

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

КОСТЮК Тетяна Олександрівна



УДК 691.5 (043.3)

**СПРЯМОВАНЕ ФОРМУВАННЯ
СТРУКТУРИ ЦЕМЕНТНИХ КОМПОЗИТІВ
ДЛЯ ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Харків – 2015

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано на кафедрі будівельних матеріалів і виробів Харківського національного університету будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Наукові консультанти: доктор технічних наук, професор,
Заслужений діяч науки і техніки України,
лауреат Державної премії України
Бабушкін Володимир Іванович;

доктор технічних наук, професор
Плугін Андрій Аркадійович,
Український державний університет залізничного
транспорту, завідувач кафедри будівельних мате-
ріалів, конструкцій і споруд.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дворкін Олег Леонідович,
Національний університет водного господарства
та природокористування, професор кафедри тех-
нології будівельних виробів і матеріалознавства;

доктор технічних наук, професор
Солодкий Сергій Йосипович,
Національний університет «Львівська політехні-
ка», Інститут будівництва та інженерії доквілля,
завідувач кафедри автомобільних шляхів;

доктор технічних наук, доцент
Толмачов Сергій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-
дорожній університет, професор кафедри дорож-
ньо-будівельних матеріалів.

Захист відбудеться 12 листопада 2015 р. о 13.00 на засіданні спеціалізова-
ної вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізнично-
го 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.

Автореферат розіслано 9 жовтня 2015 р.

В.о. ученого секретаря
спеціалізованої вченої ради
д.т.н., проф.



А.П. Фалендиш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Все більш широке застосування для ремонту, гідроізоляції і захисту бетонних і кам'яних конструкцій отримують цементні композити, що виготовляються із сухих сумішей. Такі композити після твердіння отримують високі фізико-механічні характеристики, мають структуру, що ідентична до структури підложок, на які вони наносяться, проте часто їх гідрофізичні характеристики недостатньо високі. Способами підвищення цих характеристик, в першу чергу – водонепроникності, є введення мінеральних та мікроволоконистих наповнювачів, що знижують усадку та утворення тріщин, а також полімерних добавок, які збільшують щільність композитів. Однак, полімерні добавки, підвищуючи адгезію композита до підложки, запобігають проникненню продуктів гідратації у її поровий простір, крім того, їх застосування обмежене достатньо вузьким температурним інтервалом. Достатньо ефективно підвищують водонепроникність хімічні добавки солей електролітів, які забезпечують синтез у цементному камені додаткових кристалогідратів, що кольматують поровий простір як самих композитів, так і поверхневих шарів підложки.

Аналіз наявних рішень підвищення гідрофізичних характеристик цементних композитів показав, що найбільш перспективними є склади, які включають тонкодисперсні наповнювачі, мікро волокна і хімічні добавки, що забезпечують кольматацию кристалогідратами порового простору як самого покриття, так і підложки. Однак, часто незбалансований склад таких композитів призводить до висолів, розтріскування, зниження гідрофізичних характеристик.

Тому створення теоретичних та експериментальних основ спрямованого формування структури цементних композитів для гідроізоляції є невирішеним науковим завданням, а тема роботи – актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано у Харківському національному університеті будівництва та архітектури на кафедрі будівельних матеріалів і виробів у складі держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки України: «Розробка теоретичних основ отримання сухих будівельних сумішей для захисних покриттів проникаючої дії по бетону та залізобетону» (2006-2008 рр., номер держреєстрації 0106U000162); «Теоретичні основи створення нових композиційних матеріалів для будівництва з підвищеними показниками якості» (2009-2011 рр., номер держреєстрації 0109U000267); «Теоретичні основи створення високоміцного конструкційного мікрокомполиту на основі цементної матриці» (2012-2014 рр., номер держреєстрації 0112U000043); «Теоретичні основи отримання нових корозійностійких композиційних силікатних матеріалів з високими гідрофізичними властивостями» (2015-2017 рр., номер держреєстрації 0115U000635).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є встановлення та використання закономірностей формування структури цементних композитів для підвищення їх гідрофізичних і фізико-механічних характеристик.

Для досягнення сформульованої мети вирішувалися наступні задачі:

– встановлення і ранжування факторів спрямованого регулювання структури і властивостей цементних композитів, що визначають їх гідрофізичні ха-

рактеристики;

- встановлення закономірностей формування кристалогідратів на силікатних та інших підложках: в порах, капілярах і на поверхнях цементного каменю, спученого перліту, скловолокна, поліефірного волокна з силіконовим апаратом;

- теоретичне та експериментальне обґрунтування зниження капілярної пористості цементного каменю шляхом введення тонкодисперсних наповнювачів;

- теоретичне та експериментальне обґрунтування підвищення фізико-механічних і гідрофізичних характеристик цементних композитів шляхом регулювання мікро- і макроструктури введенням армуючих волокон;

- теоретичне та експериментальне обґрунтування введення добавок електролітів для синтезу додаткових кристалогідратів на силікатних підложках структури цементних композитів;

- теоретичне та експериментальне обґрунтування та розробка оптимальних складів сухих будівельних сумішей гідроізоляційних цементних композитів з підвищеними фізико-механічними і гідрофізичними характеристиками;

- фізико-механічні випробування та фізико-хімічні дослідження структури розроблених гідроізоляційних цементних композитів;

- розробка методологічного і програмного інструментарію для обґрунтованого вибору складу композиту з підвищеними гідрофізичними характеристиками на підставі якісних характеристик експлуатованих об'єктів;

- дослідно-промислова перевірка результатів досліджень і економічне обґрунтування доцільності їх застосування.

Об'єкт дослідження – цементні композити для гідроізоляції з підвищеними гідрофізичними характеристиками.

Предмет дослідження – закономірності формування структури та властивості цементних композитів для гідроізоляції, підвищення їх гідрофізичних характеристик.

Методи дослідження. Фізико-механічні та гідрофізичні властивості композитів досліджено стандартними методами відповідно до ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006 «Суміші сухі будівельні модифіковані. Загальні технічні умови»; ДСТУ Б В.2.7-23-95 «Розчини будівельні. Загальні технічні умови»; ДСТУ Б В.2.7-214:2009 «Будівельні матеріали. Бетони».

Тріщиностійкість композитів досліджено за методикою Л.Й. Дворкіна, усадку – шляхом визначення поздовжніх деформацій індикаторами годинникового типу.

Склад продуктів гідратації цементу досліджено фізико-хімічними методами рентгенофазового і диференційного термічного аналізу, структуру композитів – за допомогою світлової та електронної мікроскопії.

Поверхневі центри адсорбції дисперсних мінеральних добавок визначено методом адсорбції колірних індикаторів за допомогою спектрофотометру. Поверхневий заряд і електроповерхневий потенціал дисперсних частинок визначено методом сепарації частинок у високовольтному електричному полі, а та-

кож розрахунково-експериментальними методами А.М. Плугіна та А.А. Плугіна.

Розробку та оптимізацію складів композитів здійснено за допомогою чисельних методів розв'язання будівельно-технологічних задач В.А. Вознесенського з використанням комп'ютерних технологій. Обробку результатів математичних розрахунків здійснено з використанням trial-версії пакету Statistica 10. Для автоматизації обґрунтованого вибору складу композиту з підвищеними гідрофізичними характеристиками на підставі якісних характеристик експлуатованих об'єктів використано trial-версію системи MATLAB.

Наукова новизна результатів досліджень полягає в наступному.

Вперше:

- встановлено залежність гідрофізичних характеристик цементних композитів від електроповерхневих властивостей їх структурних складових, зокрема, встановлено, що підвищення водонепроникності забезпечується синтезом додаткових кристалогідратів – гідрокарбоалюмінатів, гідронітроалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію, а також кальциту, що мають позитивний поверхневий заряд, на поверхнях пор, капілярів, волокон з негативним поверхневим зарядом;

- встановлено закономірності утворення кристалогідратів на поверхнях пор, капілярів, волокон з урахуванням їх електроповерхневих властивостей, зокрема, встановлено, що кристалогідрати утворюють з ними електрогетерогенні контакти, що забезпечують високі показники міцності, щільності, непроникності.

Отримали подальший розвиток:

- термодинамічні методи обґрунтування синтезу кристалогідратів з позитивним знаком поверхневого заряду – гідрокарбоалюмінатів, гідронітроалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію, а також кальциту, при введенні в цементні композити солей електролітів;

- уявлення про проникання компонентів гідроізоляційного складу у пористий матеріал, що забезпечується за рахунок дифузії їх іонів через водонасичені пори, а глибина кольматації визначається довжиною шляху дифузії за час, який відповідає строкам тужавлення гідроізоляційного складу;

- уявлення про вплив кристалоенергетичних характеристик структурних одиниць цементних композитів на їх фізико-механічні властивості;

- методи математичного планування експерименту, що дозволили оптимізувати набір і склад мінеральних і хімічних добавок, які вводяться в цементні композити.

Практичне значення результатів досліджень полягає в наступному:

- розроблено оптимізовані склади різного функціонального призначення з підвищеними гідрофізичними та фізико-механічними характеристиками;

- економічний ефект від застосування розроблених гідроізоляційних цементних композитів, у порівнянні з відомими, досягається за рахунок зниження собівартості їх виробництва та зменшення трудовитрат при застосуванні, й становить від 958,00 грн/т і 19,00 грн/м²;

– розроблено технологічні схеми виробництва, випущено дослідно-промислові партії та налагоджено промисловий випуск гідроізоляційних цементних композитів з підвищеними гідрофізичними та фізико-механічними характеристиками з торговою маркою «Віатрон» на підприємстві ТОВ «Віа-Телос», м. Харків;

– сухі будівельні суміші гідроізоляційних цементних композитів ефективно застосовано для гідроізоляції огорожувальних конструкцій при ремонті та будівництві житлових будинків, інших об'єктів у м. Харкові та за його межами.

Особистий внесок здобувача полягає в наступному:

– дослідженні стану проблеми отримання сучасних гідроізоляційних матеріалів та матеріалів зі зниженою паропроникністю на цементній основі, постановці наукової гіпотези;

– теоретичному обґрунтуванні можливості підвищення гідрофізичних і фізико-механічних характеристик цементних композитів шляхом синтезу кристалогідратів з позитивним знаком електроповерхневого потенціалу;

– теоретичному і експериментальному обґрунтуванні введення в цементні склади тонкодисперсних карбонатних і силікатних наповнювачів і армуючих волокон на основі врахування їх електроповерхневих властивостей і потенціалів;

– дослідженні фізико-механічних і гідроізоляційних властивостей розроблених складів;

– дослідженні електроповерхневих властивостей дисперсних матеріалів;

– аналізі результатів фізико-хімічних досліджень структури композитів складів продуктів їх гідратації. Розробці методик дослідження спеціальних властивостей складів проникної гідроізоляції;

– обґрунтуванні та розробці складів композитів, їх дослідно-промислового впровадженні у виробництво та обґрунтуванні застосування в різних умовах експлуатації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень пройшли апробацію на II Міжнародній нараді з хімії та технології цементу (Росія, Москва, 22-24 березня 2000 р.); II Міжнародній конференції «Бетон и железобетон – пути развития» (Росія, Москва, 5-9 вересня 2005 р.); Міжнародних науково-технічних конференціях «Актуальные вопросы строительства» (Росія, Саранськ, 28-30 листопада 2005 р., 26-28 листопада 2007 р.); Всеросійській науково-практичній конференції «Строительное материаловедение – теория и практика» (Росія, Москва, 22-24 листопада 2006 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Будівництво, реконструкція та відновлення будівель міського господарства» (Харків, 14-16 травня 2007 р.); XXII спеціалізованій виставці-ярмарку «Будівництво – 2008» (Харків, 14-17 березня 2008 р.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Застосування пластмас у будівництві та міському господарстві» (Харків, 11-13 грудня 2007 р.); 30th SAMPE Europe International Jubilee Conference of the Society for the Advancement of Materials and Process Engineering «COMPOSITES – Innovative Materials for smarter Solutions»

(Франція, Париж, 23-25 березня 2009 р.); IV Міжнародній науково-технічній конференції «Композиційні матеріали» (Київ, 18-19 травня 2009 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві і реконструкції будівель і споруд» (Харків, 20-21 квітня 2010 р.); 3-5-й Міжнародних науково-технічних конференціях «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (Харків, 12-13 квітня 2011 р., 24-26 квітня 2013 р. і 23-24 квітня 2015 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях» (Росія, Москва, 19-20 квітня 2011 р.); XIX Міжнародній науково-технічній конференції «Теорія і практика процесів подрібнення, розділення, змішування і ущільнення матеріалів» (Одеса, с. Затока, 22-27 серпня 2011 р.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Науковий простір Європи – 2012» (Польща, Пшемшль, 7-15 квітня 2012 р.); VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Ключові питання сучасної науки – 2012» (Болгарія, Софія, 17-25 квітня 2012 р.); Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд» (Харків, 15-17 жовтня 2013 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Дні науки» (Чехія, Прага, 27 березня – 5 квітня 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (Харків, 26-28 листопада 2014 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Приоритетные направления науки и техники» (Росія, Пенза, 22-23 жовтня 2014 р.); щорічних науково-технічних конференціях Харківського національного університету будівництва та архітектури з 2007 р. по 2014 р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 55 друкованих праць, з яких: 29 – у фахових виданнях, з них 6 – у збірниках, які включені до наукометричних баз даних та 1 міжнародна публікація; 19 – публікацій апробаційної характеру; 6 – патентів України на винахід; 1 – патент на винахід, отриманий за кордоном. Додатково за результатами досліджень опубліковано три праці.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 290 найменувань і семи додатків. Робота викладена на 289 сторінках, містить 94 рисунки та 57 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** сформульовано актуальність теми, мету і задачі досліджень, наукову гіпотезу, що дозволила обрати напрямок досліджень, положення наукової новизни, практичне значення отриманих результатів. Наведено особистий внесок здобувача, апробацію результатів дослідження, представлено кількісну характеристику публікацій за матеріалами дослідження, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд існуючих гідроізоляційних композитів, відзначено ефективність застосування для бетонних і кам'яних поверхонь цементних складів проникної гідроізоляції.

Значний внесок у розвиток теорії цементних складів на основі фізико-хімічної механіки дисперсних систем внесли Г.Р. Вагнер, І.Г. Гранковський, І.М. Грушко, Г.Д. Дібров, В.О. Золотарьов, М.М. Круглицький, О.П. Мчедлов-Петросян. Роль електроповерхневих взаємодій, обумовлених наявністю поверхневого заряду, часток, що беруть участь у процесах твердіння в'язучих, відображена в роботах І.М. Ахвердова, В.І. Бабушкіна, Є.І. Ведя, Г.Л. Калоусека, В.В. Капранова, В.А. Матвієнка, О.Г. Ольгінського, Т.К. Пауерса, Г.Н. Сіверцева, Ю.О. Споріна, О.О. Старосельського, Х.Ф.У. Тейлора, Л.Г. Філатова. Уточнений опис процесів утворення структури твердіючих в'язучих на основі електроповерхневих взаємодій показано в роботах Т.К. Пауерса. Наявності електроповерхневих взаємодій в твердіючій системі бетону присвячено роботи А.І. Бірюкова, І.Ф. Єфремова, А.М. Пługіна, М.М. Круглицького, О.Ф. Полака, М.М. Сичова, Є.Д. Щукіна та інших. Як показали Г.Л. Калоусек, П.Г. Комохов, О.П. Мчедлов-Петросян, Е. Скоморовський, О.Є. Шейкин, Л.Г. Шпинова, при твердінні портландцементу в присутності гіпсу в першу чергу утворюються кристали еtringіту. При подальшому твердінні кристалізаційний каркас проростає, заповнюється гелевими частинками, утворюючи ритмічну структуру, названу Л.Г. Шпиноюю метаміктною.

Виходячи з наведених оглядів і ґрунтуючись на роботах В.І. Бабушкіна, А.М. Пługіна, С.П. Новікової, можна стверджувати, що в обмежених умовах основний вплив на підвищення ранньої міцності дисперсних систем має наявність в структурі електрогетерогенних контактів, і чим більше таких контактів, тим вищою буде структурна міцність таких систем.

Існують різні способи створення електрогетерогенних контактів у дисперсних системах: перезарядка дисперсних часток системи за допомогою постійного електричного струму, підвищення тонини помелу в'язучого з подальшим його перезарядженням, уведення в цементно-піщані суміші позитивно заряджених дисперсних порошків, уведення хімічних добавок, що сприяють синтезу кристалогідратів з позитивним електроповерхневим потенціалом.

Протягом тривалого періоду вченими розвивалися і поглиблювалися уявлення про механізм дії хімічних добавок на процеси гідратації і твердіння в'язучих. Найбільш значимими у даному напрямку є роботи В.Б. Ратинова, Ф.М. Іванова, М.М. Сичова, О.П. Мчедлова-Петросяна, В.І. Бабушкіна, Д.І. Чемоданова, Л.Б. Сватовської, Н.М. Шангіної, П.Г. Комохова, В.Г. Батракова, О.В. Ушєрова-Маршака, Л.Й. Дворкіна, О.Л. Дворкіна, М.А. Саницького, П.В. Кривенка, Р.Ф. Рунової, В.Л. Чернявського, А.М. Пługіна, А.А. Пługіна, В.П. Сопова та ін.

Із всіх представлених на ринку гідроізоляційних матеріалів на цементній основі значний інтерес викликають так звані інтегральні капілярні склади (проникна гідроізоляція): Ксайпекс (Канада), Пенетрон (США), Осмосил (Італія), Вандекс (Швейцарія), Дризоро (Іспанія), Кальматрон, Акватрон, Гідротекс, Лахта (Росія). Розробкою складів і дослідженнями властивостей інтегральних ка-

пілярних складів в Україні займалися В.І. Бабушкін, Р.Ф. Рунова, А.А. Плугін, К.К. Пушкарьова, О.В. Кондращенко. Проте, до сьогодні залишаються недостатньо вирішеними питання, пов'язані з температурними границями застосування, балансом хімічних і порошкоподібних мінеральних добавок, дисперсним армуванням і розтріскуванням, паропроникністю, утворенням висолів.

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення існуючих або розвитку нових уявлень про процеси гідратації цементу в присутності хімічних і тонкодисперсних мінеральних добавок з урахуванням нових даних щодо пористої структури цементного каменю, електроповерхневих властивостей дисперсних наповнювачів і продуктів гідратації.

Проведений аналіз дозволив сформулювати перелік невирішених завдань, як теоретичних, так і експериментальних, і сформулювати наукову гіпотезу: підвищити гідрофізичні властивості цементних композитів на мезорівні можливо за рахунок уведення мікронаповнювачів і мікроармуючих добавок, на мікро- і субмікрорівні – за рахунок синтезу і спрямованого зростання додаткових кристалічних структур, що створюють в багатофазовій структурі цементного композиту найбільшу кількість електрогетерогених контактів.

Другий розділ присвячено вибору компонентів відповідно до завдань досліджень, наведено матеріали, що застосовано в роботі, та їх основні характеристики. Представлено методи досліджень, які включають кілька етапів. Спочатку визначено властивості дисперсних матеріалів, далі виконано дослідження властивостей поверхні цих матеріалів (кварцового та перлітового піску, цементу, карбонатних добавок, скляного та поліефірного волокна). Потім визначено фізико-механічні та фізико-хімічні характеристики отриманих композитів. Всі експериментальні дослідження виконано у відповідності з методиками, прийнятими і діючими в Україні, а також за допомогою оригінальних методик авторів, що займаються питаннями вивчення будівельних матеріалів. Наведено їх стислу характеристику.

У **третьому розділі** виконано експериментально-теоретичне обґрунтування отримання гідроізоляційних композитів на цементній основі. Представлено причини зниження щільності цементних композитів при гідратації цементного каменю. Обґрунтовано вибір хімічних добавок з урахуванням полів рівноваг основних видів іонів цементних композитів (рис. 1–3). Аналіз цих полів надав можливість уточнити термодинамічну перевагу утворення більшості гідратних фаз у системі та спрямовано впливати на зсув рівноваг за допомогою коригування рН шляхом введення хімічних сполук.

Досліджено роль тонкодисперсних наповнювачів у формуванні гетерогенної структури цементного каменю. Активна структуроутворююча роль карбонатів кальцію і магнію в першу чергу визначається хімічною взаємодією з продуктами гідратації алюмінатних фаз клінкеру і супроводжується поліпшенням морфології і стабільністю кристалогідратів, що утворюються, у вигляді гексагональних щільних повстяних скупчень на поверхні карбонатних часток, що сприяє підвищенню міцності всіх структурних елементів цементних композитів. На електронних знімках (рис. 4) замість C_3AH_6 фіксуються гексагональні гідроалюмінати кальцію C_4AH_x , які кристалізуються у вигляді гексагональних

пластинчастих кристалів і утворюють міцно зрощені конгломерати.

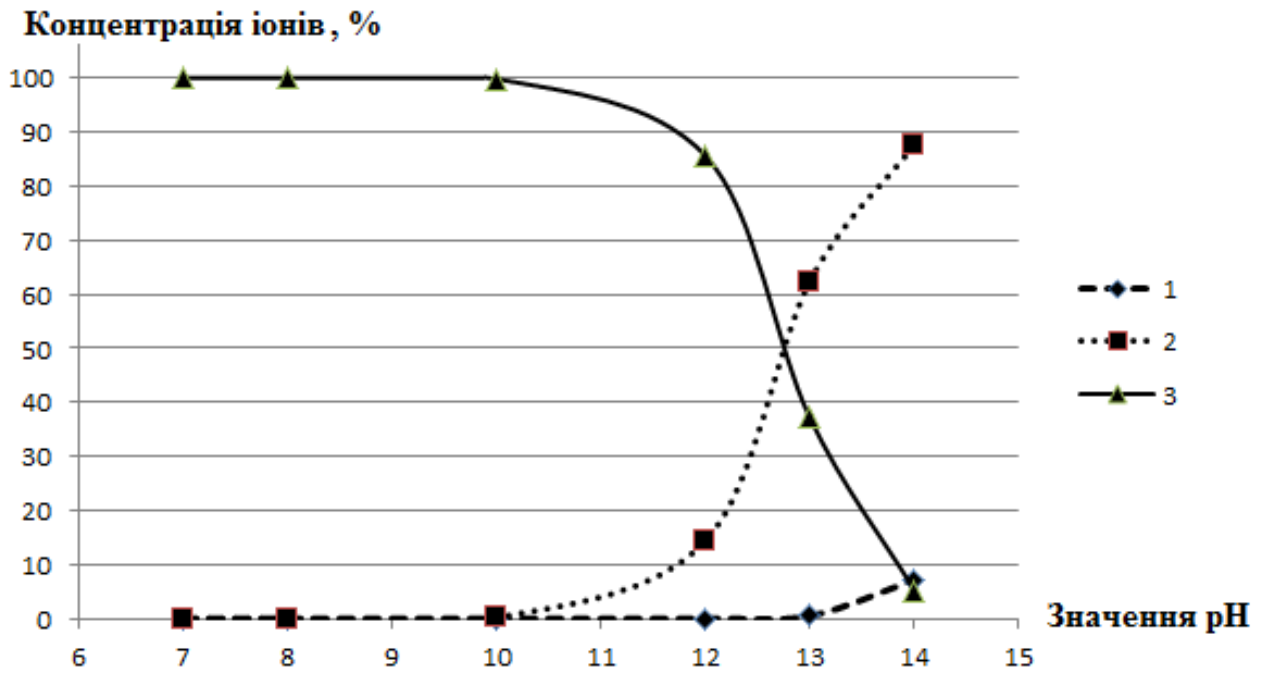


Рис. 1. Іонний баланс в системі $Ca(OH)_2 - H_2O$:
 1 – $Ca(OH)_2^0_{aq}$; 2 – $Ca(OH)^+_{aq}$; 3 – Ca^{2+}_{aq}

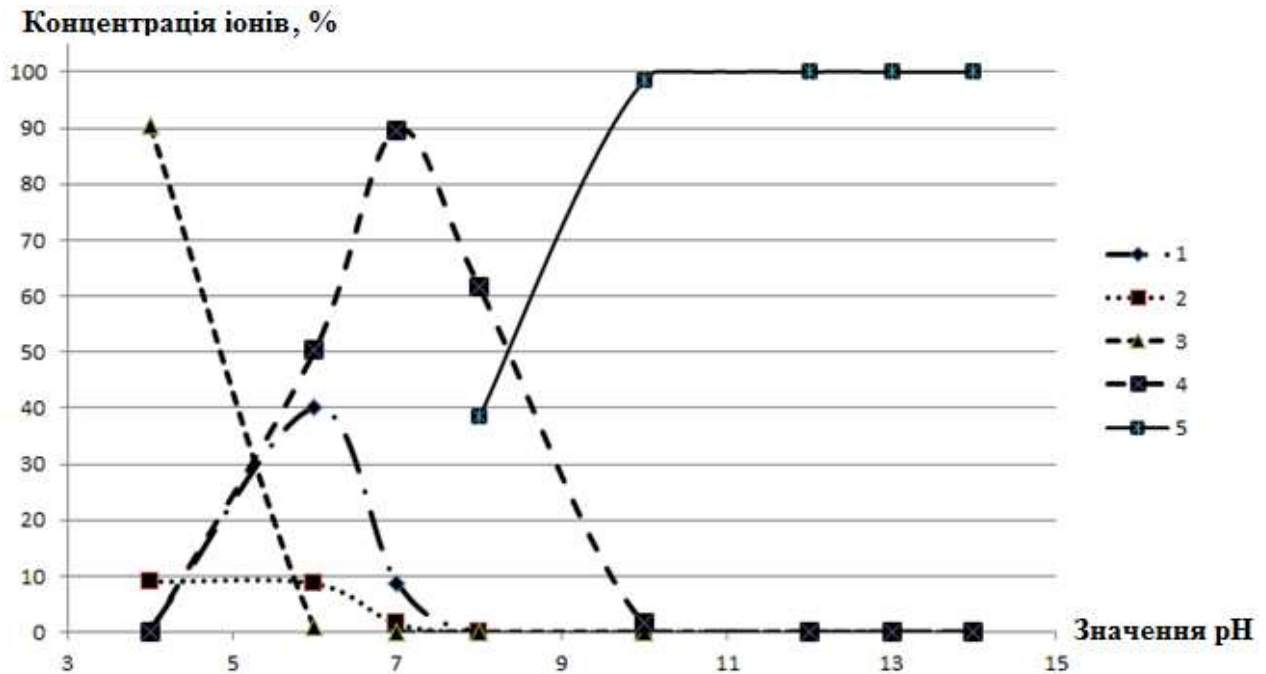


Рис. 2. Іонний баланс в системі $Al(OH)_3_{кр} - H_2O$:
 1 – $Al(OH)^+_{2aq}$; 2 – $Al(OH)^{2+}_{aq}$; 3 – Al^{3+}_{aq} ; 4 – $Al(OH)^0_{3aq}$; 5 – $Al(OH)^-_{4aq}$

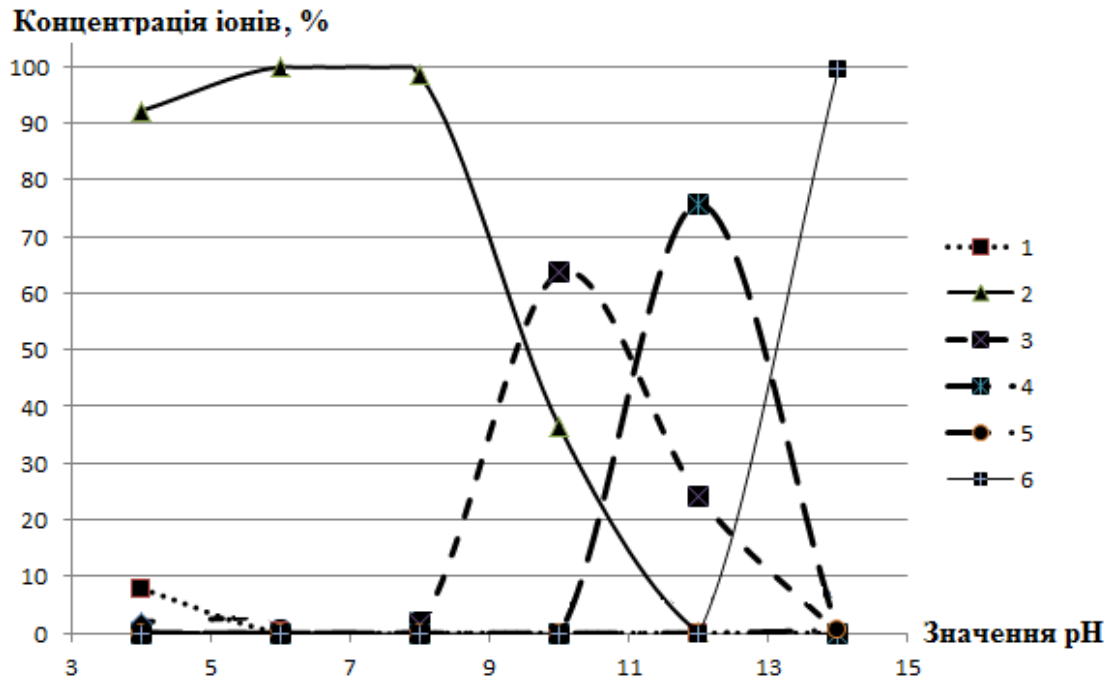


Рис. 3. Іонний баланс в системі $H_4SiO_4 - H_2O$:
 1 – $Si(OH)_3^+_{aq}$; 2 – $H_4SiO_4^0_{aq}$; 3 – $H_3SiO_4^-_{aq}$; 4 – $H_2SiO_4^{2-}_{aq}$; 5 – $HSiO_4^{3-}_{aq}$;
 6 – $SiO_4^{4-}_{aq}$

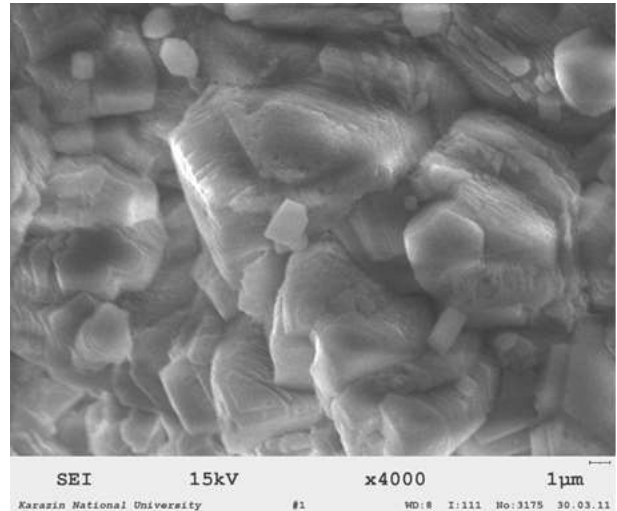
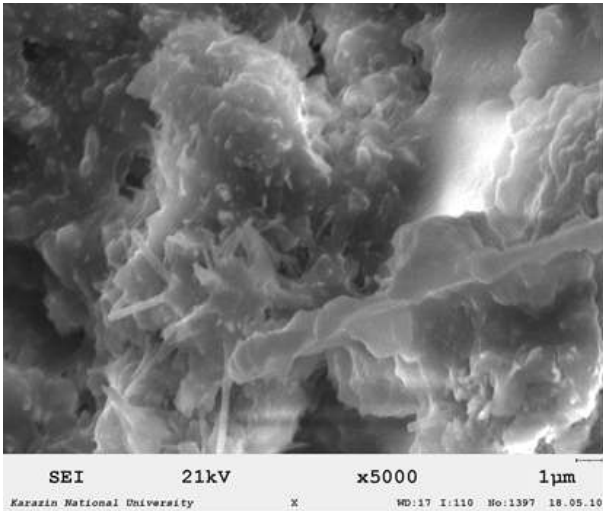


Рис. 4. Морфологія структури цементного каменю у присутності тонкодисперсної карбонатної добавки у віці 28 діб

Таким чином, твердий зросток цементного каменю складається приблизно з кілька десятків різного роду новоутворень, що являють собою часточки розміром від 60 нм до 6 мк, і більше п'яти основних типів: призматичних або голчастих кристалів; гексагональних пластинок; кристалів, що утворюють гранули; деформованих пластинок, таблеток або лусочок; аморфних мас. С.С. Гордонюк і Р.С. Чеховим встановлено, що адгезійне зчеплення зі зрощенням цементного каменю виявлено тільки з карбонатними наповнювачами з семи досліджених мінералів. П.П. Будніковим, О.С. Пантелеєвим, В.М. Колбасовим встанов-

лено, що утворення гідрокарбоалюмінату кальцію на поверхні карбонатних заповнювачів сприяє інтенсифікації процесу твердіння за рахунок алюмовміщуючих клінкерних мінералів, при цьому з поверхнею карбонатних зерен утворюється міцний кристалічний конгломерат з гексагональними кристалами гідрокарбоалюмінату кальцію.

Деякі автори зазначають визначальну роль адсорбційних або активних центрів (АЦ) на поверхні твердої фази в адсорбції та гідратації в'язучих. Наголошується, що кислотні центри адсорбції визначають дисоціативну адсорбцію води і є активаторами процесу гідратації. Дослідження, проведені в роботі (табл. 1, 2), підтвердили, що карбонатні тонкодисперсні добавки містять підвищену кількість бренстедівських кислотних активних центрів, що сприяють інтенсифікації гідратаційних процесів, отже, зниженню пористості і підвищенню щільності, міцності, корозійної стійкості, водонепроникності, морозостійкості цементних композитів (табл. 3, рис. 5).

Таблиця 1

**Результати сепарації тонкодисперсних частинок заповнювачів
в електростатичному полі**

№ з/п	Вид тонкодисперсної добавки	Експериментальний сумарний знак заряду поверхні
1	Вапняк природний	Переважає електронейтральний
2	Доломіт	Переважає електронейтральний
3	Відхід пом'якшення води ТЕЦ-5 ($CaCO_3$) №1	Переважає електронейтральний
4	Відхід пом'якшення води ТЕЦ-5 ($CaCO_3$) №2	Переважає електронейтральний
5	Скловолокно	Електронегативний
6	Перліт	Електронегативний
7	Кварцовий пісок	Електронегативний

Таблиця 2

**Адсорбція колірних індикаторів на активних центрах
тонкодисперсних частинок заповнювачів**

Досліджуваний матеріал	Адсорбція на АЦ, A , мг-екв/г $\times 10^{-5}$, індикаторів з рК _a :								
	-4,40	-0,29	+1,30	+3,46	+5,00	+8,00	+10,5	+12,8	
Кварцовий пісок	3,1	1,4	0,2	3,9	–	2,5	6,6	14	
Портландцемент	–	0,7	–	4,8	–	–	–	54	
Вапняк природний	–	1,7	–	–	180,5	–	–	8,4	
Доломіт	–	38,76	40,08	–	4,53	0,155	–	76,014	
Відхід пом'якшення води ТЕЦ-5 ($CaCO_3$)	№1	–	93,57	21,08	–	7,83	0,019	–	69,09
	№2	–	131,65	79,59	–	8,58	0,104	–	133,54
АЦ (за Нечипоренком)	льюїсівські основні		бренстедівські кислотні			бренстедівські основні			
Тип АЦ (знак заряду)	кислі (+)	помірно кислі (+)		слабко кислі (–)		основні (–)			

Залежність міцності і тріщиностійкості від виду карбонатної тонкодисперсної добавки

Вид добавки	Вміст добавки, %	Межа міцності на 28 добу, МПа		Утворення усадочних тріщин
		при стиску	при згині	
Вапняк природний	0	18,2	6,1	Волосяні тріщини
	5	19,8	6,3	«
	10	24,3	7,5	Не утворюються
	15	22,6	7,6	«
Крейда природня	0	18,2	6,1	Волосяні тріщини
	5	18	5,9	«
	10	18	5,3	«
	15	16,3	4,7	Не утворюються
Відходи ТЕЦ ($CaCO_3$), №1	0	18,2	6,1	Волосяні тріщини
	5	19,5	7,1	Не утворюються
	10	23,3	7,8	«
	15	23	7,9	«
Відходи ТЕЦ ($CaCO_3$), №2	0	18,2	6,1	Волосяні тріщини
	5	21,5	7,3	Не утворюються
	10	24,4	7,7	«
	15	23,3	7,7	«

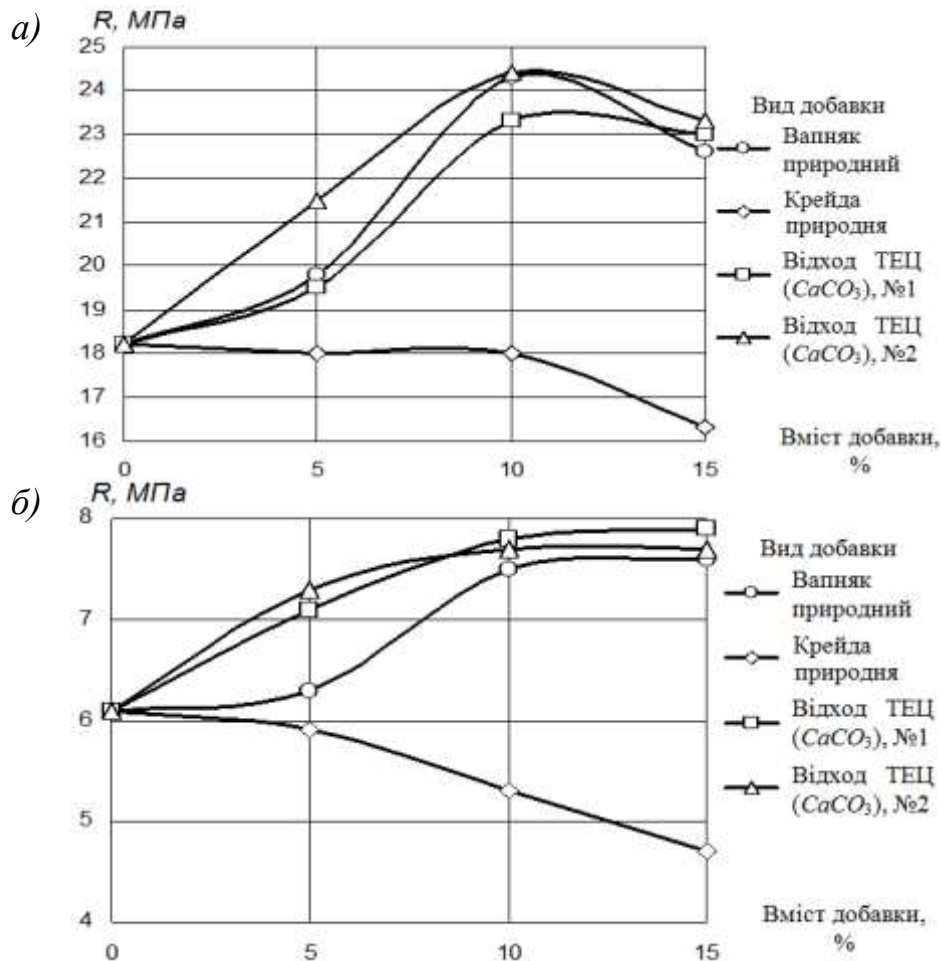


Рис. 5. Залежність міцності затверділої суміші R від вмісту добавки, %:
 а) – при стиску; б) – при згині

Хімічні добавки у вигляді розчинних у воді сполук дозволяють найпростішим способом підвищувати щільність цементного каменю шляхом синтезу додаткових кристалогідратів. В.Б. Ратинов і Ф.М. Іванов систематизували найбільш відомі в області бетонознавства добавки за принципом їх дії.

Хлориди кальцію, натрію і калію, азотнокислий кальцій, карбонат калію та інші, за певних умов реагують з трьохкальцієвим алюмінатом і чотирьохкальцієвим алюмоферітом з утворенням важкорозчинних подвійних солей гідратів; зазвичай є достатньо ефективними прискорювачами твердіння і класифікуються як добавки другого класу. При спільній присутності в бетоні двох і більше перерахованих добавок спочатку вступає в реакцію з алюмінатами добавка, яка утворює найбільш важкорозчинні солі, сприяє найбільшому пересиченню і тому кристалізується з максимальною швидкістю. Подібні властивості в цементі має гідросульфоалюмінат кальцію (можливо, також гідросульфоалюмоферит кальцію і гідрокарбоалюмінат кальцію), кристалізується при взаємодії алюмінійвміщуючих складових цементу з гідроксидом кальцію і сульфатами. До тих пор, доки протікають ці реакції, решта добавок, що введені в бетон з водою замішування, наприклад $CaCl_2$ та $Ca(NO_3)_2$, очікують своєї черги, тобто залишаються в рідкій фазі цементного тіста і цементного каменю у вигляді відповідних іонів і завдяки цьому прискорюють твердіння силікатних складових цементу, у зв'язку з тим, що в цей час вони змінюють розчинність силікатів кальцію, тобто діють на них як добавки першого класу – добавки, що не містять іонів однойменних з в'язучим, виступаючи прискорювачами твердіння за рахунок зміни іонної сили розчину, наприклад $NaCl$, $NaNO_2$. Оскільки в цементі обов'язково міститься гіпс, будь-яка добавка, з перерахованих вище, не вступає в реакцію з алюмінійвміщуючими складовими цементу до тих пор, доки цей гіпс практично повністю не зв'яжеться у важкорозчинний гідросульфоалюмінат кальцію. Ця взаємодія можлива, якщо після утворення гідросульфоалюмінату кальцію залишаються трьохкальцієвий алюмінат і чотирьохкальцієвий алюмоферит, що не прореагували з сульфат-іонами.

Кристалічні речовини, додатково синтезовані в цементній системі подібного роду, здатні відкладатися на стінках пор і капілярів цементного каменю і, зростаючи, заповнювати простір капіляра, зменшуючи фільтрацію рідини або газу, а також дифузію речовин через бетон, одночасно підвищуючи його щільність і міцність. Вказані гідрокомплекси (гідросульфоалюмінати, гідрокарбоалюмінати, гідрохлоралюмінати, гідросульфоферити кальцію, а також кальцит) мають позитивний поверхневий заряд, що дозволяє створювати електрогетерогенні контакти з цементним каменем та іншими силікатними підложками, які мають негативний поверхневий заряд. Це призводить до загального збільшення кількості електрогетерогенних контактів у системі композиту і забезпечує їх міцність. Можливі реакції взаємодії C_3A , $Ca(OH)_2$ і хімічних добавок, а також мінеральних добавок кальциту та гіпсу в цементі, представлені в табл. 4.

Аналіз реакцій 1–8 показав наявність гідроксидів калію і натрію в розчинах, що не сприяє підвищенню водонепроникності. Продуктами реакцій 9–14 є тільки кристалогідрати, що зв'язують значну кількість води, тобто добавки $CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, $CaCO_3$ сприятимуть підвищенню водонепроникності.

Можливі реакції взаємодії C_3A , $Ca(OH)_2$ та хімічних добавок, а також мінеральних добавок кальциту та гіпсу в цементі

№ з/п	Вихідні компоненти	Продукти реакції
1	$Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 =$	$CaCO_3 + 2NaOH;$
2	$C_3A + Ca(OH)_2 + Na_2CO_3 + 10H_2O =$	$C_3A \times CaCO_3 \times 10H_2O + 2NaOH;$
3	$Ca(OH)_2 + K_2CO_3 =$	$CaCO_3 + 2KOH;$
4	$C_3A + Ca(OH)_2 + K_2CO_3 + 10H_2O =$	$C_3A \times CaCO_3 \times 10H_2O + 2KOH;$
5	$Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 2H_2O =$	$CaSO_4 \times 2H_2O + 2NaOH;$
6	$C_3A + Ca(OH)_2 + Na_2SO_4 + 12H_2O =$	$C_3A \times CaSO_4 \times 12H_2O + 2NaOH;$
7	$C_3A + 3Ca(OH)_2 + 3Na_2SO_4 + 32H_2O =$	$C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O + 6NaOH;$
8	$C_3A + Ca(OH)_2 + NaNO_3 + 10H_2O =$	$C_3A \times NaNO_3 \times 10H_2O + 2NaOH;$
9	$C_3A + CaCl_2 + 10H_2O =$	$C_3A \times CaCl_2 \times 10H_2O;$
10	$C_3A + Ca(NO_3)_2 + 10H_2O =$	$C_3A \times Ca(NO_3)_2 \times 10H_2O;$
11	$C_3A + CaSO_4 \times 2H_2O + 10H_2O =$	$C_3A \times CaSO_4 \times 12H_2O;$
12	$C_3A + 3CaSO_4 \times 2H_2O + 26H_2O =$	$C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O;$
13	$C_3A + CaCO_3 + 11H_2O =$	$C_3A \times CaCO_3 \times 11H_2O;$
14	$C_3A + 3CaCO_3 + 30H_2O =$	$C_3A \times 3CaCO_3 \times 30H_2O.$

Виконано аналіз вільної енергії Гіббса реакцій 9–14 за вихідними даними для компонентів реакцій, а для 9, 10 і 14, – використовуючи залежність $\Delta G^0 = \Delta H^0 - T^0 \Delta S$:

$$9. \Delta G^0 = 1723,95 - (243,40 \times 298) = -70809,25 \text{ ккал/моль} = -70,80925 \text{ ккал/моль};$$

$$10. \Delta G^0 = 1758,43 - (262,4 \times 298) = -76436,77 \text{ ккал/моль} = -76,43677 \text{ ккал/моль};$$

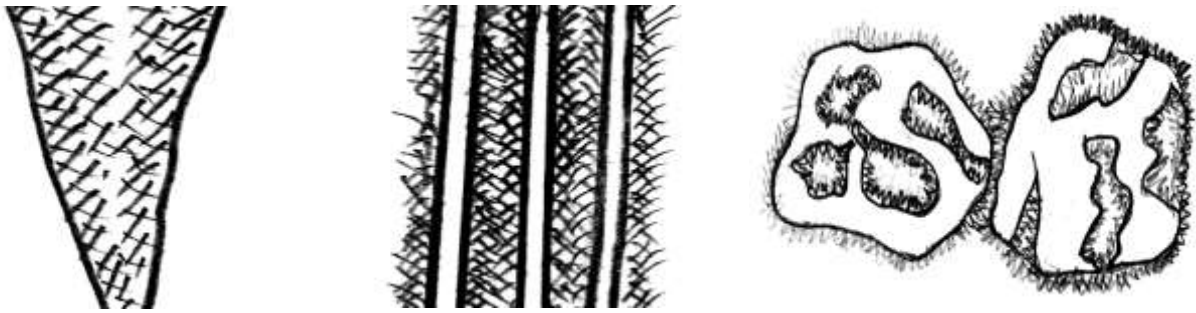
$$11. \Delta G^0 = -1859,14 - (-806,4 - 429,6 - 56,687 \times 10) = -56,27 \text{ ккал/моль};$$

$$12. \Delta G^0 = -3634,26 - (-806,4 - 429,6 \times 3 - 56,687 \times 26) = -65,198 \text{ ккал/моль};$$

$$13. \Delta G^0 = -1743,6 - (-806,4 - 269,78 - 56,687 \times 11) = -43,863 \text{ ккал/моль};$$

$$14. \Delta G^0 = 3902,43 - (650,42 \times 298) = -189,92273 \text{ ккал/моль}.$$

Аналіз наведених реакцій показує, що величини вільної енергії Гіббса для всіх реакцій є негативними, що підтверджує можливість їх перебігу. З урахуванням того, що вільна енергія Гіббса всіх реакцій припадає на 1 моль C_3A , її абсолютна величина може характеризувати перевагу реакцій. З C_3A в першу чергу, ймовірно, будуть взаємодіяти добавки $CaCO_3$, $Ca(NO_3)_2$ та $CaCl_2$, з утворенням, відповідно, гідрокарбоалюмінату кальцію $C_3A \times 3CaCO_3 \times 30H_2O$, гідронітроалюмінату кальцію $C_3A \times Ca(NO_3)_2 \times 10H_2O$ і гідрохлоралюмінату кальцію $C_3A \times CaCl_2 \times 10H_2O$, потім – гіпс цементу з утворенням еtringіту $C_3A \times 3CaSO_4 \times 32H_2O$, що і зумовлює формування на силікатній поверхні кристалічної та аморфної структури продуктів гідратації таким чином, як показано на рис. 6. Утворення зазначених кристалогідратів з позитивним знаком заряду поверхні на силікатній підложці з негативним поверхневим зарядом (рис. 7, 8) підтверджено електронно-мікроскопічними дослідженнями (рис. 9).



Зарощування мікропори кри-
сталами

Формування кристалів на ак-
тивних центрах поверхні
скловолокна

Формування кристалів на активних
центрах поверхні перліту

Рис. 6. Схема формування структур кристалогідратів на силікатних під-
ложках

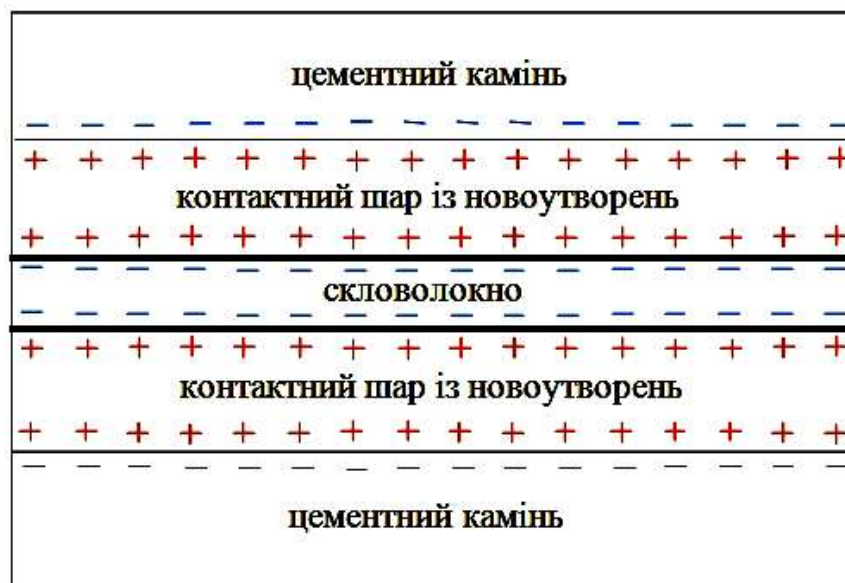


Рис. 7. Схема електрогетерогенних контактів в структурі цементного
композиту

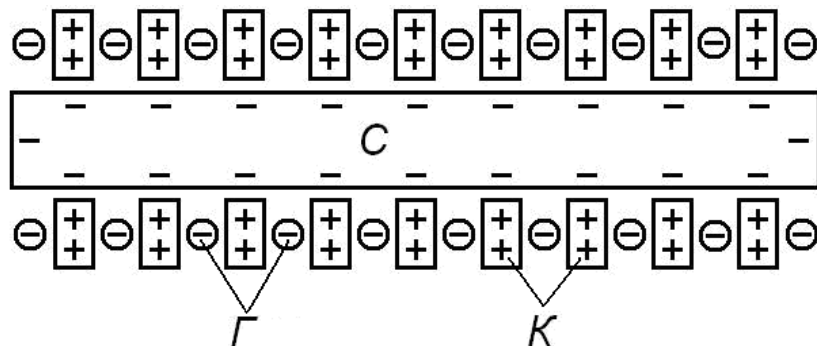


Рис. 8. Схема структури продуктів гідратації цементу навколо скловолок-
на:

C – скловолокно; K – кристалогідрати портландиту, гідроалюмінатів і гі-
дросульфалюмінатів кальцію; Γ – часточки гідросилікатного гелю

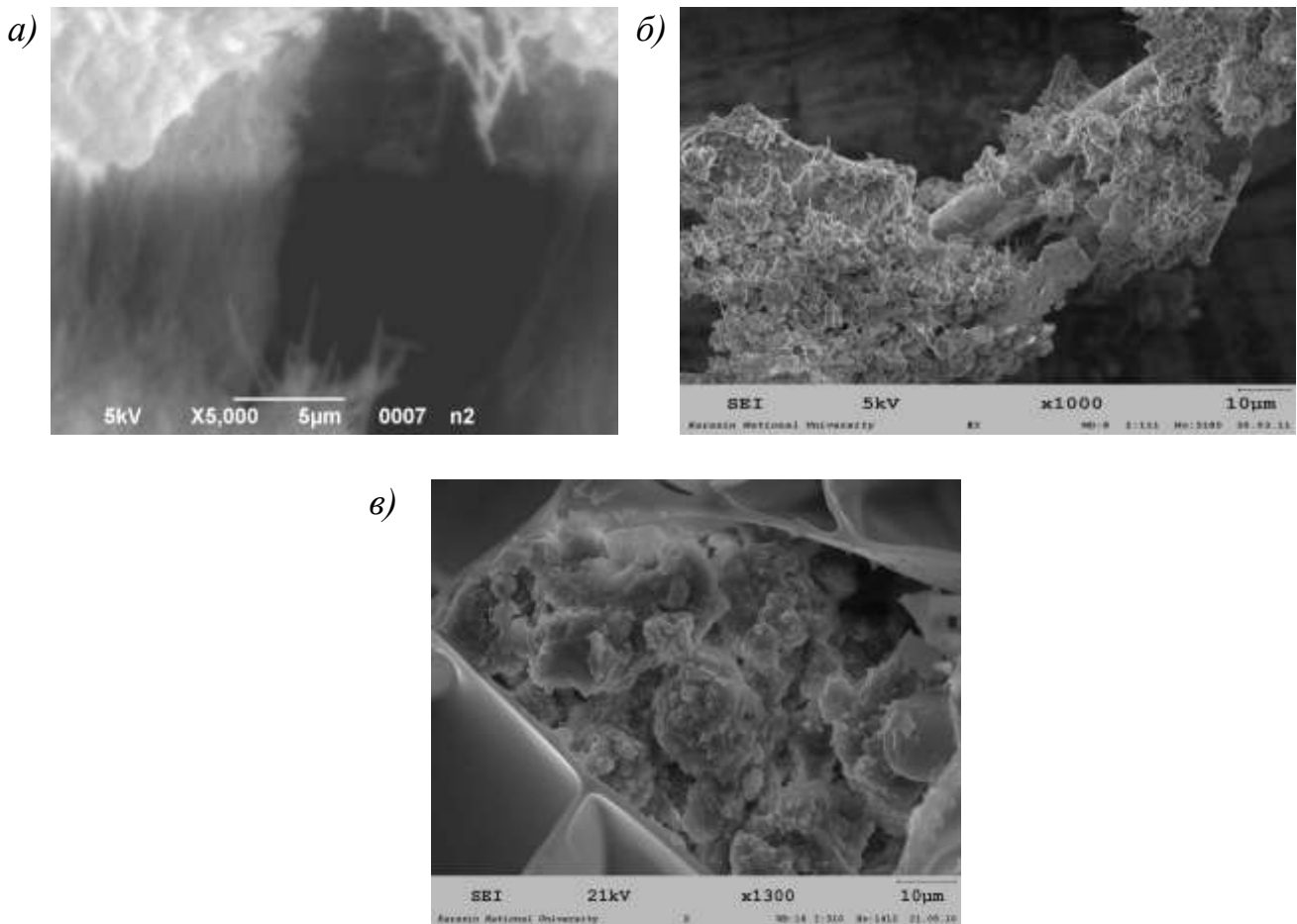


Рис. 9. Електронні мікрофотографії відколів цементного каменю:

- а)* – пора в цементному камені проростає кристалами еtringіту (1 доба);
б) – скловолокну обростає кристалами еtringіту, портландиту, кальциту, утворюючи з гідросилікатами кальцію електрогетерогенні контакти (7 доба);
в) – пора перліту, заповнена кристалами портландиту, гідрохлор- і гідрокарбоалюмінатів кальцію, кальциту (28 доба)

Таким чином встановлено, що шляхом введення тонкомелених мінеральних добавок, що мають близький до нейтрального сумарний поверхневий заряд і високу поверхневу концентрацію бренстедівських кислотних центрів адсорбції (наприклад, кальцит), можна домогтися підвищення щільності цементного каменю за рахунок інтенсифікації процесів гідrataції. Добавки скловолокна та перлітового піску, що мають переважно електронегативний поверхневий заряд, є підложкою для синтезу кристалогідратів з позитивним електроповерхневим потенціалом – портландиту, гідроалюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію, а при введенні добавок кальциту і хлоридів – гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію. Це забезпечить не тільки зарощування пор і капілярів цементного каменю, але й додатково дозволяє формувати кристалічні структури на поверхні скло фібри, на поверхні та в порах перліту, направлено зміцнюючи і армуючи структуру композитів в цілому, підвищуючи їх фізико-механічні характеристики.

У **четвертому розділі** за допомогою фізико-хімічних методів досліджен-

ня обґрунтовано застосування хімічних і мінеральних добавок.

Петрографічні дослідження зразків мікрокомпозиту проведено на затверділих композитах і контрольних зразках у тонких шліфах в прохідному світлі. Фотозйомку проведено в прохідному світлі при прохідних і схрещених ніколях. Для фотографування застосовано фотоприставку ВА-2 (Карл Цейс Іена). Як контрольний зразок досліджено композит без добавок (рис. 10).

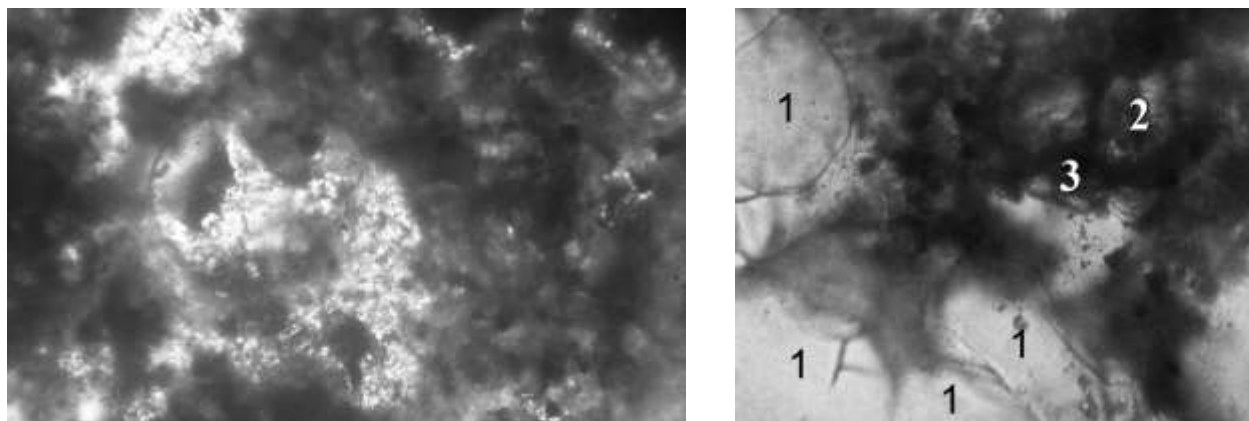


Рис. 10. Структура композиту без добавок:

1 – відкол зерна спученого перліту; 2 – зерно перліту, вкрите шаром цементного каменю ($\times 250$); 3 – цементний камінь

На рис. 10 представлено перлітове зерно і пори в ньому. Із рис. 10 видно, що зерна перліту розміром близько 0,6 мм утворюють структурний каркас, в якому цементний камінь заповнює порожнини.

Зразок оптимізованого складу, що містить хімічні добавки (рис. 11), має щільну структуру, навколо зерен перліту спостерігаються шари цементного каменю. У фазі зерна перліту спостерігається поверхнєве проникнення продуктів гідратації цементу тонким шаром близько 10 мкм, що відсутнє у зразка без добавки.

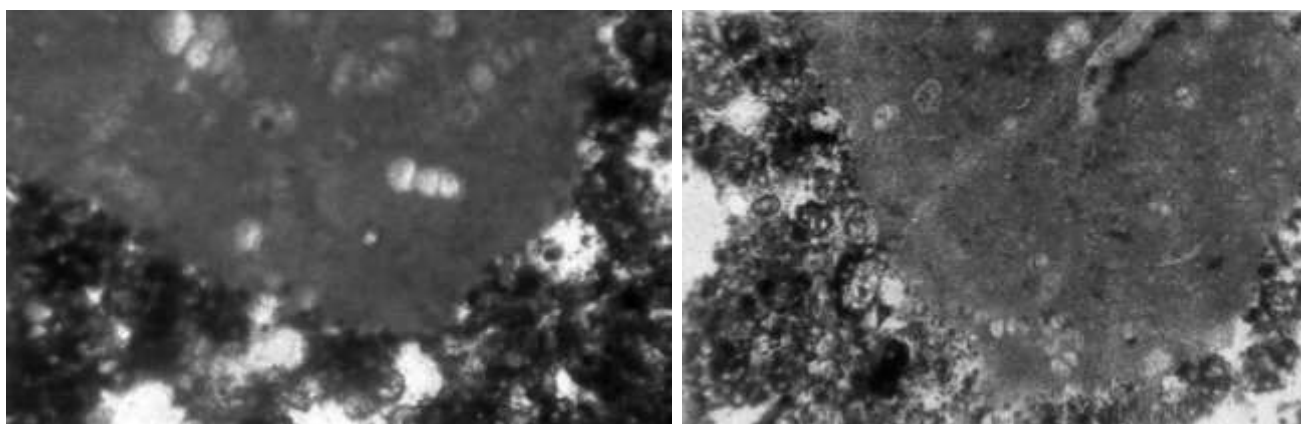


Рис. 11. Включення перліту у зразку композиту з хімічними добавками (всі пори заповнені кальцитом) при збільшенні, $\times 133$

Крім того, у зв'язуючій масі присутні окремі зерна і агрегати зерен портландцементу розміром 20–140 мкм, максимум 200 мкм. Навколо зерен спостерігаються плівки гідросилікатів кальцію. Основна маса зв'язки тонкозерниста (4–6 мкм), складається з портландиту – $Ca(OH)_2$, кальциту $CaCO_3$ і плівок гідросилікатів кальцію. Контакти перліту зі зв'язкою щільні. На контакті іноді розрізняються тонкі (до 6 мкм) плівки гідроалюмінатів кальцію. Приблизний вміст мінеральних фаз: портландцементу – близько 20–25 %, кальциту – близько 30–35 %, портландиту – близько 20–25 %, гідросилікатів кальцію – близько 20–25 %.

Таким чином, петрографічні дослідження зразків композиту підтвердили наявність кристалів кальциту, що мають позитивний поверхневий заряд і заповнюють поровий простір перліту. Щільні контакти перліту зі зв'язкою можна пояснити наявністю електрогетерогенних контактів між портландитом, кальцитом, гідроалюмінатними фазами з позитивним поверхневим зарядом та силікатними фазами і перлітом, що мають негативний поверхневий заряд.

Для підтвердження виконано електронно-мікроскопічні дослідження структури композиту за допомогою скануючого електронного мікроскопу JEOL JSM-840 (рис. 12).

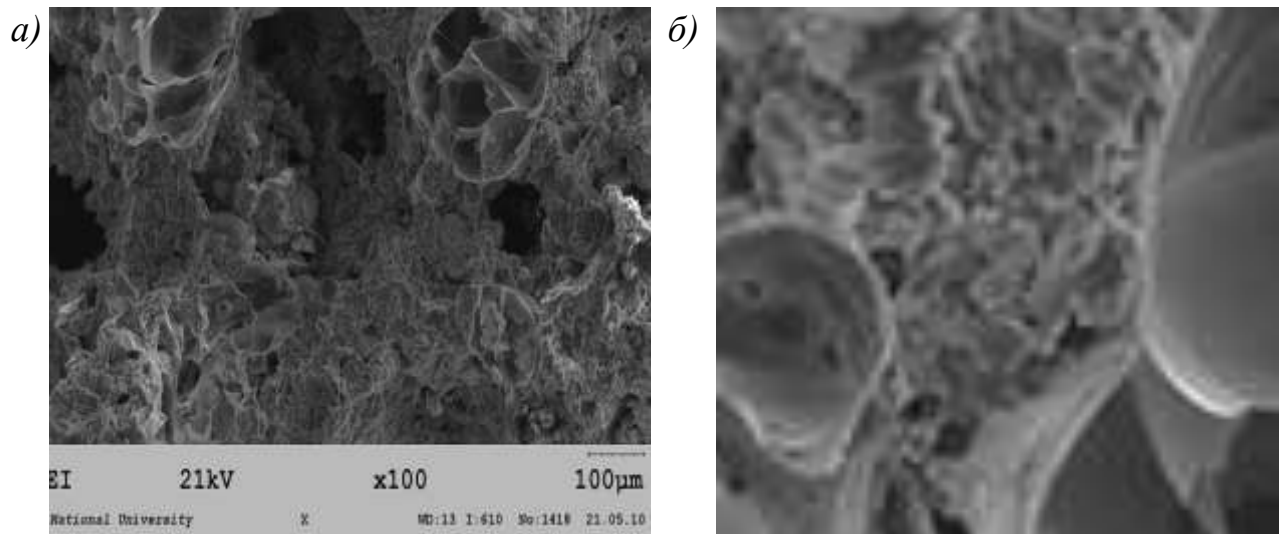


Рис. 12. Структура композиту на 28 добу твердіння. Електронно-мікроскопічні знімки:

a) – при збільшенні $\times 100$; *б)* – при збільшенні $\times 1000$

На рис. 12, *a* наочно видно зерна перліту із замкнутими порами у вигляді сотів розмірами до 0,5 мм, видно наскрізні пори розміром від 100 до 300 мкм, які можуть утворитися за рахунок руйнування структурних складових перліту. Видно, що поверхня перліту і його частково зруйновані наскрізні пори щільно покриває цементний камінь, який складається з кристалічних фаз і визначає субмікрорівень структури композиту.

При збільшенні $\times 1000$ (рис. 12, *б*) видно структурні елементи кристалічних фаз – блоки кубічної форми з середніми розмірами 0,2–0,3 мкм (праворуч),

гексагональні плоскі розміром близько 0,4 мкм ($400\text{--}800\text{ нм} = 4000\text{--}8000\text{ \AA}$) і більші плоскі частинки, також близькі до гексагональних (гідрокарбоалюмінати і гідрохлоралюмінати кальцію). Ці характеристики підтверджують, що кристалогідратними продуктами гідратації цементного каменю в основному є поверхневий портландит, кальцит, гідрокарбоалюмінати і гідрохлоралюмінати кальцію.

Таким чином, електронно-мікроскопічні дослідження підтвердили, що основними кристалічними утвореннями на силікатних підложках перліту (негативний поверхневий заряд) є кальцит, портландит, гідрохлоралюмінати і гідрокарбоалюмінати кальцію (позитивний знак поверхневого заряду).

Для підтвердження теоретичного обґрунтування того, що поверхня скляного волокна з негативним знаком заряду поверхні служить підложкою для синтезу кристалогідратів з позитивним знаком заряду поверхні, проведено електронно-мікроскопічні дослідження сколів цементного каменю з добавкою скловолокна, добавкою дисперсного кальциту і комплексною хімічною добавкою. Результати досліджень представлено на рис. 13.

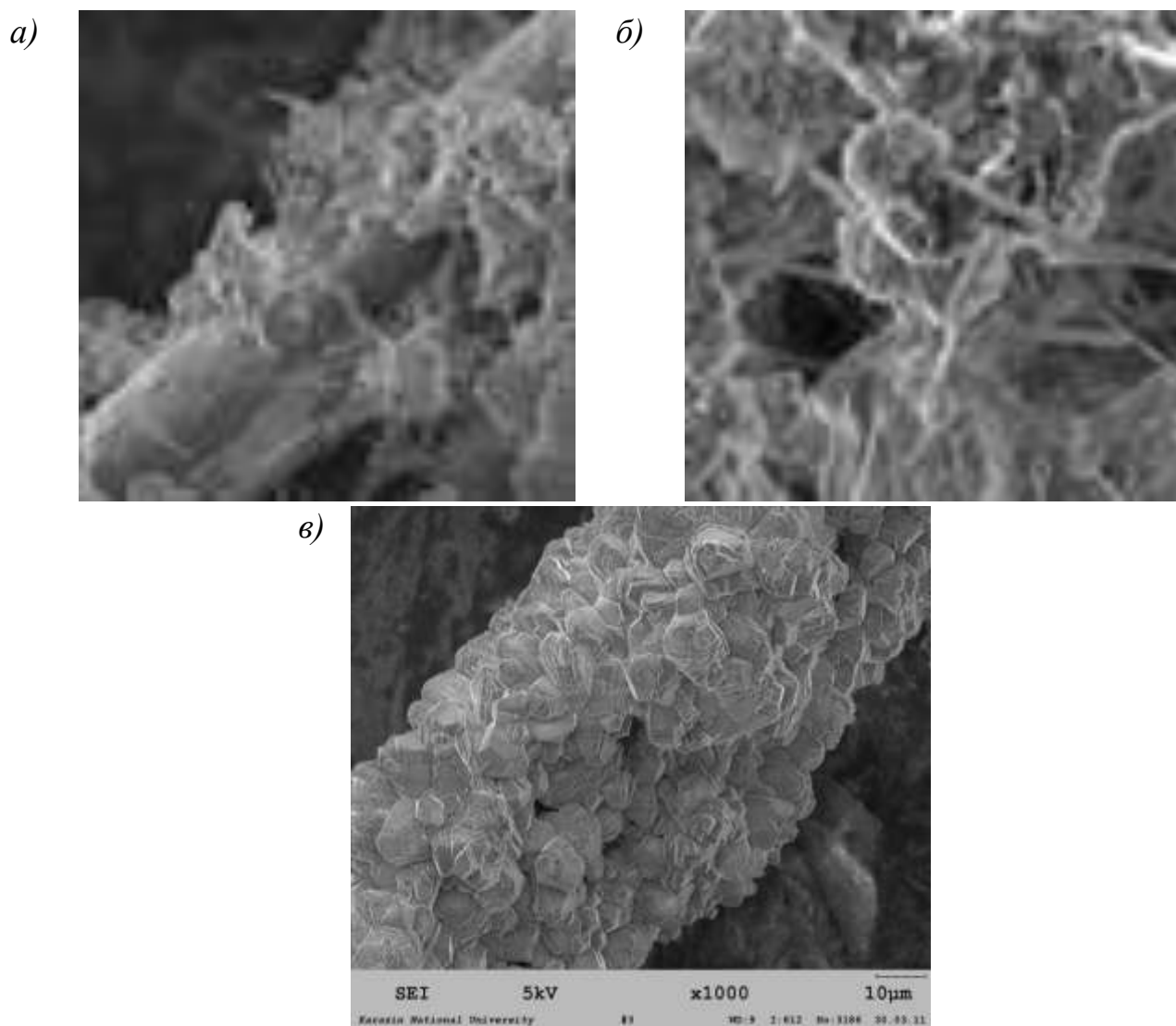


Рис. 13. Формування голок еtringіту кальциту і плівок різних фаз гідроалюмінатів кальцію (7 доба) на силікатній підложці скловолокна (*a*, *б*); скловолокно на 28 добу повністю обросло кристалічним каркасом (*в*)

Таким чином, електронно-мікроскопічні знімки підтвердили достовірність схем, наведених на рис. 7 та 8. Із рис. 12, 13 видно, що обсяг кристалогідратів на підложці скловолокна у 3–5 разів перевищує обсяг самого скловолокна. Це сприяє ущільненню цементного каменю на субмікрорівні. Руйнування скловолокна в результаті корозії в лужному середовищі цементного каменю не відбувається, оскільки на 28 добу твердіння поверхню скляного волокна повністю вкривають кристалічні новоутворення (рис. 13, в).

Рентгенофазовий та диференційно-термічний аналіз цементного каменю композиту підтвердили результати петрографічних та електронно-мікроскопічних досліджень. На рис. 14 представлено рентгенограми зразків цементного каменю (контрольного та з комплексною хімічною добавкою).

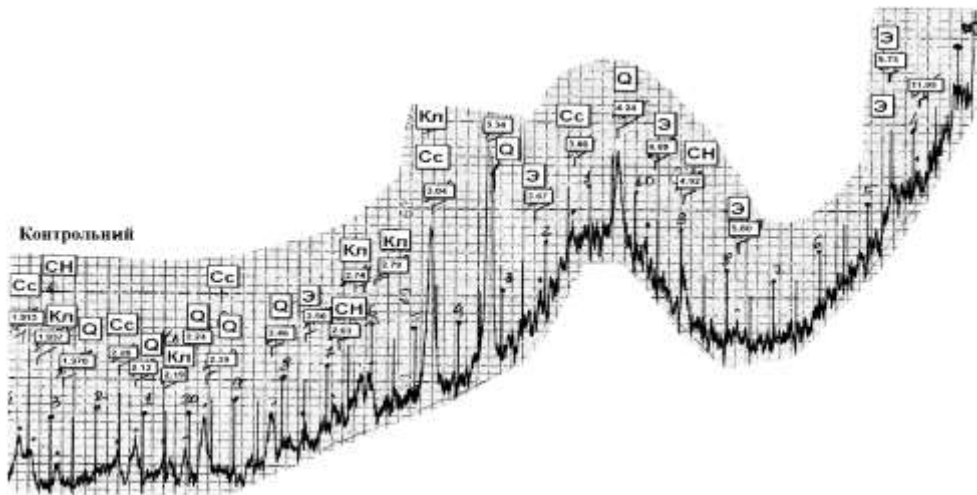
Таким чином, рентгенографічні дослідження підтвердили, що комплексна хімічна добавка, до складу якої входять карбід кальцію CaC_2 і хлористий кальцій $CaCl_2$, сприяє збільшенню утворення кристалогідратів портландиту і забезпечує синтез нових кристалогідратних фаз цементного каменю: гідрохлоралюмінату кальцію $3CaO \times Al_2O_3 \times CaCl_2 \times 10H_2O$, гідрокарбоалюмінату кальцію $3CaO \times Al_2O_3 \times CaCO_3 \times 12H_2O$ і кальциту.

Диференційно-термічний аналіз (рис. 15) загалом підтверджує результати рентгенографічних досліджень фазового складу і співвідношення мінеральних фаз досліджуваних зразків. Вміст кальциту в контрольному зразку найменший, у зразку з добавками істотно вищий – найбільший.

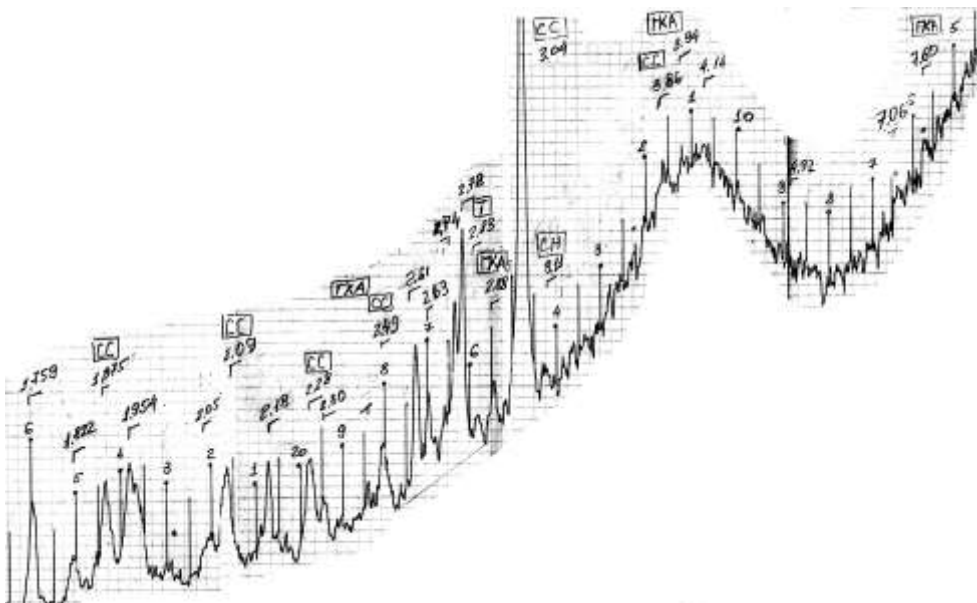
Також на кривій ДТА реєструється широкий ендоефект з максимумом при (–) 150–160 °С, що складається з сумарного ефекту від видалення адсорбційної води, а також кристалізаційної води еtringіту. Також можливе накладення від дегідратації гідросилікатів кальцію типу C_2SH_2 і тобермориту, гідрохлоралюмінатів, гідронітроалюмінатів, гідрооксихлоридів кальцію та інших гідратних сполук. Ендоефект (–) 490 °С в усіх досліджуваних зразках відповідає дегідратації портландиту, а ендоефект (–) 790–800 °С викликаний дисоціацією кальциту, проте в цій області можуть бути присутніми ендоефекти, пов'язані з дегідратацією гідросилікатів кальцію типу ксонотліту (–) 750–800 °С.

В цілому термічний аналіз зразків підтверджує результати рентгенофазового і мікроскопічного аналізів фазового складу досліджуваних проб цементного каменю і співвідношення мінеральних фаз. Основними фазами у всіх зразках цементного каменю є залишки клінкерних мінералів, гідросилікати та гідроалюмінати кальцію, портландит, кальцит. Кальцит, уведений у вигляді дисперсного порошку, викликає утворення шестикальцієвого трьохкарбонатного гідроалюмінату, близького за структурою до еtringіту, але уповільнює утворення самого еtringіту. Крім того, сприяє кращій кристалізації гідросилікатів кальцію типу тобермориту і C_2SH_2 , лінії дифракційного відбиття яких чітко фіксуються на рентгенограмі.

а)



б)



ГАК – гідроалюмінат кальцію,
 ГОХ – гідроксид кальцію,
 ГХА – гідрохлоралюмінат кальцію,
 ГНА – гідронітроалюмінат кальцію,
 СС – кальцит,
 Т – тоберморіт,
 Кс – ксонотліт,
 СН – портландит,
 Э – еtringіт,
 Q – кварц,
 Кл – клінкерні мінерали $\beta\text{C}_2\text{S}$ і C_3S ,
 C_2SH_2 – гідросилікат кальцію C_2SH_2

в)

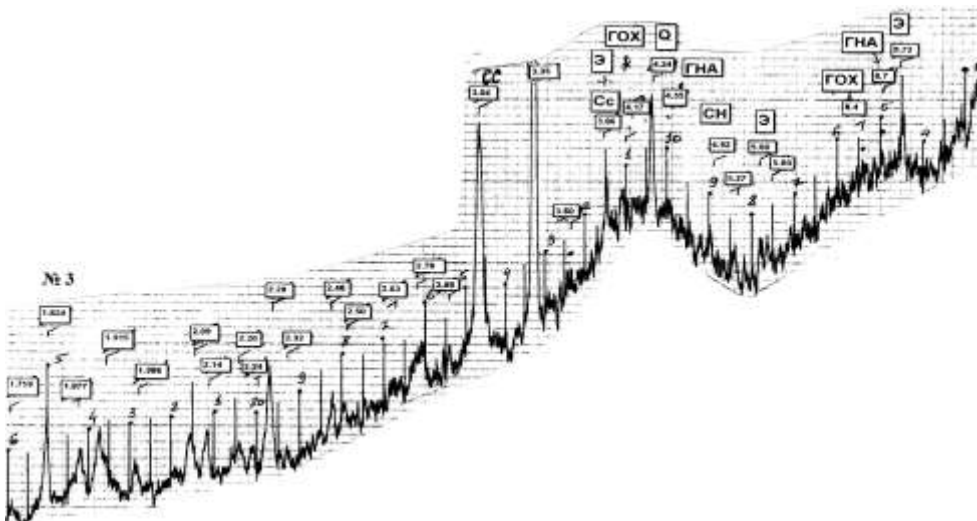


Рис. 14. Рентгенограми зразків цементного каменю:

а) – без добавок, контрольний; б) – з карбонатною, комплексною хімічною добавкою і скловолоком; в) – з карбонатною, комплексною хімічною добавкою і перлітом

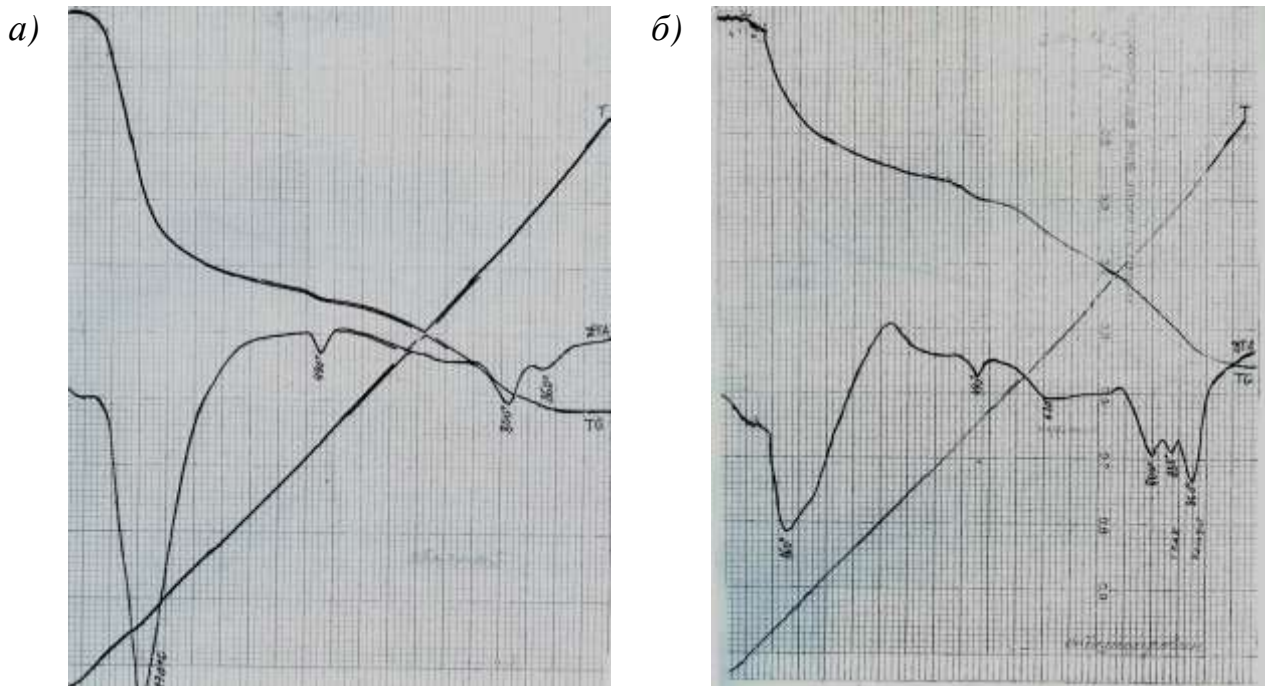


Рис. 15. Термограми зразків цементного каменю:
 а) – контрольний; б) – цементний камінь гідроізоляційного композиту

Таким чином, встановлено, що комплексна хімічна добавка і добавка скловолокна (перліту) сприяють загальному підвищенню ступеня гідратації з утворенням більшої кількості портландиту, гідросилікатів кальцію типу тоберморіту і ксонотліту і комплексних гідроалюмінатів кальцію. Комплекс мінеральних і хімічних добавок сприяє підвищенню ступеня гідратації, при цьому загальна втрата маси при нагріванні до 1000 °С склала: для контрольного зразка – 18,5 %, для зразка гідроізоляційного композиту – 20,3 %.

У **п'ятому розділі** проведено експериментальні дослідження властивостей компонентів, що входять в гідроізоляційний композит, а також фізико-механічні та гідрофізичні властивості оптимізованих складів композиту. Результати досліджень представлено в табл. 5.

Співставлення отриманих результатів з вимогами, що пред'являються до гідроізоляційних складів на цементному в'язучому відповідно до стандарту України, представлено в табл. 6.

Як видно з табл. 6, отриманий композит для гідроізоляції перевищує вимоги ДСТУ Б В.2.7-126:2011 в 2,5–3 рази і може застосовуватися як гідроізоляційний матеріал на пористих бетонних, залізобетонних і кам'яних підложках.

Таким чином, можна зробити висновок, що наукова гіпотеза про підвищення гідрофізичних властивостей цементних композитів на мезорівні за рахунок уведення мікронаповнювачів і мікроармуючих добавок, на мікро- і субмікрорівні – за рахунок спрямованого зростання додаткових кристалогідратів, що створюють в багатофазовій структурі цементного композиту найбільшу кількість електрогетерогенних контактів, підтверджена виконаними дослідженнями.

Узагальнена таблиця результатів дослідження фізико-механічних та гідрофізичних властивостей розроблених композитів

Показники властивостей композитів	Од. вимір.	Величина для складу			
		1	2	3	контрольного
Межа міцності на стиск $R_{ст}$	МПа	32,8	41,1	27,5	25,5
Межа міцності на вигин $R_{виг}$	«	8,2	12,5	7,9	7,6
Адгезія до бетону $R_{от}$ при замочуванні у воді	«	2,05	2,36	2,28	0,74
Деформації усадки через 6 місяців	%	0,09	0,07	0,15	0,87
Водонепроникність W	атм	понад W_8	$\approx W_{12}$	W_8	W_4
Морозостійкість F	циклів	200	понад 200	150	100
Паропроникність μ	мг/м×год×Па	0,035	0,032	0,038	0,16
Тріщиностійкість	візуально	без тріщин	без тріщин	без тріщин	волосяні тріщини
Водопоглинання за масою	%	1,09	0,56	1,15	3,21
Водопоглинання за об'ємом	«	2,5	1,28	2,61	7,22

Таблиця 6

Вимоги до сухих будівельних сумішей для влаштування гідроізоляції проникної дії і властивості розроблених композитів

Показник властивостей	Од. вимір.	Величина	
		встановлена ДСТУ Б В.2.7-126:2011	у розроблених композитах
Межа міцності на стиск $R_{ст}$, не менше	МПа	10	27,5–41,1
Міцність зчеплення з основою при замочуванні у воді $R_{от}$, не менше	«	0,3–0,8	2,05–2,36
Усадка, не більше	мм/м	2	0,74–1,48
Морозостійкість, не менше	циклів	50	150–200
Паропроникність μ , не менше	мг/м×год×Па	0,03	0,032–0,038

Встановлено механізм проникнення компонентів гідроізоляційного складу у пористий матеріал і кольматації порового простору підложки, згідно з

яким проникнення забезпечується за рахунок дифузії іонів через водонасичені пори, а глибина кольматації визначається довжиною шляху дифузії за час, що відповідає строкам тужавлення гідроізоляційного складу. Для складів, що розробляються, глибина проникнення і, відповідно, кольматації, визначена розрахунковим методом і підтверджена експериментально за рахунок уведення в них добавки-люмінофора, і склала 7–10 мм.

Для обґрунтування вибору складу композиту з підвищеними гідрофізичними характеристиками на підставі якісних характеристик експлуатованих об'єктів, що враховують основні гідрофізичні і фізико-механічні показники, застосовано теорію нечітких множин та апарат нечіткої логіки. Для розробки експертної системи вибору використано trial-версію системи MATLAB.

У **шостому розділі** представлено результати виробничої перевірки та впровадження отриманих складів. Економічний ефект від впровадження склав 958,00 грн/т і 19,00 грн/м².

Представлено різні умови застосування розробленого композиту: як клеюві та розшивні суміші для укладання облицювальних матеріалів, експлуатованих в умовах підвищеної вологості; для реставраційних робіт; в агресивних середовищах; для захисту кам'яної кладки від фільтрації води; при дії вібрації; спільна робота з полімерними покриттями; для подовження експлуатаційного ресурсу будівель і споруд. Доведено ефективність роботи композитів на різних підложках (бетон, залізобетон, вапняк, керамічна цегла, піщаник).

ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних даних показав, що до сьогодні питання отримання ефективних покриттів на цементній основі для гідроізоляційних і реставраційних робіт, які б могли забезпечити ефективний захист і роботу конструкцій з бетону, залізобетону, штучних і природних каменів на весь період їх експлуатації до кінця не реалізовано. Встановлено і ранжовано фактори спрямованого регулювання структури і властивостей цементних композитів, що визначають їх гідрофізичні характеристики.

2. Встановлено, що підвищення щільності затверділих цементних композитів досягається шляхом введення тонкомолотих мінеральних добавок, що мають близький до нейтрального сумарний поверхневий заряд і високу поверхневу концентрацію брестедівських кислотних центрів адсорбції (наприклад, кальцит), які, проявляючи акцепторні властивості поверхні, сприяють інтенсифікації гідратаційних процесів, змінюючи характер пористості з капілярної на гелеву, що сприяє підвищенню водонепроникності затверділого композиту.

3. Встановлено, що цементний камінь, перліт і скловолокно, як силікатні структури, мають негативний поверхневий заряд і є підложкою для кристалізації продуктів гідратації з позитивним поверхневим зарядом – портландиту, гідроалюмінатів, гідросульфоалюмінатів кальцію, а при введенні добавок кальциту і хлоридів – гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію. Це забезпечить не тільки зарощування пор і капілярів цементного каменю, але до-

датково дозволяє формувати кристалічні структури на поверхні склофібри та на поверхні й у порах перліту, направлено зміцнюючи та армуючи структуру композиту в цілому, підвищуючи її фізико-механічні характеристики.

4. Для зниження водопроникності цементних композитів введено хімічні добавки: нітрат, сульфат і карбонат натрію, хлорид і карбід кальцію, які дозволяють синтезувати позитивно заряджені кристалогідрати, зокрема, гідронітроалюмінат кальцію $3CaO \times Al_2O_3 \times Ca(NO_3)_2 \times 10H_2O$, гідрохлоралюмінат кальцію $3CaO \times Al_2O_3 \times CaCl_2 \times 10H_2O$, еtringіт $3CaO \times Al_2O_3 \times 3CaSO_4 \times 31H_2O$, гідросульфоалюмоферит кальцію $3CaO \times Al_2O_3 (Fe_2O_3) \times 3CaSO_4 \times 31H_2O$ або гідросульфоферит кальцію $3CaO \times Fe_2O_3 \times 3CaSO_4 \times 31H_2O$, а також кальцит $CaCO_3$.

5. Встановлено, що комплексна хімічна добавка у складі композиту спричиняє дію, що пасивує процеси корозії сталі. Це відображається незначним зростанням анодного струму (0,18-0,85 В) на анодних поляризаційних кривих і є важливою при застосуванні даного композиту для відновлення і гідроізоляції залізобетонних конструкцій.

6. Встановлено, що найкращі гідрофізичні характеристики має склад композиту, що містить: 0,2 % скломікрофібри, 1,5 % перлітового піску, 11 % тонкодисперсної добавки карбонату кальцію та комплексної хімічної добавки 3,5 %.

7. Встановлено, що введення комплексної хімічної добавки (3,5 % від маси цементу) знижує відкриту капілярну пористість композиту до 1,28 % (більше ніж у 5 разів). Подальше збільшення витрати комплексної хімічної добавки (до 3,75 % від маси цементу) не приводить до зниження капілярної пористості.

8. Встановлено, що проникання компонентів гідроізоляційного складу у пористий матеріал забезпечується за рахунок дифузії їх іонів через водонасичені пори, а глибина кольматації визначається довжиною шляху дифузії за час, що відповідає строкам тужавлення гідроізоляційного складу. Для складів, що розробляються, глибина проникання і, відповідно, кольматації, визначена розрахунковим методом і підтверджена експериментально за рахунок введення в них добавки-люмінофора, і склала 7-10 мм.

9. Розроблено гідроізоляційний проникний склад на цементній основі з показниками міцності на стиск і вигин 41,1 МПа і 12,5 МПа відповідно, адгезією до бетонної основи понад 2,36 МПа, водонепроникністю W12, морозостійкістю більше за F200, деформацією усадки через 6 місяців у 0,07 %, що в кілька разів перевищує вимоги нормативних документів України до подібних складів.

10. Розроблено методологічний і програмний інструментарій для обґрунтованого вибору складу композиту з підвищеними гідрофізичними характеристиками на підставі якісних характеристик експлуатованих об'єктів. Вибір здійснюється орієнтуючись на основні гідрофізичні і фізико-механічні показники.

11. Показано, що найбільш ефективна робота композитів на цементній основі проникної дії в агресивних середовищах забезпечується у разі спільного застосування з полімерними покриттями.

12. Розроблено і успішно впроваджено у виробництво під торговою

маркою «Віатрон» будівельну суміш гідроізоляційного призначення проникної дії, а також її різновиди для захисту, гідроізоляції та відновлення бетону, залізобетону, керамічних виробів, вапняку, пісковика, які дозволяють економити матеріальні ресурси. Економічний ефект від впровадження будівельної суміші для гідроізоляційного покриття склав 19,00 грн/м² і 958,00 грн/т.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у фахових виданнях:

1. Повышение прочности мелкозернистого бетона на основе учета электроповерхностных свойств его составляющих: [Текст] / Е.В. Кондращенко, В.И. Бабушкин, Т.А. Костюк // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2000. – Вип. 9. – С.145-150. *Особистий внесок:* аналіз та оцінка визначених електроповерхневих властивостей цементів різних видів у підвищенні міцності.

2. Возможность использования комплексной минерально-химической добавки в литых и виброуплотняемых составах: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк, В.И. Бабушкин // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА; ХОТВ АБУ, 2000. – Вип. 10. – С. 180-183. *Особистий внесок:* визначено граничні умови за рН вводу у цементні системи сульфату алюмінію.

3. Фізико-хімічні дослідження цементних композицій для безавтоклавних виробів: [Текст] / В.І. Бабушкін, А.А. Пługін, Т.О. Костюк, О.В. Кондращенко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2000. – Вип. 37. – С. 49-54. *Особистий внесок:* аналіз рентгенофазових та ІЧ спектрів; визначення умов утворення алюмогідратних фаз.

4. К вопросу о методологии измерения электроповерхностных свойств частиц в вяжущих системах: [Текст] / В.И. Бабушкин, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк, С.П. Новикова // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка: наук.-техн. зб. – Київ: Знання України, 2002. – Вип. 17. – С. 38-43. *Особистий внесок:* теоретичне обґрунтування та розрахунки активних центрів та електроповерхневого знаку заряду часток.

5. Роль активных центров и поверхностных зарядов в формировании структуры цементного и гипсового камня: [Текст] / В.И. Бабушкин, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002. – Вип. 2. – С. 52-60. *Особистий внесок:* вибір методики та визначення активних центрів адсорбції дисперсних часток, співвідношення отриманих даних з електрокінетичним потенціалом.

6. Методологический подход к вопросу определения глубины проникновения составов проникающего действия: [Текст] / В.И. Бабушкин, Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко [и др.] // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2003. – Вип. 22. – С. 43-46. *Особистий внесок:* визначення глибини проникнення хімічно-активної частини в модельні зразки кам'яних підкладок, проведення експериментів.

7. К вопросу определения эксплуатационных свойств защитных составов проникающего действия: [Текст] / В.И. Бабушкин, А.И. Бондаренко, Т.А. Кос-

тюк [и др.] // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2003. – Вип. 22. – С. 47-50. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування підвищення експлуатаційних властивостей, планування експериментів.

8. Оценка коррозионной стойкости арматуры под защитным слоем «Виатрона»: [Текст] / Е.В. Кондращенко, В.И. Бабушкин, Т.А. Костюк [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2004. – Вып. 41. – С. 20-22. *Особистий внесок*: планування експерименту, теоретичне обґрунтування отриманих результатів.

9. Биостойкие сухие смеси проникающего действия: [Текст] / Е.В. Кондращенко, В.А. Юрченко, Т.А. Костюк [и др.] // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2005. – Вип. 34. – С. 145-148. *Особистий внесок*: критичний аналіз літературних джерел, розробка методики експерименту, теоретичне обґрунтування отриманих результатів.

10. Анализ свойств гидроизоляции проникающего действия с использованием портландцемента с добавками шлака: [Текст] / В.И. Бабушкин, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2007. – Вып. 9 – С. 3-7. *Особистий внесок*: аналіз результатів, теоретичне обґрунтування результатів дослідження.

11. Принцип формирования плотной структуры цементного камня: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Бетон и железобетон в Украине. – Киев, 2007. – № 3. – С. 29-30. *Особистий внесок*: розрахунки іонних рівноваг, рентгенографічні дослідження утворення кристалогідратів з алюмінатної фази.

12. Костюк Т.А. О формировании структуры проникающей гидроизоляции: [Текст] / Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007. – Вип. 43. – С. 138-141. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування застосування портландського цементу у складах проникної дії, аналіз результатів рентгенографії.

13. Костюк Т.А. Исследование и сравнительный анализ пенетрирующих гидроизоляций марки «Виатрон» и «Аквафин-ИЦ»: [Текст] / Т.А. Костюк, Д.Ф. Гончаренко, А.Н. Кононенко // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – Киев: Техника, 2007. – Вып. 79. – С. 399-403. *Особистий внесок*: обґрунтування порівняльних оцінок, розрахунки за експериментальними даними, обґрунтування висновків.

14. Обоснование подбора и способа введения добавок в бетоны: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Вісник НТУ «ХПИ». – Харків: НТУ «ХПИ», 2008. – Вип. 33. – С. 143-150. *Особистий внесок*: теоретичне і експериментальне обґрунтування вводу сульфату алюмінію в цементні склади.

15. Костюк Т.А. Теоретический подход к вопросу выбора химических добавок для повышения водонепроницаемости бетона: [Текст] / Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко // Вісник ОДАБА. – Одеса: ОДАБА, 2008. – Вип. 31. – С. 171-176. *Особистий внесок*: розрахунок полів стійкості різних видів іонів у системі, фізико-механічні випробування.

16. Костюк Т.А. Восстановление бетона и железобетона проникающей гидроизоляцией: [Текст] / Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко, О.Ю. Процин // До-

роги і мости: Зб. наук. праць. – Київ: ДерждорНДІ, 2008. – Вип. 10. – С. 137-138. *Особистий внесок*: узагальнення результатів досліджень.

17. Костюк Т.А. Применение составов проникающей гидроизоляции в строительстве и реставрационных работах: [Текст] / Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко, О.Ю. Прошин [и др.] // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. – Вип. 52. – С. 239-245. *Особистий внесок*: планування експериментів, постановка експерименту, висновки.

18. Будівельні композиційні матеріали. Спеціальні властивості: [Текст] / Р.А. Яковлева, Т.А. Костюк, Д.О. Бондаренко [та ін.] // Хімічна промисловість України: Наук.-вироб. журнал. – Київ: ВНДІХІМПРОЕКТ, 2009. – Вип. 3. – С. 39-43. *Особистий внесок*: петрографічні дослідження взаємодії складів проникної дії з полімерним покриттям.

19. Эффективность применения теплоизоляционного материала с пониженной паропроницаемостью в ограждающих конструкциях: [Текст] / Д.А. Бондаренко, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Вісник ОДАБА. – Одеса: ОДАБА, АБУ, 2009. – Вип. 33. – С. 163-166. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування співвідношення компонентів у теплоізоляційному матеріалі.

20. Применение карбонатных минеральных добавок для снижения усадки цементных растворов: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко, М.Г. Салия // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – Вип. 59. – С. 157-162. *Особистий внесок*: постановка проблеми, робоча гіпотеза. Планування експерименту, аналіз результатів.

21. Прогнозирование физико-механических свойств мелкозернистого бетона с учетом кристаллоэнергетических характеристик его структурных элементов: [Текст] / В.И. Винниченко, Т.А. Костюк, М.Г. Салия, Д.А. Бондаренко // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2011. – Вип. 63. – С. 234-238. *Особистий внесок*: теоретичні розрахунки, висновки.

22. Дослідження глибини проникнення рідини крізь гідроізоляційне покриття інтегрально-капілярної дії на модельних зразках: [Текст] / В.А. Арутюнов, Д.О. Бондаренко, Т.О. Костюк // Науковий вісник будівництва: Зб. наук. пр. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 489-493. *Особистий внесок*: теоретичні розрахунки, планування експерименту, висновки.

Публікації у міжнародних виданнях та у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз даних:

23. Влияние фиброармирования на свойства смесей проникающего действия: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. – Киев: Техника, 2007. – Вып. 76. – С. 59-63. *Особистий внесок*: планування експерименту, теоретичне обґрунтування результатів технологічних властивостей сухих сумішей.

24. Механизм воздухопроницаемости теплоизоляционных материалов с тонкими капиллярами: [Текст] / А.Н. Плугин, А.А. Плугин, Д.А. Бондаренко, Т.А. Костюк // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. –

Вип. 115. – С. 28-46. *Особистий внесок*: експериментальні та теоретичні дані з механізму переносу у тонких капілярах.

25. Будівельні композиційні матеріали для реставрації та подовження експлуатаційного ресурсу конструкцій: [Текст] / Р.А. Яковлева, Т.О. Костюк, Д.О. Бондаренко, О.Ю. Прошин // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. зб. – Київ: Товариство «Знання» України, 2010. – Вип. 35. – С. 145-148. *Особистий внесок*: теоретичні та експериментальні дослідження властивостей покриттів.

26. Изотропное микроармирование цементного камня продуктами гидратации для повышения физико-механических характеристик гидроизоляционных покрытий: [Текст] / А.А. Плугин, М.Г.Салия, Т.А. Костюк // Вісник НТУ «ХПІ». – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – Вип. 50. – С. 97-103. *Особистий внесок*: мікроскопічні дослідження мікроарматури, загальні висновки.

27. Гидроизоляционные составы на основе портландцемента, армированные полимерными волокнами: оценка возможности применения полиэфирной микрофибры: [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 70-77. *Особистий внесок*: теоретичне і експериментальне обґрунтування можливості застосування поліефірних волокон у цементних складах з комплексною добавкою.

28. Костюк Т.А. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов: [Текст] / Т.А. Костюк, А.А. Плугин, Ал.А. Плугин [и др.] // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С. 32-38. *Особистий внесок*: постановка проблеми, теоретичні розрахунки, висновки.

29. Оценка возможности применения полиэфирной микрофибры в гидроизоляционных составах на основе портландцемента: [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк [и др.] // Современный научный вестник. – Белгород: Руснауцкнига, 2013. – Вып. 32 (171) 2013. – С. 109-116. *Особистий внесок*: отримання математичних моделей вмісту поліефірного волокна і комплексної хімічної добавки.

Публікації апробаційного характеру:

30. Роль электрогетерогенных взаимодействий в ускорении процессов структурообразования и твердения цементного камня и бетонов: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк, В.И. Бабушкин // Стенд. доклады II Международного совещания по химии и технологии цемента (22-24 марта 2000 г.). – М.: Информатизация образования, 2000. – Т. III. – С. 86-87. *Особистий внесок*: обґрунтування введення гідроксиду натрію у цементні склади, що містять добавку сульфату алюмінію.

31. Влияние электроповерхностных явлений на процессы твердения цементного камня: [Текст] / В.И. Бабушкин, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк [и др.] // Науч. труды II Всероссийской (Международной) конференции «Бетон и железобетон – пути развития» (5-9 сентября 2005 г.). – М.: Информполиграф,

2005. – Т. 3. – С. 19-23. *Особистий внесок*: теоретичні і експериментальні дослідження підвищення структурної міцності цементних композитів.

32. Сухая строительная смесь проникающего действия «Виатрон»: [Текст] / В.И. Бабушкин, Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства» (28-30 ноября 2005 г.). – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2005. – С. 90-91. *Особистий внесок*: дослідження експлуатаційних властивостей складів проникної дії.

33. Безусадочные сухие строительные смеси широкого спектра действия: [Текст] / В.И. Бабушкин, Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко, О.Ю. Процин // Сб. трудов Всероссийской научно-практической конференции «Строительное материаловедение – теория и практика» (22-24 ноября 2006 г.). – М.: СИП РИА, 2006. – С. 106-108. *Особистий внесок*: планування і постановка експериментів, дослідження складів з короткими термінами тужавіння.

34. Безгипсовый цемент для строительства автомобильных дорог: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк, В.И. Кондращенко [и др.] // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства» (26-28 ноября 2007 г.). – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2007. – Ч.1. – С. 454-458. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування і розробка поліфункціональної добавки.

35. Костюк Т.А. Сухие строительные смеси быстрого твердения: [Текст] / Т.А. Костюк, Е.В. Кондращенко, В.И. Кондращенко, А.В. Кендюк // Материалы Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы строительства» (26-28 ноября 2007 г.). – Саранск: Издательство Мордовского университета, 2007. – Ч.2. – С. 315-317. *Особистий внесок*: планування експериментів, загальні висновки.

36. Влияние фиброармирования на свойства смесей проникающего действия: [Текст] / Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк // Материалы II Международной научно-технической интернет-конференции «Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства» (1-31 мая 2007 г.). – Харьков: ХНАГХ, 2007. – С. 195-199. *Особистий внесок*: планування і постановка експериментів з армуванням поліпропіленовою фіброю.

37. Строительные композиции проникающего действия для восстановления и гидроизоляции бетона и железобетона: [Текст] / Р.А. Яковлева, Т.А. Костюк // Офіційний каталог XXII спеціалізованої виставки-ярмарки «Будівництво – 2008» (14-17 березня 2008 р.). – Харків, 2008. – С. 168-169. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування і експериментальне обґрунтування ефективності застосування складів проникної дії.

38. Костюк Т.А. Исследование и сравнительный анализ пенетрирующих гидроизоляций марки «Виатрон» и «Аквафин-ИЦ»: [Текст] / Т.А. Костюк, Д.Ф. Гончаренко, А.Н. Кононенко // Материалы VIII Международной научно-технической интернет-конференции «Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве» (1-30 декабря 2007 г.). – Харьков: ХНАГХ, ХОТОО АСУ, 2008. – С. 45-49. *Особистий внесок*: теоретичні дослідження, порівняльний аналіз.

39. Двухслойные защитные композиционные составы «Виатрон» для бетонных и каменных конструкций: [Текст] / Р.А. Яковлева, Т.А. Костюк, О.И. Демина, О.Ю. Прошин // Матеріали IV Міжнародної науково-технічної конференції «Композиційні матеріали» (18-19 травня 2009 р). – Київ: НТУ «КПІ», 2009. – С. 30-32. *Особистий внесок*: обробка та аналіз експериментальних даних.

40. Multifunctional composites «Viatron» in construction: [Текст] / D.O. Bondarenko, R.A.Yakovleva, T.O. Kostiuk, O.Yu. Proshin // Proceedings of SEICO 09, 30th SAMPE Europe International Jubilee Conference, Paris, of the Society for the Advancement of Materials and Process Engineering (Paris) on March 23-25th. 2009. – P. 563-569. *Особистий внесок*: постановка проблеми, обґрунтування ефективності комплексної роботи полімерів з гідроізоляційним покриттям на цементній основі.

41. Применение карбонатных добавок в цементных составах для гидроизоляционных и реставрационных работ зданий и сооружений: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, М.Г. Салия, Д.А. Бондаренко // Сб. докладов Международной научно-технической конференции «Промышленное и гражданское строительство в современных условиях» (19-20 апреля 2011 г.). – М.: МГСУ, 2011. – С. 154-160. *Особистий внесок*: обробка та аналіз даних адсорбції кольорових індикаторів, загальні висновки.

42. Применение метода математического планирования эксперимента для оптимизации состава сухой строительной смеси: [Текст] / М.Г. Салия, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко, О.В. Старкова // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Научное пространство Европы – 2012» (7-15 апреля 2007 г.). – Пшемшль: Наука и образование, 2012. – Том 36. – С. 53-58. *Особистий внесок*: складання плану експерименту, оптимізація складу за допомогою експериментально-статистичних моделей, висновки.

43. Обоснование выбора наполнителей для гидроизоляционных сухих смесей на основе портландцемента: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, М.Г. Салия [и др.] // Материалы VIII Международной научно-практической конференции «Ключевые проблемы современной науки – 2012» (17-25 апреля 2012 г.). – София: Бял ГРАД-БГ, 2012. – Том 29. – С. 62-67. *Особистий внесок*: постановка проблеми, кристаллоенергетичні розрахунки, висновки.

44. Возможности применения полимерной микрофибры в гидроизоляционных цементных составах: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов, Д.А. Бондаренко // Материалы IX Международной научно-практической конференции. «Дни науки» (27 марта – 5 апреля 2013 г.). – Прага: Издательский дом «Образование и наука», 2013. – Т. 32. – С. 79-85. *Особистий внесок*: аналітичні дослідження, теоретичне обґрунтування використання поліефірної мікрофібри у складах з комплексною хімічною добавкою.

45. Костюк Т.А. Формирование кристаллических новообразований на поверхности полиэфирных волокон в стесненных условиях: [Текст] / Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов // Тези доповідей 69-ої науково-технічної конференції ХНУБА (18-20 березня 2014 р.). – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 14. *Особистий внесок*:

аналіз результатів фізико-хімічних досліджень, аналіз результатів оптимізації складів за допомогою математичного планування експериментів.

46. Костюк Т.А. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов: [Текст] / Т.А. Костюк, Ал.А. Плугин, А.А. Плугин [и др.] // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті» (26-28 листопада 2014 р.). – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – С. 52-54. *Особистий внесок*: розрахунки модуля деформації і міцності композитів.

47. Высокопрочный гидроизоляционный композит: [Текст] / В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, А.В. Рачковский // Сборник докладов Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления науки и техники» (22-23 октября 2014 г.). – Пенза: ПГУАС, 2014. – С. 6-8. *Особистий внесок*: обґрунтування проблеми, шляхи вирішення, висновки.

48. Костюк Т.А. Применение гидроизоляционных цементных составов проникающего действия на силикатных подложках из природного камня: [Текст] / Т.А. Костюк, А.В. Лобанова // Тези доповідей 5-ї Міжнародної науково-технічної конференції з будівельних матеріалів, конструкцій та споруд «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті» (23-24 квітня 2015 р.). – Харків: УкрДАЗТ, 2015. – С. 20-21. *Особистий внесок*: постановка задачі, аналіз петрографічних досліджень, висновки.

Додаткові публікації:

49. Патент UA 73395 C27 C04B 28/00, 41/65, 22/06. Композиція проникної дії для відновлення зруйнованого бетону / Бабушкін В.І., Кондращенко О.В., Костюк Т.О., Прощин О.Ю. Заявл. 24.06.2003; опубл. 15.07.2005, Бюл. № 7. *Особистий внесок*: патентний пошук, розробка складу.

50. Патент UA 87931 МПК C04B 28/02, C04B 22/08, C04B 24/00. Теплоізоляційна суха будівельна суміш з низькою паропроникністю / Кондращенко О.В., Бондаренко Д.О., Костюк Т.О., Прощин О.Ю. Заявл. 14.01.2008; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16. *Особистий внесок*: обґрунтування формування кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом на силікатній підкладці перліту.

51. Патент RU 2 379 243 C1 МПК C04B 28/00, C04B 111/20. Сухая строительная смесь проникающего действия для зимнего бетонирования / Кондращенко В.И., Гребенников Д.А., Костюк Т.А [и др.]. Заявл. 01.07.2008; опубл. 20.01.2010, Бюл. № 2. *Особистий внесок*: патентний пошук, обґрунтування використання комплексної хімічної добавки з безгіпсовим цементом.

52. Патент UA 57543 U, МПК C04B 24/00. Суха будівельна суміш для ремонтних робіт / Костюк Т.О., Вандоловський О.Г., Салія М.Г., Бондаренко Д.О. Заявл. 22.03.2010; опубл. 10.03.2011; Бюл. № 5. *Особистий внесок*: обґрунтування формування кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом на скловолокні.

53. Патент UA 93322 C2, МПК C04B 41/65, 103/65, 24/00, 14/00, 28/00. Мінеральна суміш, що самоущільнюється, для гідроізоляційного покриття / Костюк Т.О., Салія М.Г., Бондаренко Д.О., Ізбаш Ю.М. Заявл. 29.01.2009, опубл.

25.01.2011; Бюл. № 2. *Особистий внесок*: обґрунтування співвідношення компонентів у складі.

54. Патент UA 103280 МПК C04B 41/65, 103/65, 24/00, 14/00, 28/00. Композиційний матеріал для ремонтних та інших будівельних робіт / Костюк Т.О., Арутюнов В.А., Плугин А.А. [и др.]. Заявл. 08.10.2012; опубл. 25.09.2013; Бюл. № 18. *Особистий внесок*: теоретичне обґрунтування можливості формування кристалогідратів на силіконовій поверхні поліефірної мікрофібри.

55. Патент UA 103852 МПК C04B 22/06 (2006.1), C04B 22/10 (2006.01). Композиційний матеріал для екстреного ремонту та відновлення бетонних та кам'яних споруд / Костюк Т.О., Арутюнов В.А., Плугин А.А. [и др.]. Заявл. 12.08.2013; опубл. 25.11.2013; Бюл. № 22. *Особистий внесок*: патентний пошук, оптимізація складу.

56. Новые гидроизоляционные материалы проникающего действия типа «Виатрон»: [Текст] / В.И. Бабушкин, О.Ю. Прошин, Т.А. Костюк [и др.] // СтройПрайс. – Харьков, 2004. – № 40 (210). – С. 8-9. *Особистий внесок*: аналітичний огляд літературних джерел, експериментальні дослідження складів різного призначення.

57. Биокоррозионная защита сухими строительными смесями «Виатрон»: [Текст] / В.И. Бабушкин, Е.В. Кондращенко, Т.А. Костюк [и др.] // О.К.С. (Обзорное капитального строительства: реклам.-информ. журнал. – Харьков, 2005. – № 6. – С. 8. *Особистий внесок*: постановка експериментів в натурних умовах.

58. Костюк Т.А. Разработка инструментария для обоснованного выбора состава композита с повышенными гидрофизическими характеристиками на основании качественных характеристик эксплуатируемых объектов: [Текст] / Т.А. Костюк // Системи обробки інформації: Зб. наук. праць. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2015. – Вип. 9 (134). – С. 46-50.

АНОТАЦІЯ

Костюк Т.О. Спрямоване формування структури цементних композитів для гідроізоляції. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Виконано теоретичні та експериментальні дослідження по встановленню закономірностей формування кристалогідратів на силікатних підложках: в порах, капілярах і на поверхнях цементного каменю, спученого перліту, скловолокна, поліефірного волокна з силіконовим апретом. Отримали подальший розвиток теоретичні уявлення про електрогетерогенні контакти на мезо- і мікрорівнях в цементних композитах та експериментальне обґрунтування зниження капілярної пористості цементного каменю шляхом введення тонкодисперсних наповнювачів, що складаються з карбонатних і силікатних фаз. Встановлено, що цементний камінь, перліт і скловолокно, як силікатні структури, мають негативний поверхневий заряд і є підложкою для кристалізації продуктів гідрата-

ції з позитивним поверхневим зарядом – портландиту, гідроалюмінатів, гідро-сульфоалюмінатів кальцію, а при введенні добавок кальциту і хлоридів – гідрокарбоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів кальцію. Це забезпечує не лише кольматцію пір і капілярів цементного каменю, але додатково дозволяє формувати кристалічні структури на поверхні склофібри та на поверхні й у порах перліту, направлено зміцнюючи і армуючи структуру композиту в цілому на мікро- і субмікрорівні, підвищуючи його фізико-механічні характеристики.

Розроблено та успішно впроваджено у виробництво будівельну суміш гідроізоляційного призначення проникної дії. Економічний ефект від впровадження розробленого складу для гідроізоляційного покриття склав 19,00 грн/м² і 958,00 грн/т.

Ключові слова: цементний композит, гідроізоляція, цементний камінь, електрогетерогенні контакти, кристалогідрати.

АННОТАЦІЯ

Костюк Т.А. Направленное формирование структуры цементных композитов для гидроизоляции. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2015.

Диссертация посвящена созданию гидроизоляционных цементных композитов с учетом направленного формирования их структуры, при сохранении высоких физико-механических характеристик.

Анализ имеющихся литературных источников позволил дифференцировать гидроизоляционные цементные композиты по условиям их применения, разработать структурную схему дальнейших исследований, а также систематизировать основные направления повышения водонепроницаемости гидроизоляционных цементных композитов и их сцепления с изолируемыми поверхностями.

В результате выполнения работы установлены и ранжированы факторы направленного регулирования структуры и свойств цементных композитов, определяющих их гидрофизические характеристики.

Выполнены теоретические и экспериментальные исследования по установлению закономерностей формирования кристаллогидратов на силикатных подложках: в порах, капиллярах и на поверхностях цементного камня, вспученного перлита, стекловолокна, полиэфирного волокна с силиконовым аппретом. Получили дальнейшее развитие теоретические представления об электрогетерогенных контактах на мезо- и микроуровнях в цементных композитах и экспериментально обосновано снижение капиллярной пористости цементного камня путем введения тонкодисперсных наполнителей, состоящих из карбонатных и силикатных фаз.

Установлено, что цементный камень, перлит и стекловолокно, как сили-

катные структуры обладают отрицательным поверхностным зарядом и являются подложкой для кристаллизации продуктов гидратации с положительным поверхностным зарядом – портландита, гидроалюминатов, гидросульфалюминатов кальция, а при введении добавок кальцита и хлоридов – гидрокарбоалюминатов, гидрохлоралюминатов кальция. Это обеспечит не только зарастивание пор и капилляров цементного камня, но дополнительно позволит формировать кристаллические структуры на поверхности стеклофибры и на поверхности и в порах перлита, направленно упрочняя и армируя структуру композита в целом на микро- и субмикроуровне, повышая ее физико-механические характеристики.

Комплексная химическая добавка в составе композита оказывает пассивирующее действие на процессы коррозии стали, что является важным при применении данного композита для восстановления и гидроизоляции железобетонных конструкций. Эффективная работа в агрессивных средах составов композитов на цементной основе проникающего действия должна осуществляться совместно с полимерными покрытиями.

Разработан гидроизоляционный проникающий состав на цементной основе с показателями прочности на сжатие и изгиб 41,1 МПа и 12,5 МПа, соответственно, адгезией бетонному основанию более 2,36 МПа, водонепроницаемостью W12, морозостойкостью более F200, деформацией усадки через 6 месяцев 0,07 %, что в несколько раз превышает требования нормативных документов к подобным составам.

Разработан методологический и программный инструментарий для обоснованного выбора состава композита с повышенными гидрофизическими характеристиками на основании качественных характеристик эксплуатируемых объектов. Выбор осуществляется, ориентируясь на основные гидрофизические и физико-механические показатели.

Разработана и успешно внедрена в производство строительная смесь гидроизоляционного назначения проникающего действия, позволяющая экономить материальные ресурсы. Экономический эффект от внедрения разработанного состава для гидроизоляционного покрытия составил 19,00 грн/м² и 958 грн/т.

Гидроизоляционные составы композита были внедрены под торговой маркой «Виатрон» и могут применяться для защиты, гидроизоляции и восстановления бетона, железобетона, керамических изделий, известняка, песчаника.

Ключевые слова: цементный композит, гидроизоляция, цементный камень, электрогетерогенные контакты, кристаллогидраты.

ABSTRACT

Kostyuk T.O. Directed formation of structure of cement composites for waterproofing. – Manuscript.

The thesis for the degree of Doctor of technical sciences, specialty 05.23.05 – building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport MES of Ukraine, Kharkiv, 2015.

Theoretical and experimental studies on the establishment of the laws of the formation of crystalline silicate on the substrate: the pores, capillaries and on the surfaces of the cement stone, expanded perlite, fiberglass, polyester fibers with silicone coupling agent. Theoretical concepts of heterogeneous contacts at the meso and micro levels in cement composites and experimental substantiation reduce the capillary porosity of a cement stone by introduction of a thinly disperse filler consisting of carbonate and silicate phases are further developed.

It was found that the cement stone, perlite and fiberglass as silicate structures have a negative surface charge and are a substrate for the crystallization of hydration products with a positive surface charge – portlandite, hydroaluminate, gidrosulfoalyuminat calcium, and the introduction of additives calcite and chlorides – hydrocarboaluminates, gidrohloralalyuminat calcium. This ensures not only silting pores and capillaries of the cement stone, but additionally allows to shape crystalline structures on the surface of fibreglass and into the pores of perlite and directionally solidifying reenforce composite structure in general at the micro and submicro levels, increasing its physical and mechanical characteristics.

Were developed and successfully implemented in the production of construction blend waterproofing purpose penetrating action. The economic effect from the introduction of the developed structure for waterproofing coating was 19.00 UAH/m² and 958.00 UAH/t.

Keywords: cement, composite action waterproofing, cement stone, electroheterogeneous contacts, crystal hydrates.

Підписано до друку 02.10.2015. Формат 60×84 1/16.
Папір офсетний. Друк. цифровий.
Ум. друк. арк. 1,9. Наклад 100 примірників.
Замовлення №1242.

Надруковано у друкарні ФОП Тарасенко В. П.
Свідоцтво № 24800170000043751 від 21.02.2002 р.
61124, м. Харків, вул. Зернова, 6/267.
Тел./факс: (0572) 52-82-11, (097) 273-11-77