

УДК 691.12:691.3

АРБОЛІТОБЕТОН З КОМПЛЕКСОМ ОРГАНО-МІНЕРАЛЬНИХ ДОБАВОК ТА НАПОВНЮВАЧІВ РІЗНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**ARBOLITE CONCRETE WITH A COMPLEX OF ORGANO-MINERAL ADDITIVES AND FILLERS FOR VARIOUS PURPOSES**

Шинкевич О.С., д.т.н., професор, ORCID: 0000-0002-2842-1785, **Антонюк Н.Р., к.т.н., доцент**, ORCID: 0000-0003-1730-0723, **Загинайло І.В., к.т.н., доцент**, ORCID: 0000-0002-4022-9120 (Одеська державна академія будівництва та архітектури), **Лінник Д.С. к.т.н., доцент**, ORCID: 0009-0001-3718-5104 (Військова академія, м. Одеса)

Shynkevych O.S., D.Sc., Professor, ORCID: 0000-0002-2842-1785, **Antoniuk N.R., Ph.D., Associate Professor**, ORCID: 0000-0003-1730-0723, **Zaginylo I.V., Ph.D., Associate Professor**, ORCID: **0000-0002-4022-9120** (Odesa State Academy Civil Engineering and Architecture), **Linnik D.S., Ph.D., Associate Professor**, ORCID: 0009-0001-3718-5104 (Military Academy, Odesa)

У статті висвітлюється питання підвищення водостійкості та міцності композиційного гіпсового в'язучого для арболітобетону. Показано, що комплексна модифікація гіпсового композиційного в'язучого мікроармуючими, полімінеральними мікропуцолановими добавками-наповнювачами і суперпластифікатором Sika в оптимальних співвідношеннях дозволяють отримати композиційне гіпсове в'язуче з коефіцієнтом розм'якшення 0.9. Об'ємна гідрофобізація забезпечує додаткове підвищення міцності на стиск та водостійкості.

This article addresses the issue of increasing the water resistance and strength of composite gypsum binders for concrete arbolite. The characteristics of the raw materials used are presented, research methods and techniques are described, the applied methods for mathematical experimental design are outlined, and the selection of experimental plans and variation factors is substantiated.

An analysis is conducted of the possibility of increasing the biostability of concrete arbolite using a composite gypsum binder by adding a nanoadditive of highly active pyrogenic microsilica modified with silver, copper, and zinc

compounds. Samples of concrete arbolite manufactured without and with the nanoadditive are presented at various magnifications.

An optimal composition for environmentally friendly thermal insulation and thermal insulation-structural types of concrete arbolite with increased biostability, modified with the proposed multifunctional modifier, is recommended. An analysis of the study results allows us to conclude that the complex modification of the composite gypsum binder with micro-reinforcement, polymineral micro-pozzolan filler additives and Sika superplasticizer in optimal proportions allows us 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.

Ключові слова: арболітобетон, комплексна модифікація, міцність, водостійкість. arbolit concrete, complex modification, strength, water resistance.

Вступ. Енергоефективність, ресурсозбереження, зниження експлуатаційних витрат та підвищення комфортності житла є першочерговим завданням у практиці будівництва. Тенденції розвитку сучасної будівельної галузі орієнтовані на підвищення конкурентоспроможності, розроблення та впровадження нових технологічних рішень, що забезпечують ресурсо- й енергозбереження, високі техніко-економічні та споживчі показники якості виробів. Оптимізація показників якості виробів забезпечується завдяки застосуванню довговічних, міцних, високоякісних будівельних матеріалів. Важливою вимогою є екологічність будівельних виробів, яка може бути досягнута за рахунок використання відповідних матеріалів і дотримання технологічного режиму замкненого циклу [1].

Аналіз останніх досліджень. До матеріалів такого виду належить гіпсобетон – бетон на основі композиційного гіпсового в'язучого [2]. Гіпсові матеріали та вироби належать до прогресивних будівельних матеріалів завдяки простоті й низькій енергоємності виробництва. На виробництво 1 т гіпсового в'язучого витрачається відповідно у 4,5 та 4,9 рази менше палива й електроенергії, ніж на виробництво 1 т портландцементу. Час твердіння гіпсового в'язучого у 20-25 разів менший, ніж у портландцементу, швидкість набору проектної міцності для виробів на основі гіпсового в'язучого у 30-40 разів більша, ніж на основі портландцементу. Крім того, гіпсовмісні матеріали є високотехнологічними, оскільки вже через 15-20 хвилин після формування виробу можна здійснювати його розпалублення, при цьому оборотність форм збільшується у 8-10 разів, а технології виготовлення є менш енерговитратними порівняно з використанням інших видів в'язучих, у тому числі портландцементних.

Україна має достатні запаси природної гіпсової сировини та значну кількість гіпсовмісних відходів. Одним із недоліків гіпсових в'язучих є невисока водостійкість. Одним із сучасних ефективних способів підвищення водостійкості

може бути модифікація структури в'язучого полімерінеральними мікродисперсними добавками-наповнювачами [3].

Застосування нових видів об'ємних гідрофобізаторів дозволить забезпечити подальше підвищення якості. Склади гідрофобізаторів випускаються у вигляді концентратів або готових до застосування розчинів на водних чи органічних розчинниках. Вони створюють водовідштовхувальний ефект, при цьому паропроникність таких композитів практично не знижується. Введення гідрофобізаторів не змінює колір виробу, а гідрофобізація значно підвищує морозостійкість будь-якого матеріалу. Ці властивості дозволяють застосовувати гідрофобізатори для композиційного гіпсового в'язучого.

Мета дослідження: розроблення комплексу з полімерінеральних високодисперсних добавок, мікроармувальної добавки-наповнювача та органічного суперпластифікатора для композиційного гіпсового в'язучого з покращеними властивостями.

Завдання дослідження:

– вибір та обґрунтування компонентів комплексної полімерінеральної мікропуцоланової добавки та мікроармувальної добавки-наповнювача для композиційного гіпсового в'язучого;

– підбір співвідношення тонкодисперсних компонентів комплексної полімерінеральної мікропуцоланової добавки та мікроармувальної добавки-наповнювача для композиційного гіпсового в'язучого із застосуванням методів експериментально-статистичного моделювання на основі математичної теорії планування експериментів;

– оцінка взаємовпливу комплексного поліфункціонального модифікатора та об'ємної гідрофобізації на водостійкість і міцність при стиску композиційного гіпсового в'язучого.

Матеріали та методи досліджень. Як компоненти в'язучого застосовувалися: будівельний гіпс Г-5 виробництва ПАТ «Гіпсовик», пуцолановий бездобавковий цемент виробництва ПАТ «Євроцемент Україна» ПЦ І-500 Д0 згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010.

Як активні пуцоланові добавки для отримання композиційного гіпсового в'язучого (КГВ) застосовувалися: високоактивний метаколін виробництва ТОВ «Мета-Д», мікрокремнезем виробництва Elkem AS EN 13263-1.

Як добавку-уповільнювач тужавіння застосовували суперпластифікатор Sika ViscoCrete 225 порошок VP SIA 162 (1989) та prEN 934-2 виробництва т.м. Sika.

Органічний заповнювач костра технічної коноплі – відходи канатного заводу м. Харкова. Випробування композиційних гіпсових в'язучих здійснювали відповідно до ДСТУ Б В.2.7-187:2009; зразки випробовували на міцність у віці 28 діб із подальшим висушуванням до постійної маси.

Результати досліджень. Вибір плану експерименту для розв'язання конкретних матеріалознавчих завдань визначається конкретними умовами цих завдань і вимогами до результатів їх вирішення. З метою виконання роботи було застосовано 24-х точковий план у вигляді «трикутників на кубі». Застосування

мікроармувального наповнювача. Фізико-хімічна спорідненість волластоніту з композиційними будівельними матеріалами, що містять цемент, сприяє активній вибірковій адсорбції продуктів гідратації в'язучого, суттєво впливає на реологічні параметри, формування структури, міцнісні та деформативні властивості затверділих композитів.

На трикутних діаграмах відображено вплив на властивості трьох залежних факторів (V_1 , V_2 , V_3). Це залежні фактори, які пов'язані між собою. Сумарний вміст усіх трьох компонентів (Вл₁, Вл₂, Вл₃) залишається постійним, тобто ($V_1 + V_2 + V_3 = 1$). Трикутні діаграми, розташовані на квадраті аналізованої властивості, у даному випадку R_{ct} , дозволяють обрати оптимальний фракційний склад волластоніту, вміст та співвідношення двох або трьох фракцій між собою.

Вплив на властивості мікропуццоланових добавок-наповнювачів графічно інтерпретується у вигляді ізоліній на квадраті двох факторів: $X_4 \rightarrow$ (ВМК – високоактивний метакаолін), $X_5 \rightarrow$ (МКК – мікрокремнезем). Вміст ВМК та МКК варіювався в експерименті у межах (10 ± 5) %.

Мікропуццоланові добавки-наповнювачі характеризуються високою пуццолановою активністю. Мікрокремнезем має пуццоланову активність 350-450 мг зв'язуваної вапна на 1 г мікрокремнезему. Високоактивний метакаолін (ВМК), завдяки вмісту активної оксиду алюмінію, здатний зв'язувати значно більшу кількість вапна, ніж мікрокремнезем, його активність перевищує 1000 мг зв'язуваної вапна на 1 г ВМК. Введення цих добавок у склад композиційного гіпсового в'язучого забезпечує ранню та пролонговану міцність.

Високоякісний суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі Sika ViscoCrete, що складається зі спеціально синтезованих хімічно чистих речовин, вводився для покращення зручності укладання, зниження водопотреби та уповільнення термінів схоплювання КГВ.

Як показує діаграма на рисунку 1, максимальне значення міцності при стиску становить $R_{ct} = 14,5-15,0$ МПа. Отримане значення міцності в 2-3 рази перевищує міцність застосованого гіпсового в'язучого марки Г-5. У якості другого компонента КГВ застосовувався портландцемент ПЦ-500-Д0 бездобавковий у кількості 21 % від \sum (Г + ПЦ).

Отримані максимальні значення досягаються при вмісті пластифікатора Sika 0,1-0,6 % (від м. в.), мінімальному вмісті ВМК = 5 % та вмісті МКК 5-10 % (від м. в.). Позитивний вплив на R_{ct} має волластоніт Вл₃. Введення волластоніту в суміш підвищує R_{ct} з 13-13,5 до 14,5-15,0 МПа, тобто на 10-12,5 %. При цьому збільшення вмісту добавки Sika понад 1 % знижує R_{ct} приблизно на 12 %, до 12-13 МПа.

Водостійкість. На наступному етапі проведено аналіз зміни водостійкості за величиною коефіцієнта розм'якшення K_r під впливом мікропуццоланових добавок, мікроармувальної добавки-модифікатора та суперпластифікатора Sika. Діапазон варіювання всіх добавок встановлений планом експерименту.

Зміна водостійкості КГВ під впливом зазначених добавок описується моделлю (3):

інших властивостей і умов багатокритеріальної оптимізаційної задачі.

Як впливає з аналізу діаграм (рис. 1-2), склади, що мають максимальну міцність при стиску 14,5-15,0 МПа, характеризуються невисокою водостійкістю $K_p = 0,7-0,75$. Склади, що мають максимальну водостійкість $K_p = 0,85-0,92$, мають $R_{ст} = 9,5-12,5$ МПа. Відповідно до мети дослідження для подальшого аналізу властивостей відібрані зразки з $K_p \geq 0,85$. Міцність зразків із такими значеннями коефіцієнта розм'якшення становить $R_{ст} = 9,5; 10,5; 10-12,5$ МПа при вмісті суперпластифікатора Sika 0,1 %, 0,6 % та 1,1 % відповідно.

Значення коефіцієнта розм'якшення $K_p \geq 0,9$ мають склади, що містять суперпластифікатор Sika = 1,1 %, ВМК = 15 %, МКК = 5 %. Тобто величина питомої поверхні мікроармувальної добавки волластоніту (ВЛ), виконуючи роль модифікатора структури, є ефективним фактором, який дозволяє регулювати властивості композиційних сумішей у широких межах і має призначатися з урахуванням вмісту мікронаповнювачів.

Вибір фракції волластоніту залишається завданням технолога. Можливий варіант використання монофракційного волластоніту ($ВЛ_2 = 1$), біфракційного волластоніту ($ВЛ_1 + ВЛ_3 = 1$) або ($ВЛ_1 + ВЛ_2 = 1$), або поліфракційного волластоніту ($ВЛ_1 + ВЛ_2 + ВЛ_3 = 1$). Вибір фракції волластоніту може визначатися або технологічними можливостями приготування сумішей, або показниками якості інших властивостей.

Аналіз впливу гідрофобизаторів на водостійкість КГВ. На наступному етапі дослідження проаналізовано можливість подальшого підвищення водостійкості за рахунок об'ємних та поверхневих гідрофобизаторів.

Для оцінки впливу гідрофобізуючих ґрунтовок на властивості поверхні зразків із гіпсового в'язучого проводилися вимірювання крайового кута змочування методом лежачої краплі (sitting drop method). Форма краплі, що перебуває на горизонтальній плоскій поверхні під дією сили тяжіння (рис. 3, а), є осесиметричною та описується рівнянням Юнга–Лапласа (Young–Laplace) [9]:

$$\rho g y + \sigma(K(y) - K(h)) = 0, \quad (4)$$

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

Рівняння (4) не має аналітичного розв'язку, тому для розрахунку форми краплі з високою точністю та визначення кута змочування застосовують чисельні методи.

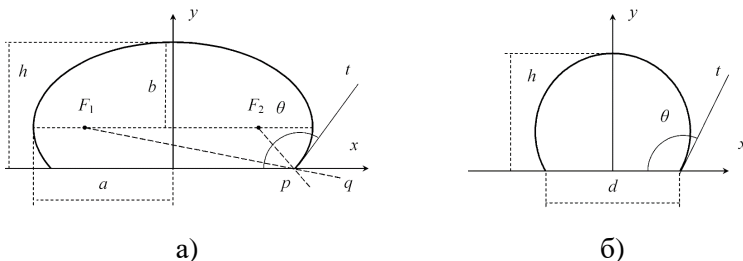


Рис. 3. Форма крапель, що лежать на плоскій гідрофобній поверхні:

а) «важка» крапля; б) «мала» крапля; θ – крайовий кут змочування;

t – дотична до меридіанного перерізу краплі в точці розділу трьох фаз

Краплі малого розміру під дією капілярного тиску здатні зберігати сферичну форму (рис. 3, б). У цьому випадку з елементарної геометрії легко визначити кут змочування θ . Краплю можна вважати малою, якщо її вага значно менша за капілярний тиск; радіус малої сферичної краплі r має задовольняти співвідношенню $r \ll \sqrt{\frac{2\sigma}{g\rho}}$ (тут густина газу вважається зневажливо малою порівняно з густиною рідини). Оцінки показують, що це наближення є застосовним до крапель води ($\sigma \approx 0.072$ Н/м) радіусом порядку 0,4 мм і менше.

Для більших крапель радіусом $r \leq \sqrt{\frac{2\sigma}{g\rho}}$ (до 3,5 мм) їхній меридіанний переріз можна наближено розглядати як сегмент конічного перерізу – еліпса [10]. У цьому випадку, вимірюючи розміри півосей еліпса a і b (рис. 3, а), легко визначити положення його фокусів F_1 і F_2 , а потім знайти рівняння фокальних радіусів p і q , які з'єднують фокуси еліпса з точкою розділу трьох фаз. Бісектриса зовнішнього кута, утвореного перетином цих фокальних радіусів, і буде дотичною t до меридіанного перерізу краплі в точці розділу трьох фаз. Кут її нахилу, який нескладно обчислити, знаючи рівняння для p і q , є додатковим до шуканого кута θ .

В експерименті розмір крапель рідини визначався внутрішнім діаметром каналу крапельниці. У нашому випадку він становив 0,53 мм (при зовнішньому діаметрі голки 0,8 мм). Маса крапель дистильованої води, які утворювала крапельниця, вимірювалися на аналітичних вагах. Використана голка формувала краплі зі 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 був замінений на оптичну систему, складену за принципом мікроскопа. Поле зору кадру становило близько 9 мм, масштаб зображення визначався за допомогою об'єкт-мікрометра і дорівнював 5,75 мкм/піксель. Два світлодіодні освітлювачі з регулюванням яскравості дозволяли комбінувати косе відбите та пропущене освітлення для встановлення оптимального контрасту зображення на межах розділу фаз. При роботі із зразками, що вбирають воду, камера переключалася в режим відеозйомки з роздільною здатністю 800×600 пікселів і кадровим інтервалом 100 мс.

Отримане камерою зображення зберігалось на комп'ютері і аналізувалося за допомогою графічного редактора. У графічному редакторі підбирали еліпс, який задовільно збігався з контуром краплі, після чого зчитували розміри його півосей, координати центру та координати точок розділу трьох фаз, а потім описаним вище методом обчислювали крайовий кут змочування.

На рисунку 4 показана крапля дистильованої води на поверхні зразка, що не пройшов обробку ґрунтовками. Поверхня зразка гідрофільна, про що свідчить крайовий кут змочування, менший за 90°. Вода розтікається та вбирається гіпсовим в'язучим: на рисунку показана крапля через різні проміжки часу, що пройшли від моменту контакту.

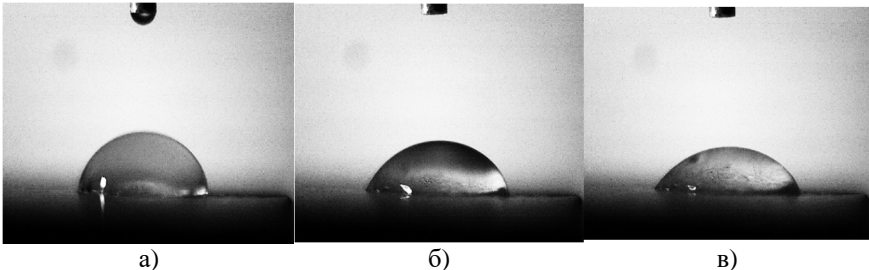


Рис. 4. Крапля води на поверхні необробленого зразка після певного часу від початку контакту: а) 0.4 с ($\theta = 83^\circ$); б) 2.0 с ($\theta = 72^\circ$); в) 5.0 с ($\theta = 62^\circ$)

Поверхні, що вбирають воду, можна характеризувати, окрім крайового кута змочування, також швидкістю вбирання через одиничну контактну поверхню. Швидкість вбирання можна оцінити за зменшенням об'єму краплі з часом, якщо швидкістю випаровування можна знехтувати, що допустимо при високій швидкості вбирання.

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

$$V = \pi a^2 \left(h - \frac{b}{3} + \frac{(b-h)^3}{3b^2} \right) \quad (5)$$

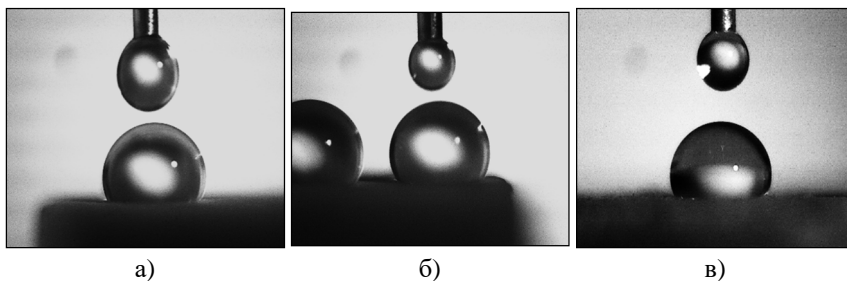


Рис. 5. Крапля води на поверхні зразків, оброблених ґрунтовками:

а) ПГК-12С; б) ПГК-24; в) ПГК-W

Досліди показали, що швидкість вбирання краплі в зразки можна вважати високою, оскільки 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° , при цьому об'єм краплі залишається незмінним у межах похибки, отже, спостерігається лише розтікання краплі. Початок вбирання фіксується з 3-ї секунди. Максимальна швидкість вбирання припадає на 5-6-ту секунду і становить $0,017 \text{ г}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Загальний час вбирання краплі варіювався в діапазоні 12-30 с при середній контактній площі $0,15 \text{ см}^2$.

На рисунку 5 показані краплі дистильованої води на поверхні зразків, оброблених ґрунтовками.

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

Таблиця 1.

Крайові кути змочування для випробуваних ґрунтовок		
ПГК-12С	ПГК-24	ПГК-W
$129 \pm 7^\circ$	$130 \pm 5^\circ$	$121 \pm 4^\circ$

Ґрунтовки ПГК-12С та ПГК-24 демонструють однакову ефективність щодо гідрофобізації поверхні: крайові кути змочування на оброблених ними поверхнях з урахуванням зазначеної похибки можна вважати співпадаючими. Трохи гірший результат дає ґрунтовка ПГК-W.

Висновки. Аналіз результатів дослідження дозволяє зробити висновок, що запропонований склад поліфункціонального модифікатора дозволяє отримати водостійке модифіковане композиційне гіпсове в'язуче з коефіцієнтом розм'якшення $K_r \geq 0,9$ на гіпсі марки Г-5, а не на гіпсі марки Г-10, який застосовується для арболітобетону.

Показано, що комплексна модифікація композиційного гіпсового в'язучого на гіпсі марки Г-5 і портландцементі ПЦ 500-Д0 полімінеральними мікропуцолановими та мікроармувальними добавками-наповнювачами й суперпластифікатором Sika у оптимальних співвідношеннях дозволяє отримати композиційне гіпсове в'язуче з коефіцієнтом розм'якшення 0,9. Тобто величина питомої поверхні мікроармувальної добавки волластоніту, виконуючи роль модифікатора структури, є ефективним фактором, який дозволяє регулювати властивості композиційних сумішей у широких межах і має призначатися з урахуванням вмісту мікронаповнювачів.

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

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

2. Shinkevich E.S., Linnik D.S., Ysypchuk V.I. Improvement of Arbolit Concrete Bio-Resistance with Additives by Nanomodifiers. *Materials Science Forum*. 2019. vol. 968. pp. 76-81. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.968.76>

3. Derevianko V.N., Kondratieva N.V., Hryshko H.M. Study of impact factors and the mechanism of process of gypsum binder hydration in the presence of nanomodifiers. *Journal of Chemistry*. 2018. 6(1). pp. 92-100. <https://doi.org/10.17721/fujcV6I1P92-100>

4. Derevianko V.N., Kondratieva N.V., Hryshko H.M., Sanitskiy M.A., Modelling the Mechanism of Mineral Binders Hydration Processes in a Macro-Micro-Nanosystem. *Nanosystems, nanomaterials, nanotechnologies*. 2020. no.18. pp. 107-124.

5. Винниченко В.І., Супряга Н.Н. Переработка фосфогипса в полугидрат сульфата кальция. Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ" : зб. наук. пр. Сер. : Хімія, хімічна технологія та екологія. Харків : НТУ "ХПІ", 2016. № 35 (1207). С. 37-41.

Vynnychenko V.Y., Supriaha N.N. Pererabotka fosfohipsya v poluhidrat sulfata kaltsyia. *Visnyk Nats. tekhn. un-tu "KhPI" : zb. nauk. pr. Ser. : Khimiiia, khimichna tekhnolohiia ta ekolohiia*. Kharkiv : NTU "KhPI", 2016. № 35 (1207). S. 37-41.

6. Вінніченко В. Вплив фосфогіпсу на активність шлакового в'язучого. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. № 171. С. 30-37.

Vinnichenko V. Vplyv fosfohipsya na aktyvnist shlakovoho v'iazhuchoho. *Zbirnyk naukovykh prats Ukrainskoho derzhavnogo universytetu zaliznychnoho transportu*. 2017. № 171. С. 30-37.

7. Nedoseko I.V., Vinnichenko V.I., Ryazanov A.N. Heat engineering problems of phosphogypsum utilization during its processing into construction gypsum. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2020. Vol. 775. 012119. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/775/1/012119>.

8. Крот О.П., Вінниченко В.І., Ровенський О.І. Термічна обробка фосфогіпсу з використанням енергії спалювання ППВ. *Вісник ПДАБА*. 2017. № 6. С. 110-117.

9. Varvara Vinnichenko, Alexander Ryazanov. Energy Efficiency of Binder Application in Concrete. *International Journal of Engineering Technology*. 2018. Vol 7. No 4.3. pp. 335-338.

10. Olga Krot, Varvara Vinnichenko. The Use of Heat From the Incineration of Municipal Solid Waste for Processing of Phosphogypsum. *International Journal of Engineering Technology*. 2018. Vol 7, No 4.3.

Відомості про статтю:		Article information	
Отримано	16.03.2026	Received	16.03.2026
Отримано у доопрацьованому вигляді	19.03.2026	Received in revised form	19.03.2026
Прийнято	15.04.2026	Accepted	15.04.2026
Опубліковано	31.05.2026	Published	31.05.2026

Політика відкритого доступу

Політика відкритого доступу збірника передбачає безкоштовний та безперешкодний доступ до наукових матеріалів. Усі дані доступні в цифровій або графічній формі в основному тексті статті.

Open access policy

The open access policy of the collection provides free and unhindered access to scientific materials. All data is available in digital or graphical form in the main text of the article.

Конфлікти інтересів

Автори заявляють, що у них немає конфлікту інтересів щодо поточного дослідження, включаючи фінансовий, особистий, авторський чи будь-який інший, який міг би вплинути на дослідження, а також на результати, наведені в цьому документі.

Conflicts of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest regarding the current study, including financial, personal, authorial or any other that could be included in the study, as well as the results presented in this document.

Використання штучного інтелекту

Автори підтверджують, що при створенні поточної роботи вони не використовували технології штучного інтелекту.

Use of Artificial Intelligence

The authors confirm that they did not use artificial intelligence technologies in the creation of the current work.