це залежні фактори, які пов'язані між собою. Сумарний вміст усіх трьох компонентів (Вл1, Вл2, Вл3) зберігається постійним, тобто (V1+V2+V3=1). Трикутні діаграми, розташовані на квадраті аналізованої властивості, в даному випадку Rсж, дають змогу вибрати найкращий фракційний склад волластоніту, вміст, співвідношення двох або трьох фракцій між собою.

Вплив на властивості мікропуцоланових добавок-наповнювачів графічно інтерпретується у вигляді ізоліній на квадраті двох факторів Х4 → (ВМК - високоактивний метакаолін), Х5 → (МКК - мікрокремнезем). Вміст високоактивного метакаоліну (ВМК) так само, як і мікрокремнезему (МКК), варіювався в експерименті в інтервалі (10±5) %.

Мікропуцоланові добавки-наповнювачі вирізняються високою пуцоланічною активністю. Мікрокремнезем має пуцоланічну активність 350-450 мг вапна, що зв'язується, на 1 г мікрокремнезему. Високоактивний метакаолін (ВМК), завдяки вмісту активного окису алюмінію, здатний зв'язувати значно більшу кількість вапна, ніж мікрокремнезем. Його активність сягає понад 1000 мг вапна, що зв'язується, на 1 г високоактивного метакаоліну. Введення цих добавок до складу композиційного гіпсового в'яжучого має забезпечити ранню і пролонговану міцність.

Високоякісний суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі Sika Visco Creit, що складається зі спеціально синтезованих хімічно чистих речовин, вводили для поліпшення зручності укладання, зниження водопотреби та уповільнення термінів схоплювання КГВ.

Коефіцієнт розм'якшення змінюється в інтервалі від 0.6 до 0.92. Більшість складів із 24х серій зразків належать до водостійких, тому що їхній коефіцієнт розм'якшення дорівнює 0.8-0.92. Необхідне за умовами задачі дослідження значення коефіцієнта розм'якшення Кр≥0.85 отримано за максимального вмісту високоактивного метакаоліну в кількості 10-15 % від м. р., вмісту мікрокремнезему 5-10 % від м. р. та за умови вмісту в суміші волластоніту певної

фракції. Фракційний склад волластоніту для різних складів сумішей різний за різного вмісту суперпластифікатора Sika. Склади, які в рамках експерименту мають максимальні значення водостійкості Кр = 0.9-0.92, отримано при введенні до складу КГВ 15% ВМК і 5% МКК. Вміст Sika становить 0.1 або 1.1% від м. в.

Значення коефіцієнта розм'якшення Кр≥0.9 мають склади, що містять суперпластифікатор Sika =1.1%, ВМК=15%, МКК=5%. Тобто, величина питомої поверхні мікроармуючої добавки волластоніту (ВЛ), виконуючи роль модифікатора структури, є ефективним фактором, що дає змогу регулювати властивості композиційних сумішей у широких межах, та має призначатись з урахуванням вмісту мікронаповнювачів.

На наступному етапі дослідження проаналізовано можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних і поверхневих гідрофобізаторів.

Для оцінки впливу гідрофобізуючих ґрунтувань на властивості поверхні зразків із гіпсового в'яжучого ми проводили вимірювання крайового кута змочування методом лежачої краплі (sitting drop method). Форма краплі, що спочиває на горизонтальній плоскій поверхні в полі сили тяжіння (рис. 2), є осесиметричною та описується рівнянням Юнга-Лапласа (Young–Laplace) [14]:

$$\rho g y + \sigma(K(y) - K(h)) = 0 \quad (2)$$

де ρ – щільність рідини, g – прискорення вільного падіння, σ – поверхневий натяг рідини (питома вільна енергія межі розділу рідина - газ), $K(y) = \frac{1}{R_1(y)} + \frac{1}{R_2(y)}$, $R_1(y)$ та $R_2(y)$ – головні радіуси кривизни поверхні краплі в точці з ординатою y, $K(h) = K(y)|_{y=h}$, тобто на вершині краплі.

Рівняння (2) не має аналітичного розв'язку, тому для розрахунку форми краплі з високою точністю і знаходження кута змочування застосовують чисельні методи.

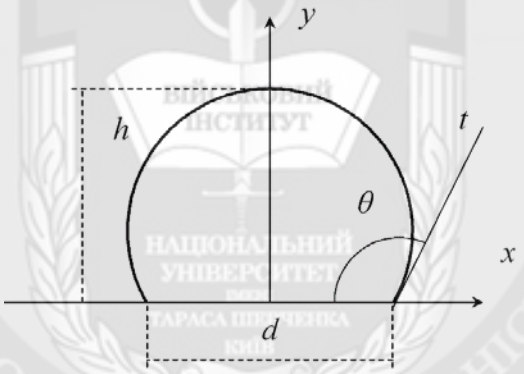

Рисунок 2 - Форма крапель, що лежать на плоскій гідрофобній поверхні:
θ - крайовий кут змочування, t - дотична до меридіанного перерізу краплі
у точці поділу трьох фаз

Краплі під дією капілярного тиску здатні зберігати сферичну форму (див. рис. 2). У цьому випадку з елементарної геометрії легко знайти кут змочування θ. В експерименті розмір крапель рідини визначається внутрішнім діаметром каналу крапельниці. У нашому випадку він становив 0.53 мм (при зовнішньому діаметрі голки 0.8 мм). Маси крапель дистильованої води, що продукуються крапельницею, були виміряні на аналітичних вагах. Використовувана голка формувала краплі із середньою масою 15.6 мг. Радіус відповідної сферичної краплі приблизно дорівнює 1.55 мм, що, очевидно, перевищує критерій малості краплі. Для аналізу форми такої краплі ми вирішили застосовувати метод конічного перерізу.

Для фотореєстрації форми крапель на досліджуваній поверхні ми використовували Web-камеру CANYON CNR WCAM820 з роздільною здатністю 1600×1200 пікселів. Штатний об'єктив камери було замінено на оптичну систему, складену за принципом мікроскопа. Поле зору кадру становило близько 9 мм, масштаб зображення був визначений за допомогою об'єкт-мікрометра і дорівнював 5,75 мкм/піксель. Два світлодіодні освітлювачі з регулюваннями яскравості давали змогу комбінувати косе віддзеркалене освітлення і освітлення, що проходить, для встановлення оптимального контрасту зображення на кордонах розділу фаз. Під час роботи

зі зразками, що поглинають воду, камера перемикалася в режим відеозйомки з роздільною здатністю 800×600 пікселів і з кадровим інтервалом 100 мс.

Зображення, отримане камерою, зберігали на комп'ютері й аналізували за допомогою графічного редактора. У графічному редакторі ми підбирали еліпс, що задовільно збігається з контуром краплі, після чого зчитували розміри його півосей, координати центру і координати точок розділу трьох фаз, потім описаним вище методом обчислювали крайовий кут змочування.

На рис. 3 показана крапля дистильованої води на поверхні зразка, що не пройшов обробки ґрунтовками. Поверхня зразка гідрофільна, про що свідчить крайовий кут змочування, менший за 90°. Вода розтікається і вбирається гіпсовим в'яжучим: на рисунку показано краплю через різні проміжки часу, що минули від моменту контакту.

Рисунок 3 - Крапля води на поверхні необробленого зразка після початку контакту

Поверхні, що поглинають воду, можна характеризувати на додаток до крайового кута змочування також швидкістю поглинання через одиничну контактну поверхню. Швидкість вбирання можна оцінити за зменшенням об'єму краплі з плином часу, якщо швидкістю випаровування можна знехтувати, що допустимо за високої швидкості вбирання.

Розрахунок об'єму краплі ми проводили в припущенні, що крапля є усіченим еліпсоїдом обертання. Легко показати, що при цьому об'єм V визначається висотою краплі h і розмірами півосей її меридіанного перерізу:

$$V = \pi a^2 \left(h - \frac{b}{3} + \frac{(b-h)^3}{3b^2} \right) \qquad (3)$$

Досліди показали, що швидкість вбирання краплі в зразки можна вважати високою, тому що за час повного вбирання об'єм контрольної краплі на металевій поверхні залишався незмінним у межах похибки вимірювання.

На необроблених зразках крайовий кут змочування зменшується протягом перших двох секунд контакту з 86° до 72°, але при цьому об'єм краплини залишається незмінним у межах похибки вимірювання, отже, спостерігається тільки розтікання краплі. Початок вбирання реєструється нами з 3-ї секунди. Максимальна швидкість вбирання припадає на 5-6-ту секунди і становить 0.017 г·см$^{-2}$·с$^{-1}$. Загальний час вбирання краплі варіювався в діапазоні 12 - 30 с за середньої контактної площі 0.15 см^2.

На рис. 4 показано краплі дистильованої води на поверхні зразка, обробленого ґрунтовкою.

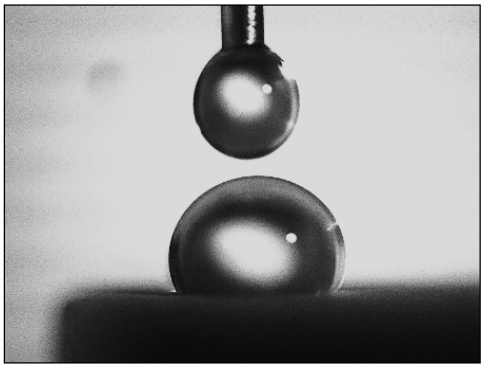

Рисунок 4 - Крапля води на поверхні зразка, обробленого ґрунтовкою

Поверхні зразків набули гідрофобних властивостей: крайовий кут змочування для води перевищує 90°. На цих поверхнях ми не спостерігали розтікання і вбирання краплі. Середній крайовий кут змочування для випробуваних ґрунтовок наведено нижче в таблиці 1.

Таблиця 1

Крайові кути змочування для випробуваних ґрунтовок

ПГК-12С	ПГК-24	White
129 ± 7°	130 ± 5°	121 ± 4°

Ґрунтовки ПГК-12С і ПГК-24 демонструють однакову ефективність щодо гідрофобізації поверхні: крайові кути змочування на оброблених ними поверхнях з урахуванням зазначеної похибки можна вважати такими, що збігаються. Дещо гірший результат дає ґрунтовка White.

Висновки. Аналіз результатів дослідження дає змогу зробити висновок, що запропонований склад поліфункціонального модифікатора дає змогу отримати водостійке модифіковане композиційне гіпсове в'яжуче з коефіцієнтом размягчения Кр≥0.9.

Показано, що комплексна модифікація композиційного гіпсового в'яжучого полімінеральними мікропуцолановими та мікроармувальними добавками-наповнювачами і суперпластифікатором Sika в оптимальних співвідношеннях дають змогу отримати композиційне гіпсове в'яжуче з коефіцієнтом розм'якшення 0,9. Тобто величина питомої поверхні мікроармувальної добавки волластоніту, виконуючи роль модифікатора структури, є ефективним фактором, що дає змогу регулювати властивості композиційних сумішей у широких межах, та має призначатись з урахуванням вмісту мікронаповнювачів.

Об'ємна гідрофобізація забезпечує додаткове підвищення водостійкості. Подальші дослідження спрямовані на отримання та оптимізацію поліфункціональних модифікаторів широкого спектра дії.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Dvorkin L. Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete. *Magazine of Civil Engineering*. 2019. Vol. 85, no. 1. P. 123–135.

2. Derevianko V. N., Kondratieva N. V., Hryshko H. M. Study of impact factors and the mechanis of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. *Journal of Chemistry*. 2018. Vol. 6. P. 92-100.

3. Derevianko V. N., Kondratieva N. V., Sanitskiy N. A., Hryshko H. M. Impact of granulometric composition on mineral binder hydration processes. *Journal of Engineering Science*. 2018. Vol. 3. P. 74-84.

4. Dolezelova M., Krejsova J., Scheinherrova L., Keppert M., Vimmrova A. Investigation of environmentally friendly gypsum based composites with improved water resistance. *Journal of Cleaner Production*. 2022. Vol. 370, art. no. 133278.
URL: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133278 (date of access: 15.03.2024)

5. Bumanis, G., Korjakins, A., Bajare, D. Environmental Benefit of Alternative Binders in Construction Industry: Life Cycle Assessment. *Environments*. 2022, Vol. 9, no 6.
URL: https://doi.org/10.3390/environments9010006 (date of access: 15.03.2024)

6. Juengera M. C. G., Winnefeldb F., Provisc J. L. and Idekerd J. H. (2011) Advances in alternative cementitious binders. *Cement and Concrete Research*. 2011. Vol. 41. P. 1232–1243.

7. Новосад П. В., Саницький М. А., Позняк О. Р. Підвищення водостійкості гіпсових в'яжучих. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*. 2018. № 888. С. 111-116.

8. Camarini G., De Milito J. A. Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. *Construction and Building Materials*. 2011. Vol. 25. P. 4121–4125.

9. Alexander P., Nikita K. Water-resistant gypsum binder. *MATEC Web Conf.* 2016. Vol. 86.
URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/20168606001 (date of access: 15.03.2024)

10. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F. and Sanytsky M. Study of modified gypsum Binder. *Construction and Building Materials*. 2017. Vol. 149. P. 535–542.

11. Линник Д. С., Юсипчук В. И., Шинкевич Е. С., Влияние высокоактивной пуццолановой добавки на свойства композиционного гипсового вяжущего и арболитобетона на его основе. *Вісник ОДАБА*. 2015. № 57. С. 273-278.

12. Derevianko V. N., Maksimenko A. A., Hryshko H. M. Study of polymer-modified powder dry mix produced from magnesia-bishofit composition with additives. *Jour. of Tech. University of Moldova and Moldavian Engineering Association*. 2015. Vol. 4. P. 35-39.

13. Vinnichenko V., Ryazanov A., Krot O. Construction binders and environmental indicators of their production. *MATEC Web Conf*. 2018. Vol 230.
URL: https://doi.org/10.1051/matecconf/201823003020 (date of access: 15.03.2024)

14. Whyman G., Bormashenko E. Oblate spheroid model for calculation of the shape and contact angles of heavy droplets. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2009. Vol. 331, no. 1. P. 74-177.

REFERENCES:

1. Dvorkin L. (2019) Modified water-cement ratio rule for the design of air-entrained concrete. Magazine of Civil Engineering. 85(1), 123–135.

2. Derevianko V. N., Kondratieva N. V., Hryshko H. M. (2018) Study of impact factors and the mechanis of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. Journal of Chemistry. 6, 92-100.

3. Derevianko V. N., Kondratieva N. V., Sanitskiy N. A., Hryshko H. M. (2018) Impact of granulometric composition on mineral binder hydration processes. Journal of Engineering Science. 3, 74-84.

4. Dolezelova M., Krejsova J., Scheinherrova L., Keppert M., Vimmrova A. (2022) Investigation of environmentally friendly gypsum based composites with improved water resistance. Journal of Cleaner Production. 370, art. no. 133278.

5. Bumanis, G., Korjakins, A., Bajare, D. (2022) Environmental Benefit of Alternative Binders in Construction Industry: Life Cycle Assessment. Environments. 9, 6. https://doi.org/10.3390/environments9010006

6. Juengera M. C. G., Winnefeldb F., Provisc J. L. and Idekerd J. H. (2011) Advances in alternative cementitious binders. Cement and Concrete Research. 41, 1232–1243.

7. Novosad P., Sanytsky M., Poznyak O. (2018) Pidvyshhennja vodostijkosti ghipsovykh v'jazhuchykh [Increasing water resistance of gypsum binders]. Visnyk Nacionaljnogho universytetu Ljvivsjka politekhnika. Teorija i praktyka budivnyctva. 888, 111-116.

8. Camarini G. and De Milito J. A. (2011) Water treatment sludge and rice husk ash to sustainable geopolymer production. Construction and Building Materials. 25, 4121–4125.

9. Alexander P. and Nikita K. (2016) Water-resistant gypsum binder. MATEC Web Conf. Vol. 86.

10. Kondratieva N., Barre M., Goutenoire F. and Sanytsky M. (2017) Study of modified gypsum Binder. Construction and Building Materials. 149, 535–542.

11. Linnik D. S., Yusipchuk V.I., Shinkevich E. S. (2015) Vlyjanye vysokoaktyvnoj puccolanovoj dobavky na svojstva kompozycyonnogho ghypsovogho vjazhushhegho y arbolytobetona na egho osnove [Effect of highly active pozzolanic additive on the properties of composite gypsum binder and Hempcrete on its basis]. Visnyk ODABA. 57, 237-238.

12. Derevianko V. N., Maksimenko A. A., Hryshko H. M. (2015) Study of polymer-modified powder dry mix produced from magnesia-bishofit composition with additives. Jour. of Tech. University of Moldova and Moldavian Engineering Association. 4, 35-39.

13. Vinnichenko V., Ryazanov A., Krot O. (2018) Construction binders and environmental indicators of their production. MATEC Web Conf. Vol 230.

14. Whyman G., Bormashenko E. (2009) Oblate spheroid model for calculation of the shape and contact angles of heavy droplets. Journal of Colloid and Interface Science**.** 331(1), 74-177.

PhD. Linnik D., PhD. Kushnareva G., PhD. Rabocha T., Frolov O.

ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF POLYFUNCTIONAL MODIFIER ON THE WATER RESISTANCE OF COMPOSITE GYPSUM BINDER

The article highlights the issue of increasing the water resistance of a composite gypsum binder based on the analysis of a full-scale experiment. To solve the problem, a 24-point plan in the form of "triangles on

a cube" of the experimental and statistical model of the effect of additives of various types and purposes on the properties of a composite gypsum binder, taking into account the interactions between them, calculated in the COMPEX program, was used.

A universal method of increasing the water resistance of gypsum materials is to reduce their porosity. For this purpose, small amounts of polymeric or plasticizing additives are introduced into the gypsum binder to increase their density. A way to increase water resistance is to add up to 10-40% of mineral components, which, due to their binding properties, harden into a water-resistant stone-like material.

At the first stage of the experiment, we analyzed the change in water resistance by the value of the softening coefficient Kr under the influence of micro-puzzolan additives, a micro-reinforcing modifier additive, and Sika superplasticizer. The range of variation of all additives was established by the experiment plan.

The next stage of the study analyzed the possibility of further improving water resistance by using bulk and surface water repellents. To evaluate the effect of hydrophobic primers on the surface properties of gypsum binder samples, the marginal wetting angle is measured using the sitting drop method.

It is shown that the complex modification of the composite gypsum binder with micro-reinforcing, polymineral micro-puzzolanic filler additives and Sika superplasticizer in optimal proportions makes it possible to obtain a composite gypsum binder with a softening coefficient of 0.9. Volumetric hydrophobization provides an additional increase in compressive strength and water resistance.

Keywords: composite gypsum binder, experimental and statistical modeling, hydrophobization, water resistance.

ПАТРІОТИЗМ • ПРОФЕСІОНАЛІЗМ • ПОРЯДНІСТЬ
ПРОЗОРІСТЬ • ПОСЛІДОВНІСТЬ
ВІЙСЬКОВИЙ ІНСТИТУТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА КИЇВ