

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет залізничного транспорту

АРУТЮНОВ Валерій Ашотович



УДК 691.3:666

**РУЛОННИЙ КОМПОЗИЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ ДЛЯ РЕМОНТУ ТА
ГІДРОІЗОЛЯЦІЇ З ПІДВИЩЕНИМИ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Костюк Тетяна Олександрівна,
доцент кафедри будівельних матеріалів та виробів,
Харківський національний університет будівництва та архітектури.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Трикоз Людмила Вікторівна,
Український державний університет залізничного транспорту, професор кафедри будівельних матеріалів, конструкцій і споруд;

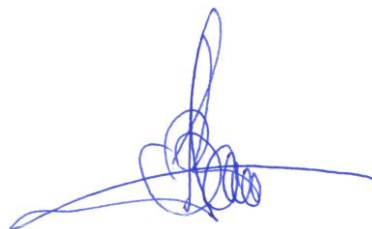
кандидат технічних наук
Бєліченко Олена Анатоліївна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, старший науковий співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів.

Захист відбудеться 03.06.2016 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 в Українському державному університеті 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](http://kart.edu.ua).

Автореферат розісланий « 27 » квітня 2016 р.

Учений секретар спеціалізованої вченої ради



Г.Л. Ватуля

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. На сьогодні для ремонту, захисту і гідроізоляції бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій застосовуються сухі будівельні суміші з широким діапазоном захисних властивостей, в тому числі гідроізоляційні, рулонні матеріали, полімерні мастики, плівки та мембрани. Кожен з цих матеріалів має свої недоліки, що обмежують сфери їх застосування. Так, сухі суміші дозволяють улаштувати захисно-гідроізоляційні шари, що мають високе зчеплення з поверхнями і витримують гідростатичний тиск будь-якого знака, як на притиск, так і на відрив. Проте їх механізоване нанесення (торкретування) вимагає застосування спеціального обладнання, а нанесення вручну – високої кваліфікації і ретельного дотримання технології. Рулонні матеріали (полімерні плівки і мембрани, бентонітові мати) не вимагають високої кваліфікації робітників, однак працюють лише при їх притиску тиском води, а при протилежному тиску води потребують устрою притискної стінки і, як правило, не можуть виконувати несучих функцій.

Найбільш перспективними для ремонтних робіт бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій є композиційні матеріали на основі цементу, що працюють за принципом інтегрально-капілярної (проникної) дії. Вони здатні не тільки зовні захищати конструкцію, але і формувати в поровому просторі контактного шару бетону конструкції ущільнений кристалічними новоутвореннями бар'єр, що перешкоджає фільтрації води як всередину конструкції, так і назовні. Тому отримання високоякісного матеріалу для ремонтних і гідроізоляційних робіт, що поєднує в собі корисні властивості сухих сумішей проникної дії і рулонних матеріалів, є актуальним завданням.

Зв'язок з науковими програмами, планами і темами. Роботу виконано в Харківському національному університеті будівництва та архітектури на кафедрі будівельних матеріалів і виробів у складі держбюджетних НДР Міністерства освіти і науки України: «Теоретичні основи створення високоміцного конструкційного мікрокомполімеру на основі цементної матриці» (державний реєстраційний номер теми 0112U000043, 2012-2014 рр.); «Розробка технічних, технологічних та організаційних рішень, що підвищують експлуатаційний ресурс трубопроводів водопостачання» (державний реєстраційний номер теми 0113U002072, 2013-2014 рр.).

Метою дослідження є розробка складу рулонного композиційного матеріалу на основі портландцементу, що поєднує в собі високі показники міцності при вигині і розтягуванні; водонепроникність; невіддатливого до усадки і тріщиноутворення; має простоту у застосуванні.

Задачі дослідження:

- теоретично проаналізувати і експериментально довести можливість введення поліефірного армуючого компонента у вигляді нетканого матеріалу об'ємної структури (НМОС) в цементну матрицю з метою підвищення її фізико-механічних характеристик;
- експериментально обґрунтувати введення комплексної хімічної добавки для синтезу додаткових кристалогідратів, як на поверхні поліефірного волокна,

так і у поровому просторі цементного каменю, що дозволить захистити поверхню волокна від лужного середовища порового електроліту цементного каменю, а також підвищити щільність структури композиту і знизити усадку при твердінні;

- розробити склад рулонного композиційного матеріалу на цементній основі для гідроізоляційного покриття з поліпшеними фізико-механічними і гідрофізичними характеристиками;

- провести фізико-механічні випробування отриманого композиту, а також фізико-хімічні дослідження структури і продуктів гідратації затверділого гідроізоляційного матеріалу;

- виконати дослідно-промислову перевірку результатів досліджень, економічно обґрунтувати доцільність застосування розробленого рулонного композиту.

Об'єкт дослідження – рулонний композиційний матеріал на основі портландцементу для ремонтних і гідроізоляційних робіт.

Предмет дослідження – закономірності формування структури і дослідження властивостей рулонного композиційного матеріалу на основі портландцементу.

Методи дослідження. Дослідження фізико-механічних властивостей матеріалів проводилися за стандартними методиками і нормативними документами: 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 «Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками». Визначення тріщиностійкості досліджено за методикою професора Л.І. Дворкіна. Методами рентгенофазового, диференційно-термічного аналізів та електронної мікроскопії досліджено продукти гідратації цементного каменю і мікроструктури композиту. Знак заряду поверхні волокон і дисперсних частинок визначено методом сепарації в електростатичному полі. У роботі використано числові методи розв'язання будівельно-технологічних задач за методикою професора В.А. Вознесенського за допомогою комп'ютерних технологій з використанням електронних таблиць і trial-версії пакету «Statistica». Вибір методів дослідження забезпечив достовірність отриманих результатів і висновків

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше:

- встановлено можливість застосування поліефірного волокна у вигляді НМОС в цементному складі з поліфункціональною добавкою, яка дозволила сформувати на поверхні волокна захисну обійму з нерозчинних кристалогідратів;

- встановлено, що застосування НМОС забезпечує підвищення міцності цементного композиту при вигині до 14,34 МПа, поліпшення зчеплення з поверхнею бетону до 3,4 МПа, зниження водопоглинання до 0,81 % за масою.

Отримали подальший розвиток:

- уявлення про механізм ущільнення цементного каменю композиційного матеріалу шляхом додаткового синтезу як низькоосновних гідросилікатів кальцію, так і кристалогідратів: гідросульфоалюмінатів, гідрокарбоалюмінатів кальцію, а також кальциту у поровому просторі і на поверхні поліефірного волокна;

- математичні моделі для оптимізації складу композиту, що дозволило отримати оптимальні значення добавки поліефірного волокна 5 % і комплексної хімічної добавки 9 %, при цьому міцність на розтяг при вигині у оптимізованого складу підвищилася на 11 %, а водопоглинання зменшилося на 12,5 %.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів і висновків підтверджено одержанням експериментальних даних з довірчою імовірністю 95 %, адекватністю математичних моделей, відповідністю результатів експериментальних досліджень теоретичним передумовам.

Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- розроблено оптимальний склад рулонного композиційного матеріалу для ремонту та гідроізоляції з підвищеними фізико-механічними та технологічними характеристиками;

- досягнуто економічний ефект у 23,0 грн/м² від застосування розробленого композиційного матеріалу у порівнянні з відомими за рахунок економії матеріальних ресурсів і зниження термінів виконання робіт, а також спрощення виконання ремонтних робіт;

- випущено дослідно-промислову партію розробленого складу з підвищеними фізико-механічними та технологічними характеристиками на підприємстві ТОВ «Віа-Телос», м. Харків;

- рулонний композиційний матеріал для ремонту та гідроізоляції використано для забезпечення гідроізоляції огорожувальних конструкцій при ремонті і будівництві будівлі ОКЗ «Харківський історичний музей» за адресою вул. Університетська, 5 у м. Харкові.

Особистий внесок здобувача полягає у:

- вивченні проблеми і постановці завдання отримання сучасних матеріалів на цементній основі з підвищеними фізико-механічними та технологічними характеристиками для ремонтних і гідроізоляційних робіт;

- теоретичному обґрунтуванні підвищення фізико-механічних і технологічних характеристик гідроізоляційних матеріалів шляхом введення поліефірного волокна і хімічних добавок;

- вивченні фізико-механічних і гідроізоляційних властивостей розробленого складу, оптимізації його методами математичного планування експерименту;

- аналізі результатів досліджень продуктів гідратації фізико-хімічними методами: петрографії, електронної мікроскопії, рентгенографії, термографії;

- розробці оптимального складу рулонного композиційного матеріалу на цементній основі для отримання покриття з підвищеними фізико-механічними та технологічними характеристиками;

- впровадженні у виробництво і застосування в реальних умовах дослідно-промислової партії.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались на Міжнародній науково-технічній конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті», Харків, 26-28 листопада 2014 р.; Міжнародній науковій конференції «Приоритетные направления науки и техники. Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века», 11 квітня 2014 р., Росія, Пенза, ПГУАС; VI Міжнародній науковій конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд», Харків, ХНУБА, 15-17 жовтня 2013 р.; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Aktualne problemy nowoczesnych nauk», Пшемишль, Польща, 7-15 червня 2013 р.; IX Міжнародній науково-практичній конференції «Dni vědy – 2013», Прага, Чехія, 27 березня 2013 р.; 68-й та 69-й науково-технічних конференціях Харківського національного університету будівництва і архітектури у 2013 р. та 2014 р.

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих праць, з яких: 6 – у збірниках і виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України, з них 2 статті, що включені до міжнародних наукометричних баз даних; два патенти України на винахід; одна міжнародна публікація та 7 праць апробаційного характеру.

Структура дисертації. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 121 найменування і п'яти додатків. Роботу викладено на 132 сторінках основного тексту, містить 56 рисунків і 30 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет досліджень, наукову новизну і практичну значимість отриманих результатів.

У **першому розділі** наведено способи підвищення корозійної стійкості і гідроізоляційних властивостей бетону, надано критичний аналіз літературних джерел за видами і властивостями гідроізоляційних матеріалів, що застосовуються в Україні та за кордоном для захисту бетонних і інших кам'яних поверхонь. Дослідженням стійкості бетонів до корозійних процесів займалися і займаються наукові школи під керівництвом видатних вчених: В.М. Москвіна, Б.В. Гусєва, В.Ф. Степанової, В.І. Бабушкіна, А.С. Файвусовіча, Н.К. Розенталя, Ф.М. Іванова, А.М. Плугіна, В.Л. Чернявського, А.А. Плугіна.

З аналізу науково-технічної літератури можна зробити висновок, що поєднання нетканого матеріалу об'ємної структури, цементного в'язучого і хімічних добавок дозволить отримати рулонний гідроізоляційний матеріал інтегрально-капілярної дії. Таке покриття на відміну від полімерних та інших плівкових і рулонних покриттів утворює буферний шар в контактній зоні бетону шляхом синтезу в порах, капілярах і мікротріщинах кристалогідратів, аналогічних цементному каменю, що перешкоджає фільтрації води крізь бетон в прямому і зворотному напрямках. Нетканий матеріал об'ємної структури

забезпечить ізотропне мікроармування і ущільнення структури шляхом зростання на поверхні волокна кристалогідратів, а також дозволить отримати тонкошарове рулонне покриття, що накладається у вигляді пластиру. Встановлено, що отримання ефективних покриттів, які одночасно поєднують позитивні властивості плівкових полімерних і цементних штукатурних складів, до теперішнього часу практично не реалізовано. Наукова та практична значущість вирішуваних в даній роботі завдань підтверджується загальнодержавним значенням питань, що стосуються економії ресурсів, використання вторинної сировини і питань екології, а також підвищення конкурентоспроможності вітчизняної продукції в сучасних умовах економіки.

У **другому розділі** наведено характеристики матеріалів та методи досліджень, що застосовано при виконанні роботи. Фізико-механічні дослідження зразків проведено за стандартними методиками. Стійкість гідроізоляційного композиту до утворення тріщин визначено методом «кільця» за допомогою приладу, наведеному в роботі. Усадкові деформації визначено шляхом вимірювання поздовжніх деформацій за допомогою індикаторів годинникового типу (ціна поділки $1 \cdot 10^{-6}$ м). Рентгенофазові дослідження зразків цементного каменю проведено на приладі ДРОН-1,5. Диференційно-термічний аналіз проведено за допомогою дериватографа системи Паулік-Ердей. Електронно-мікроскопічні дослідження структури зразків проведено за допомогою скануючого електронного мікроскопа.

Водонепроникність і морозостійкість сформованого композиту визначено прискореним методом за допомогою приладу АГАМА -2РМ за ДСТУ Б В.2.7-170:2008. Оптимальне співвідношення комплексної хімічної добавки і поліефірного матеріалу у складі виконано методом активного планування експерименту з використанням експериментально-статистичних моделей. Графічне представлення результатів моделювання здійснено за допомогою trial-версії пакету «Statistica».

У **третьому розділі** наведено теоретичні передумови можливості отримання рулонного композиційного матеріалу на основі портландцементу для ремонтних і гідроізоляційних робіт.

В результаті проведених досліджень встановлено, що поліефірна мікрофібра з силіконовим апретом забезпечує здатність волокна служити підкладкою для продуктів гідратації цементу, що, з одного боку, захищає її поверхню від гідролізу в лужному середовищі, а, з іншого, – сприяє найкращому затисканню фібри в структурі цементного каменю (рис. 1).

Силікони – це, як правило, органосилоксанові полімери (поліорганосилоксани) зі структурною формулою $[R_2SiO]_n$, де R – органічна група. Ці групи можуть мати дипольний момент щодо силоксанового ланцюга, отже, забезпечувати силіконовій плівці гідрофільність і електроповерхневий потенціал, тобто здатність служити підкладкою для продуктів гідратації цементу. Дипольний момент визначається будовою силоксанової групи, що саме викликає поляризацію зв'язку кремнію з вуглеводнем. Виключно гнучкий силоксановий ланцюг Si-C і Si-O реагує на дипольний момент і «намагається» розташувати силоксанові ланки таким чином, щоб позитивно заряджений

кремній однієї ланки розташовувався навпроти негативно зарядженого атома кисню іншої ланки. В результаті виникає своєрідна спіральна конструкція, запропонована М.М. Левицьким. При цьому вуглеводневі радикали спрямовані назовні, а гідрофільні верхівки втягуються всередину (рис. 2).

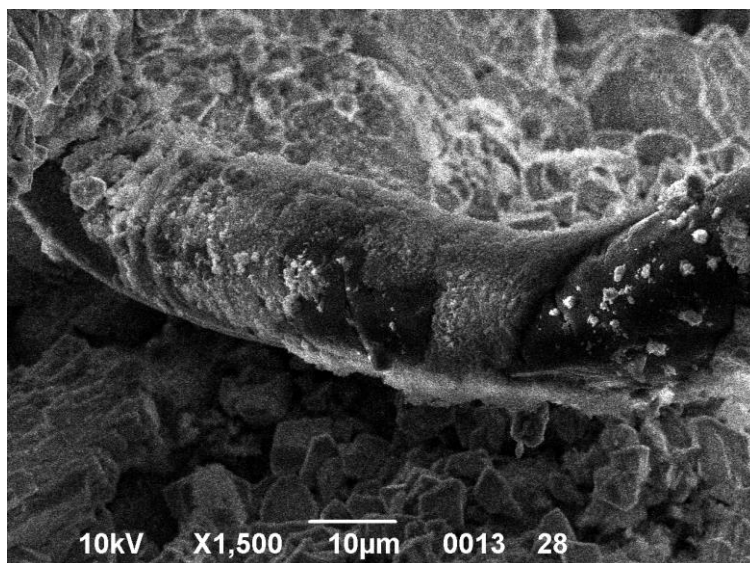


Рис. 1. Затискання полієфірного волокна в цементному камені через 28 діб тверднення (електронний мікроснімок)

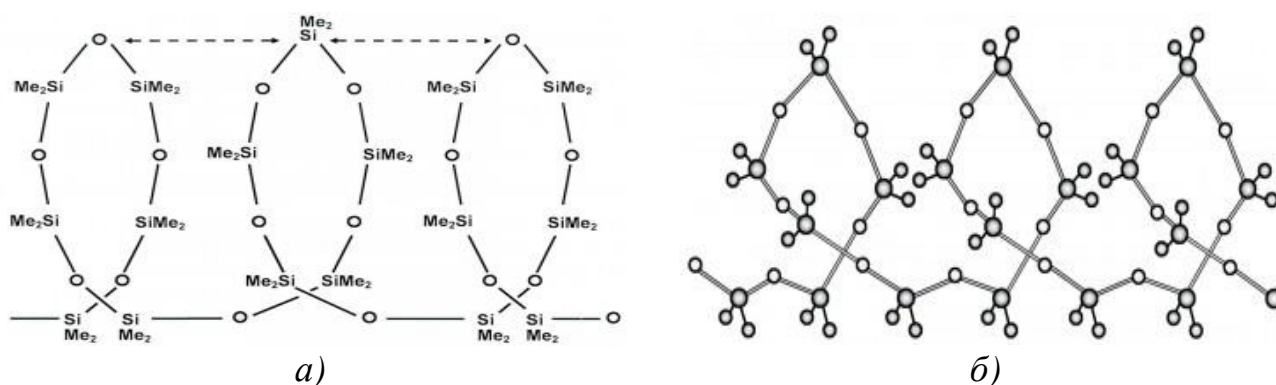


Рис. 2. Силоксановий ланцюг:

a - спіральна конструкція силоксанового ланцюга; *б* - об'ємна модель силоксанового ланцюга

Така будова дозволяє органічно вбудовуватися в метрики решіток водним структурам, тому що, незважаючи на відмінності в будові гідрофобних молекул і їх гідрофільних верхівок, спостерігається закономірність в значеннях їх періодів.

В.І. Лобишев із співробітниками запропонував комп'ютерний модульний дизайн параметричних структур води. В об'ємі води основний структурний елемент, показаний на рис. 3, також утворюється не лінійним, а закрученим у спіраль, з кутовим параметром 132° .

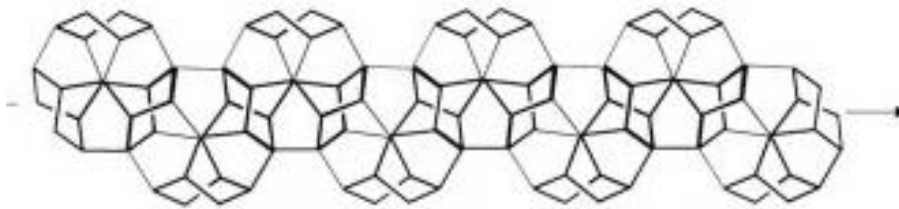
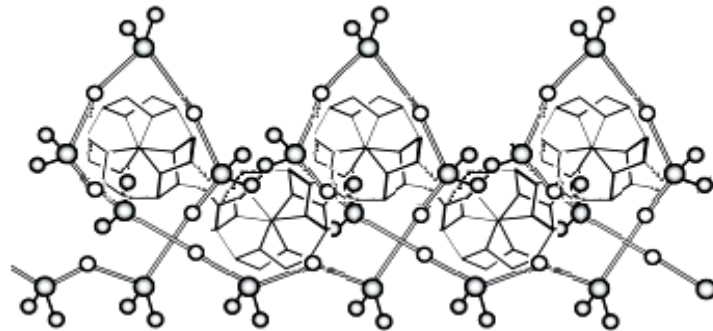
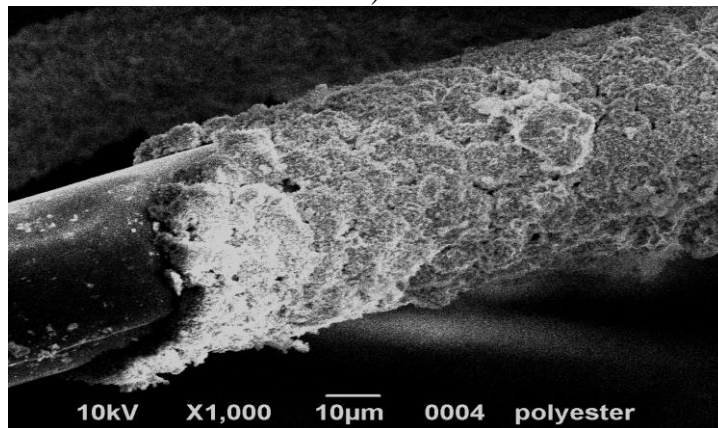


Рис. 3. Формування структури води, спіраль 30/11, вільні Н-зв'язки виділені жирним

При цьому системоутворююча ієрархічна структура води відіграє роль матриці або «будівельних лісів» для самоорганізації просторових структур при формуванні кристалічної обойми на поверхні поліефірного волокна. Елементи збірки таких систематизованих структур представлено на електронному знімку (рис. 4, *a*). При пересиченні водних плівок іонами в процесі гідратації цементу відбувається зростання кристалів на поверхні поліефірного волокна (рис. 4, *б*).



a)



б)

Рис. 4. Формування кристалічної обойми на силіконовій плівці поліефірного волокна:

a - структурна модель силіконового ланцюжка з вбудованим спіралевидним структурним елементом води; *б* - зростання кристалічних структур на поверхні поліефірного волокна, обробленого силіконовим апаратом

Теоретично обґрунтовано і визначено склад комплексної хімічної добавки. На процеси структуроутворення великий вплив мають гідроксильні групи гідроксидів лужноземельних металів. Найбільший ефект при малих концентраціях досягається при спільній дії катіонів та однойменних гідроксидів, при якому коагуляційні зв'язки, що виникають, перетворюються в

більш міцні конденсаційно-кристалізаційні структури. Такі структури мають високу міцність внаслідок безпосередніх фазових контактів між частинками. При цьому міцність зростає зі зменшенням пористості і розмірів часток не тільки через збільшення числа контактів, але і внаслідок меншої ймовірності наявності всередині частинок небезпечних дефектів. Хімічні добавки солей електролітів як CaCl_2 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, CaCO_3 , Na_2SO_4 , у присутності $\text{Ca}(\text{OH})_2$, здатні ініціювати в системі «цемент-вода» синтез кристалогідратів кальцію у поровому просторі цементного каменю, надлишок NaOH , який є небажаним і вивільняється із системи за допомогою добавки CaC_2 з утворенням карбонату натрію і гідроксиду кальцію, що в свою чергу буде приводити до інтенсифікації процесу гідратації клінкерних мінералів цементу. При цьому в першу чергу будуть формуватися важкорозчинні й стійкі з'єднання не тільки в структурі цементного каменю, але і на поверхні поліефірного волокна (рис. 5).

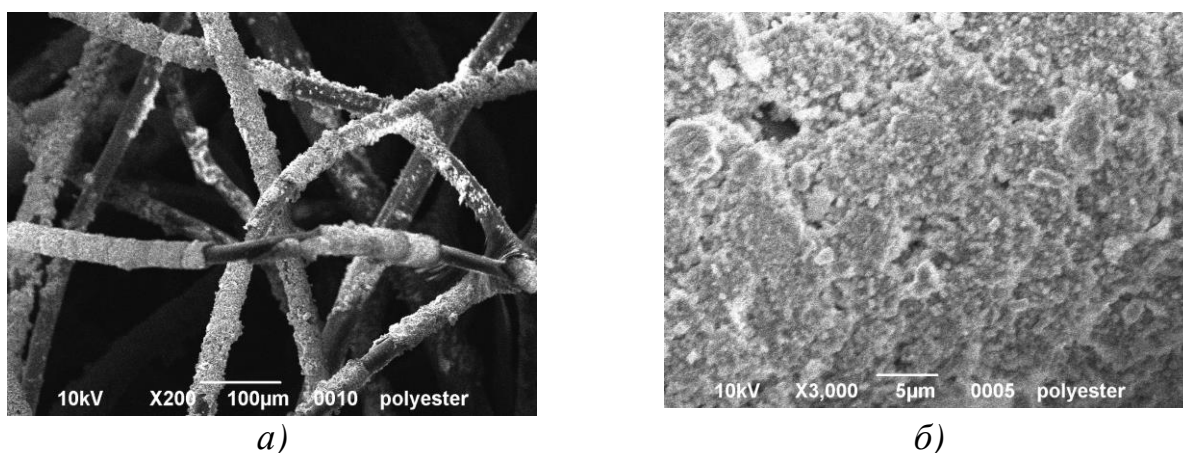


Рис. 5. Електронно-мікроскопічні знімки поліефірного волокна в кристалічній обоймі, синтезованої з витяжки цементного складу проникної дії на 28 добу твердіння:

а - поліефірне волокно у кристалічній обоймі; *б* - кристалічна обойма збільшена у 15 разів

Таким чином, твердження про те, що підвищити міцність зчеплення поліефірного фіброволокна з цементним каменем можна шляхом його обробки силанами, було підтверджено у роботі експериментально, методами електронної мікроскопії. На користь поліефірного волокна може свідчити і те, що його ціна менша у 5-10 разів по відношенню до інших полімерних волокон (табл. 1). Крім того, значна частина волокна переробляється із вторинної сировини (пластикових пляшок).

Розрахунковим шляхом було встановлено вплив мікроармуючих добавок на міцність і пружні властивості цементних композиційних матеріалів. Встановлено, що наповнення цементної матриці мікрволокнами знижує модуль пружності композиту до 30 %, що відповідно підвищує його пластичні властивості і може служити демпфером у цементному камені (табл. 2).

Таблиця 1

Ціни на різні волокна в порівнянні з поліефірним технічним волокном

№ з/п	Вид волокна	Ціна у дол. США за 1 кг
1	Поліефірні	3
2	Високомолекулярний поліетилен	14–17
3	Вуглецеві волокна	15-2000
4	Скляні волокна Е-типу S-2-типу	3 15
5	Поліпропиленові	50
6	Керамічні	1000

Таблиця 2

Розрахункові значення модуля пружності і міцності цементних композитів з різними наповнювачами

Матеріал	Модуль пружності заповнювача, E , МПа	Модуль пружності композиту, E , МПа	Міцність композиту при стиску, R , кгс/см ² (МПа)	Відносний об'єм	
				цементного каменя, V_T	заповнювача, V_{me}
Поліпропіленове волокно	3600	17180	144,82 (14,48)	0,7	0,3
Поліефірне волокно	8500	18650	175,28 (17,53)	0,7	0,3
Скляне волокно	8000	18500	172,04 (17,20)	0,7	0,3
Кварцовий пісок	45000	29600	493,55 (49,36)	0,7	0,3
Цементний камінь	23000	23000	282,42 (28,24)	0,7	0,3

Застосування поліефірних волокон по відношенню до поліпропіленових більш перспективно, оскільки на поліпропіленових волокнах, за даними отриманими у ході експерименту, не спостерігалось зростання кристалогідратів (рис. 6) на відміну від поліефірних (рис. 5). Кристалічна обійма на поліефірному волокні захищає його поверхню від гідролізу і сприяє спільній роботі цементної матриці і волокна, що підвищує деформативно-міцнісні і гідрофізичні показники цементних композитів.

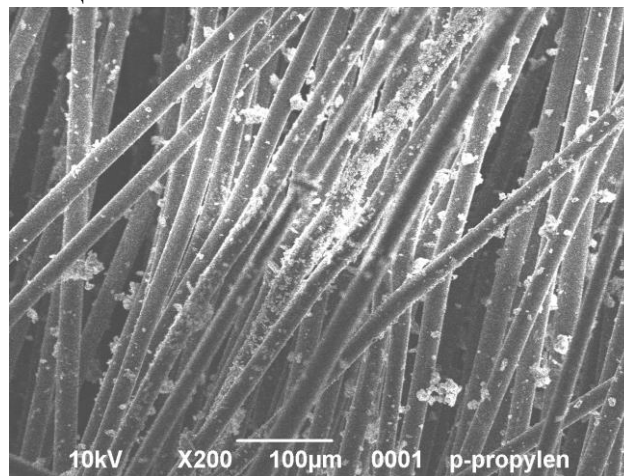


Рис. 6. Електронно-мікроскопічні знімки поліпропіленового волокна з витяжки цементного складу інтегрально-капілярної дії на 28 добу твердіння

Таким чином у третьому розділі обґрунтовано, що для підвищення міцності і водонепроникності цементного каменю необхідною є кальматація порового простору цементного каменю кристалічними структурами гідратних новоутворень. Крім того, введення комплексної хімічної добавки, що включає катіони та гідроксиди лужноземельних металів, може сприяти синтезу додаткових кристалогідратів і тим самим сприяти підвищенню міцності конденсаційно-кристалізаційних структур, а наповнення мікродемпфіруючими добавками (поліефірна мікрофібра) дозволить релаксувати напруження, що виникають у твердій фазі.

У четвертому розділі методом математичного планування експерименту, підібрано оптимальний вміст добавок, експериментально підтверджено результати теоретичних досліджень і визначено фізико-механічні характеристики композиційного матеріалу. При плануванні експерименту за оптимальним співвідношенням компонентів у складі композиту, а саме комплексної хімічної добавки і поліефірного волокна, як величин, що оптимізуються, взяли границю міцності при згині \hat{Y}_μ і водопоглинання \hat{Y}_λ . За змінний параметр x_1 було прийнято процентний вміст комплексної хімічної добавки (КХД) по відношенню до цементу, а за x_2 вміст поліефірного волокна (ПЕВ) по відношенню до цементу у відсотках. Межі x_1 і x_2 обмежені умовами завдання: $1 < x_1 < 9$; $1 < x_2 < 9$. Крок варіювання для x_1 та x_2 дорівнює 1. Отримано рівняння регресії в нормованих величинах для границі міцності при згині і для водопоглинання:

$$\hat{Y}_\mu = 11,5 - 1,4X_1^2 + 3,53X_1 - 5,45X_2^2 + 0,92X_2 + 0,9X_1X_2; \quad (1)$$

$$\hat{Y}_\lambda = 3,29 - 0,33X_1^2 - 2,2 \cdot X_1 + 1,12X_2^2 + 0,42X_2. \quad (2)$$

На підставі отриманих рівнянь регресії побудовано поверхні відгуку для межі міцності при вигині і водопоглинання (рис. 7, 8).

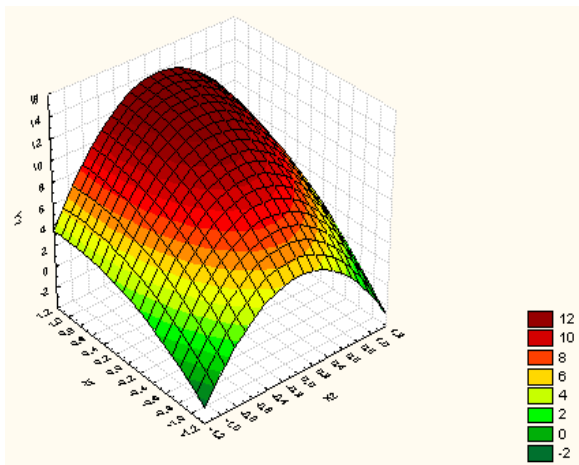


Рис. 7. Поверхня відгуку, що відображає залежність границі міцності при згині \hat{Y}_μ від вмісту комплексної хімічної добавки X_1 і добавки поліефірного волокна X_2

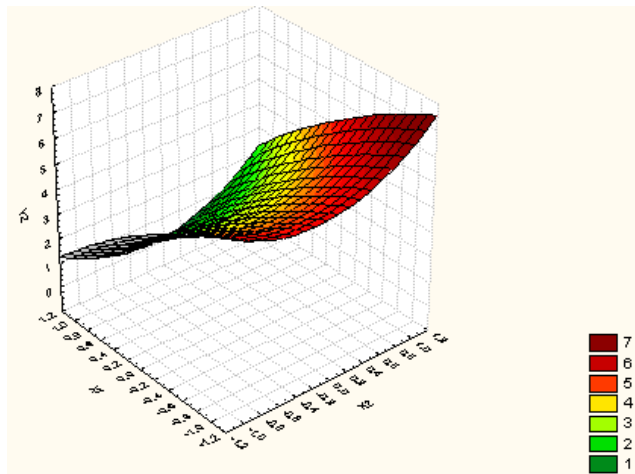


Рис. 8. Поверхня відгуку, що відображає залежність водопоглинання \hat{Y}_λ від вмісту комплексної хімічної добавки X_1 і добавки поліефірного волокна X_2

За допомогою математичних моделей отримано області найбільших значень міцності при згині і мінімальних значень водопоглинання при наступному відношенні: комплексної хімічної добавки – 9 %, та поліефірного волокна – 5 % за масою. Попередньо за пошуковими експериментами передбачалося, що оптимум буде перебувати в межах 5 % за обома параметрами, тобто в центрі плану.

Проведено дослідження фізичних і фізико-механічних характеристик гідроізоляційного покриття з рулонного композиційного матеріалу (рис. 9, 10, табл. 3).



Рис. 9. Рулонний композиційний матеріал (РКМ) в сухому стані



Рис. 10. Рулонний композиційний матеріал (РКМ) у стані, насиченому водою

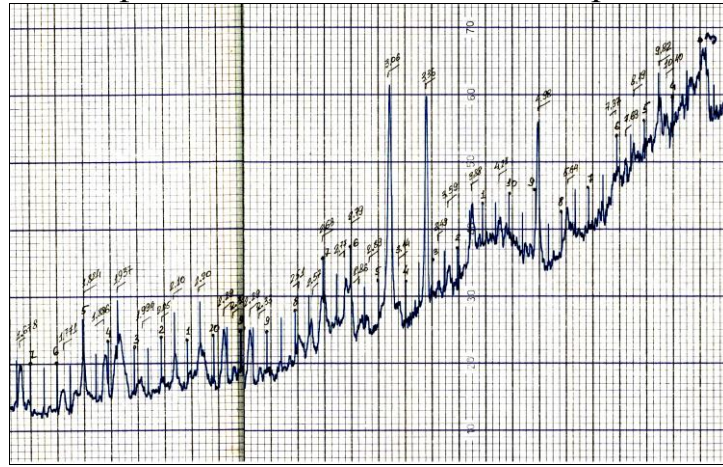
Таблиця 3

Фізико-механічні характеристики гідроізоляційного рулонного композиційного матеріалу

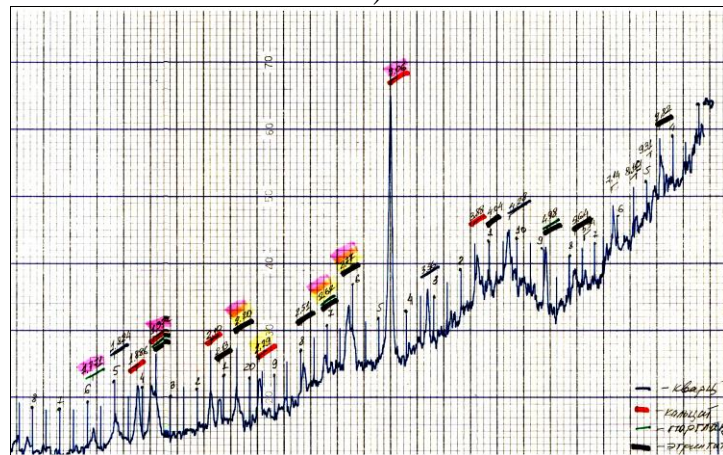
№ з/п	Показники	Склади с КХД			Контрольний склад, без КХД
		1	2	3	
1	Границя міцності при стиску, МПа	22,4	25,4	20,8	18,3
2	Границя міцності при згині, МПа	11,20	14,34	11,54	4,22
3	Коефіцієнт стирання	0,32	0,31	0,31	0,45
4	Густина в твердому стані, кг/м ³	2315	2318	2310	2295
5	Зчеплення з бетоном, МПа	1,6	3,4	1,3	0,7
6	Водопоглинання за масою, %	2,89	0,81	3,70	5,33
7	Водонепроникність, W, МПа.	0,4	1,2	0,4	0,2
8	Морозостійкість, цикли	100	200	100	50

Аналіз результатів, представлених в табл. 3, дозволив зробити висновок, що введення до складу гідроізоляційного рулонного композиційного матеріалу комплексної хімічної добавки з поліефірним волокном дозволило істотно підвищити основні фізико-механічні характеристики. Міцність зчеплення з бетоном – в 3 рази, міцність на розтяг при згині – в 3 рази, водонепроникність – у 5 разів, морозостійкість – у 4 рази.

Фізико-хімічні дослідження виконано в складі рентгенофазового та диференціального термічного аналізів. Структуру продуктів гідратації досліджено на сколах матеріалу за допомогою скануючого електронного мікроскопу. Результати фізико-хімічних досліджень представлено на рис. 11-13.

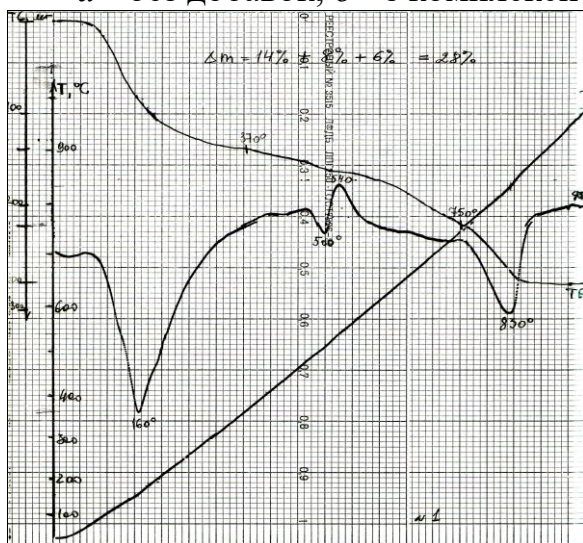


а)

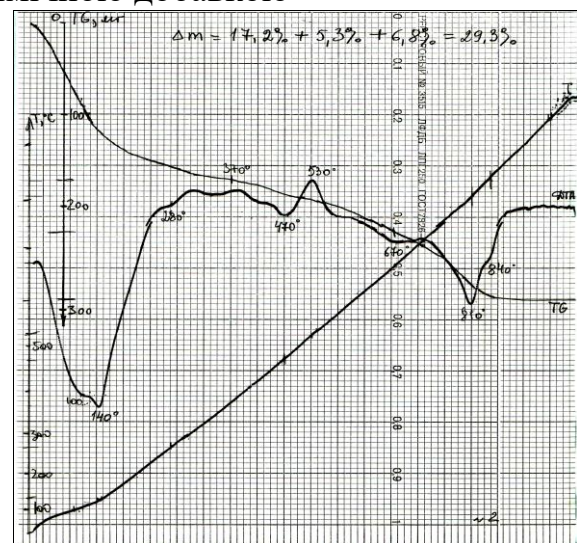


б)

Рис. 11. Рентгенограмми портландцементного каменю:
а - без добавок; б - з комплексною хімічною добавкою



а)



б)

Рис. 12. Термограми портландцементного каменю:
а - без добавок; б - з КХД

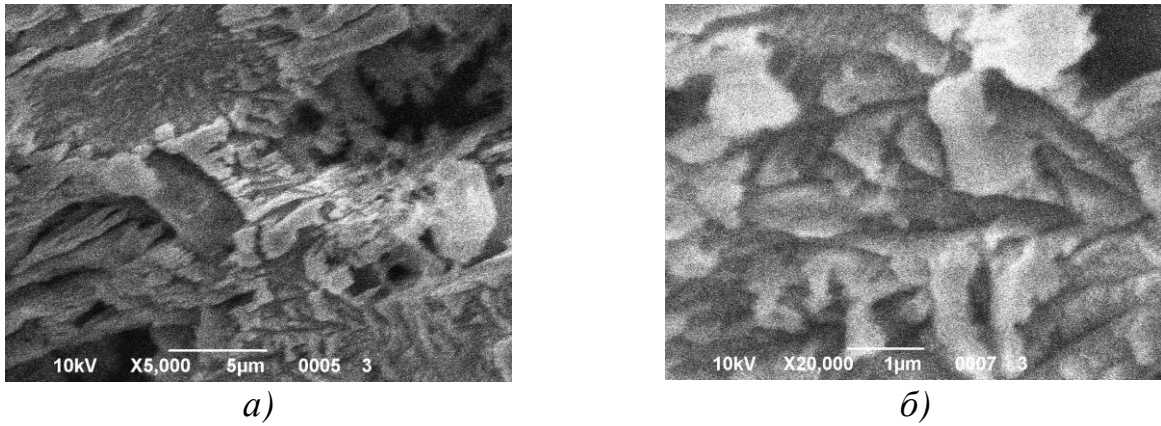


Рис. 13. Структура цементного каменю з хімічно активними добавками на 28 добу тверднення зі збільшенням:

a - $\times 5000$; *б* - $\times 20000$

Аналіз рентгенограм (рис. 11) показав, що портландцементний камінь з (рис. 11, *б*) за фазовим складом близький до портландцементного каменю без КХД (рис. 11, *а*), однак відрізняється меншим вмістом портландіту (дифракційні максимуми, Å: 1,77ср; 2,62ос; 4,98ср), а також великим вмістом кальциту (1,89ос; 2,10с; 2,29ср; 3,06ос) і, можливо, низькоосновних гідросилікатів кальцію типу CSH (I) (3,07ос; 2,8сл стають інтенсивнішими, але однозначно не ідентифікуються у зв'язку зі збігом за максимумами кальциту і еттрінгіта, відповідно).

Аналіз термограм (рис. 12) підтвердив, що портландцементний камінь з КХД (рис. 12, *б*) за фазовим складом близький до бездобавочного портландцементного каменю (рис. 12, *а*). На кривих ДТА переважають ендоефекти, характерні для гідросилікатного гелю і високоосновних гідросилікатів кальцію C2SH (II) – при 140-150 °С, портландіта – при 470-500 °С, гідросилікатів кальцію від високоосновних до сильно закристалізованих низькоосновних типу ксонотліта, а також, можливо, кальциту – при 810-830 °С. Відмінність відзначається у вигляді більш хвилястого характеру кривих ДТА цементного каменю з КХД (рис. 12, *б*), що свідчить про більшу різноманітність продуктів його гідратації, і наявності на них невеликих ендоефектів при 280 і 840 °С, які можуть свідчити про наявність сильно закристалізуватися низькоосновних гідросилікатів кальцію типу ксонотліта, тоберморіта, а також гідросульфоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів, гідрокарбоалюмінатів кальцію.

Розрахунок втрати маси за термогравіметричними кривими (TG, рис. 12) показав, що при нагріванні до 1000 ° втрата маси цементного каменю з КХД 29,3 % (рис. 12, *б*) більша, ніж цементного каменю без добавок 28 % (рис. 12, *а*), що може свідчити про більшу кількість кристалічних фаз – портландіта, гідросульфоалюмінатів, гідрохлоралюмінатів, гідрокарбоалюмінатів кальцію, що містять велику кількість хімічно зв'язаної води, а також кальциту, що втрачає масу при температурі до 1000 °С за рахунок декарбонізації.

Таким чином, фізико-хімічні дослідження показали, що КХД обумовлює утворення додаткової кількості як низькоосновних гідросилікатів кальцію типу SCH (I), ксонотліта, тоберморіту, так і кристалогідратів гідросульфоалюмінатів,

гідрохлоралюмінатів, гідрокарбоалюмінатів кальцію. Це не порушує баланс між кількістю часток з негативним і позитивним поверхневим зарядом, але сприяє утворенню більш щільної структури продуктів гідратації зі зміщенням розміру пор за рахунок тонкодисперсних гідросилікатів кальцію в меншу сторону (до водонепроникних пор). На рис. 13 видно гідросилікати кальцію згорнуті в лусочки. З часом за рахунок розгортання продуктів гідратації в об'ємі пор останні зрощуються, щільність і водонепроникність каменю при цьому підвищується.

У п'ятому розділі наведено виробничу перевірку результатів досліджень розробленого складу рулонного композиційного матеріалу. Економічний ефект, що розраховувався за прямими витратами, від впровадження розробленого матеріалу в порівнянні з аналогічним у вигляді сухої суміші складає 23 грн/м² і забезпечується економією трудовитрат і матеріалу. Економія трудовитрат у три рази забезпечується нанесенням розробленого гідроізоляційного матеріалу як «пластиру», тоді як аналоги наносяться прийомами малярних і штукатурних робіт і вимагають певної кваліфікації. Крім того, використання рулонного гідроізоляційного матеріалу при реконструкції будівлі, дозволило спростити роботи прокладки комунікацій систем водопостачання та водовідведення в підвальних приміщеннях будівлі, оскільки нанесення розробленого матеріалу на конструкції круглого перерізу і забивання глибоких тріщин виконується набагато простіше і вимагає менше часу, ніж штукатурними розчинами у вигляді сухих сумішей (рис. 14, 15).



Рис. 14. Замонолічування тріщини в стіні за допомогою рулонного композиційного матеріалу (бетонного «пластиру»)



Рис. 15. Скріплення бетонної труби за допомогою рулонного композиційного матеріалу (бетонного «пластиру»)

Отриманий РКМ рекомендується використовувати для ремонту і гідроізоляції бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій і споруд, силового герметичного закладення швів і стиків, наприклад, між бетонними або азбестоцементними трубами тощо.

ВИСНОВКИ

1. З аналізу науково-технічної літератури можна зробити висновок, що суміщенням нетканого матеріалу об'ємної структури, цементного в'язучого і хімічних добавок, можна отримати рулонний гідроізоляційний матеріал інтегрально-капілярної дії. Встановлено, що отримання ефективних покриттів, які суміщають одночасно позитивні властивості плівкових полімерних і цементних штукатурних складів, до теперішнього часу практично не реалізовано.

2. У результаті проведених досліджень встановлено, що поліефірне волокно з силіконовим апретом, забезпечує здатність волокна служити підкладкою для продуктів гідратації цементу, що, з одного боку, захищає його поверхню від гідролізу в лужному середовищі, а, з іншого, – сприяє найкращому затисканню фібри в структурі цементного каменю.

3. Експериментально встановлено, що при твердінні цементного гідроізоляційного складу з поліефірною мікрофіброю та комплексною хімічною добавкою на поверхні мікрофібри утворюється обойма з продуктів гідратації цементу: кристалогідратів гексагонального портландіту і кубічного гідроалюмінату кальцію, а також гелеобразних гідросилікатів кальцію, що відповідає конденсаційно-кристалізаційній структурі цементного каменю. Розміри додаткових новоутворень в діаметрі не перевищують 0,5 мкм, що забезпечує підвищення міцності і водонепроникності цементного каменю не тільки через збільшення числа контактів, але і внаслідок меншої ймовірності наявності всередині частинок небезпечних дефектів для конденсаційно-кристалізаційної структури.

4. За допомогою математичного планування експерименту встановлено, що добавка в цементний гідроізоляційний склад поліефірної фібри в кількості 5 % і комплексної хімічної добавки 9 % від маси цементу забезпечує максимальне підвищення міцності при згині $R_{32} = 14,0$ МПа, а водопоглинання за масою $W_m = 0,8$ %.

5. Отримано простий у використанні гідроізоляційний рулонний композиційний матеріал РКМ проникної дії, що характеризується підвищеним зчепленням з поверхнею 3,4 МПа, міцністю на розтяг при згині 14,34 МПа, водонепроникністю 1,2 МПа. Влаштування покриття з такого матеріалу не вимагає спеціальних навичок і кваліфікації, рулонний матеріал наноситься у вигляді «пластиру». Економічний ефект від впровадження розробленої гідроізоляції склав 23 грн/м² в порівнянні з гідроізоляційним складом у вигляді сухої суміші. Матеріал рекомендується використовувати для ремонту і гідроізоляції бетонних, залізобетонних і кам'яних конструкцій і споруд, герметичного закладання швів і стиків.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Арутюнов В.А. Перспективные направления повышения водонепроницаемости и коррозионной стойкости бетона: [Текст] / В.А. Арутюнов // Науковий вісник будівництва: зб. наук. праць. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2012. – Вип. 70. – С. 145-149.

2. Арутюнов В.А. 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. праць. – Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2013. – Вип. 73. – С. 489-493.

(Особистий внесок: Розробка методології і проведення експерименту, обробка результатів досліджень).

3. Арутюнов В.А. Моделирование оптимальных гидроизоляционных составов интегрально-капиллярного действия с повышенным содержанием полимерных волокон: [Текст] / В.А. Арутюнов, О.В. Старкова, Д.А. Бондаренко // Системи обробки інформації: зб. наук. праць. – Харків: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2013. – Вип. 5(112). – С. 83-86.

(Особистий внесок: дослідження можливості застосування експериментально-статистичних моделей для моделювання задач у даній прикладній області).

4. Арутюнов В.А. Гидроизоляционные составы на основе портландцемента, армированные полимерными волокнами: оценка возможности применения полиэфирной микрофибры: [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2013. – Вип. 138. – С. 70-77.

(Особистий внесок: експериментальні дослідження з визначення можливості застосування поліефірного волокна і хімічних добавок у цементних складах, обробка результатів досліджень).

Патенти:

5. Пат. 103852 Україна, МПК С04В 22/06 (2006.1), С04В 22/10 (2006.01). Композиційний матеріал для екстреного ремонту та відновлення бетонних та кам'яних споруд / Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов, А.А. Плугин, О.В. Старкова, Д.О. Бондаренко; заявл. 12.08.2013; опубл. 25.11.2013, Бюл. № 22. – 2 с.

(Особистий внесок: дослідження властивостей нетканого матеріалу у складах).

6. Пат. 103280 Україна, МПК С04В 28/02 (2006.1), С04В 14/38 (2006.01). Композиційний матеріал для ремонтних та інших будівельних робіт / Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов, А.А. Плугин, О.В. Старкова, Д.О. Бондаренко; заявл. 10.04.2013; опубл. 25.09.2013, Бюл. № 18. – 2 с.

(Особистий внесок: запропоновано використання нетканого матеріалу та технологію його заповнення сухою сумішшю).

Міжнародні публікації та публікації у збірниках, що включені до міжнародних наукометричних баз:

7. Арутюнов В.А. Оценка возможности применения полиэфирной микрочибры в гидроизоляционных составах на основе портландцементa: [Текст] / В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, Д.А. Бондаренко, О.В. Старкова // Современный научный вестник. – Белгород: Руснаучкнига, 2013. – №32(171). – С. 109-116.

(Особистий внесок: проведення пошукових досліджень за допомогою електронної мікроскопії, оптимізація вводу добавок у склад).

8. Арутюнов В.А. Рулонный композиционный материал для ремонта и гидроизоляции бетонных, железобетонных и каменных конструкций и сооружений: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов и др. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 143. – С. 103-110.

(Особистий внесок: аналіз і обробка отриманих результатів фізико-хімічних досліджень).

9. Арутюнов В.А. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, Ал.А. Плугин, В.А. Арутюнов и др. // Зб. наук. праць УкрДАЗТ. – Харків: УкрДАЗТ, 2014. – Вип. 148. – Ч. 2. – С. 32-38.

(Особистий внесок: дослідження впливу армуючих добавок на пружно-деформативні властивості композитів).

Праці апробаційного характеру:

10. Арутюнов В.А. Возможности применения полимерной микрочибры в гидроизоляционных цементных составах: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов, Д.А. Бондаренко // Materiálý IX Mezinárodní vědecko-praktická konference «Dni vědy – 2013». – Praha: Education and Science, 2013. – Dil. 32. – С. 79-85.

(Особистий внесок: проведення пошукових досліджень за допомогою електронної мікроскопії).

11. Арутюнов В.А. Оптимизация состава интегрально-капиллярного действия с помощью экспериментально-статистических моделей: [Текст] / А.А. Плугин, В.А. Арутюнов, О.В. Старкова, А.И. Бондаренко // Materialy IX Miedzynarodowej naukowí-praktyczej konferencji «Aktualne problemy nowoczesnych nauk». – Pshemysl, Nauka i studia, 2013. – Vol. 33. – С. 100-104.

(Особистий внесок: дослідження існуючих статистичних моделей і їх використання для оптимізації вводу добавки композиту).

12. Арутюнов В.А. Дослідження глибини проникнення складів інтегрально-капілярної дії на модельних системах: [Текст] / Т.О. Костюк, В.А. Арутюнов // Матеріали VI Міжнародної наукової конференції «Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель і споруд». – Харків: ХНУБА. – 2013. – С. 32.

(Особистий внесок: розробка методології і проведення експерименту, обробка результатів досліджень).

13. Арутюнов В.А. Підвищення гідрофізичних властивостей захисних покриттів шляхом синтезу кристалогідратів на поверхні микрочибры: [Текст] / Т.О. Костюк, В.А. Арутюнов // Програма 68-ї науково-технічної конференції

Харківського національного університету будівництва та архітектури. – Харків: ХНУБА. – 2013. – С. 11.

(Особистий внесок: випробування зразків, обробка результатів досліджень).

14. Арутюнов В.А. Формирование кристаллических новообразований на поверхности полиэфирных волокон в стесненных условиях цементного камня: [Текст] / Т.А. Костюк, В.А. Арутюнов // Тези доповідей 69-ї науково-технічної конференції Харківського національного університету будівництва та архітектури. – Харків: ХНУБА, 2014. – С. 14.

(Особистий внесок: підготовка та проведення експериментів, розшифрування рентгенограм та дериватограм).

15. Арутюнов В.А. Высокопрочный гидроизоляционный композит: [Текст] / В.А. Арутюнов, Т.А. Костюк, А.В. Рачковский // Сб. докладов Международной научно-практической конференции «Приоритетные направления науки и техники. Наука молодых – интеллектуальный потенциал XXI века». – Пенза: ПГУАС, 2014. – С. 6-9.

(Особистий внесок: аналіз умов формування кристалічної «обойми» на скляному та поліефірному волокні).

16. Арутюнов В.А. Влияние волокнистых наполнителей на физико-механические свойства цементных композитов: [Текст] / А.А. Плугин, Т.А. Костюк, Ал.А. Плугин, В.А. Арутюнов и др. / Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології, обладнання, матеріали в будівництві і на транспорті». – Харків: ВЛавке, 2014. – С. 52.

(Особистий внесок: дослідження впливу різного виду мікроармування, напружено-деформативних показників цементних композитів, обробка експериментальних даних).

АНОТАЦІЯ

Арутюнов В.А. Рулонний композиційний матеріал для ремонту та гідроізоляції з підвищеними фізико-механічними характеристиками. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та виробли. - Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2016.

Роботу присвячено розробці складу рулонного композиційного матеріалу на основі портландцементу, що поєднує в собі високі показники міцності при вигині і розтягу; водонепроникності; непаддатливого до усадки і тріщин; що має простоту у застосуванні.

Результати проведених досліджень показали, що силіконовий апрет на поліефірному волокні забезпечує здатність служити підкладкою для зростання кристалогідратів цементного каменю, які захищають поверхню волокна від гідролізу в лужному середовищі, а також сприяють найкращому затисканню фібри в структурі цементного каменю.

Отримано простий у використанні гідроізоляційний рулонний композиційний матеріал (РКМ) інтегрально-капілярної дії, що характеризується підвищеним зчепленням з поверхнею 3,4 МПа, міцністю на розтяг при згині 14,34 МПа, водонепроникністю W12. Технологія його нанесення дозволяє економити матеріальні ресурси, влаштування покриття з такого матеріалу не вимагає спеціальних навичок і кваліфікації, рулонний матеріал наноситься у вигляді «пластиру».

Ключові слова: рулонна гідроізоляція, водонепроникність, кристалічні новоутворення, цементний камінь.

АННОТАЦИЯ

Арутюнов В.А. Рулонный композиционный материал для ремонта и гидроизоляции с повышенными физико-механическими характеристиками. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. - Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2016.

Работа посвящена разработке состава рулонного композиционного материала на основе портландцемента, сочетающего в себе высокие показатели прочности при изгибе и растяжении; водонепроницаемость; не поддающегося усадке и трещинообразованию; имеющего простоту в применении.

Из анализа научно-технической литературы можно сделать вывод, что совмещением нетканого материала объемной структуры, цементного вяжущего и химических добавок, можно получить рулонный гидроизоляционный материал интегрально-капиллярного действия. Установлено, что получение эффективных покрытий, совмещающих одновременно положительные свойства пленки и цементных штукатурных составов, до настоящего времени практически не реализовано.

Результаты проведенных исследований показали, что силиконовый аппрет на полиэфирном волокне обеспечивает способность служить подложкой для продуктов гидратации цемента и таким образом защищает его поверхность от гидролиза в щелочной среде, а также способствует наилучшему заземлению фибры в структуре цементного камня.

Экспериментально установлено, что при твердении цементного композита, содержащего комплексную химическую добавку, на ее поверхности образуются кристаллогидраты гексагонального портландита и кубического гидроалюмината кальция, а также гелеобразных гидросиликатов кальция. Физико-химический анализ подтвердил, что кристаллизационная структура новообразований цементного камня композита дополнительно содержит иглы этtringита, волокна и сетки низкоосновных гидросиликатов кальция типа SCH (I): ксонотлита и тоберморита, а также пластины гидроалюминатов кальция. Размеры дополнительных новообразований в диаметре не превышают 0,5 мкм,

что обеспечивает повышение прочности и водонепроницаемости цементного камня не только из-за увеличения числа контактов, но и вследствие меньшей вероятности наличия внутри частиц опасных дефектов для конденсационно-кристаллизационной структуры.

Получен простой в использовании гидроизоляционный рулонный композиционный материал (РКМ) интегрально-капиллярного действия, характеризующийся повышенным сцеплением с поверхностью 3,4 МПа, прочностью на растяжение при изгибе 14,34 МПа, водонепроницаемостью W12. Технология его нанесения позволяет экономить материальные ресурсы, устройство покрытия из такого материала не требует специальных навыков и квалификации, рулонный материал наносится в виде «пластыря». Экономический эффект от внедрения разработанной гидроизоляции составил 23 грн/м² по сравнению с гидроизоляционным составом интегрально-капиллярного действия, выпускаемого в виде сухой смеси.

Ключевые слова: рулонная гидроизоляция, водонепроницаемость, кристаллические новообразования, цементный камень.

ABSTRACT

Arutyunov V.A. Rolled composite material for the repair and waterproofing with improved physical and mechanical characteristics. – Manuscript.

The dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty, 05.23.05 – building materials and products. Ukrainian State University of Railway Transport Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The work is dedicated to the development of rolled composite material based on Portland cement, combining high strength in bending and stretching; waterproof; is resistant to shrinkage and cracking; having ease of application.

The results of these research have shown that silicone coupling agent on polyester fiber provides the ability to serve as a lining for the growth of crystalline cement stone, which protect the surface of the fiber by hydrolysis in an alkaline environment, and promote the best clip fibers in the structure of cement stone.

Get easy-to-use waterproofing rolled composite material (RCM) is integrally-capillary action, characterized by increased adhesion to the surface of 3,4 МПа, a tensile strength of 14,34 МПа in bending, waterproof W12. The technology of its application saves material resources, the device coating of a material does not require special skills and qualifications, the rolled material is applied as a «patch».

Keywords: roll waterproofing, water-resistant, crystal growths, cement stone.

Підписано до друку 19.04.2016. Формат 60×84 1/16.

Папір офсетний. Друк. цифровий.

Ум. друк. арк. 0,9. Наклад 100 примірників.

Замовлення №2142.

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