

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ

Бондаренко Дмитро Олександрович

УДК 691.3: 666.972

**СУХА БУДІВЕЛЬНА СУМІШ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ЗНИЖЕНОЇ ПАРПРОНИКНОСТІ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському державному технічному університеті будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

кандидат фізико-математичних наук, професор
Шевченко Людмила Петрівна, Харківський державний технічний університет будівництва та архітектури, професор кафедри економічної кібернетики.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Шабанова Галина Миколаївна, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», головний науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей;

кандидат технічних наук, доцент
Толмачов Сергій Миколайович, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів.

Захист відбудеться 25 листопада 2010 р. о 15³⁰ на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 при Українській державній академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

Автореферат розісланий « 22 » жовтня 2010 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, к.т.н., доц.

Г.Л. Ватуля

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Аналіз існуючих теплоізоляційних матеріалів і способів їх використання (зовнішня або внутрішня теплоізоляція) дозволяє зробити висновок, що сучасна будівельна індустрія потребує високоефективні, екологічно чисті, негорючі, з високими фізико-механічними показниками теплоізоляційні матеріали. Найперспективнішими, з огляду на це, є матеріали на основі мінеральних в'язучих з пористими природними заповнювачами. Такі матеріали відзначаються високими теплоізоляційними властивостями, проте через свою структуру мають високу паропроникність, що є значним недоліком. Тому розробка нового теплоізоляційного матеріалу на пористих природних заповнювачах зі зниженою паропроникністю, а також оптимізація його складу і економічно ефективного обґрунтування використання є актуальною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Робота виконана в ХДТУБА у складі держбюджетної НДР Міністерства освіти і науки України № ДР 0106U000162 «Розробка теоретичних основ отримання сухих будівельних сумішей для захисних покриттів проникаючої дії по бетону та залізобетону» (2006-2008 рр.) та у складі НДР № ДР 0209U006663 «Розробка інформаційної технології моделювання процесів теплопередачі в тілах складної геометричної форми» (2007-2009 рр.). Роль автора полягає у дослідженнях проникності порового простору цементного каменю, теоретичних і експериментальних дослідженнях, аналізі літературних даних та патентному пошуку, розрахунках оптимального складу матеріалу, розробці алгоритму пошуку оптимальної товщини теплоізоляційного шару і проведенні температурно-вологісних та економічних розрахунків для огорожуючих конструкцій.

Мета і завдання дослідження. Розробка складу і дослідження властивостей сухої будівельної суміші на основі спучених гірських порід і цементного в'язучого для забезпечення ефективної повітропроникної теплоізоляції зі зниженою паропроникністю.

Для досягнення поставленої мети розв'язувалися наступні завдання дослідження:

- теоретично обґрунтувати зниження паропроникності теплоізоляційних матеріалів на основі спученого перліту, цементного в'язучого і хімічних добавок;
- розробити склад теплоізоляційної сухої будівельної суміші (ТСБС);
- дослідити фізико-механічні властивості одержаного складу;
- провести фізико-хімічні дослідження складу і структури продуктів гідратації затверділого теплоізоляційного матеріалу;
- виконати дослідно-промислово перевірку результатів досліджень, економічно обґрунтувати доцільність вживання ТСБС зниженої паропроникності.

Об'єкт дослідження. Суха будівельна суміш на основі портландцементу з хімічно активною добавкою (ХАД) для теплоізоляційної штукатурки зі зниженою паропроникністю.

Предмет дослідження. Закономірності твердіння і структуроутворення теплоізоляційного матеріалу з сухої будівельної суміші; властивості теплоізоляційної штукатурки з нього.

Методи дослідження. Фізико-механічні дослідження проведені згідно з нормативними документами: ДСТУ БВ.2.7-23-95 «Будівельні матеріали. Розчини будівельні. Загальні технічні умови»; ДСТУ БВ.2.7-23-95 «Визначення границі міцності при стиску»; ДСТУ-П Б В.2.7-126:2006 «Будівельні матеріали. Суміші сухі будівельні модифіковані. Загальні технічні умови»; ГОСТ 28575-90 «Защита от коррозии в строительстве. Конструкции бетонные и железобетонные. Испытание паропроницаемости защитных покрытий».

Для визначення складу новоутворень в порах перліту і капілярах цементного каменю використовувалися методи петрографічного дослідження за допомогою світлового мікроскопа NU-2E і МІН-8, термічний аналіз за допомогою дериватографа Паулік-Паулік-Ердеї, рентгенофазовий аналіз виконаний на рентгенівському дифрактометрі ДРОН – 1,5, вивчення мікроструктури цементного каменя проводилось за допомогою скануючого мікроскопа JEOL JSM-840.

Наукова новизна одержаних результатів:

– встановлена залежність теплофізичних властивостей перлітоцементної теплоізоляційної штукатурки (ТШ) від електроповерхневих властивостей її компонентів та стінок пор і капілярів, а також визначена для перліту величина рівноважного електроповерхневого потенціалу $\psi_{\text{эл}}^p = -0,9 \text{ В}$;

– розроблені уявлення про механізм повітропроникності та паронепроникності через тонкі капіляри цементно-перлітової штукатурки (розмір капіляра набагато менший довжини вільного пробігу молекули), згідно з яким адсорбовані молекули газу або пари індукуються під впливом електричного поля потенціалвизначного іона ПВІ;

– одержані дані про те, що хімічно активна добавка в перлітоцементну штукатурку, яка включає нітрат, сульфат і карбонат натрію, хлорид і карбід кальцію, і виникаючі за рахунок цього кальцит, гідросульфоалюмінати, гідрокарбоалюмінати, гідрохлоралюмінати і гідросульфоферити кальцію, сприяють утворенню недостатніх до оптимальної кількості позитивно заряджених кристалогідратів, що забезпечує кольматцію відкритих пор і капілярів зерен спученого перліту та зменшення паропроникності штукатурки;

– одержані залежності фізико-механічних властивостей теплоізоляційної штукатурки (ТШ), які залежать від складу і витрат ХАД, включаючи рівняння залежності паропроникності від відношення витрат цементу до витрати перліту і витрат ХАД.

Практичне значення одержаних результатів:

– розроблено оптимізований склад ТСБС, що дозволило виконати ефективну внутрішню теплоізоляцію огорожуючих конструкцій;

– розроблено методичку, алгоритм і програму для оцінки температурних полів і проектування внутрішньої ТШ з розробленого складу;

– економічний ефект від застосування ТШ з розробленого складу ТСБС досягається завдяки відмові від пароізоляції, необхідної при використанні перлітобетону, і складає 6,27 грн/м² поверхні, що захищається;

– для складу ТСБС було розроблено технологічний регламент і випущено науково-дослідну партію ТШ на підприємстві ТОВ «Віа-Телос», м. Харків;

– склад ТШ було використано при ремонті двох житлових будинків м. Харкова за адресою пров. Вовчанський, 17^б та пров. Люботинський 17^б.

Особистий внесок здобувача полягає в наступному:

– вивченні стану проблеми отримання сучасних теплоізоляційних матеріалів і їх ефективного застосування;

– теоретичному обґрунтуванні шляхів зниження паропроникності теплоізоляційних матеріалів на основі спученого перліту, цементного в'язучого і хімічних добавок;

– вивченні фізико-механічних властивостей розробленого складу ТСБС зниженої паропроникності;

– аналізі результатів петрографічних, термічних і рентгенографічних досліджень складу і структури продуктів гідратації;

– розробці технологічного регламенту одержання теплоізоляційної сухої будівельної суміші зі зниженою паропроникністю та впровадженні у виробництво дослідно-промислової партії.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідалися на 61-й – 64-й науково-технічних конференціях Харківського державного технічного університету будівництва і архітектури в 2007-2009 рр.; на XVII щорічній Міжнародній конференції «Екологічна і техногенна безпека. Охорона водного і повітряного басейнів. Утилізація відходів», м. Алушта, 9-10 червня 2009р.; на Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективні організаційні рішення і інноваційні технології в каркасно-монолітному будівництві», м. Харків, 22-23 квітня 2009р.; на 30th SAMPE Europe International Jubilee Conference Society for Advancement Materials and Process Engineering “COMPOSITES – Innovative Materials for smarter Solutions”, Paris, March 23-25th, 2009.

Публікації. Основні положення дисертації розкриті в 9 наукових статтях, 8 з яких опубліковані в збірниках і журналах, рекомендованих ВАК України, отримано 1 патент України на винахід.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку літератури (211 найменувань), містить 198 сторінок тексту, в тому числі 84 рисунки, 36 таблиць і 4 додатки.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета та задачі досліджень, визначені об'єкт і предмет досліджень, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** зроблено критичний аналіз літературних джерел за видами і властивостями теплоізоляційних матеріалів, що використовуються, за механізмом теплопередачі в різних за складом і структурою матеріалах, за теплофізичними і функціональними властивостями, характеристиками і структурою пор, структурою і властивостями цементного тіста та каменю, за механізмом перенесення водяного пару і молекул газу через тонкі капіляри, природі молекул пари, повітря і сил їх взаємодії з поверхнею капілярів, принципу дії хімічних добавок, тощо.

У результаті цього аналізу встановлено, що з числа теплоізоляційних матеріалів, застосованих для теплоізоляції будівель, мінімальним коефіцієнтом теплопровідності характеризуються пінопласти (пінополістирол – 0,035 Вт/м·°С) і мінераловатні вироби 0,06 Вт/м·°С. Проте, пінопласти горючі, недовговічні внаслідок старіння і не є екологічно чистими матеріалами, оскільки виділяють при горінні і старінні токсичні речовини. Вказані недоліки відсутні в теплоізоляційній штукатурці з неорганічних матеріалів.

По структурі теплоізоляційні неорганічні матеріали є конгломератними багатокомпонентними системами, що в більшості складаються з цементного тіста, заповнювача та повітряних пор, тому перенесення теплоти в них залежить від теплопровідності твердої фази, конвекції та теплопровідності газу в порах. Відносний внесок цих складових різний залежно від пористості. Основними функціональними властивостями теплоізоляційних матеріалів є теплофізичні характеристики, які визначаються пористістю структури і залежать від співвідношення між закритою і відкритою пористістю. Відкрита пористість зменшує теплоізоляційні характеристики, створює умови для проникання всередину виробу вологи, в результаті чого зростає теплоємність, активізуються процеси хімічної корозії та морозного руйнування матеріалу, збільшується густина і зменшується морозостійкість виробів.

Впровадження нових норм з енергозбереження в масове житлове будівництво, посилення вимог до теплозахисту будівель потребують створення додаткової теплоізоляції будівель і споруд, як з внутрішньої так і з зовнішньої сторони.

Основними теплоізоляційними матеріалами на внутрішньому ринку України є ніздрюваті бетони на різних видах в'язучого, мінераловатні утеплювачі, матеріали на основі спучених гірських порід (перліту, вермикуліту), полімерні теплоізоляційні матеріали (матеріали на основі газонаповнених полімерів). Особливий інтерес на даний час представляють «теплі штукатурки». Їх теплоізоляційні властивості забезпечуються легкими пористими наповнювачами, зокрема, спученим перлітом і вермикулітом у вигляді гранул. Крім легкості, вони надзвичайно вогнестійкі, не схильні до гниття й ураження грибок.

Як заповнювач теплоізоляційної штукатурки, що розробляється в дисертації, заздалегідь вибрано спучений перліт, як в'язуче – портландцемент, а для регулювання властивостей затверділої штукатурки - хімічні добавки.

Теплоізоляційні властивості перлітових штукатурок визначаються також властивостями і структурою цементного тіста і потім каменю. Частинки цементних зерен, продуктів гідратації цементу і їх пори мають велике значення у зв'язку з їх прониканням у пори зерен спученого перліту і прониканням крізь цементний камінь водяної пари і газів з повітря. На ці процеси

великий вплив чинять: електроповерхневі властивості у вигляді поверхневого заряду, який характеризується густиною q^0 , Кл/м², поверхневого (електроповерхневого) потенціалу $\psi_{\text{ЭП}}^0$, В, рівноважного електроповерхневого потенціалу $\psi_{\text{ЭП}}^p$, В, і подвійного електричного шару (ПЕШ) на межі твердої фази з водою. В дисертаційній роботі наведені відомі величини електроповерхневих потенціалів простих речовин, мінералів цементу, продуктів його гідратації, а електроповерхневі потенціали перліту визначені за їх методикою.

Розміри відкритих пор зерен піску зі спученого перліту складають величину від 1 мкм і більше, пори, утворені блоками кристалогідратів, мають розміри близько 0,1÷0,4 мкм, а розміри пор, утворених частинками гелю і глобулами з них, мають розміри від 0,003 до 0,04 мкм. Такі розміри менші, ніж довжина вільного пробігу молекул пари або газу (близько 1 мкм), у зв'язку з чим був виконаний аналіз існуючих уявлень про проникність повітря через теплоізолюючі матеріали з малими капілярами. Пори меншого розміру є проникними лише для молекул повітря або через них проходять пари води, конденсуючись, по механізму фільтрації з подальшим випаровуванням на протилежній стороні наскрізної пори (капіляра). При створенні повітропроникного, паронепроникного теплоізоляційного матеріалу необхідно забезпечувати переважно такі пори.

В дисертації висунута наступна наукова гіпотеза про механізм проникності тонких капілярів: в основі проникності тонких капілярів лежать електроповерхневі потенціали речовини стінок капіляра, а також латеральне (уздовж поверхні) електроповерхнєве відштовхування між ПВІ на його стінках. Це відштовхування передається на кутовий або ребровий ПВІ, намагаючи відірвати його від решітки. Йому протидіє іон-іонне або іон-дипольне тяжіння ПВІ до цієї решітки. Рівність цих сил зумовлює встановлення рівноважних розмірів частинки, шару плівки води, або шару адсорбованих молекул газу на стінках капіляра.

Поставлена задача розробки нових теоретичних уявлень про проникаючу здатність теплоізоляційних матеріалів з малими капілярами. Вирішення такої задачі можливо на основі уявлень про електроповерхневі властивості і взаємодію при протіканні різних процесів в дисперсних системах та матеріалах, які розвинені в УкрДАЗТ під керівництвом А.М. Пługіна і А.А. Пługіна. Співставлення розмірів молекул газів повітря і асоціатів молекул води, а також крапель пари, дало підстави припустити, що перенесення повітрям крапель пари здійснюється через пори, розмір яких істотно більший ніж $1 \cdot 10^{-5}$ м (10 мкм). Такі пори утворюються між найкрупнішими частинками цементу при високому В/Ц, а також в «тощіх» складах розчинів з незаповненими пустотами між зернами заповнювача.

Для вибору ефективних добавок виконаний аналіз робіт багатьох вчених, які протягом ряду років займалися розробками добавок, розвитком і поглибленням уявлень про механізм їх дії, розробкою і вдосконаленням методик визначення їх оптимальної кількості, у тому числі робіт, що є найзначущими: В.Б. Ратінова, Ф.М. Іванова, М.М. Сичова, О.П. Мчедлова-Петросяна, В.І. Бабушкіна, Д.І. Чемоданова, Л.Б. Сватовської, Н.Н. Шангіної, П.Г. Комохова, В.Г. Батракова, А.В. Ушерова-Маршака, Л.І. Дворкіна, М.А. Саницького, П.В. Кривенко, Р.Ф. Рунової, В.Л. Чернявського та ін.

В заключній частині аналітичного огляду сформульовані мета дисертаційної роботи і задачі, які необхідно вирішити для її досягнення.

У **другому розділі** наведено характеристики матеріалів і методи досліджень, які були використані в роботі.

Фізико-механічні випробування одержаних зразків проводили за стандартними методиками. Визначення електроповерхневих властивостей компонентів сухої суміші, зокрема спученого перліту, досліджували двома незалежними способами – розрахунково-експериментальним способом визначення рівноважного електроповерхневого потенціалу та експериментальним методом визначення знака поверхневого заряду порошкових речовин шляхом сепарації у високовольтному електричному полі. Фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації цементного каменю і зразків теплоізоляційного матеріалу проводили за допомогою

рентгенофазового, диференціально-термічного, петрографічного і електронно-мікроскопічного аналізів. Розподіл температури в шарах зовнішньої стіни, визначено за допомогою комп'ютерної програми «POLYE» на основі аналітичних методів рішення задач теплообміну.

У **третьому розділі** наведено теоретичне обґрунтування складу сухої будівельної суміші для теплоізоляційної штукатурки зниженої паропроникності. З цією метою проаналізована порова структура матеріалів на основі цементу за їх проникністю у відношенні до молекул газу і пари з повітря, а також води. Обґрунтовано попередній вибір компонентів сухої суміші для ТШ зниженої паропроникності, розглянуто шляхи зниження паропроникності, здійснено аналіз проникності пор у затверділому цементному камені в залежності від товщини шару води на поверхні частинок гелю, виконано розрахунок довжини вільного пробігу молекул азоту і кисню, розроблено нові теоретичні уявлення щодо механізму перенесення молекул газу через тонкі капіляри.

У результаті узагальнення даних встановлено: пори цементного каменю розміром до $(0,5 \div 1,0) \cdot 10^{-8}$ м є дифузійно, капілярно і фільтраційно непроникними; пори розміром $1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-7}$ м – дифузійно проникними для молекул газів; пори розміром $1 \cdot 10^{-7} \div 1 \cdot 10^{-6}$ м – капілярно проникними для води і дифузійно проникними для газів; пори розміром більше $1 \cdot 10^{-6}$ м – фільтраційно проникними для газів і води.

Отже, повітропроникними і одночасно паронепроникними є пори цементного каменю і бетону розміром $1 \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-7}$ м.

Проникність пор у затверділому цементному камені залежить від товщини шару води на поверхні частинок гелю, яка визначається виразом:

$$\delta = \frac{B}{S_{\Gamma}} = \frac{Ц \cdot \frac{B}{Ц}}{Ц \cdot s_{\Gamma}} = \frac{B}{s_{\Gamma}}, \quad (1)$$

де s_{Γ} – питома поверхня гідросилікатного гелю.

При питомій поверхні гелю ($200-700$ м²/г, в середньому 450 м²/г) і $B/Ц = 1,3$, товщина шару води дорівнює:

$$\delta = \frac{B}{s_{\Gamma}} = \frac{1,3}{450} \left(\frac{\frac{m^3}{m}}{\frac{m^2}{z}} \right) = \frac{1,3}{450 \cdot 10^6} \left(\frac{\frac{m^3}{m}}{\frac{m^2}{m}} = m \right) = 29 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 2,9 \text{ нм}.$$

Отже, пори частинок гелю заповняться водою і через це будуть непроникними для молекул повітря. Разом з тим, пори і мікрокапіляри, утворені глобулами гелю, набагато більші за товщину шару води і повинні пропускати через себе повітря. Для оцінки можливості проникання через пори цементного каменю молекул газів з повітря виконано розрахунок довжини їх вільного пробігу за відомими формулами:

$$l = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot s} \cdot n, \quad (2)$$

$$n = \frac{p}{kT}, \quad (3)$$

де s – ефективний переріз молекули; n – число молекул в одиниці об'єму.

Підставивши відповідні дані, визначаємо середню довжину пробігу для основних за вмістом молекул повітря – азоту і кисню, відповідно, $1,4$ і $1,6$ мкм, що, як відомо, близько до довжини вільного пробігу 1 мкм.

Ці величини значно перевищують розміри мікрокапілярів у продуктах гідратації цементу, що ставить під сумнів можливість вільного дифузійного проникання газу навіть через мікрокапілярні пори штукатурки на основі перліту. Це викликає необхідність більш детального дослідження проникності повітря через капіляри, розмір яких a набагато менший довжини

$$\lambda \left(\frac{\lambda}{a_K} \ll 1 \right).$$

На процеси перенесення через тонкі капіляри впливають рівноважні електроповерхневі потенціали цементного каменю і перлітового заповнювача, а також поверхневого заряду зерен перліту і частинок в'язучого, а також взаємодій між ними. Визначено розрахунково-експериментальним засобом абсолютне значення електроповерхневого потенціалу перліту $\psi_{ЕП\ перл}^0 = -0,19$ В і рівноважного при рН 12 на контакті з цементним тістом і каменем $\psi_{ЕП\ перл}^p = -0,9$ В.

Як видно, зерна спученого перліту мають негативний електроповерхневий потенціал і, відповідно, поверхневий заряд, що у свою чергу сприяє адгезії частинок кристалогідратів з позитивним знаком заряду на стінках пор перліту, призводячи до звуження просвіту капіляра і, тим самим, зменшення паропроникності (рис. 1).

Рис. 1. Схема переміщення молекул газів повітря і асоціатів молекул води пари в порах перлітобетону:

a – доступних для дифузії асоціатів молекул води; b – «зарощених» кристалогідратами і кристалами кальциту, непроникних для асоціатів молекул води; l – молекули газів повітря; 2 – асоціати молекул води пари; 3 – кристалогідрати і кристали кальциту.

У капілярах, стінки яких мають електроповерхневий потенціал і, відповідно, заряд і ПВІ, молекули азоту N_2 , кисню O_2 і вуглекислий газ CO_2 , адсорбуються на ПВІ головним чином за рахунок наведення в них електричним полем ПВІ індукованого дипольного моменту μ :

$$\mu_{ИД} = E \cdot \varepsilon_0 \cdot \alpha \left(\frac{Kл}{m} \cdot m^3 = Kл \cdot m \right), \quad (4)$$

де α – поляризованість молекули, яка дорівнює r^3 .

При цьому виникає достатньо міцний зв'язок типу «іон-індукований диполь» за виразом:

$$f_{ПВІ-ИД} = \frac{E \cdot \mu_{ИД}}{\delta_{ПОІ-М}} \left(\frac{В \cdot Кл \cdot м}{m \cdot m} = \frac{Дж}{m} = \frac{Н \cdot м}{m} \right), \quad (5)$$

де E – напруга електричного поля ПВІ, $\frac{В}{m}$.

З урахуванням цього, на кожний контурний диполь (на кінці капіляра) передається сила латерального електроповерхневого відштовхування між індукованими диполями молекул повітря за виразом:

$$F_{ЛАТ.ИД} = \frac{\mu_{ИД}^2 \cdot l_{КАП}}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon \varepsilon_0 \cdot \delta_{ИД-ИД}^4 \cdot a_{ПВІ}}, \quad (6)$$

яке при підстановці відповідних даних набуває більш простого вигляду:

$$F_{ЛАТ.ИД} = 29,4 \cdot 10^{-9} \cdot l_{КАП} (Н). \quad (7)$$

Складаючи рівняння рівноваги сили латерального електроповерхневого відштовхування індукованих диполів адсорбованих молекул води і сили типу «іон-індукований диполь» адсорбції контурної молекули, отримано значення довжини капіляра $l_{РАВН} = 17$ мкм, що майже в точності відповідає мінімуму, який дорівнює 17 мм, на експериментальній кривій (рис. 2, 3).

При збільшенні довжини капіляра ($l_{КАП} > 17$ мм) сила $F_{ЛАТ.ИД}$ перевищить $f_{ИД}$, що приведе до відриву контурної молекули азоту і значного збільшення проникності теплозахисного покриття, що відзначається на графіку (рис. 4). У разі зменшення $l_{КАП}$ ($l_{КАП} < 17$

мм) відрив контурної молекули, безпосередньо адсорбованої на ПВІ, відбуватися не буде. Отже, проникність молекул через капіляр здійснюється по іншому шару, адсорбованому на першому і розташованому від ПВІ на більш віддаленій відстані, і, отже, менш міцно пов'язаному з капіляром.

Так само розглянутий механізм повітропроникності через тонкий капіляр при збільшенні тиску повітря з урахуванням виникнення макродипольного моменту, несподівано виникаючого за рахунок нахилу до поверхні капіляра адсорбованих молекул з індукованим дипольним моментом під дією латерального відштовхування й тиску (за відомою теорією утворення жорсткого дипольного моменту подовжених сферичних колоїдних частинок).

З урахуванням цього, представлено рівняння для питомої проникності капілярів залежно від тиску, розрахунки за яким зіставлені з перетвореною відомою експериментальною залежністю (рис. 4).

Рис. 4. Перетворений графік

З рис. 3 і 4 видно, що розрахункова та експериментальна криві мають однаковий характер залежності і дуже близькі значення, що також підтверджує описаний механізм повітропроникності тонких капілярів в ТШ.

Виконані теоретичні дослідження мають важливе практичне значення для підвищення ефективності теплоізолюючих покриттів і штукатурок, що використовуються і розробляються. Так, графік на рис. 2 показує, що при нормальному тиску повітря проникність покриття різко зменшується при збільшенні довжини капіляра (товщина покриття) до приблизно 6 мм. При цій товщині проникність дорівнює 10^{-8} м/с, або 10^{-6} см/с, а при більшій товщині зменшення проникності незначне.

У шарі штукатурки із заповнювачем зі спученого перліту довжину капілярів орієнтовно можна визначити за виразом:

$$l_K = \frac{l_{ш}}{d_{п}} \cdot \delta_{цк}, \quad (8)$$

де $l_{ш}$ – товщина штукатурного шару, мм; $d_{п}$ – середній діаметр зерен піску зі спученого перліту, мм; $\delta_{цк}$ – товщина прошарку цементного каменю між зернами піску.

Величина $\delta_{цк}$ визначається діаметром частинок цементу найбільш представницької фракції 0,05 мм, середній діаметр частинок піску $d_{п} = 0,47$ мм. Підставимо ці величини в (8), прийнявши товщину штукатурного шару $l_{ш} = 2,5$ см:

$$l_K = \frac{25}{0,47} \cdot 0,05 = 2,7 \text{ мм.}$$

Проникність при такому капілярі дорівнює $7 \cdot 10^{-8}$ м/с = $7 \cdot 10^{-6}$ см/с (рис. 3). Час проникання молекул газів у складі повітря, зокрема азоту і кисню, через такий капіляр і, відповідно, штукатурний шар складе:

$$t = \frac{0,27}{7 \cdot 10^{-6}} = 0,039 \cdot 10^6 \text{ с} = 3,9 \cdot 10^4 \text{ с} = 10,8 \text{ год} \approx 0,45 \text{ діб.}$$

Такий час достатній для просихання штукатурного шару у разі його замокання та інших негативних наслідків, пов'язаних з непроникністю повітря. У той же час такий штукатурний шар є непроникним для водяного пару.

Виходячи з електроповерхневих властивостей перліту, виконано вибір виду цементу для ТШ. З економічних міркувань для аналізу були обрані цементу типу ПЦ І (до 5 % добавок), ПЦ ІІ (6÷35 % добавок) і шлакопортландцемент ШПЦ ІІІ (36÷80 % добавок доменного граншлаку). Основним критерієм для вибору стало співвідношення між об'ємами кристалогідратів і гелю КГ⁺/Г⁻ при використанні цих цементів.

Вказані добавки в цементі, завдяки своїй активності, зумовлюють утворення низькоосновного гідросилікатного гелю, частинки якого мають негативний рівноважний

потенціал і поверхневий заряд, що змінює співвідношення $K^+/Г^-$. В звичайному портландцементі це відношення близьке до оптимального, при якому в цементному камені досягається максимальна кількість електрогетерогенних контактів і найбільша активність. Отже, у цементів ПЦ II і ШПЦ III кількість добавок набагато більша, ніж у ПЦ I, і це відношення набагато менше за оптимальне, що призводить до зниження міцності і морозостійкості цементного каменю в сумішах, що розробляються. Поєднання негативно заряджених зерен перліту і також негативно заряджених добавок призведе до ще більшого погіршення міцнісних властивостей і довговічності цементноперлітової теплоізоляційної штукатурки. У зв'язку з цим для розробленої ТШ був обраний цемент типу ПЦ I.

Проте, навіть при цьому типі цементу, зберігається надлишок кількості негативно заряджених поверхонь зерен, пор і капілярів спученого перліту, що також погіршує співвідношення $K^+/Г^-$ і викликає погіршення міцнісних показників і довговічності в ТШ. Для усунення цього і забезпечення зниженої паропроникності та низької теплопровідності теплоізоляційної штукатурки до складу ТШ вводиться комплексна хімічно активна добавка (ХАД), вибір компонентів якої обґрунтований тим, що вони зумовлюють виникнення недостатніх до оптимальної кількості позитивно заряджених кристалогідратів, зокрема гідронітроалюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Ca(NO_3)_2 \cdot 10H_2O$, гідрохлоралюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$, етtringіту $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$, гідросульфоалюмофериту кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot (Fe_2O_3) \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$ або гідросульфофериту кальцію $3CaO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 31H_2O$, а також кальциту $CaCO_3$.

Виникнення додаткової кількості (до оптимального рівня) кристалогідратів з позитивним поверхневим зарядом повинне призвести до збільшення кількості електрогетерогенних контактів, збільшення міцності ТШ.

У зв'язку з різною розчинністю цих кристалогідратів передбачається їх послідовне виникнення протягом тривалого часу, що унеможливить надмірність внутрішніх напруг.

Збільшення кількості електрогетерогенних контактів призведе також до поглиблення проникання кристалогідратних продуктів гідратації цементу і самих зерен цементу в поверхневі пори зерен перліту і їх кольматацію. Це сприятиме зниженню паропроникності і теплопровідності ТШ.

Усі добавки, окрім Na_2SO_4 і Na_2CO_3 , є індиферентними до поверхні кристалогідратів, що не впливатиме на їх електроповерхневий потенціал. Особливістю вживання добавки Na_2CO_3 є те, що вона, реагуючи з гідроокисом кальцію, утворює кальцит $CaCO_3$ і гідроокис натрію $NaOH$. Вважається, що надлишок $NaOH$ небажаний в бетоні, оскільки може взаємодіяти із заповнювачем, що містить активний кремнезем. Для усунення цього негативного процесу вводиться карбід кальцію CaC_2 , який взаємодіятиме з вільним $NaOH$. Проте, в розробленій ТШ, використовується заповнювач з перліту, що є нейтральним до дії лугів і слабких кислот. У зв'язку з цим, основний ефект від CaC_2 у складі ТШ зводиться до значного збільшення позитивно зарядженого кристалічного кальциту, збільшенню абсолютної величини негативного електроповерхневого потенціалу зерен перліту на їх поверхні і, що найбільш важливе, на стінках їх капілярів і пустот. Це також повинне привести до збільшення кількості електрогетерогенних контактів, збільшенню міцності ТШ, поглибленню проникання кристалогідратних продуктів гідратації цементу і самих зерен цементу в поверхневі пори зерен перліту і їх кольматацію, знижуючи паропроникність і теплопровідність ТШ.

Пластифікуюча добавка, що містить неполярний органічний радикал і полярну функціональну групу (наприклад $-SO_3^-$ в лигносульфонатах, меламінформальдегідах і нафталінформальдегідах $-COO^-$ – в полікарбоксілатах, PO_3^- – в поліакрилатах), адсорбуючись полярними групами на позитивно заряджених алюмінатних ділянках поверхні частинок цементу, покращує технологічні властивості проектованої сухої суміші при її перемішуванні з водою.

У **четвертому розділі** експериментально підтверджено результати теоретичних досліджень і визначено фізико-механічні характеристики теплоізоляційного матеріалу зниженої

паропроникності з сухої суміші на основі портландського цементу, спученого перлітового піску і добавок.

На рис. 5 представлена залежність коефіцієнта паропроникності затверділої суміші від витрати комплексної добавки, а на рис. 6 – вплив полімерної добавки на показники міцності теплоізоляційного матеріалу. Згідно з цією залежністю адгезія, міцність при стисканні та згині, суттєво змінюється при вмісті редисперсійного порошку, починаючи з 2 %, і далі приріст міцності є незначим.

Встановлено, що введення до складу хімічно активної добавки редиспергуемого полівінілацетатного полімеру забезпечує підвищення міцності при стисканні затверділої суміші в 1,6 рази – від 2,5 до 4 МПа, а адгезії до бетонної основи – у 1,8 рази – від 1,2 до 2,2 МПа. При цьому оптимальна витрата редиспергованого полімера складає 2,5 % від маси цементу – подальше збільшення його витрат не забезпечує збільшення міцності.

Аналіз експериментальних даних показав, що вміст у сухій суміші цементу Ц/П в інтервалі 3,84÷4,95 і витрата комплексної добавки ХАД/Ц в інтервалі 2,50÷4,0, забезпечує значення коефіцієнта теплопровідності затверділої суміші $\lambda = 0,11 \div 0,12$ Вт/м·°С, коефіцієнта паропроникності $\mu = (0,24 \div 0,33) \times 10^{-2}$ г/(м·ч·мм рт.ст.), густини – 452÷503 кг/м³, адгезії до поверхні бетону – 1,25÷1,32 МПа (табл. 1).

Рис. 5. Залежність коефіцієнта паропроникності затверділої суміші $\mu \times 10^2$, г/м·ч·мм.рт.ст, від витрати комплексної добавки ХАД/Ц % по масі

Рис. 6. Залежність міцності затверділої суміші при стисканні $R_{ст}$, згині $R_{згин}$ і адгезії R_a до бетонної основи в залежності від витрат редиспергованого полімера

Таблиця 1

Результати випробувань зразків сухої будівельної суміші

Найменування показників	Склади		
	1	2	Оптимізований
Густина в затверділому стані, кг/м ³	452	468	450
Межа міцності при стисканні, МПа	3,45	3,38	4,11
Межа міцності при вигині, МПа	0,95	1,12	1,23
Усадка, мм/м	0,35	0,37	0,33
Адгезія до бетонної поверхні, МПа	1,75	1,72	2,25
Коефіцієнт теплопровідності, λ , Вт/м·°С	0,11	0,12	0,08
Коефіцієнт паропроникності $\mu \cdot 10^2$, г/м·ч·мм.рт.ст (мг/см·ч·мм.рт.ст)	0,33 (0,033)	0,24 (0,024)	0,25 (0,025)

Розроблений оптимальний склад сухої суміші для теплоізоляційної штукатурки зниженої паропроникності характеризується наступними фізичними і фізико-механічними показниками: коефіцієнтами теплопровідності і паропроникності $\lambda = 0,08$ Вт/м·°С, $\mu = 0,25 \cdot 10^{-2}$ г/(м·ч·мм рт.ст.) відповідно, середньою густиною – 450 кг/м³, міцністю при стисканні і згині – 4,1 і 1,23 МПа відповідно, адгезією до поверхні бетону – 2,25 МПа, усадкою – 0,33 мм/м.

Рентгенографічний і термічний аналіз зразків цементного каменю підтвердив, що введення до складу цементу, а отже, теплоізоляційної штукатурки, ХАД, до складу якої входять карбід кальцію CaC_2 і хлористий кальцій $CaCl_2$, збільшило утворення кристалогідратів поверхневого портландиту $Ca(OH)_2$ і забезпечило виникнення відсутніх в бездобавочному цементному камені нових кристалогідратних продуктів – кальциту $CaCO_3$, гідрокарбоалюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCO_3 \cdot 12H_2O$ і гідрохлоралюмінату кальцію $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaCl_2 \cdot 10H_2O$, (рис. 7, 8).

Рис. 7. Рентгенограма цементного каменю з ХАД

Рис. 8. Термограми зразків цементного каменю:

a – з хімічно активною добавкою (№1 за табл. 1); *b* – без добавки (№2 за табл. 1)

Електронно-мікроскопічні дослідження також підтвердили, що кристалогідратними продуктами гідратації розробленого теплоізоляційного матеріалу є, в основному, поверхневий портландит, кальцит, гідрокарбоалюмінати і гідрохлоралюмінати кальцію структуроутворюючих частинок (блоків) 1/0,45/6,7x4,5 розмірів близько 0,3 мкм (рис. 9, 10).

У **п'ятому розділі** наведені виробнича перевірка і практичне використання розробленої будівельної суміші як теплоізоляційної штукатурки зниженої паропроникності, виконано аналіз економічної ефективності теплотехнічних характеристик огорожуючої конструкції з внутрішньою теплоізоляційною штукатуркою зниженої паропроникності. Розрахунки показали, що мінімальна товщина внутрішнього теплоізоляційного шару, при якій конденсатна волога не утворюється, повинна складати 20 мм. Мінімальне значення наведених річних витрат на 1м² стіни складають 7,60 грн при товщині внутрішнього теплоізоляційного шару 30 мм з урахуванням температурно-вологісного режиму стіни (рис. 11), який забезпечує відсутність зони конденсатної вологи – лінія пружності водяної пари і лінія максимальної пружності водяної пари не перетинаються.

На розроблену ТСБС зниженої паропроникності одержано патент на винахід, розроблено технологічний регламент і випущена дослідно-промислова партія ТШ на Харківському підприємстві ТОВ «Віа-Телос» на устаткуванні, призначеному для виробництва сухих сумішей будівельного призначення. Дана партія була застосована як теплоізоляція стін житлового будинку на двох будівельних об'єктах м. Харкова за адресою пров. Вовчанський, 17^б та пров. Люботинський 17^б.

Одержаний позитивний економічний ефект, який склав 6,27 грн/м² в порівнянні з теплоізоляцією зі стандартного перлітобетону.

Рис. 11. Визначення межі зони конденсації вологи в шарах зовнішньої стіни житлового будинку:

1 – шар внутрішньої теплоізоляції (20 мм); 2 – внутрішній шар цегляної кладки; 3 – шар керамзитової засипки; 4 – зовнішній шар цегляної кладки; 5 – мінераловатна теплоізоляція.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що будівельно-експлуатаційні і теплофізичні властивості теплоізоляційної штукатурки (ТШ), обраної як об'єкт досліджень, залежать від характеристик пористості перліту і цементного каменю, а також електроповерхневих властивостей всіх компонентів і стінок пор (рівноважний електроповерхневий потенціал $\psi_{эл}^p$, В, і подвійний електричний шар ПЕШ з потенціалвизначальними іонами ПВІ і протиіонами ПРІ на межі твердої фази з водою). Визначено рівноважне значення електроповерхневого потенціалу перліту $\psi_{эл}^p = -0,9$ В.

2. Показано, що перенесення крапель пари здійснюється через пори, розмір яких істотно більший $1 \cdot 10^{-5}$ м (10 мкм), які утворюються між найкрупнішими частинками цементу при високому В/Ц в «тощих» складах розчинів з незаповненими пустотами між зернами заповнювача, а повітропроникними і водночас паронепроникними є пори цементного каменю і бетону з розміром $(0,5 \div 1) \cdot 10^{-8} \div 1 \cdot 10^{-5} \div 1 \cdot 10^{-6}$ м.

3. Розроблені наукова гіпотеза та уявлення про механізм такого проникання, згідно з якими на кожний контурний диполь (на кінці капіляра) передається сила латерального електроповерхневого відштовхування між індукованими диполями молекул газу, яка залежить від довжини капіляра l , а сила тяжіння індукованого диполя до ПВІ типу «іон-індукований

диполь» перешкоджає цьому відриву. Виведені рівняння і побудовані відповідні залежності питомої проникності капіляра від його довжини і тиску повітря. Відповідні розрахункові та експериментальні залежності співпали з високою точністю, а розрахований час проникання молекул азоту і кисню через штукатурний шар завтовшки 25 мм склав 0,45 діб, що свідчить про коректність наведеного механізму.

4. У перлітоцементних штукатурках виникає надлишок кількості негативно заряджених поверхонь зерен, пор і капілярів, що зменшує кількість електрогетерогенних контактів. Для усунення цього та забезпечення зниженої паропроникності і низької теплопровідності до складу ТШ вводиться комплексна ХАД, що містить: нітрат, сульфат і карбонат натрію, хлорид і карбід кальцію, які прискорюють твердіння і сприяють утворенню недостатніх до оптимальної кількості позитивно заряджених кристалогідратів – гідронітроалюмінату та гідрохлоралюмінату кальцію, етtringіту, гідросульфоалюмофериту кальцію або гідросульфофериту кальцію, а також кальциту; пластифікуюча добавка, що дозволяє знизити В/Ц; водоутримуюча добавка – метилцелюлоза або карбоксиметилцелюлоза, яка запобігає випаровуванню води при твердінні штукатурки; порошок редиспергуючий полівінілацетатній, що підвищує адгезію штукатурки до поверхні стін і міцність штукатурки при згині.

5. Показано, що введення комплексної добавки забезпечує зниження відкритої пористості перлітоцементної штукатурки від 47 до 12 %, зниження паропроникності μ від $(2,1 \div 2,3) \cdot 10^{-2}$ до $(0,21 \div 0,24) \cdot 10^{-2}$ г/м·ч·мм.рт.ст, підвищення міцності при стисканні зразків затверділої суміші в 1,6 рази – від 2,5 до 4 МПа, адгезії до бетонної основи – в 1,8 рази – від 1,2 до 2,2 МПа. Вміст у сухій суміші цементу Ц/П в інтервалі 3,84÷4,95 і витрата комплексної добавки ХАД/Ц в інтервалі 2,50÷4,0 % забезпечує значення коефіцієнта теплопровідності затверділої суміші $\lambda = 0,11 \div 0,12$ Вт/м·°С, коефіцієнта паропроникності $\mu = (0,24 \div 0,33) \cdot 10^{-2}$ г/(м·ч·мм рт.ст.), густину – 452÷503 кг/м³, адгезію до поверхні бетону – 1,25÷1,32 МПа.

6. На основі розроблених уявлень про механізм повітропроникності в тонких капілярах і оптимізації по критерію мінімальної паропроникності розроблений оптимальний склад сухої суміші для ТШ зниженої паропроникності: Ц/П = 4,95, Ц/ХАД = 18,24. Склад характеризується коефіцієнтами теплопровідності і паропроникності – $\lambda = 0,08$ Вт/м·°С $\mu = 0,25 \cdot 10^{-2}$ г/(м·ч·мм рт.ст.), середньою густиною – 450 кг/м³, міцністю на стискання і згині – 4,1 і 1,23 МПа відповідно, адгезією до поверхні бетону – 2,25 МПа, усадкою – 0,33 мм/м.

7. Для дослідження структури і фазового складу розробленої сухої суміші для ТШ були проведені відповідні дослідження за допомогою фізико-хімічних методів. Петрографічний аналіз показав, що в затверділій суміші без добавок пори перліту залишаються незаповненими, а у зв'язці містяться відкриті пори розміром 25÷175 мкм. У суміші оптимізованого складу з комплексною добавкою ХАД у зв'язці пори незначні, а пори перліту заповнені кальцитом. Рентгенофазовий і диференціально-термічний аналіз підтвердили, що суміш з оптимальною кількістю комплексної добавки ХАД має більш високий ступінь гідратації клінкерних мінералів і містить кальцит, гідроалюмінати, гідросульфоалюмінати і гідрохлоралюмінати кальцію.

8. Виконано експлуатаційні випробування, що полягають у витримці фрагментів ТШ зниженої паропроникності протягом 31 місяця в умовах капілярного підняття і випаровування, які показали стабільність її властивостей. Нанесення на цегляну стіну з термічним опором $R = 2,59$ внутрішньої теплоізоляційної штукатурки зниженої паропроникності завтовшки 20 мм дозволило досягти необхідного термічного опору $R = 2,83$ та усунути утворення конденсатної вологи в кладці.

9. На розроблену суху будівельну суміш для ТШ зниженої паропроникності одержаний патент України на винахід. Розроблено технологічний регламент, виготовлена і застосована для теплоізоляції зовнішніх стін двох житлових будинків м. Харкова, за адресою пров. Вовчанський, 17^б та пров. Люботинський 17^б, дослідно-промислова партія сухої суміші в кількості 0,5 т. Економічний ефект при влаштуванні внутрішньої теплоізоляції на 1 м²

зовнішньої стіни розробленою сумішшю склав 6,27 грн у порівнянні з теплоізоляцією із стандартного перлітобетону.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Математическое моделирование в вопросах эффективного применения теплоизоляции / Л.П. Шевченко, Д.А. Бондаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2007.– Вип. 43. – С. 10–13. *Особистий внесок*: обґрунтована можливість вживання крайової задачі для розрахунку температурного поля огорожуючої конструкції.

2. Бондаренко Д.О. Теплоізоляція за допомогою штукатурки зниженої паропроникності / Д.О. Бондаренко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009.– Вип. 52. – С. 292–295.

3. Бондаренко Д.А. Оценка и выбор оптимальной толщины наружной теплоизоляции в зависимости от характеристик внутренней в многослойной ограждающей конструкции / Д.А. Бондаренко / Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов // Сб. научн. трудов XVII Междунар. научно-технич. конференции. – Харьков: УкрВОДГЕО, 2009. – С. 443–451.

4. Бондаренко Д.А. Использование компьютерных технологий в задачах выбора оптимальной конфигурации теплоизолирующих элементов для ограждающих конструкций с дополнительными технологическими ограничениями / Д.А. Бондаренко, С.Ю. Андреев, Ф.А. Стоянов // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009.– Вип. 54. – С. 93–97. *Особистий внесок*: розроблено алгоритм пошуку оптимальної товщини штукатурного теплоізоляційного шару зниженої паропроникності в огорожуючій конструкції при заданій кількості конденсованої вологи.

5. Решение вопроса повышения термического сопротивления ограждающих конструкций с помощью современных материалов, математических моделей и методов исследований / Л.П. Шевченко, Д.А. Бондаренко// Вісник національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск «Хімія, хімічна технологія та екологія». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2007. – Вип. 9. – С. 7–13. *Особистий внесок*: проведено аналітичний огляд методів моделювання температурних полів.

6. Бондаренко Д.А. Эффективность применения теплоизоляционного материала с пониженной паропропускностью в ограждающих конструкциях / Д.А. Бондаренко, Е.В. Кондратенко, Т.А. Костюк // Вісник ОДАБА. – Одеса, 2009. – Вип. 33. – С. 163–166. *Особистий внесок*: виконаний температурно-вологісний розрахунок тришарової огорожуючої конструкції стіни будівлі.

7. Бондаренко Д.А. Использование компьютерных технологий в задачах выбора оптимальной конфигурации теплоизолирующих элементов для ограждающих конструкций / Д.А. Бондаренко, Ф.А. Стоянов, Л.П. Шевченко, С.Ю. Андреев // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009.– Вип. 51. – С. 249–253. *Особистий внесок*: розроблений алгоритм пошуку оптимальної товщини штукатурного теплоізоляційного шару зниженої паропроникності в захищаючій конструкції, методом нелінійного математичного програмування.

8. Бондаренко Д.А. Теплоизоляционный материал с пониженной паропропускаемостью / Д.А. Бондаренко, Ю.А. Спирин, Н.Г. Привалова // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009.– Вип. 56. – С. 116–120. *Особистий внесок*: виготовлені зразки, досліджені властивості, виконаний аналіз результатів петрографічного дослідження новоутворень у поровому просторі перліту.

9. Пат. 87931 UA МПК С04В 28/02, С04В 22/08, С04В 24/00 Теплоізоляційна суха будівельна суміш з низькою паропроникністю / Кондращенко О.В., Бондаренко Д.О., Прощін О.Ю., Костюк Т.О.; заявник та патентовласник Кондращенко О.В., Бондаренко Д.О., Прощін О.Ю., Костюк Т.О., заявл. 14.01.2008; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16.

10. Multifunction composites VIATRON in construction / R.A. Yakovleva, T.O. Kostiuk, D.O. Bondarenko, O.Yu. Proshin / 30th, SAMPE Europe International Jubilee Conference // COMPOSITES Innovative Materials for smarter Solutions.– Paris, March 23-25th, 2009.– P. 563–569. *Особистий внесок*: виготовлені зразки цементного каменю, досліджені їх властивості і проведений аналіз одержаних результатів.

АНОТАЦІЯ

Бондаренко Д.О. Суша будівельна суміш для отримання теплоізоляційних матеріалів зниженої паропроникності. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Українська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2010.

В дисертаційній роботі науково обґрунтована і вирішена актуальна задача отримання високоефективного теплоізоляційного матеріалу зниженої паропроникності для використання в теплоізоляційних шарах огорожуючих конструкцій без пароізоляційних шарів. Встановлені кількісні співвідношення хімічно активної добавки, цементу і спученого перлітового наповнювача у складі сухої будівельної суміші. Вперше встановлено, що зниження паропроникності є наслідком зменшення просвіту капіляру цементного каменю і перлітового заповнювача, що має негативний знак заряду поверхні, за рахунок новоутворень кристалогідратів у вигляді гідрохлоралюмінатів, гідрокарбоалюмінатів і кальциту з позитивним зарядом поверхні. Розроблено технологічний регламент, виготовлена і застосована для теплоізоляції зовнішніх стін житлового будинку дослідно-промислової партії сухої суміші.

Ключові слова: паропроникність, теплопровідність, хімічно активна добавка, знак заряду поверхні, спучений перліт, портландцемент.

АННОТАЦИЯ

Бондаренко Д.А. Сухая строительная смесь для получения теплоизоляционных материалов пониженной паропрооницаемости. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2010.

В диссертационной работе научно обоснована и решена актуальная задача получения высокоэффективного теплоизоляционного материала пониженной паропрооницаемости для применения в теплоизоляционных слоях ограждающих конструкций без использования пароизоляционных слоев. Установлены количественные соотношения химически активной добавки, цемента и вспученного перлитового наполнителя в составе сухой строительной смеси. Впервые установлено, что снижение паропрооницаемости является следствием уменьшения просвета капилляра цементного камня и перлитового заполнителя, имеющих отрицательный знак заряда поверхности за счет новообразований кристаллогидратов в виде гидрочлоралюминатов, гидрокарбоалюминатов и кальцита с поверхностным положительным зарядом.

Установлена зависимость теплофизических свойств перлиментоцементной теплоизоляционной штукатурки от электроповерхностных свойств ее компонентов, а также стенок пор и капилляров. Разработаны представления о механизме воздухопроницаемости и паронепроницаемости через тонкие капилляры цементно-перлитовой штукатурки (размер капилляра намного меньше длины свободного пробега молекулы), согласно которым адсорбируемые молекулы газа или пара, индуцируются под воздействием электрического поля потенциал определяющего иона ПОИ. При этом, на каждый контурный индуцированный дипольный момент (на конце капилляра) передается сила латерального электроповерхностного отталкивания между индуцированными дипольными молекулами газа, которая зависит от

длины капилляра l , а сила притяжения индуцированного диполя к ПОИ типа «ион-индуцированный диполь» препятствует его отрыву.

Проведены физико-механические и физико-химические исследования образцов цементного камня и перлитобетона, которые подтвердили достоверность теоретических закономерностей повышения теплотехнических характеристик и снижения паропроницаемости за счет увеличения закрытой пористости, путем зарастивания капилляров кристаллическими новообразованиями.

Проведены экономические расчеты эффективности применения разработанного материала с учетом приведенных годовых потерь, в том числе на устройство пароизоляционного слоя и затраты тепловой энергии. Показано, что экономический эффект от применения разработанного материала как внутреннего теплоизоляционного штукатурного слоя составил 6,27 грн. на 1м^2 .

Разработан технологический регламент для производства сухой строительной смеси и выпущена опытно-промышленная партия материала, который был успешно применен для внутренней теплоизоляции жилых зданий.

Ключевые слова: паропроницаемость, теплопроводность, химически активная добавка, знак заряда поверхности, вспученный перлит, портландцемент.

ANNOTATION

Bondarenko D.A. Dry build mixture for the receipt of heat-insluting materials of lowered vapor permeability. – Manuscript.

Dissertation on competition of graduate degree of candidate of technical sciences on specialty 05.23.05 – building materials and products. – Ukrainian State Academy of Railway Transport, Kharkov, 2010.

In dissertation work the actual task of receipt of high efficiency heat-insluting material of lowered vapor permeability for application in the heat-inslating layers of barriering constructions without the use of vapor insulating layers is scientifically grounded and decided. Quantitative correlations chemically of active addition, cement and sintered perlit filler in composition dry build mixture are set. It is set first, that the decline of vapor permeability is investigation by reduction of free distance of capillary of cement stone and perlit filler having the negative sign of charge of surface, due to new formations of crystalline hydrate hydrochoride aluminate, hydrocarbonatr aluminate calcite and with a superficial positive charge. Technological regulation is developed, made and applied for heat-inslution of external walls of dwelling-house experimental-industrial party of dry mixture.

Keywords: vapor permeability, heat conductivity, chemically active addition, sign of charge of surface, sintered perlit, portlandcement.

Бондаренко Дмитро Олександрович

СУХА БУДІВЕЛЬНА СУМІШ ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ЗНИЖЕНОЇ ПАРПРОНИКНОСТІ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск
Гнучих Л.А.

Підписано до друку 21.10.2010 р. Формат 60x90 ¹/₁₆.
Папір офсетний. Друк ризографічний.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 примірників.
Замовлення № 927.

Надруковано у друкарні СГІД ФО Тарасенко В.П.
Свідоцтво №24800170000043751 від 21.01.2002 р.
61124, м. Харків, вул. Зернова, 6/267.
Тел./факс: (0572) 52-82-11
