

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

Єфіменко Артем Сергійович



УДК 666.91:691.311 (043.3)

**ПІДВИЩЕННЯ ВОДОСТІЙКОСТІ ГІПСОВИХ МАТЕРІАЛІВ
ПОЛІФРАКЦІЙНИМИ МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Українському державному університеті залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор
Плугін Андрій Аркадійович,
Український державний університет
залізничного транспорту,
завідувач кафедри залізничної колії
і транспортних споруд

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, доцент
Шпирько Микола Васильович,
ДВНЗ «Придніпровська державна акаде-
мія будівництва та архітектури»,
завідувач кафедри технології будівельних
матеріалів, виробів і конструкцій

кандидат технічних наук
Беліченко Олена Анатоліївна,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
старший науковий співробітник
кафедри технології дорожньо-
будівельних матеріалів і хімії

Захист дисертації відбудеться «29» квітня 2021 р. о 12:00 на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7 та на сайті <http://kart.edu.ua>

Автореферат розісланий «26» березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобяк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Основою сучасного будівництва є в'язучі речовини, одними з яких є гіпсові в'язучі. На їх основі виготовляють високоефективні екологічні матеріали, які характеризуються достатньою міцністю, невеликими густиною, тепло- та звукопровідністю, високою довговічністю. Їм легко надавати будь-які архітектурну форму та колір. Гіпсові матеріали неспалимі, сприяють підтриманню комфортного мікроклімату в приміщеннях через хороші показники паро- та повітропроникності, здатності вбирати надлишок вологи з повітря та віддавати її у разі зниження вологості. Завдяки цим перевагам гіпсові матеріали широко використовуються в будівництві, проте певні недоліки стримують їх більш широке застосування. Основним недоліком гіпсових матеріалів є недостатня водостійкість, яка полягає у суттєвій втраті міцності у разі зволоження. Тому галузь застосування гіпсу обмежена вузькими границями умов експлуатації – приміщеннями з сухим і нормальним режимом. Підвищення водостійкості гіпсових матеріалів дозволяє значно розширювати галузь їх застосування.

Низьку водостійкість гіпсових матеріалів в основному пояснюють розчинністю двогідрату сульфату кальцію, а також розклинювальними силами, створюваними водою, що всочується в пори. На сьогодні відомо багато способів підвищення водостійкості гіпсу, наприклад, додаванням гідравлічних в'язучих та/або більш дешевих мінеральних добавок, проте вони, як правило, не забезпечують підвищення водостійкості більше, ніж до 0,8. Крім того, відомі пояснення механізму підвищення водостійкості не враховують електроповерхневих взаємодій в тверднучому гіпсі як водно-дисперсійній системі а, отже, за думкою автора, не є вичерпними.

Виходячи з викладеного, підвищення водостійкості гіпсу мінеральними добавками є актуальним практичним, а розвиток уявлень про механізм цього підвищення з урахуванням електроповерхневих властивостей і взаємодій – актуальним науковим завданням.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження виконані на кафедрі будівельних матеріалів, конструкцій та споруд Українського державного університету залізничного транспорту у складі держбюджетних науково-дослідних робіт Міністерства освіти і науки України ДР№0115U000279 «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними характеристиками. Фізико-хімічні та колоїдно-хімічні основи водостійкості та корозійної стійкості композиційних силікатних матеріалів» і ДР№ 0119U100295 «Теоретичні та експериментальні основи визначення, прогнозування та забезпечення несучої здатності та довговічності транспортних споруд в умовах агресивних впливів».

Мета дослідження – підвищення водостійкості гіпсу поліфракційними мінеральними добавками до величин понад 0,8.

Наукова гіпотеза: Водостійкість гіпсу може бути підвищена шляхом введення двох фракцій мінеральних добавок-наповнювачів різних за дисперсністю і знаком поверхневого заряду. В структурі штучного каменю частинки

наповнювачів мають утворювати з кристалами гіпсу-двогідрату електрогетерогенні контакти: частинки з негативним зарядом – з подовжніми гранями кристалів, а частинки з позитивним зарядом – з торцевими гранями.

Завдання досліджень:

- виконати аналіз електроповерхневих властивостей гіпсу та мінеральних добавок, проаналізувати можливість утворення електрогетерогенних контактів між кристалами гіпсу і частинками мінеральних добавок, здійснити моделювання структури штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками, яка забезпечить його максимальну водостійкість, розкрити механізм їх впливу на структуроутворення і водостійкість;
- виконати електронно-мікроскопічні дослідження штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками і порівняти їх результати з моделями структури;
- експериментально дослідити залежність водостійкості та вологісних деформацій штучного гіпсового каменю від мінеральної добавки однієї фракції (шлаку);
- експериментально дослідити залежність водостійкості та співвідношення між міцністю на розтяг та міцністю на стиск штучного гіпсового каменю від мінеральної добавки двох різних фракцій (шлаку і нанодисперсної мінеральної добавки);
- розробити склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та матеріалів на його основі та технологію їх виготовлення, виконати їх дослідно-промислове впровадження і впровадження у навчальний процес.

Об'єкт дослідження – водостійкість і фізико-механічні властивості штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками та їх залежності від складу.

Предмет дослідження – гіпс з мінеральними добавками: наповнювача – шлаку доменного гранульованого меленого та нанодисперсних наповнювачів – нанодисперсного глинозему та мікрокремнезему.

Методи досліджень. Знак електричного поверхневого заряду кристалів гіпсу та частинок мінеральних добавок визначали розрахунком абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів. Можливість хімічної взаємодії гіпсу з мінеральними добавками оцінювали шляхом термодинамічного аналізу. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками визначали випробуванням зразків-призм. Водостійкість оцінювали коефіцієнтом розм'якшення, вологісну деформацію – відносною лінійною деформацією зразків під час водонасичення. Структуру штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками визначали за допомогою світлової просвічувальної та скануючої електронної мікроскопії.

Достовірність отриманих результатів забезпечена обранням апробованих незалежних теоретичних та експериментальних методів досліджень: розрахунку абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів, термодинамічного аналізу, фізико-механічних випробувань, у т.ч. з визначенням водостійкості, вимірювання вологісних деформацій, світлової просвічувальної та скануючої електронної мікроскопії, їх достатньою статистичною забезпеченістю, а також узгодженістю результатів між собою та з результатами теоретичних досліджень.

Обґрунтованість результатів досліджень забезпечена застосуванням в теоретичних дослідженнях фундаментальних положень і закономірностей фізичної та колоїдної хімії, фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів, хімічної термодинаміки.

Наукова новизна одержаних результатів

- вперше встановлено, що у штучному гіпсовому каменю водостійкі електрогетерогенні контакти утворюються: між позитивно зарядженими подовжніми та негативно зарядженими торцевими гранями кристалів гіпсу-двогідрату; між подовжніми гранями кристалів і частинками мінеральних добавок-наповнювачів з негативним поверхневим зарядом (шлаку, мікрокремнезему); між торцевими гранями кристалів та частинками нанодисперсних мінеральних добавок з позитивним поверхневим зарядом (нанодисперсного глинозему);
- набули подальшого розвитку уявлення про електроповерхневі властивості гіпсу та мінеральних добавок, зокрема, встановлені потенціалвизначальні іони, які обумовлюють поверхневі заряди граней кристалів гіпсу-двогідрату;
- набули подальшого розвитку уявлення про структуру і властивості штучного гіпсового каменю з поліфракційними мінеральними добавками: гіпс з мінеральною добавкою-наповнювачем набуває структуру композиційного матеріалу, в якому матрицею є гіпс-двогідрат, структурований мікро- або наночастинками, з максимальною кількістю електрогетерогенних контактів, які забезпечують водостійкість штучного каменю.

Практична значущість одержаних результатів полягає у створенні теоретичних та експериментальних основ підвищення водостійкості гіпсових матеріалів та підтверджується: розробкою складів гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості для виготовлення сухих сумішей штукатурки, шпаклівки, монтажного клею, вирівнювання підлоги для приміщень з підвищеною вологістю; подачею заявок на видачу патентів на винахід та корисні моделі; розрахунковим економічним ефектом від впровадження 1796 грн. за 1 т сухої будівельної суміші; використанням результатів досліджень у навчальному процесі УкрДУЗТ під час підготовки бакалаврів і докторів філософії за спеціальностями 192 Будівництво та цивільна інженерія і 273 Залізничний транспорт.

Особистий внесок здобувача. Основні теоретичні та експериментальні дослідження виконані автором особисто, зокрема, самостійно виконано аналітичний огляд літератури з тематики досліджень, визначення електроповерхневих властивостей, термодинамічні розрахунки, фізико-механічні випробування, визначення гідрофізичних властивостей, світлова мікроскопія, підготування зразків та аналіз результатів скануючої електронної мікроскопії, обробка та побудова експериментальних залежностей. Постановлення завдань досліджень, формулювання наукової гіпотези та нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником, впровадження результатів досліджень – спільно із співавторами публікацій.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційного дослідження доповідались на: 3-й гіпсовій конференції «3 Weimarer Gipstagung», 2017, Веймар, Німеччина; 20-й Міжнародній конференції з будівельних матеріалів

«20'bausil», 2017, Веймар, Німеччина; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті», 2017, Харків; Міжнародній науково-технічній конференції «Енергоефективність на транспорті», м. Харків, 2020. У повному обсязі робота доповідалась на міжвузівському семінарі в УкрДУЗТ 04.02.2021.

Публікації.

Основні наукові результати дисертаційної роботи опубліковано у 11 наукових працях, з яких 1 стаття у виданні, що індексується НМБД Scopus, 3 статті у виданнях, що входять до переліку фахових видань України, 4 праці апробаційного характеру, 3 додаткові публікації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, 5 розділів, основних висновків, списку використаних джерел із 134 найменувань на 14 сторінках, містить 102 сторінки основного тексту, 38 рисунків, 14 таблиць, 5 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, наведено наукову гіпотезу, новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено відомості про апробацію та опублікування результатів досліджень, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі виконано критичний огляд літературних джерел з гіпсової тематики. П.П.Будніковим, А.В.Волженським, Г.В.Ферронською, А.П.Меркіним, Н.-В.Fisher, М.Singh, О.Ф.Бурьяновим, О.В.Кондращенко, В.І.Винниченко, Г.А.Жигло та іншими дослідниками доведено, що властивості гіпсових матеріалів визначаються їх складом, технологією отримання, процесами твердіння, структурою. Продуктом гідратації гіпсу є двогідрат сульфату кальцію, а основним недоліком – недостатня водостійкість, що обмежує його застосування конструкціями, експлуатованими в сухих умовах. Показник водостійкості – коефіцієнт розм'якшення K_p немодифікованого гіпсу не перевищує 0,4. Низьку водостійкість гіпсу традиційно пояснюють розчинністю двогідрату сульфату кальцію 2,04 г/л, а також розклинювальними силами, створюваними в контактах між його окремими кристалами водою, що всочується в пори.

Л.Й.Дворкіним, М.А.Саницьким, В.М.Деревянком, Ю.Г.Гасаном, О.В.Безусяком, Г.І.Яковлевим, В.В.Строковою, К.А.Рапіною, Є.М.Червенком та ін. запропоновані різні способи підвищення водостійкості гіпсу: зниження водогіпсового відношення, сполучення з гідравлічними в'язучими, введення активних мінеральних добавок, що надають гідравлічні властивості та утворюють нерозчинні сполуки, просочення та гідрофобізація поверхонь виробів, введення полімерних добавок, фібри, добавок-мікронаповнювачів, що ущільнюють структуру гіпсового каменю. Ці способи забезпечують підвищення K_p до 0,6–0,8.

Є.Д.Щукіним, В.І.Соломатовим, В.М.Вировим, Р.Ф.Руновою, О.Г.Ольгінським, С.М.Толмачовим, М.В. Шпирьком та ін. показано, що шляхом створення умов для збільшення кількості контактів між частинками дисперсної фази можливо суттєво покращити фізико-механічні властивості композиційних матеріалів на основі мінеральних в'язучих. А.М.Плугіним, В.І.Бабушкіним, А.А.Плугіним,

Л.В.Трикоз, Т.А.Костюк, Ю.М.Данченко та ін. показано, що властивості тверднучих в'язучих як дисперсних систем визначаються електроповерхневими властивостями дисперсної фази та електроповерхневими взаємодіями між її частинками. В роботах наукової школи А.М.Плугіна недостатню водостійкість гіпсу пояснено тим, що у його структурі між кристалами утворюються тільки електрогетерогенні контакти. Підвищення водостійкості може бути досягнуто уведенням мінеральних добавок-наповнювачів, що утворюють з кристалами гіпсу-двогідрату електрогетерогенні контакти. Висунуто припущення, що грані кристалів гіпсу можуть мати різнойменні електричні поверхневі заряди. Підтвердженнями такого припущення є помічена Н.-В.Fisher зі співр. відмінність розчинності різних граней кристалів гіпсу-двогідрату, а також відома схильність кристалів гіпсу-двогідрату до утворення дендритів, сферолітів (рис. 1).

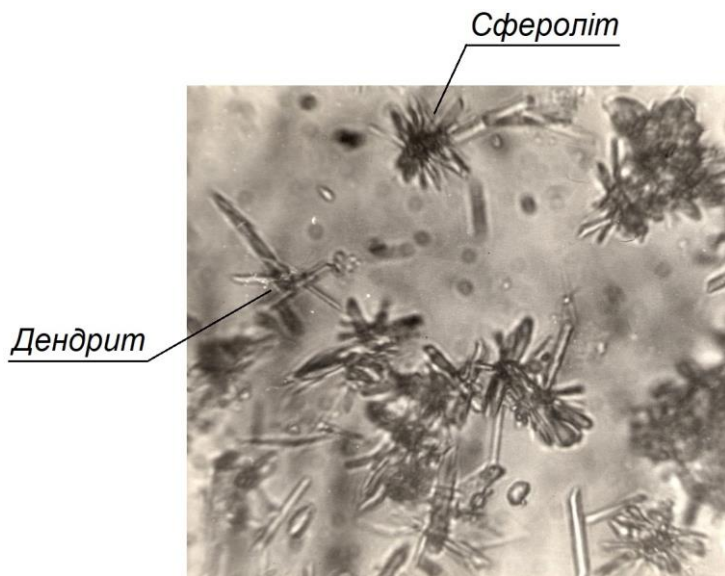


Рис. 1. Агрегати кристалів гіпсу-двогідрату $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ у вигляді дендритів і сферолітів через 20 хвилин гідратації гіпсу-півгідрату у водному препараті; світловий мікроскоп, $\times 225$

А.А.Плугіним та ін. було помічено, що водостійкість гіпсу з мінеральними добавками-наповнювачами залежить від товщини та щільності прошарків гіпсу-двогідрату між їх частинками, та показано, що фактична товщина прошарків пов'язана зі структурною характеристикою гіпсового композиту – коефіцієнтом розсунення частинок наповнювача гіпсом-двогідратом η :

$$\eta = \frac{V_{\text{ГТ}}}{V_{\text{Н}}^{\text{п}}} = \frac{\Gamma/\rho_{\text{Г}} + \text{В}/\rho_{\text{В}}}{\Pi_{\text{ш}} \cdot \text{Н}/\rho_{\text{Н}}^{\text{н}}}, \quad (1)$$

де $V_{\text{ГТ}}$, $V_{\text{Н}}^{\text{п}}$ – об'єм, відповідно, гіпсового тіста і пустот у мінеральному наповнювачі в ущільненому стані, м^3 ; Γ , В , Н – витрата, відповідно, гіпсу-півгідрату, води та мінерального наповнювача на одиницю об'єму штучного каменю, кг на 1м^3 ; $\rho_{\text{Г}}$, $\rho_{\text{В}}$, $\rho_{\text{Н}}^{\text{н}}$ – істинна густина гіпсу-півгідрату, густина води, середня густина наповнювача в ущільненому стані, відповідно, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Залежність його міцності та, особливо, водостійкості від η має хвилеподібний або екстремальний характер з максимумами, що відповідають оптимальним величинам $\eta_{\text{опт}}$:

$$\eta_{\text{опт}} = 2,1 \cdot (1 + \delta_{\text{Г}} / d_{\text{Н}})^3 - 1,1, \quad (2)$$

де $\delta_{\text{Г}}$ – товщина прошарків, за якої утворюються найбільш щільні упаковки кри-

сталів гіпсу-двогідрату; d_n – середній розмір частинок мінерального наповнювача.

У другому розділі наведені характеристики основних матеріалів і методів досліджень. Для експериментальних досліджень застосовували гіпс будівельний (β -півгідрат) марок Г-4 і Г-7, шлак доменний гранульований мелений «Запоріжсталь» і «Азовсталь», мікрокремнезем з вмістом частинок розміром менше 5000 нм 25 %, нанодисперсний глинозем з розміром частинок 50–80 нм, пластифікуючі добавки – лігносульфонат натрію та сульфонафталінформальдегід.

Знак електричного поверхневого заряду кристалів гіпсу та частинок мінеральних добавок визначали розрахунком абсолютних і рівноважних електроповерхневих потенціалів. Можливість хімічної взаємодії гіпсу з мінеральними добавками оцінювали термодинамічним аналізом. Гідратацію гіпсу досліджували у водному препараті, мінеральні добавки – в імерсійному препараті за допомогою світлового мікроскопа МБИ-6 ЛОМО (СРСР) та скануючого електронного мікроскопа JEOL JSM-840 (Японія). Структуру штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками досліджено на відколах за допомогою скануючого електронного мікроскопа Philips XL 30 ESEM-FEG (Нідерланди) в інституті будівельних матеріалів ім. Ф.А.Фінгера Веймарського архітектурно-будівельного університету (Німеччина). Фізико-механічні та гідрофізичні властивості штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками визначали випробуванням зразків-призм розміром 160×40×40 мм і 40×10×10 мм. Водостійкість оцінювали коефіцієнтом розм'якшення K_p , вологісну деформацію (набухання) – відносною лінійною деформацією зразків ε_w під час водонасичення.

У третьому розділі здійснено експериментально-теоретичне обґрунтування структури водостійкого гіпсового каменю з поліфракційними мінеральними добавками. Визначені за стехіометричним складом сполук і за $pH=7$ рівноважні електроповерхневі потенціали ψ_p склали: шлаку $0,465CaO \cdot 0,059MgO \cdot 0,365SiO_2 \cdot 0,067Al_2O_3 \cdot 0,051Fe_2O_3$ – (–0,3 В), мікрокремнезему SiO_2 – (–0,96) В. Для гіпсу-двогідрату електроповерхневі потенціали визначено окремо для подовжніх і торцевих граней. Із схеми кристалічної будови гіпсу-двогідрату $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ (рис. 2, а) видно, що атоми сірки містяться всередині тетраєдрів SO_4 та екрануються атомами кисню. На поверхню подовжніх граней виходять складові ґратки, що містять тільки атоми кальцію та кисню, найпростішим елементом яких можна вважати $O-Ca_2-O$. Аналогічно на поверхню торцевих граней виходять складові ґратки, що містять тільки атоми кальцію та кисню, найпростішим елементом яких можна вважати O_2-Ca-O_2 . Абсолютний ψ^0 і рівноважний ψ^p електроповерхневі потенціали бічних граней складуть:

$$\psi_{O_2-Ca-O_2}^0 = -\frac{\psi_{Ca}^0 + 4\psi_O^0}{1+4} = -\frac{-4,2 + 4 \cdot 1,44}{5} = 1,39В; \quad (3)$$

$$\psi_{O-Ca_2-O}^p = \psi_{O-Ca_2-O}^0 - 0,059pH = 1,39 - 0,059 \cdot 7 = 0,98В, \quad (4)$$

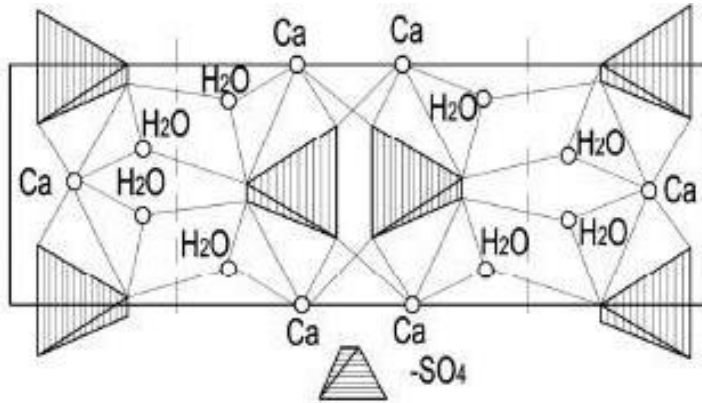
а торцевих граней –

$$\psi_{\text{O-Ca}_2\text{-O}}^0 = -\frac{2\psi_{\text{Ca}}^0 + \psi_{\text{O}}^0}{2+1} = -\frac{-2 \cdot 4,2 + 1,44}{3} = -0,31\text{В}; \quad (5)$$

$$\psi_{\text{O}_2\text{-Ca-O}_2}^p = \psi_{\text{O}_2\text{-Ca-O}_2}^0 - 0,059\text{pH} = -0,31 - 0,059 \cdot 7 = -0,72\text{В}, \quad (5)$$

де ψ_{Ca}^0 і ψ_{O}^0 – абсолютні електроповерхневі потенціали кальцію та кисню, відповідно, $-4,20$ В і $1,44$ В.

а)



б)

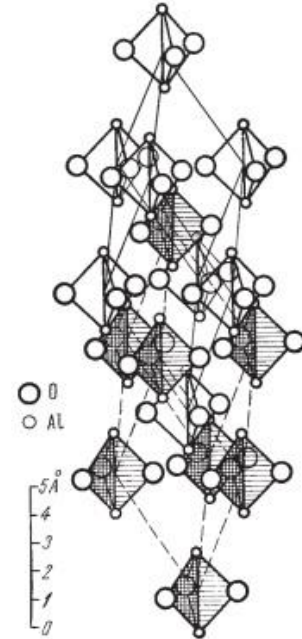


Рис. 2. Схема кристалічної будови за А.Г.Бетехтіним:

a – гіпсу-двогідрату; *б* – глинозему

Аналіз кристалічної структури глиноземів (рис. 2, б) показав, що вони складаються із груп Al_2O_3 , які завжди звернуті до зовнішньої грані кристалу двома атомами алюмінію і двома атомами кисню. Третій атом кисню завжди екранований, тому для розрахунку електроповерхневого потенціалу доцільно прийняти склад поверхні як Al_2O_2 . Рівноважний електроповерхневий потенціал глинозему, визначений за формулами, аналогічними (1–4), склав $\psi^p = 0,36$ В.

Отже, у поровій волозі з $\text{pH} = 7$ знак поверхневого заряду подовжніх граней кристалів гіпсу-двогідрату формується потенціалвизначальними іонами ПВІ Ca^{2+} і є позитивним, торцевих граней – ПВІ SO_4^{2-} та OH^- і є негативним. Знак поверхневого заряду шлаку та мікрокремнезему формується ПВІ SiO_4^{4-} та OH^- і є негативним, а Al_2O_3 – ПВІ Al^{3+} і є позитивним.

Виходячи з цього у структурі штучного каменю контакти між окремими кристалами гіпсу, що орієнтовані паралельно, є електророгомогенними. В ці контакти через водні прошарки вбудовуються протиіони подвійного електричного шару SO_4^{2-} (рис. 3, а), які через іон-дипольні взаємодії забезпечують високу міцність цих контактів і гіпсового каменю в сухому стані. Проте внаслідок водонасичення за рахунок розбавлення протиіонів осмотичним тиском води відбувається розуцільнення електророгомогенних контактів, що і визначає низьку водостійкість гіпсу. Контакти між торцевою і подовжньою гранями кристалів гіпсу-двогідрату є електрогетерогенними (рис. 3, б). Вони є водстійкими навіть за наявності водних прошарків між кристалами. Довільне утворення таких контактів

підтверджується відомою схильністю гіпсу під час гідратації до утворення дендритів (рис. 1), в яких і реалізується електрогетерогенний контакт між подовжніми і поперечними гранями кристалів двогідрату. Проте у звичайному гіпсовому камені таких контактів небагато і вони не впливають на водостійкість гіпсового каменю в цілому.

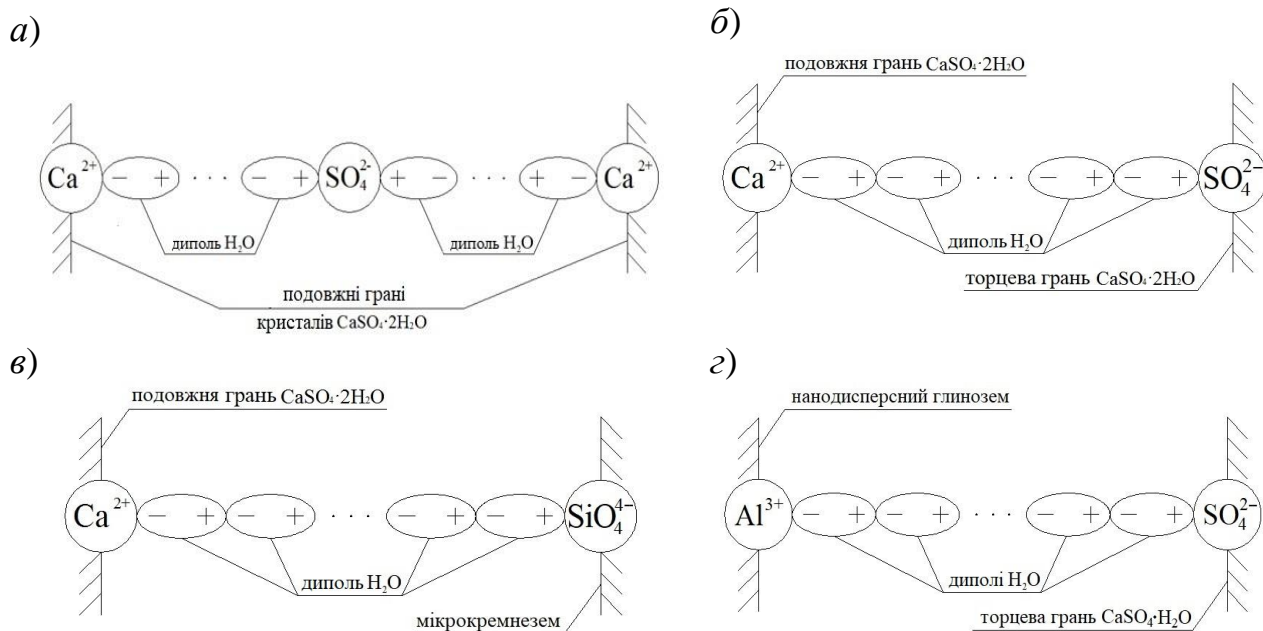


Рис. 3. Схема контактів між потенціалвизначальними іонами в структурі штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками: *a* – електрогетерогенного між подовжніми гранями паралельно орієнтованих кристалів гіпсу-двогідрату; *б–г* – електрогетерогенних: між подовжньою і торцевою гранями нормально орієнтованих кристалів гіпсу-двогідрату (*б*); між подовжньою гранню кристалу гіпсу-двогідрату і поверхнею частинок шлаку (мікроркремнезему, *в*); між торцевою гранню кристалу гіпсу-двогідрату і поверхнею частинок нанодисперсного глинозему (*г*)

Електрогетерогенні контакти між частинками доменного гранульованого шлаку (мікроркремнезему) та гіпсом-двогідратом (рис. 3, *в*) утворюються через подовжні грані кристалів гіпсу, а між частинками нанодисперсного глинозему та гіпсом-двогідратом (рис. 3, *г*) – через торцеві грані кристалів гіпсу. Останні характерні для сферолітів (рис. 1), підкладкою для утворення яких є частинки з позитивним поверхневим зарядом. Такі контакти є водостійкими навіть за наявності водних прошарків у них. Частинки нанодисперсного глинозему є підкладкою для зростання від них кристалів гіпсу-двогідрату та утворенню щільних сферолітів. Для гіпсу вони є добавкою – кристалічною затравкою за В.Б.Ратіновим.

З урахуванням поверхневих зарядів кристалів гіпсу-двогідрату та частинок мінеральних добавок розроблено схеми структури штучного каменю, які мають забезпечити найкращі показники його водостійкості (рис. 4, 5). Побудову цих схем здійснювали в процесі аналізу результатів оптико-мікроскопічних та електронно-мікроскопічних досліджень.

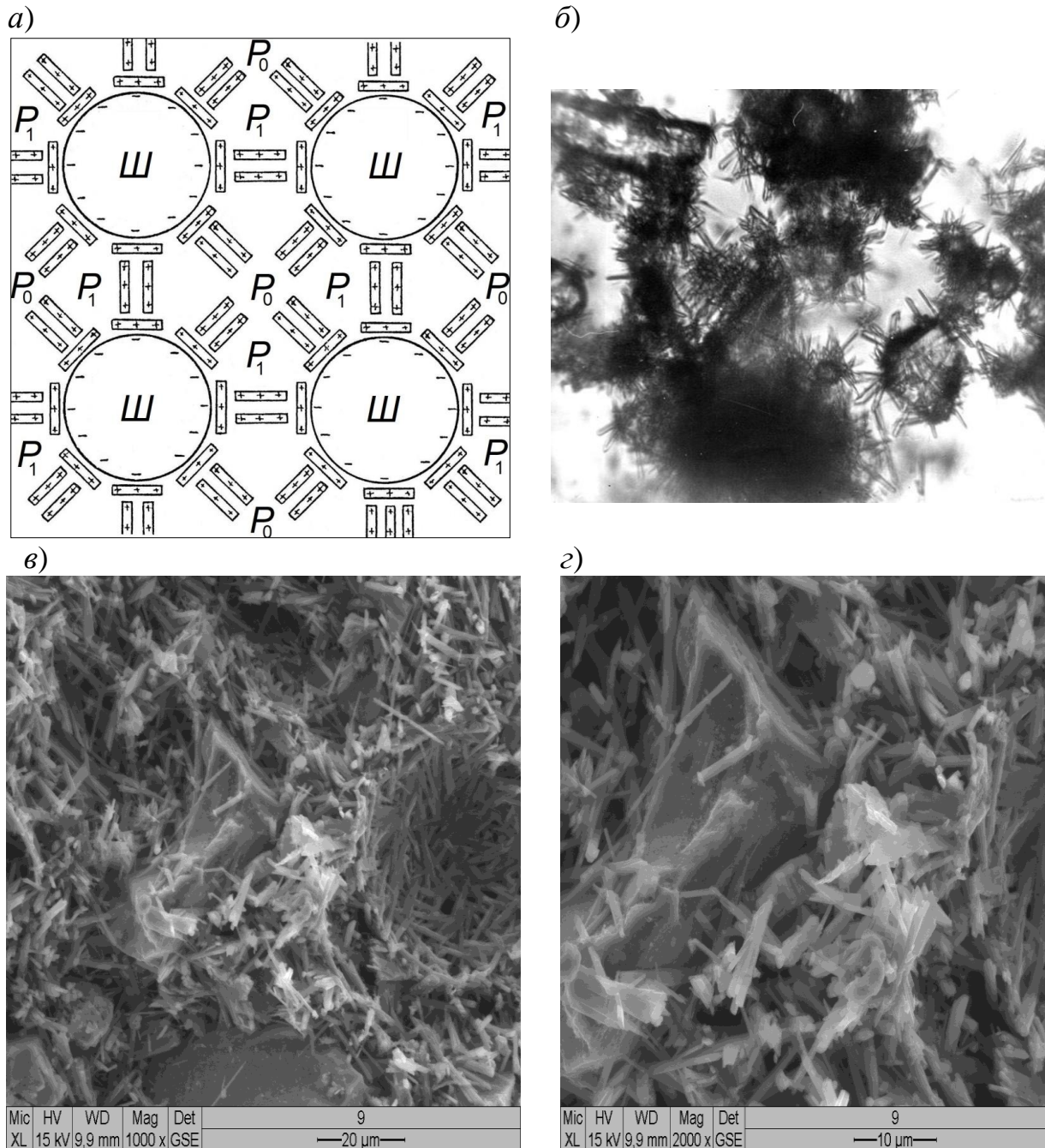


Рис. 4. Гіпсовий камінь з мінеральною добавкою-наповнювачем – доменним гранульованим шлаком Ш: а – умовна схема структури гіпсошлакового каменю; б – мікрофотознімок водного препарату гіпсу-півгідрату з добавкою шлаку через 20 хвилин після замішування водою, $\times 120$; в, г – електронно-мікроскопічні знімки поверхні відколу гіпсо-шлакового каменю, $\text{Ш}/(\Gamma+\text{Ш})=0,4$, $\times 1000$ (в) $\times 2000$ (г)

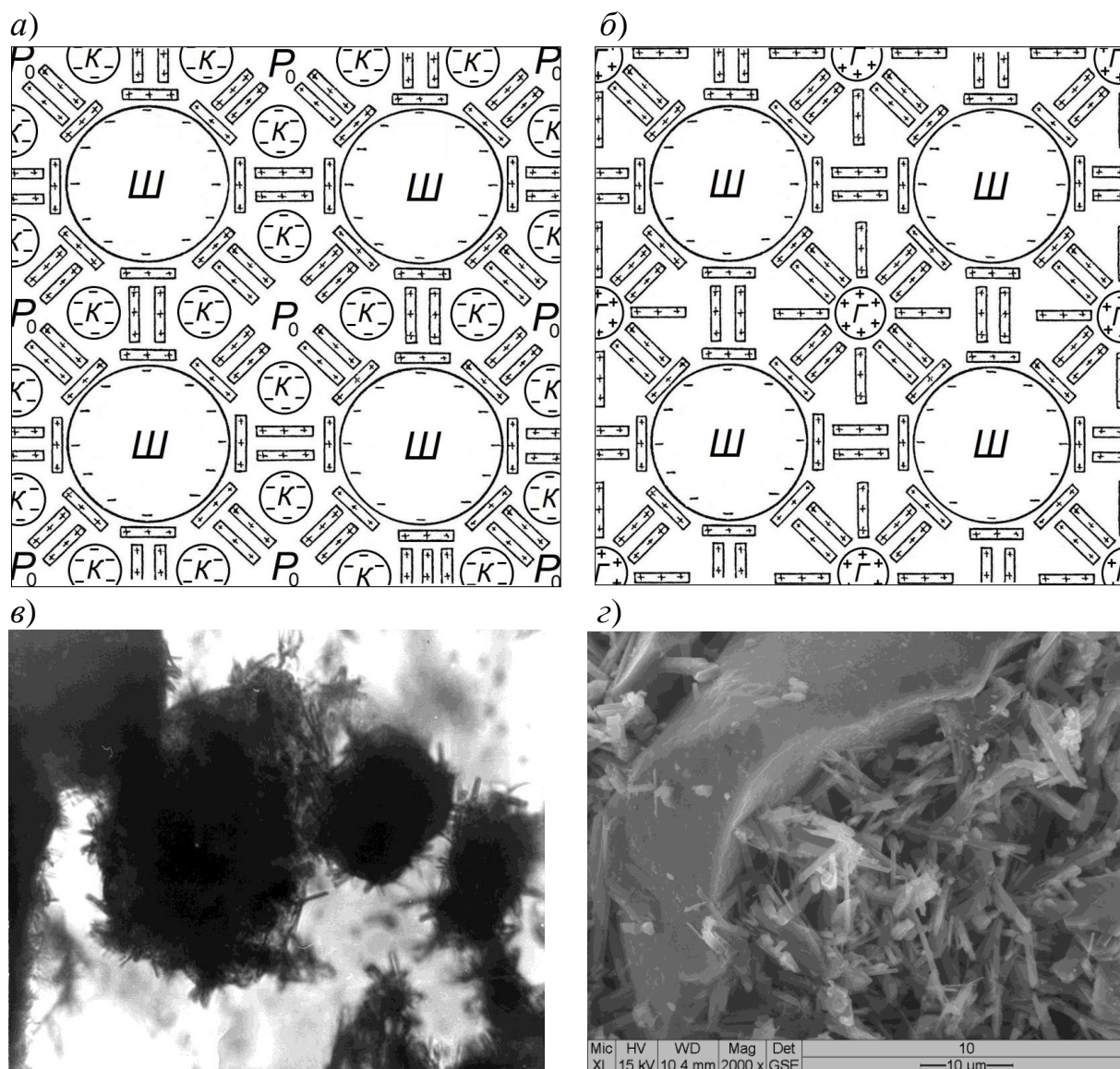


Рис. 5. Гіпсовий камінь мінеральною добавкою-наповнювачем – шлаком доменним гранульованим меленим Ш і нанодисперсними мінеральними добавками – мікрокремнеземом К і нанодисперсним глиноземом Г : $a, б$ – умовна схема структури гіпсошлакового каменю з мікрокремнеземом (a) і нанодисперсним глиноземом ($б$); $в$ – мікрофотознімок водного препарату гіпсу-півгідрату з добавкою шлаку та мікрокремнезему через 20 хвилин після замішування водою, $\times 120$; $г$ – електронно-мікроскопічний знімок поверхні відколу гіпсо-шлакового каменю $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$ з добавкою $\text{МН}/\text{Г}=0,02$ нанодисперсного глинозему, $\times 2000$

Із схеми і знімків рис. 4 видно, що кристали гіпсу-двогідрату прилягають до поверхні частинок наповнювача з негативним поверхневим зарядом позитивно зарядженими подовжніми гранями, утворюючи з ними електрогетерогенні контакти, а вже від них зростають кристали, орієнтовані нормально до поверхні. У випадку застосування тільки однієї фракції наповнювача (рис. 4) в центрі міжзернових пустот між частинками шлаку утворюються пори P_0 (рис. 4, a), доступні для розчинення торців кристалів, а також пори P_1 у шарах між кристалами гіпсу-двогідрату, найбільш доступні для розклинювальної дії води.

Очевидно, що уведення мінерального наповнювача тільки однієї фракції з негативним поверхневим зарядом і формування структури, яка відповідає умовній схемі рис. 4, а, забезпечить помірно підвищення водостійкості.

Додаткове уведення ще однієї більш дрібної фракції мінеральної добавки призведе до заповнення: частинками мікрокремнезему з негативним поверхневим зарядом – пор P_1 (рис. 5, а), частинками нанодисперсного глинозему з позитивним поверхневим зарядом – пор P_0 (рис. 5, б), та в обох випадках до зниження пористості, підвищення водостійкості. Із рис. 5, в видно, що характер контактів кристалів гіпсу-двогідрату з частинками мікрокремнезему такий же самий, як і з частинками шлаку – кристали орієнтовані паралельно поверхні частинок, а вже від них зростають кристали, орієнтовані нормально до поверхні, а на рис. 5, г проглядаються сферолітоподібні утворення, що відповідають схемі рис. 5, б.

Таким чином, для підвищення водостійкості будівельного гіпсу доцільно уведення в нього мінеральних добавок-наповнювачів двох фракцій – наповнювача, що має негативний поверхневий заряд, у сполученні з мікро(нано)наповнювачем, що має негативний або позитивний поверхневий заряд. Наповнювач як структуроутворюючі частинки забезпечує формування структури гіпсового каменю як композиційного матеріалу, а мікронаповнювач забезпечує заповнення міжзернових пустот між структуроутворюючими частинками, у т.ч. щільними агрегатами-сферолітами із кристалів гіпсу-двогідрату. Така структура характеризується максимально можливою кількістю електрогетерогенних контактів, а наповнювач і нанодисперсний наповнювач разом забезпечують максимальний захист кристалів гіпсу-двогідрату від розчинення та розклинювальної дії води.

Виконано термодинамічний аналіз системи гіпс-півгідрат – кремнезем та гіпс-півгідрат – глинозем. У разі наявності в системі гіпсу-півгідрату та мікрокремнезему можливим може здаватися внаслідок вивільнення із гіпсу вапна утворення гідросилікатів кальцію, наприклад, тобермориту. У цьому випадку мають вивільнюватись і сульфат-іони:

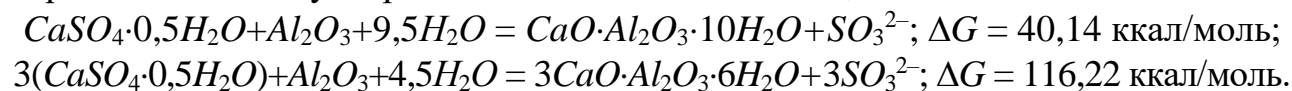


Проте вільна енергія Гіббса ΔG цієї реакції має позитивне значення:

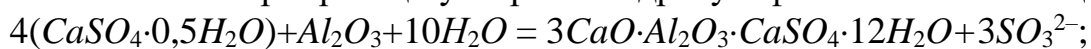
$$\Delta G = -2361,45 + 5 \cdot (-116,3) - 5 \cdot (-343,41) - 6 \cdot (-202,83) - 3 \cdot (-56,687) = +161,14 \text{ ккал/моль,}$$

яке свідчить про її малоймовірність.

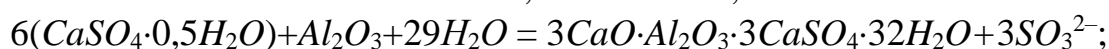
Малоймовірними є також реакції утворення із гіпсу-півгідрату та нанодисперсного глинозему гідроалюмінатів кальцію CAH_{10} , C_3AH_6 :



Також малоймовірні реакції утворення гідросульфаталюмінатів кальцію:

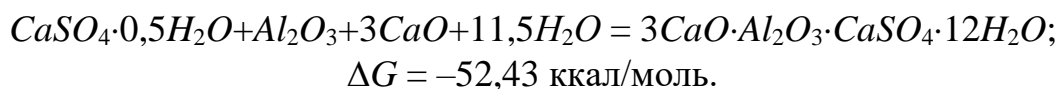


$$\Delta G = 110,67 \text{ ккал/моль;}$$



$$\Delta G = 90,42 \text{ ккал/моль.}$$

Можливим є у разі наявності у доменному гранульованому шлаку вільного вапна утворення гідросульфаталюмінату моносulfатної форми. Сульфат-іон у цьому випадку не утворюється.



Проте, оскільки його кількість не очікується значною, а морфологія подібна гіпсу, істотного впливу на процеси структуроутворення та формування властивостей гіпсового каменю у порівнянні з впливом частинок самого глинозему очікувати не варто.

У четвертому розділі були виконані експериментальні дослідження залежностей фізико-механічних та гідрофізичних властивостей штучного гіпсового каменю від вмісту мінеральних добавок. Найважливіші із отриманих залежностей наведено на рис. 6–8. Із рис. 6 видно, що міцність гіпсошлакового каменю у сухому стані f залежить від відносного вмісту шлаку Ш/(Г+Ш) майже зворотно пропорційно. Залежності міцності у водонасиченому стані f_w та коефіцієнту розм'якшення (водостійкості) K_p від Ш/(Г+Ш) є хвилеподібними з максимумами, положення яких залежать від водотвердого відношення В/(Г+Ш). Для досліджених матеріалів максимальні K_p до 0,6 були забезпечені за Ш/(Г+Ш) 0,4 і 0,6. Це узгоджується з уявленнями про те, що максимальний K_p гіпсу з мінеральними добавками забезпечується у разі утворення найбільш щільних упаковок кристалів гіпсу-двогідрату у прошарках між їх частинками та відповідності коефіцієнту розсунення частинок мінеральної добавки гіпсом η його оптимальній величині $\eta_{\text{опт}}$.

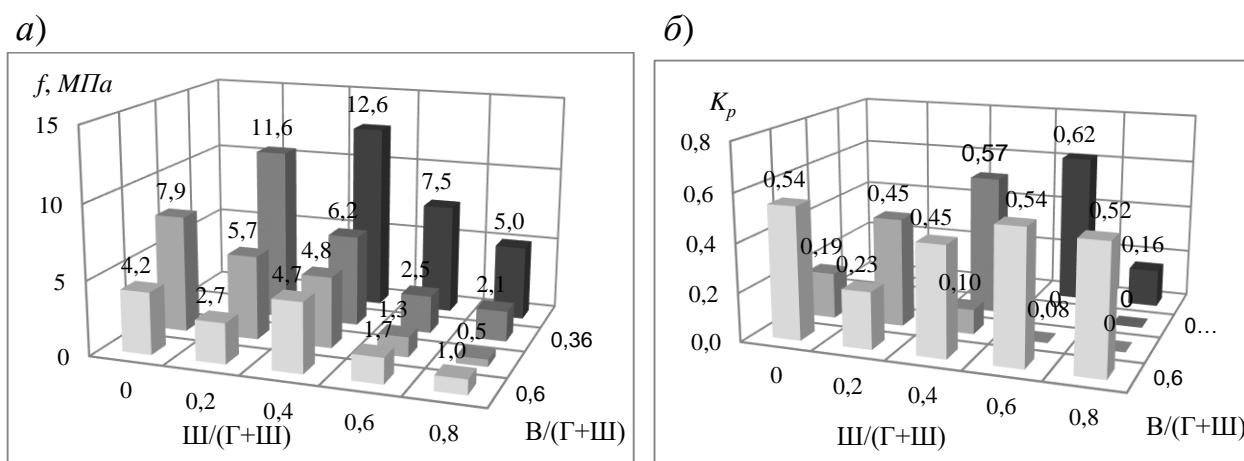


Рис. 6 Залежність міцності на стиск в сухому стані f (а) та коефіцієнту розм'якшення K_p гіпсошлакового каменю від відносного вмісту шлаку Ш/(Г+Ш) та водотвердого відношення В/(Г+Ш)

Із рис. 7 видно, що вологісна деформація гіпсошлакового каменю у разі водонасичення ε_w залежить від Ш/(Г+Ш). Максимальна ε_w понад $1,2 \times 10^{-3}$ м/м відзначена у гіпсового каменю без шлаку. Зі збільшенням Ш/(Г+Ш) ε_w знижується хвилеподібно аналогічно залежності водостійкості. Мінімальні ε_w $0,5 \times 10^{-3}$ м/м та менше відзначені за Ш/(Г+Ш) = 0,05–0,1 та понад 0,27. Це також узгоджується з уявленнями про те, що найкращі гідрофізичні властивості забезпечуються у разі утворення найбільш щільних упаковок кристалів гіпсу-двогідрату у прошарках між частинками шлаку та виконанню умови $\eta = \eta_{\text{опт}}$. Отже, ε_w може бути додатковим показником водостійкості.

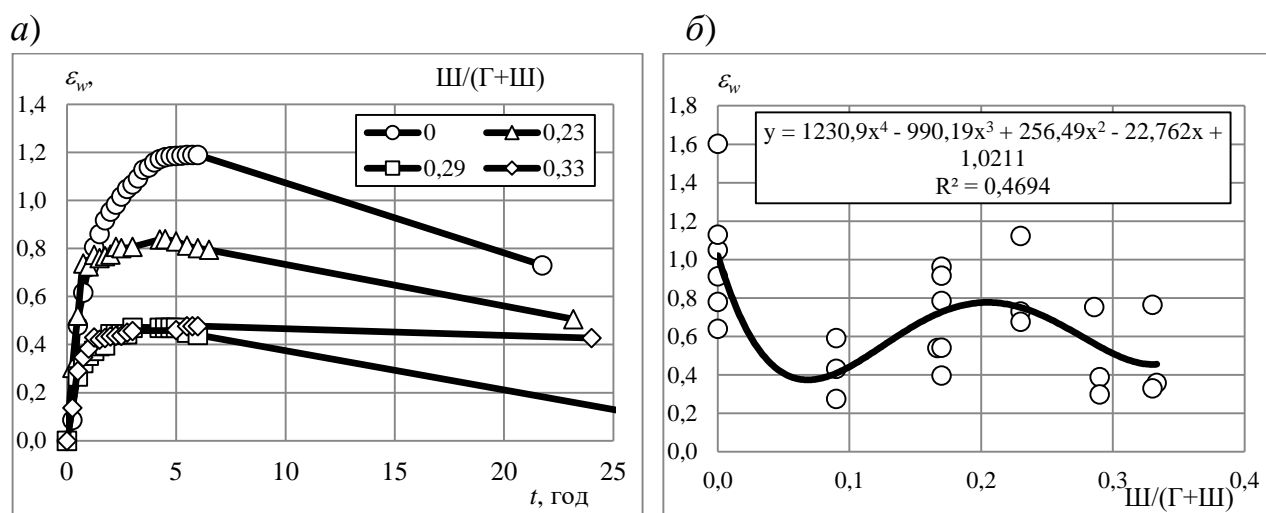


Рис. 7 Залежність від часу t вологісної деформації ε штучного гіпсового каменю з різним відносним вмістом шлаку Ш/(Г+Ш) (а) та максимальної вологісної деформації ε_w штучного гіпсового каменю від відносного вмісту шлаку Ш/(Г+Ш)

Із рис. 8 видно, що у гіпсошлакового каменю з нанодисперсною мінеральною добавкою підвищення її відносного вмісту МН/(Г+Ш) від 0 до 0,03–0,06 не призвело до підвищення f та навіть обумовило її певне зниження, проте забезпечило підвищення K_p до 0,81 (нанодисперсний глинозем) і до 1 (мікрокремнезем). Це підтвердило теоретичні уявлення про те, що уведення нанодисперсних наповнювачів призводить до збільшення кількості електрогетерогенних контактів у структурі штучного каменю за рахунок заповнення міжкристалічних порожнин їх частинками, як показано на рис. 5, а, б.

Досліджено залежність співвідношення між міцністю на розтяг та міцністю на стиск f_t/f гіпсошлакового каменю від відносного вмісту шлаку Ш/(Г+Ш) і нанодисперсного глинозему МН/Г (рис. 9). Встановлено, що ця залежність має хвилеподібний характер з максимумами, положення яких залежать від вмісту шлаку та водотвердого відношення. Це підтверджує уявлення про те, що фізико-механічні та гідрофізичні властивості гіпсошлакового каменю залежать від характеру упаковки кристалів гіпсу-двогідрату між частинкам шлаку та нанодисперсних частинок – між кристалами гіпсу-двогідрату.

У п'ятому розділі наведено результати розробки і впровадження складу гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, коефіцієнт розм'якшення якого перевищує 0,8. В'язуче містить гіпс-півгідрат, шлак доменний гранульований мелений, нанодисперсну мінеральну добавку нанодисперсного глинозему або мікрокремнезему з вмістом частинок розміром менше ніж 5 мкм не менше ніж 20 %, пластифікуючу добавку. На склад подано заяву на видачу патенту на винахід і заяву на видачу патенту на корисну модель. Розроблено технологічний регламент виробництва гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, який включає технологічну схему, послідовність і опис технологічних операцій, вимоги до контролю якості.

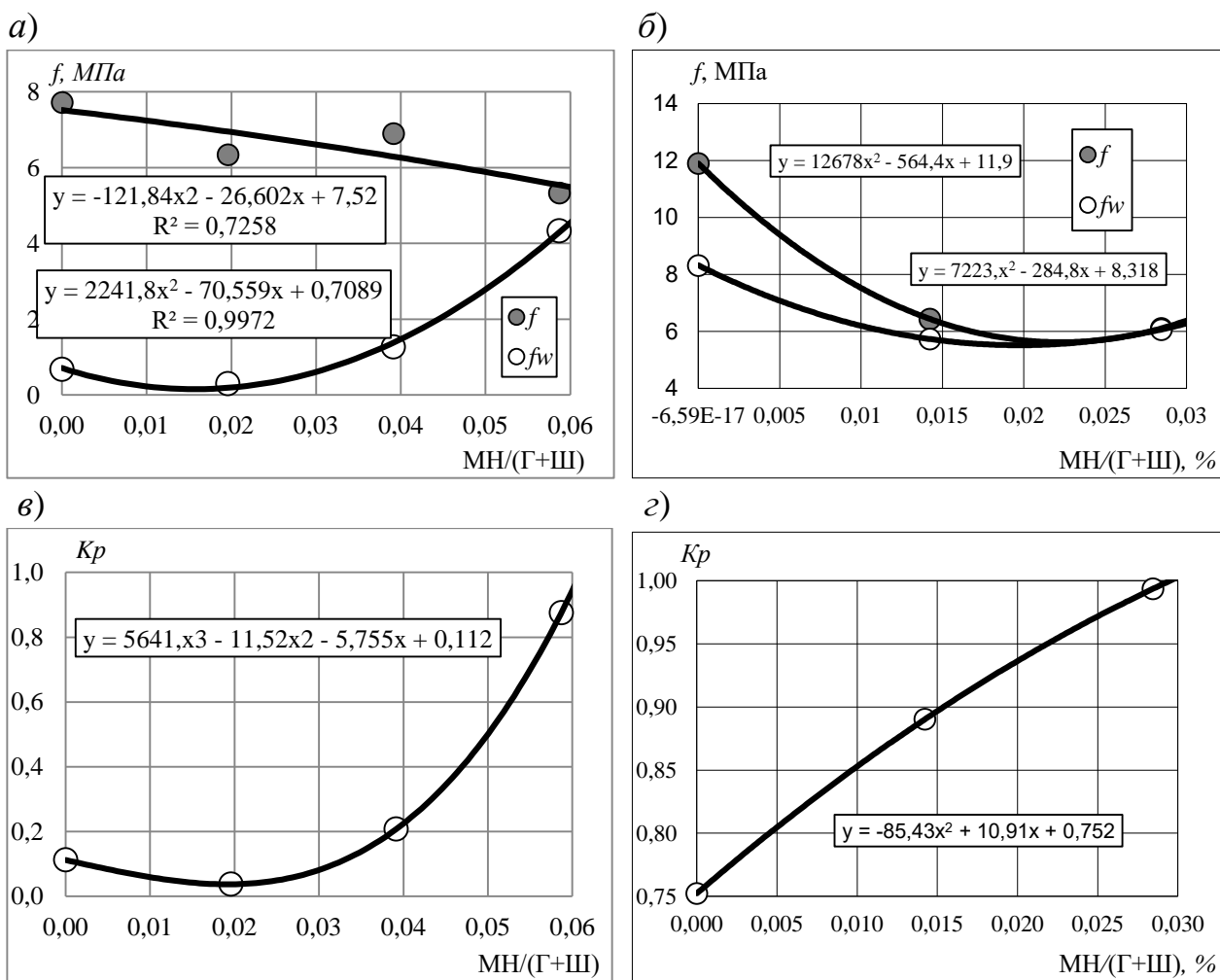


Рис. 8 Залежність міцності на стиск в сухому f і водонасиченому f_w стані (а, б) та коефіцієнту розм'якшення K_p (в, з) штучного гіпсового каменю від вмісту нанодисперсного наповнювача $\text{МН}/(\text{Г}+\text{Ш})$: а, в – нанодисперсного глинозему за відносного вмісту шлаку $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,4$ та водотвердого відношення $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,36$; б – мікрокремнезему за відносного вмісту шлаку $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})=0,24$

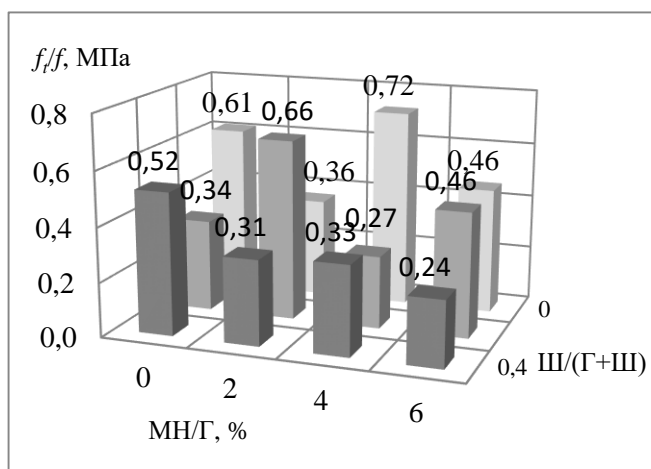


Рис. 9 Залежність співвідношення між міцністю на розтяг та міцністю на стиск f_t/f_c гіпсошлакового каменю від відносного вмісту шлаку $\text{Ш}/(\text{Г}+\text{Ш})$ і нанодисперсного глинозему $\text{МН}/\text{Г}$

Гіпсове в'яжуче підвищеної водостійкості рекомендовано застосовувати для виготовлення сухих сумішей для застосування у приміщеннях з підвищеною вологістю, призначених для: штукатурки механізованого нанесення; шпаклівки; монтажного клею для гіпсокартонних листів; вирівнювання підлоги шаром товщиною до 50 мм. Виконано впровадження результатів досліджень шляхом включення у проектно-кошторисну документацію, зокрема, у специфікації матеріалів, трьох об'єктів реконструкції, сухих сумішей для штукатурки, шпаклівки, монтажного клею, вирівнювання підлог. Проектно-кошторисна документація розроблена ТОВ НВП «Академія». Розрахунковий економічний ефект від впровадження склав 1796 грн. за 1 т сухої будівельної суміші.

Результати дисертаційного дослідження використовуються у навчальному процесі з підготовки бакалаврів і докторів філософії за спеціальностями 192 Будівництво та цивільна інженерія і 273 Залізничний транспорт.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В результаті визначення розрахунково-експериментальним методом абсолютних та рівноважних електроповерхневих потенціалів встановлено, що подовжні грані кристалів гіпсу-двогідрату мають позитивний поверхневий заряд, а торцеві грані – негативний, частинки доменного гранульованого шлаку та мікрокремнезему – негативний, а нанодисперсного глинозему – позитивний. Контакти між паралельно орієнтованими кристалами гіпсу-двогідрату є електрогетерогенними, які забезпечують міцність лише у сухому стані. Між торцевими та подовжніми гранями кристалів утворюються водостійкі електрогетерогенні контакти ЕГК, яких у гіпсовому каменю небагато і вони не визначають його водостійкості. Водостійкі ЕГК утворюються: між частинками шлаку або мікрокремнезему та подовжніми гранями кристалів гіпсу-півгідрату; між частинками нанодисперсного глинозему та торцевими гранями кристалів.

2. В результаті моделювання структури, узгодженого з результатами електронно-мікроскопічних досліджень, встановлено, що для підвищення водостійкості штучного гіпсового каменю доцільно вводити в нього поліфракційні (двофракційні) мінеральні добавки з однойменними або різнойменними поверхневими зарядами фракцій. Це забезпечує формування щільної структури каменю як композиційного матеріалу з максимально можливою кількістю ЕГК, в якій кристали гіпсу-двогідрату максимально захищені від контакту з водою.

3. В результаті експериментальних досліджень залежностей фізико-механічних та гідрофізичних властивостей штучного гіпсового каменю від вмісту мінеральної добавки шлаку встановлено:

3.1 Міцність гіпсошлакового каменю у сухому стані f залежить від відносного вмісту шлаку $Ш/(Г+Ш)$ майже зворотно пропорційно. Залежності міцності у водонасиченому стані f_w та коефіцієнту розм'якшення (водостійкості) K_p від $Ш/(Г+Ш)$ є хвилеподібними з максимумами, положення яких залежать від водотвердого відношення $В/(Г+Ш)$. Для досліджених матеріалів максимальні K_p до 0,6 були забезпечені за $Ш/(Г+Ш)$ 0,4 і 0,6. Це узгоджується з уявленнями про те, що максимальний K_p гіпсу з мінеральними добавками забезпечується у разі утворення найбільш щільних упаковок кристалів гіпсу-двогідрату у прошарках між

їх частинками та відповідності коефіцієнту розсунення частинок мінеральної добавки гіпсом η його оптимальній величині $\eta_{\text{опт}}$.

3.2. Вологісна деформація гіпсошлакового каменю у разі водонасичення ε_w залежить від Ш/(Г+Ш). Максимальна ε_w понад 0,001 відзначена у гіпсового каменю без шлаку. Зі збільшенням Ш/(Г+Ш) ε_w знижується хвилеподібно аналогічно залежності водостійкості. Мінімальні ε_w 0,0003 та менше відзначені за Ш/(Г+Ш) 0,05–0,1 та понад 0,27. Це також узгоджується з уявленнями про те, що найкращі гідрофізичні властивості забезпечуються у разі утворення найбільш щільних упаковок кристалів гіпсу-двогідрату у прошарках між частинками шлаку. Отже, ε_w може бути додатковими показником водостійкості.

4. В результаті експериментальних досліджень залежностей фізико-механічних та гідрофізичних властивостей гіпсошлакового каменю від вмісту нанодисперсних мінеральних добавок встановлено:

4.1. У гіпсошлакового каменю з нанодисперсною мінеральною добавкою підвищення її відносного вмісту МН/(Г+Ш) від 0 до 0,03–0,06 не призвело до підвищення f та навіть обумовило її певне зниження, проте забезпечило підвищення K_p до 0,81 (нанодисперсний глинозем) і до 1 (мікрокремнезем). Це підтвердило теоретичні уявлення про те, що уведення нанодисперсних наповнювачів призводить до збільшення кількості електрогетерогенних контактів у структурі штучного каменю за рахунок заповнення міжкристалічних порожнин їх частинками.

4.2. Встановлено, що залежність співвідношення між міцністю на розтяг та міцністю на стиск f_t/f_c гіпсошлакового каменю від МН/(Г+Ш) має хвилеподібний характер з максимумами, положення яких залежать від вмісту шлаку та водотвердого відношення. Це підтверджує уявлення про те, що фізико-механічні та гідрофізичні властивості каменю залежать від характеру упаковки кристалів гіпсу-двогідрату між частинкам шлаку та нанодисперсних частинок – між кристалами гіпсу-двогідрату.

5. Розроблено склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості, на який подано заяви на видачу патентів на винахід і на корисні моделі. Розроблено технологію виробництва в'язучого. В'язуче рекомендовано для виготовлення сухих сумішей штукатурки, шпаклівки, монтажного клею, вирівнювання підлоги для приміщень з підвищеною вологістю. Виконано впровадження результатів досліджень шляхом включення сухих сумішей у проектно-кошторисну документацію об'єктів реконструкції. Розрахунковий економічний ефект від впровадження склав 1796 грн. на 1 т суміші. Результати дисертаційного дослідження використано у навчальному процесі.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях та у виданнях, що включені до наукометричних баз:

1. Єфіменко А.С. Дослідження об'ємних змін гіпсу з мінеральними добавками // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. 2020. Вип. 193. С. 6–15.

2. Пługін А.А., Фішер Х.-Б., Борзяк О.С., Єфіменко А.С., Жигло А.А. Підвищення міцності та водостійкості гіпсових в'язучих нанодисперсними мінеральними добавками // Зб. наук. праць УкрДУЗТ. 2017. Вип. 171. С. 37–43.

Особистий внесок: експериментальні дослідження та аналіз їх результатів.

3. Пługін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б. Вплив мінеральних наповнювачів на процеси структуроутворення гіпсового каменю // Науковий вісник будівництва. 2017. Т. 90. № 4. С. 116-119.

Особистий внесок: підготовка зразків для електронної мікроскопії, участь у її виконанні та аналізі результатів, побудова схем структури

4. T.Kostyuk, V.Vinnichenko, A.Plugin, O.Borziak, and A.Iefimenko. Physicochemical studies of the structure of energy-saving compositions based on slags. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 1021 (2021) 012016.

Особистий внесок: збір інформації про хімічний склад шлаків, визначення модуля їх основності, аналіз придатності для композицій.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

5. Єфіменко А.С., Фішер Х.-Б., Матхес К., Борзяк О.С., Пługін А.А., Геворкян Е.С. Шляхи підвищення міцності гіпсових композицій // Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: VI Міжнар. наук.-технічна конфер., 19-21 квітня 2017. Харків: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С.50–51.

Особистий внесок: пошук і аналіз літератури.

6. Plugin, A., Fisher H.-B., Bondarenko D., Pluhin O., Yefimenko A., Starkova O. Сухая строительная смесь для теплоизоляции штукатурки пониженной паропроницаемости (Trochkenmörtel zur Herstellung von wärmedämmendem Putz mit verringerter Dampfdurchlässigkeit) // 3 Weimarer Gipstagung, 14–15 März 2017, Weimar. – Bauhaus–Universität Weimar, 2017. P44. S. 293–302.

Особистий внесок: підбір складу суміші, розрахунки термічного опору конструкцій.

7. Plugin A.A., Fisher H.-B., Borziak O.S., Iefimenko A.S. Increasing the Water-Resistance of Gypsum Materials Using Polydisperse Mineral Additives // 20 Internationale Baustofftagung, 12–14 September 2018, Weimar, Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. – Weimar: Bauhaus-Universität Weimar, 2018. P1.30. Band 2. P. 549–558.

Особистий внесок: експериментальні дослідження та аналіз їх результатів, підготовка зразків для електронної мікроскопії та участь у її виконанні.

8. Костюк Т.О., Вінниченко В.І., Пługін А.А., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Створення ресурсо- та енергозберігаючих композицій важких бетонів на основі шлаків // Міжнародна науково-технічна конференція «Енергоефективність на

транспорті», Харків, 18–20 листопада 2020 р.: Тези доповідей. Харків: УкрДУЗТ, 2020. С.76–77.

Особистий внесок: збір інформації про хімічний склад шлаків, визначення модуля їх основності, аналіз придатності для композицій.

Публікації, що додатково відображають матеріали дисертації:

9. Плуґін, А.А. Воронін С.В., Борзяк О.С., Єфіменко А.С. Підвищення водостійкості гіпсу добавками мікронаповнювачів // Науковий вісник будівництва. 2016. № 2 (84). С. 239–242.

Особистий внесок: розрахунок електроповерхневих потенціалів кристалів і частинок, участь у аналізі їх впливу на контакти між кристалами і частинками та структуру штучного каменю.

10. Єфіменко А.С., Ізюмський Р.О., Савенко Ю.В. Аналіз способів підвищення водостійкості гіпсу // Збірник наукових праць студентів та магістрантів УкрДУЗТ. 2016. Вип. 14. С. 363–367.

Особистий внесок: пошук і аналіз літератури.

11. Plugin A., Iefimenko A., Borziak O., Gevorkyan E., Pluhin O. Establishing patterns in the influence of micro- and nano-dispersed mineral additives on the water resistance of gypsum. EEJET. 1/6 (109) 2021.

Особистий внесок: експериментальні дослідження та аналіз їх результатів, побудова схем структури штучного каменю.

АНОТАЦІЯ

Єфіменко Артем Сергійович. Підвищення водостійкості гіпсових матеріалів поліфракційними мінеральними добавками. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 Будівельні матеріали та вироби (19 Архітектура та будівництво). – Український державний університет залізничного транспорту Міністерства освіти та науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена розробці теоретичних та експериментальних основ підвищення водостійкості гіпсу поліфракційними мінеральними добавками. Визначено електроповерхневі властивості гіпсу та мінеральних добавок, встановлено закономірності утворення електрогетерогенних контактів між ними. Виконано оптико-мікроскопічні та електронно-мікроскопічні дослідження, розроблено моделі структури штучного гіпсового каменю з мінеральними добавками, яка забезпечить його максимальну водостійкість. Виконано термодинамічний аналіз можливості хімічної взаємодії гіпсу з мінеральними добавками. Експериментально досліджено залежності фізико-механічних властивостей, показника водостійкості, вологісних деформацій штучного гіпсового каменю від вмісту мінеральної добавки однієї фракції (шлаку) та двох різних фракцій (шлаку і нанодисперсного глинозему або мікрокремнезему). Розроблено склад гіпсового в'язучого підвищеної водостійкості та матеріалів на його основі, а також технологію їх виготовлення, виконано дослідно-промислове впровадження і впровадження у навчальний процес.

ABSTRACT

Iefimenko Artem S. Increasing the water resistance of gypsum materials by polyfractional mineral additives.– Manuscript copyright.

Dissertation for the Candidate Degree in Engineering Science (PhD in Sci. Eng.) in specialty 05.23.05 Building Materials and Products (19 Architecture and Building).– Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the development of theoretical and experimental foundations for increasing the water resistance of gypsum by polyfractional mineral additives. The electro-surface properties of gypsum and mineral additives have been determined. It was found that different faces of gypsum dehydrate crystals have surface charges of different signs: longitudinal - positive, end - negative, particles of slag and micro silica have a negative surface charge, and Nano dispersed alumina – positive. Taking this into account, the regularities of the formation of electro heterogeneous contacts between gypsum-dehydrate crystals between themselves and with particles of mineral additives were established. Optical-microscopic and electron-microscopic studies have been carried out, models of the structure of artificial gypsum stone with mineral additives have been developed, which will ensure its maximum water resistance. It is shown that the maximum water resistance will be provided by the structure of the composite material with a matrix of densely packed crystals of gypsum dehydrate with the maximum number of electro heterogeneous contacts between crys-

tals and particles of mineral additives. Such contacts maximally protect crystals of gypsum dehydrate from dissolution and wedging action of water. A thermodynamic analysis of the possibility of chemical interaction of gypsum with mineral additives has been carried out; it is shown that gypsum and mineral additives generally do not chemically interact, except for the case of the presence of free lime in the slag, when calcium hydro-sulfa-aluminate of mono-sulfate form can be formed. The dependences of physical and mechanical properties, water resistance index, moisture deformations of artificial gypsum stone on the content of a mineral additive of one fraction (slag) and two different fractions (slag and Nano dispersed alumina or micro silica) have been experimentally investigated. The obtained dependences confirmed the idea of the influence of the composition and structure of artificial gypsum stone as a composite material with electro heterogeneous contacts between crystals and particles in it on water resistance. Compositions of a gypsum binder with poly-fractional mineral additives, providing a water-resistance index of up to 1, and materials based on them, as well as a technology for their manufacture, have been developed. Experimental industrial implementation and implementation in the educational process have been completed.

АННОТАЦИЯ

Ефименко Артем Сергеевич. Повышение водостойкости гипсовых материалов полифракционными минеральными добавками. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 Строительные материалы и изделия (19 Архитектура и строительство). – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2021.

Диссертация посвящена разработке теоретических и экспериментальных основ повышения водостойкости гипса полифракционными минеральными добавками. Определены электроповерхностные свойства гипса и минеральных добавок, установлены закономерности образования электрогетерогенных контактов между ними. Выполнены оптико-микроскопические и электронно-микроскопические исследования, разработаны модели структуры искусственного гипсового камня с минеральными добавками, которая обеспечит его максимальную водостойкость. Выполнен термодинамический анализ возможности химического взаимодействия гипса с минеральными добавками. Экспериментально исследованы зависимости физико-механических свойств, показателя водостойкости, влажностных деформаций искусственного гипсового камня от содержания минеральной добавки одной фракции (шлака) и двух различных фракций (шлака и нанодисперсного глинозема или микрокремнезема). Разработан состав гипсового вяжущего повышенной водостойкости и материалов на его основе, а также технология их изготовления, выполнено опытно-промышленное внедрение и внедрение в учебный процесс.

Єфіменко Артем Сергійович

**ПІДВИЩЕННЯ ВОДОСТІЙКОСТІ ГПСОВИХ МАТЕРІАЛІВ
ПОЛІФРАКЦІЙНИМИ МІНЕРАЛЬНИМИ ДОБАВКАМИ**

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск
Партала Н.М.

Підписано до друку __.__.2021 р.
Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.
Друк на різнографі. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № __

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)
м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1
Тел. 7-170-354
www.modelist.in.ua