

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**БОНДАР АЛЬОНА ВАСИЛІВНА**

УДК 691.535: 666.973.6

**ЕФЕКТИВНІ СУХІ БУДІВЕЛЬНІ СУМІШІ ДЛЯ ЕЛЕМЕНТІВ ПІДЛОГ  
ЦИВІЛЬНИХ БУДІВЕЛЬ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Вінниця – 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,  
**Очеретний Володимир Петрович,**  
Вінницький національний технічний університет,  
доцент кафедри будівництва, міського господарства та архітектури.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
**Барабаш Іван Васильович,**  
Одеська державна академія будівництва та архітектури,  
професор кафедри міського будівництва та господарства;

кандидат технічних наук, доцент,  
**Житковський Вадим Володимирович,**  
Національний університет водного господарства та природокористування, доцент кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства, Рівне

Захист відбудеться «20» грудня 2019 р. о 14-30 на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.04 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «19» листопада 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради К 05.052.04,  
к.т.н., доцент



В. В. Швець

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Висока якість та стабільність характеристик сухих будівельних сумішей, у порівнянні із традиційними розчинами і бетонами, визначили їх широке застосування в останні десятиріччя при виконанні будівельних та ремонтних робіт. Одночасно сучасний будівельний комплекс України потребує ефективних будівельних матеріалів з урахуванням підвищених вимог як до ресурсо- та енергозбереження при виробництві матеріалів, так і до звукозахисту цивільних будівель при їх будівництві або реконструкції.

Сучасний ринок та звукоізоляційних сухих сумішей базується на ізолюючих сумішах на основі дорогих полімерних матеріалів з використанням пористих заповнювачів. Дані суміші при найменшому порушенні технології виготовлення втрачають заявлені виробником властивості. Виробництво таких сухих будівельних сумішей в Україні відбувається з перевитратою в'язучого, використанням хімічних добавок закордонного виробництва. Отримання пористих заповнювачів з природної сировини, наприклад, перліту, є також енергозатратним процесом, що відображається на кінцевій вартості сумішей. У той же час сировинна база країни багата на природні мінеральні компоненти, які добуваються відкритим способом з утворенням великої кількості побічних, часто тонкодисперсних, продуктів виробництва, та техногенні відходи промисловості, що при довгостроковому зберіганні у відвалах негативно впливають на екологічну ситуацію регіону та країни. Використання саме цих матеріалів у якості мінеральних наповнювачів та пористих заповнювачів є економічно вигідним для організації виробництва сухих сумішей. Однак дослідження сухих сумішей для підлог на місцевій сировині обмежене розробкою складів для наливних підлог та покриття з підвищеними показниками міцності та зносостійкості промислового призначення.

У зв'язку з цим, актуальною залишається розробка ефективних сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів при влаштуванні стяжок та прошарків підлог цивільних будівель з покращеними фізико-механічними та звукоізоляційними характеристиками на основі активованих мінеральних наповнювачів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 01 липня 1994 року № 74/94-ВР «Про енергозбереження», згідно з державною Галузевою програмою підвищення енергоефективності у будівництві на 2010-2014 рр. (наказ Міністерства регіонального розвитку та будівництва України від 30 червня 2009 р. N 257) та згідно з пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки, визначеними в Законі України від 11 липня 2001 р. №2623-III «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (напрямок № 3 «Енергетика та енергоефективність» та напрямок №6 «Нові речовини і матеріали»), а також в рамках проекту «Енергоефективність у житловому секторі України», програми «Уряду у сфері енергоефективності та енергозбереження», «Національного

плану дій з енергоефективності на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 25 листопада 2015 р. № 1228-р) та Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 р. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р). Тема дисертації також відповідає науковому напрямку «Використання відходів промисловості у виробництві будівельних матеріалів» кафедри Будівництва, міського господарства та архітектури Вінницького національного технічного університету.

**Мета та завдання дослідження.** Теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження введення активованих мінеральних наповнювачів на основі відходів промисловості на підвищення реологічних, фізико-механічних та спеціальних властивостей цементних сухих будівельних сумішей для влаштування поризованих стяжок і прошарків підлог цивільних будівель.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні **завдання**:

- вивчення сучасного стану питання створення, виробництва і використання сухих будівельних сумішей для виготовлення поризованих розчинів на їх основі при влаштуванні підлог;
- дослідження сумісного впливу поверхнево-активних речовин та мінеральних наповнювачів на властивості піни;
- визначення впливу кількісного складу компонентів суміші, виду і гранулометрії мінеральних наповнювачів на фізико-механічні властивості поризованого розчину;
- обґрунтування вибору, типу і вмісту модифікуючих добавок з метою регулювання і оптимізації властивостей поризованого розчину з використанням СБС;
- оцінення впливу механічної активації компонентів СБС на властивості поризованого розчину;
- дослідження звукоізоляційних властивостей поризованих розчинів з використанням СБС;
- проведення дослідно-промислової перевірки одержаних експериментальних результатів з визначенням техніко-економічної ефективності виготовлення поризованих розчинів і використання їх при влаштуванні підлог цивільних будівель.

**Об'єктом дослідження** є поризовані розчини на основі сухих будівельних сумішей, модифіковані активованими мінеральними наповнювачами із відходів промисловості, для влаштування елементів підлог цивільних будівель.

**Предметом дослідження** є реологічні, фізико-механічні та спеціальні властивості поризованих розчинів, отриманих на основі сухих сумішей з активованими наповнювачами, для елементів підлог цивільних будівель.

**Методи дослідження.** Основні експериментальні дослідження виконано за допомогою стандартних методів визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей поризованих розчинів для елементів підлог на

основі СБС. Дослідження структури поризованих розчинів здійснювали за допомогою оптичної мікроскопії. Підбір раціональних складів сумішей та їх оптимізацію проведено за допомогою методів експериментально-статистичного моделювання. Визначення звукоізолюючої здатності виконано експериментальним шляхом за допомогою лабораторної установки вимірювання шуму та вібрації. У теоретико-експериментальних дослідженнях застосовані фундаментальні положення і закономірності фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів та колоїдної хімії.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- одержали подальший розвиток положення про залежність стійкості та кратності піни аніонних піноутворювачів при їх поєднанні із тонкодисперсними мінеральними порошками з позитивним поверхневим зарядом часток;
- теоретично доведено та експериментально підтверджено можливість отримання оптимальної пористої структури розчину за рахунок введення тонкодисперсного мінерального порошку як стабілізатора, пластифікатора і водоутримуючого компоненту, що дозволяє знизити водотверде відношення (В/Т) та максимально використати активність в'язучого за рахунок залишкової води, яка вивільняється внаслідок диспергуючої здатності мікронаповнювачів;
- установлені та кількісно оцінені за допомогою двох- та трьохфакторних неповних кубічних ЕС-моделей закономірності спільного впливу виду, кількості і гранулометрії мінерального наповнювача, витрат портландцементу та відношень водотвердого (В/Т) і Ц/З (Н – наповнювач) на параметри середньої щільності та міцності отриманих поризованих розчинів на основі СБС;
- виявлено вплив механічної активації мінеральних тонкомолотих компонентів на реологічні, а також фізико-механічні властивості поризованих розчинів.

#### **Практичне значення отриманих результатів** полягає у:

- розширенні номенклатури сухих будівельних сумішей на основі цементного в'язучого та активованих мінеральних наповнювачів для влаштування звукоізоляційних стяжок і прошарків підлог цивільних будівель;
- оптимізації рецептури ефективних цементних сухих будівельних сумішей з активованими мінеральними та комплексними хімічними добавками та поризованих розчинів на їх основі;
- розробці технології активації компонентів сухої будівельної суміші для поризованих розчинів, отриманих на їх основі;
- підвищенні екологічної і економічної ефективності поризованих розчинів на основі СБС на активованих мінеральних наповнювачах;
- впровадженні у промислове виробництво розроблених поризованих розчинів для влаштування звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття та вирівнюючої стяжки при будівництві багатоповерхового житлового будинку у м. Києві.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати роботи, які виносяться

на захист, отримані здобувачем самостійно і полягають у оптимізації технології виготовлення поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей, дослідженні методів активації та модифікації мінеральних наповнювачів, узагальненні даних щодо впливу тонкодисперсних мінеральних добавок на реологічні, фізико-механічні та спеціальні властивості поризованих розчинів із СБС, виконанні експериментальних досліджень, обробці отриманих результатів. Особистий внесок автора у наукових працях, опублікованих у співавторстві, полягає у наступному: у [1] досліджено вплив механічної активації складів сухих будівельних сумішей з використання золи-винесення ТЕС та некондиційних відходів вапняку; у [2] виконано аналіз основних технологій виготовлення пінобетонів та визначено залежність зміни водотвердого відношення від прийнятої технології виготовлення; у [3] визначено за результатами експериментальних досліджень вплив кількісного співвідношення мінеральних добавок та їх гранулометрії на фізико-механічні властивості розчину з сухої будівельної суміші; у [4], [5] та [8] проведено теоретико-експериментальні дослідження щодо отримання ефективних сухих будівельних сумішей пониженої густини при мінімальному вмісті в'язучого з місцевої сировини та відходів промисловості; у [7] запропоновано та досліджено технологію отримання сухого піноутворювача із рідких синтетичних концентратів на основі сорбційних властивостей мінеральних наповнювачів із розвинутою питомою поверхнею; у [9], [10] та [18] встановлено залежності основних фізико-механічних властивостей поризованих розчинів із СБС від типу мінерального мікронаповнювача; у [11] та [16] проведені експериментальні дослідження, виявленні закономірностей спільного впливу виду, гранулометрії та співвідношення вмісту мінеральних наповнювачів до та після їх активації на властивості поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей, розроблено ефективну технологію механоактивації компонентів СБС; у [15] та [19] експериментально досліджено звукоізолюючу здатність поризованих розчинів із СБС, проаналізовано результати, визначено сферу застосування даних сумішей; у [17] проведено експериментальні дослідження впливу полімерних добавок на стійкість і кратність піноутворювачів та властивості затверділої поризованої суміші; у [20], [21], [24] та [25] проведено експериментальні дослідження, проаналізовані їх результати.

Роботи [6], [12], [13], [14], [22], [23] виконані здобувачем самостійно.

**Апробація матеріалів дисертації** проводилась на XXXVIII, XXXIX, XL, XLV регіональних науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів університету з участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств. (м. Вінниця, ВНТУ, 2009 р., 2010 р., 2011 р., 2016 р.); XLVII Науково-технічній конференції факультету будівництва, теплоенергетики та газопостачання (м. Вінниця, ВНТУ, 21.03.2018 – 23.03.2018); IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво» (м. Львів, Львівська політехніка, 2011 р.); VIII науково-практичному семінарі «Низькоенергоємні в'язучі, бетони і розчини» (м. Рівне, НУВГП 30-31 жовтня

2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (м. Вінниця, ВНТУ, 18-20 листопада 2014 р.); XXIV міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (Харків, НТУ «ХП», 18-20 травня 2016 р.); Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016» (Россия, г. Тюмень, РИО ФГБОУ ВО Тюменский индустриальный университет, 2016 г.); IV Международной научно-практической конференции «Инновационное развитие территорий» (Россия, г. Череповец, ЧГУ, 26 февраля 2016 г.); Международной научно-практической Интернет-конференции «Современные проблемы и пути их решения в науке, транспорте, производстве и образовании'2016» (Россия, г. Иваново, 7-14 июня 2016 г.); Міжнародній науково-технічній конференції «Екологічна безпека та відновлювальні джерела енергії» (Вінниця, ВНТУ, 24-25 травня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній Интернет-конференції «Молодь в технічних науках: дослідження, проблеми, перспективи/ Технології, матеріали і конструкції в будівництві та теплоенергетиці» (м. Вінниця, ВНТУ, 2017); The international research and practical conference «The development of technical sciences: problems and solutions» (Czech Republic, Brno, April 27–28, 2018); II міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2018 р.); IX Молодежної екологічної конференції «Северная Пальмира» (г. Санкт-Петербург, НИЦЭБ РАН, 22-23 ноября 2018 г.); III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень» (м. Запоріжжя, 28-29 вересня 2018 року); Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві» (Вінниця: ВНТУ, 13-15 листопада 2018 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали» (м. Івано-Франківськ, Академія технічних наук України, 3-5 квіт. 2019 р.); Международной научно-практической конференции «Инновации вокруг нас '2019» (Bulgaria, Svishtov, Tsenov Academy of Economics, 27 February 2019).

**Публікації.** Основний положення дисертації опубліковано у 25 наукових працях, з них: 12 – статті в фахових збірниках і виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України (із них 5 – статті у збірниках, включених до міжнародних науково-метричних баз даних Index Copernicus), 4 – статті у закордонних періодичних виданнях, включених до міжнародних науково-метричних баз даних РИНЦ, Index Copernicus та ін., 2 патенти на корисну модель України і 7 – робіт апробаційного характеру у матеріалах доповідей міжнародних та закордонних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів та загальних висновків, списку використаних джерел із 202 найменувань і 5 додатків. Робота викладена на 163 сторінках основного тексту, містить 48 рисунків, 67 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 238 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено обґрунтування вибору теми дослідження, зазначено зв'язок із науково-дослідними програмами, темами, сформульовано мету та завдання дослідження. Окреслено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, особистий внесок здобувача та наведено дані щодо апробації роботи.

У **першому розділі** дисертації приведений аналітичний огляд літератури за тематикою досліджень, виділено основні питання стосовно проектування та розробки складів СБС для поризованих розчинів з використанням відходів та побічних продуктів промисловості, визначено теоретичні передумови досліджень та сформульовано наукову гіпотезу напрямку роботи.

При загальному рості виробництва і споживання сухих сумішей в Україні за останні 3 роки, сухі суміші для підлог займають лише близько 10% об'єму випуску всіх сумішей. На ринку сучасних рішень для звукоізоляції житлових та громадських будівель склади на основі сухих будівельних сумішей представлені та використовуються обмежено, зокрема через їх високу вартість і низьку міцність. Аналіз сировинних ресурсів, хімічних добавок, наявних теоретико-експериментальних досліджень вітчизняних вчених та вчених ближнього зарубіжжя щодо організації та технологічних рішень випуску сухих сумішей підтверджують можливість розробки складів ефективних СБС для підлог. Сьогодні питання зниження ціни можливо вирішити за рахунок використання місцевих сировинних матеріалів, зменшення витрат в'язучого, активації компонентів сумішей, підбору більш дешевих наповнювачів та заповнювачів з відходів виробництва. Проблему створення сухих сумішей для підлог із покращеними звукоізоляційними характеристиками дозволить розв'язати направлена поризація сумішей з використанням мінеральних наповнювачів та мікроармування розчину поліпропіленовою фіброю.

Вивчення рецептур сухих будівельних сумішей на цементній основі показало, що особливе місце посідають у складі сухих сумішей наповнювачі (розмір зерен 0,14-1,25 мм) та заповнювачі (розмір зерен 0,2-2,5 мм). Наповнювачі часто здатні проявляти залишкову активність та впливати на процеси тверднення та структуроутворення цементних композитів. Оптимізація складів СБС можлива підбором наповнювачів, регулюванням їх вмісту, гранулометрії, а також їх активацією. Саме це може сприяти не лише зниженню витрат дорогих компонентів, але й підвищенню фізико-механічних характеристик поризованих розчинів.

Вагомий вклад у розвиток основ проектування сухих будівельних сумішей виготовлених з використанням різних видів мінеральних в'язучих та технології отримання на їх основі розчинів різного призначення внесли такі вчені: Дворкін Л. Й., Житковський В. В., Карапузов Є. К., Пушкарьова К. К., Рунова Р. Ф. Питаннями проектування складів сухих будівельних сумішей та математичного моделювання будівельних композитів в Україні займалися Вировой В. М., Дворкін Л. Й., Дворкін О. Л., Ляшенко Т. В., Піщева Т. І.,



Теліцина Н. Є. Сухі суміші для підлог розроблені та досліджені в роботах Максименка А. А., Мироненка А. В., Налімової О. В., Носовського Ю. Л., Поліщук-Герасимчук Т. О., Степасюка Ю. О., Трояна В. В., Шептуна С. Ю. Актуальність використання відходів промисловості у виробництві цементних в'язучих, розчинів і бетонів та активації їх складових підтверджують дослідження таких вчених: Барабаша І. В., Гоца В. І., Дворкіна Л. Й., Дворкіна О. Л., Кривенка П. В., Ковальського В. П., Саницького М. А. та інших.

Дослідження та розробки, присвячені СБС для поризованих розчинів стосуються в основному сумішей на пористих заповнювачах та отримання неавтоклавного пінобетону з сухої суміші. Саме останні розглядають механоактивацію в'язучого та спільний помел всіх компонентів як методи підвищення міцності та зниження вологісної усадки при твердінні пінно-дисперсних систем.

Аналіз даних з виготовлення сухих цементних будівельних сумішей дає змогу висунути гіпотезу про можливість отримання ефективних сухих будівельних сумішей для підлог та поризованих розчинів на їх основі при використанні поверхнево-активних речовин (ПАР) за рахунок введення тонкодисперсних мінеральних порошків, як комплексних добавок-модифікаторів властивостей СБС і стабілізаторів піни, регулюючи цим характер і ступінь пористості, а також застосовувати при комплексній активації золу-винесення та відходи камеренізації карбонатних вапняків.

У **другому розділі** наведено характеристики застосованих сировинних матеріалів та методів досліджень, які використовувались у роботі.

Для проведення теоретико-експериментальних досліджень по розробці складів сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів та їх подальшій оптимізації застосовувались місцеві сировинні матеріали, а саме:

- в'язуче – загальнобудівельний бездомішковий портландцемент марки ПЦ І-500 Кам'янець-Подільського цементного заводу;

- заповнювачі – сипучі матеріали крупністю зерен 0,2-2,5 мм (для стяжок – 0,2-1,25 мм, для прошарків підлог – 0,2-0,63 мм), наповнювачі – із крупністю зерен 0,14-1,25 мм, мінеральні добавки або мікронаповнювачі – із крупність зерен менше 0,16 мм. Відповідно в якості заповнювачів та наповнювачів використовували відходи камеренізації карбонатних гірських порід Джуринського-1 родовища, дрібний кварцовий пісок Жеребелівського родовища Вінницької області, зола-винесення Ладизинської ТЕС;

- добавки-поризатори: смола деревна омилена (СДО, SDO-LP), розчин «СОФІР-ПБ» (СПБ), робочий концентрат сухого піноутворювача «LORI» аніонного характеру, сухий піноутворювач «UNISELL»;

- добавки-стабілізатори властивостей піноутворювача: полівінілацетатна добавка (ПВА) та рідке скло, тонкодисперсні порошки вапняку, глини, піску, крейди, золи-винесення;

- добавки-модифікатори: неіонні водорозчинні ефіри целюлози марки BERMOCOLL, редиспергуючі полімерні порошки марки ELOTEX;

– суперпластифікатори: Barwa Sam Бето-Пласт, Sika Mix Plus, SanPol, MasterTherm Coral;

- армуючі волокна: поліпропіленова фібра «MicroArm» довжиною 2-6 мм;
- вода для замішування розчинів (якість згідно діючих нормативів).

Склади поризованих розчинів відповідали марці за міцністю на стиск М4, М10, М25, М50, М75, М100, М150 залежно від витрат в'язучого, типу і співвідношення заповнювача і наповнювача, ступеню механоактивації компонентів суміші, ступеню поризації, вмісту полімерних добавок та фібри.

Приготування та дослідження параметрів отримання поризованої розчинової суміші визначалось за допомогою змішувача із регульованою кількістю обертів від 50 до 3150 об/хв. Активація компонентів та сухої суміші здійснювалась у бігунах лабораторних швидко оборотних розтиральної дії, швидкість обертання валу яких регулюється в межах від 35 до 120 об/хв.

Реологічні властивості розчинових сумішей визначали за стандартними методами згідно діючих нормативних документів. Фізико-механічні та експлуатаційні властивості поризованих розчинів на основі СБС визначали за стандартними методами згідно діючих нормативних документів. Густина, міцність при стиску та згині, визначали на зразках-призмах розмірами 4×4×16 см. Для зіставлення результатів досліджень використовували зразки-куби розміром 10×10×10 см.

Пористу структуру розчину вивчали за допомогою оптичної мікроскопії.

Перевірка поризованих розчинів для підлог на звукоізолювальну здатність від повітряного і ударного шумів виконана згідно рекомендацій діючих нормативних документів та за допомогою експериментальної перевірки на лабораторній установці – вимірювачі шуму та вібрації ВШВ-003 – на плитних зразках розміром 300×300 мм, товщиною 10, 15, 25, 30 мм. Для зіставлення результатів досліджень використовували зразки звукоізоляційного пінополістирольного пінопласту та звуковідбиваючого металевого екрану.

Для статистичної обробки експериментальних даних використовували математичні методи та засоби обробки результатів.

У **третьому розділі** дисертації обґрунтовано теоретичні передумови отримання поризованих розчинів на основі сухих будівельних сумішей та наведено експериментальні дослідження, які передбачали визначення впливу мінеральних добавок на підвищення технічних характеристик піни, типу і витрати піноутворюючих ПАР та параметрів приготування суміші на реологічні та фізико-механічні властивості поризованого розчину, отриманого із СБС.

Обґрунтовано, що основним засобом впливу на міцність поризованих розчинів на основі СБС є вототверде відношення (В/Т). Це пояснюється тим, що кількість води замішування впливає як на характер пористості (гелева, контракційна, капілярна), так і на її кількість в цементному камені. Важливу роль в цьому відіграють також заповнювачі та наповнювачі, які внаслідок розвинутої питомої поверхні зерен здатні «відтягувати» та адсорбційно зв'язувати частину води замішування, тим самим знижуючи реальне В/Т

суміші. Як правило сухі суміші тверднуть в повітряно-сухих умовах, що приводить до ущільнення структури поризованого розчину. На наш погляд зменшення небезпеки ущільнення структури твердіючого поризованого розчину можливо досягти за рахунок збільшення щільності водних плівок та підвищення поверхневого натягу води навколо повітряних сфер, утворених у суміші. Підвищення міцності пінно-дисперсних систем досягається застосуванням суперпластифікаторів, а також редиспергуючих полімерних порошоків та водоутримуючих ефірів целюлози. Наявність ПАР приводить до утворення колоїдної адсорбційної плівки на зернах в'язучого, яка сприяє утриманню на їх поверхні відносно товстого шару води. Це приводить до зменшення внутрішнього тертя між дисперсними частками мінеральних компонентів, що викликає помітне зниження ефективної в'язкості поризованої суміші. Пластифікуючий ефект ПАР дозволяє знизити витрати води і цементу без врати міцності поризованих розчинів.

Відомо, що в технології пінобетонів використовуються ПАР, як правило, аніоноактивного типу. Поверхнева енергія системи «вода + ПАР» з додаванням до кварцевого піску не змінюється, так як поверхневі молекули часток піску мають негативний заряд, як і молекули аніоноактивного ПАР. Таким чином, обґрунтовується введення в багатокомпонентні сухі будівельні суміші для поризованих розчинів мінеральних наповнювачів, які мають позитивний заряд часток, наприклад, вапнякового піску.

У розділі експериментально досліджено механізм впливу полімерних і мінеральних добавок на властивості пін, отриманих із піноутворювачів різної природи. Встановлено, що полімерні добавки не завжди здатні ефективно покращувати технічні властивості пін, на відміну від мінеральних. Мінеральні добавки вводились у суміш у кількості 2-25 %. Було встановлено, що введення мінеральних добавок дозволяє стабілізувати технічні характеристики піни. Так, наприклад, при введенні вапнякового та глиняного порошоків відбувається незначне падіння кратності з 15 до 13,5, але стійкість зростає з 210 с до 423 с та 468 с відповідно (рис. 1).

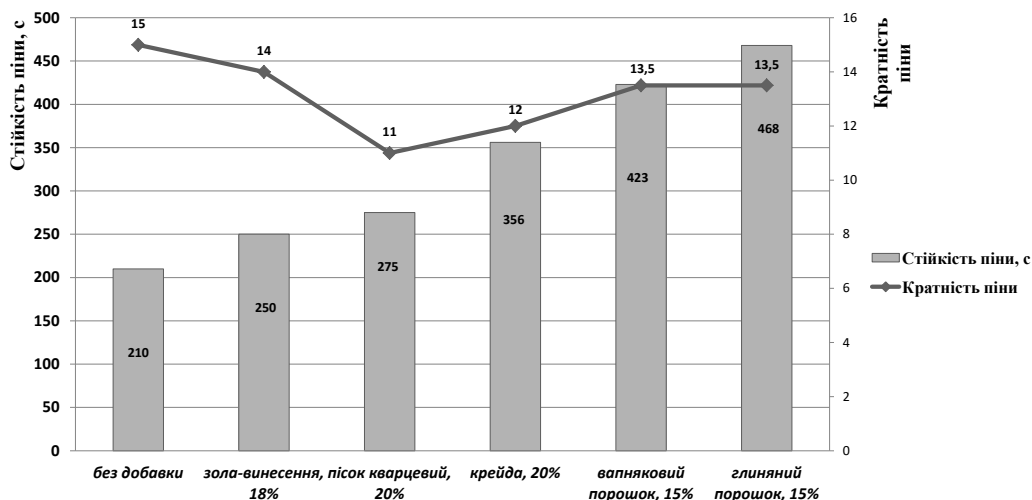


Рисунок 1 – Залежність технічних параметрів піни від типу мінеральної добавки при її оптимальному вмісті

Для експериментального підтвердження робочої гіпотези щодо створення ефективних сухих сумішей для поризованих розчинів за рахунок введення тонкоподрібнених мінеральних та піноутворюючих добавок (ПД) було виготовлено серії зразків балочок розміром  $4 \times 4 \times 16$  см із різним вмістом ПД, без мінеральної добавки та з добавкою, отриманою спільним висушуванням та подальшим помелом вапнякового піску та піноутворювача «LORI». Вміст ПЦ 32-40 % ( $190-240 \text{ кг/м}^3$  поризованого розчину),  $V/T = 0,21-0,36$ ,  $\text{Ц}/3 = 1$ , витрата мінеральної добавки з ПД 1 % від маси цементу були постійними. Були отримані пористі розчини з середньою щільністю від  $860$  до  $1210 \text{ кг/м}^3$  та міцністю при стиску у віці 28 днів від  $1,54$  до  $8,87 \text{ МПа}$  залежно від витрати в'язучого та гранулометрії мінеральних заповнювачів та наповнювачів (кварцовий та вапняковий піски).

Результати, наведені на рис. 2, отримані для витрати  $\text{Ц} = 40 \%$ ,  $V/T = 0,26$ ,  $\text{Ц}/3 = 1$ , вмісті кварцевого піску з  $M_k = 1,2 \text{ мм} - 20 \%$ , карбонатного піску з  $M_k > 0,14 \text{ мм} - 10 \%$ ,  $M_k = 0,315-0,63 \text{ мм} - 20 \%$ , з  $M_k = 0,63-1,25 \text{ мм} - 10 \%$ .

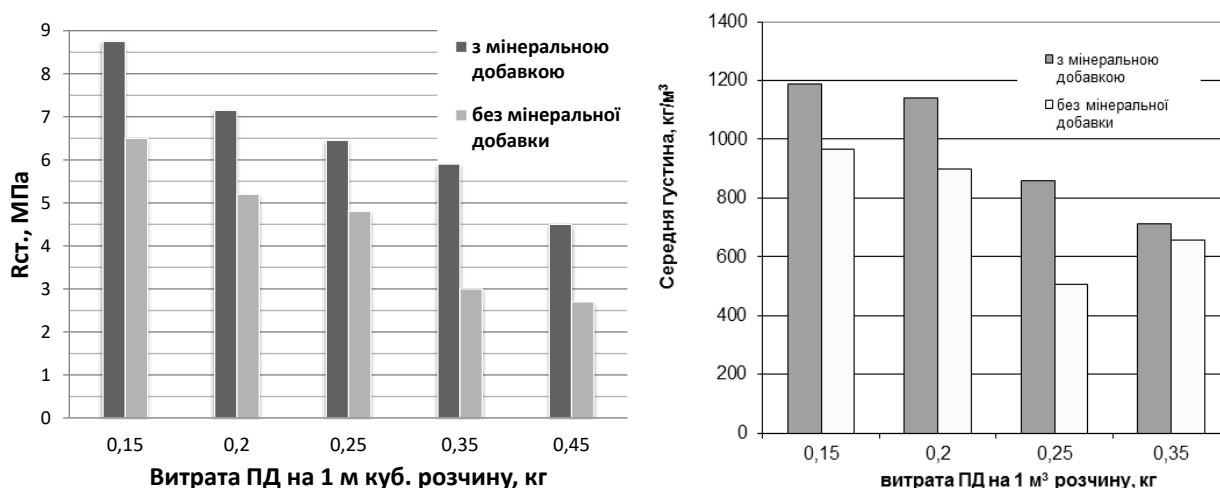


Рисунок 2 – Залежність властивостей поризованого розчину від вмісту ПД та мінеральної добавки

Виявлено, що зростання закритої пористості розчинів з 12 % до 30 % спостерігається при введенні у технічну піну мінеральних тонкоподрібнених порошків у кількості: глини – 5-15 %, карбонатних вапняків з  $M_k < 0,14 \text{ мм} - 15-20 \%$  та золи-винесення – 10-15 %.

Після проведення серії досліджень, обробки і статистичного аналізу експериментальних даних отримані математичні моделі властивостей поризованих розчинів на основі СБС залежно від витрат в'язучого, заповнювачів та наповнювачів у вигляді поліноміальних рівнянь регресії:

- водотвердого відношення:

$$\begin{aligned}
 V/T = & 0.395 - 0.051x_1 - 0.003x_1^2 + 0.005x_2 + 0.0x_2^2 + 0.002x_3 + 0.0x_3^2 - 0.001x_4 + \\
 & + 0.0x_4^2 + 0.002x_5 + 0.0x_5^2 + 0.011x_6 + 0.0x_6^2 - 0.002x_7 - 0.0x_7^2;
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

- середньої густини:

$$\rho_m = -1246.103 + 380.946x_1 - 17.231x_1^2 - 9.15x_2 + 0.785x_2^2 + 7.216x_3 - 0.096x_3^2 + 18.571x_4 - 0.74x_4^2 + 0.073x_5 + 0.008x_5^2 + 18.664x_6 - 0.507x_6^2 + 22.509x_7 - 0.55x_7^2; \quad (2)$$

- міцності при стиску у віці 28 діб:

$$R_{cm}^{28} = -17.174 + 3.596x_1 - 0.163x_1^2 - 0.194x_2 + 0.013x_2^2 - 0.064x_3 + 0.001x_3^2 + 0.045x_4 - 0.0x_4^2 - 0.055x_5 + 0.001x_5^2 + 0.131x_6 - 0.004x_6^2 + 0.204x_7 - 0.004x_7^2; \quad (3)$$

- міцності при згині у віці 28 діб:

$$R_{зг.}^{28} = -13.858 + 2.704x_1 - 0.123x_1^2 - 0.210x_2 + 0.010x_2^2 - 0.012x_3 + 0.0x_3^2 + 0.028x_4 - 0.001x_4^2 - 0.0x_5 + 0.0x_5^2 + 0.057x_6 - 0.002x_6^2 + 0.064x_7 - 0.001x_7^2, \quad (4)$$

де  $x_1$  – витрата цементу, % від маси сухої суміші;  $x_2, x_4, x_6, x_7$  – вміст наповнювача з  $M_k > 0,14$  мм, % від маси сухої суміші, відповідно кварцовий пісок, вапняковий пісок, глиняний порошок, зола-винесення ТЕС;  $x_3, x_5$  – витрата заповнювача з  $M_k > 1,2$  мм, % від маси сухої суміші, відповідно кварцовий пісок, вапняковий пісок.

Встановлено такі оптимальні склади сухої будівельної суміші для виготовлення 1 м<sup>3</sup> поризованого розчину: витрати цементу – 190-300 кг, витрати піноутворювача – 0,6-2,6 % від маси цементу, відношення Ц/З (Н) = 0,4-1, заповнювач – вапняковий пісок з  $M_k > 1,2$  мм – 20%, наповнювачі – вапняковий пісок з  $M_k > 0,14-0,315$  мм – 5-30 %, кварцовий пісок з  $M_k > 0,315-0,63$  мм – 10-30 %, зола-винесення – 15-20 %, глиняний порошок з  $M_k > 0,14$  мм – 5-15 % від маси сухої суміші. Критерії оптимізації:  $\rho_m$  – 800-900 кг/м<sup>3</sup>,  $R_{cm}$  – 6-10 МПа.

У **четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень щодо оптимізації та регулювання складів СБС для підлог з використанням наповнювачів із відходів виробництва, функціональних модифікуючих добавок та механічної активації.

Встановлено, що оптимальні фізико-механічні властивості поризованих розчинів із сухих будівельних сумішей можна отримати при використанні карбонатних добавок та золи-винесення, що пояснюється деякою хімічною активністю, яка властива цим наповнювачам, після їх механічної активації за допомогою спільного подрібнення із кварцовим піском та 1/2 частиною в'язучого до питомої поверхні суміші  $S_{штг} = 410-470$  м<sup>2</sup>/кг та додаткового змішування із 1/2 частиною в'язучого, функціональними добавками та поліпропіленовою фіброю довжиною 2-4 мм. Результати досліджень приведені у таблиці 1.

Склад і властивості СБС

Склад суміші				Розмір ВП, мм	В/Т	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Міцність, вік 28 діб	
Ц	П	ВП	ЗВ				R <sub>ст.</sub> , МПа	R <sub>зг.</sub> , МПа
до механічної активації мінеральних компонентів суміші								
35	10	25	30	>0,14	0,351	1080	10,28	5,25
35	10	25	30	0,14-0,315	0,276	1080	11,77	6,01
35	10	25	30	0,315-0,63	0,28	1151	7,57	4,10
35	10	25	30	0,63-1,25	0,275	1033	7,41	3,86
35	10	10	30	1,25-2,5	0,29	1000	6,93	3,50
після механічної активації мінеральних компонентів суміші								
35	10	25	30	>0,14	0,367	770	12,91	6,95
35	10	25	30	0,14-0,315	0,260	988	13,74	7,40
35	10	25	30	0,315-0,63	0,263	900	8,05	6,58
35	10	25	30	0,63-1,25	0,276	813	7,57	6,22
35	10	10	30	1,25-2,5	0,316	830	6,93	5,70

Також отримані математичні моделі властивостей поризованих розчинів на основі СБС залежно від витрат в'язучого, заповнювачів та наповнювачів та від гранулометрії наповнювачів із карбонатних вапняків:

- водотвердного відношення:

$$\begin{aligned}
 B/T = & 0.2391 - 0.1677x_1 + 0.3026x_1^2 + 0.269x_2 - 0.2444x_2^2 + 0.2104x_3 - \\
 & - 0.3495x_3^2 - 0.3783x_4 + 0.8611x_4^2 - 0.1411x_5 + 0.1966x_5^2 - 0.1597x_6 + \\
 & + 0.2063x_6^2 - 0.6093x_7 + 1.9661x_7^2 + 0.3039x_8 - 0.2753x_8^2;
 \end{aligned} \quad (5)$$

- середньої густини:

$$\begin{aligned}
 \rho_m = & 439.23 - 2590.06x_1 + 9258.24x_1^2 - 648.57x_2 + 1719.51x_2^2 + 1906.9x_3 - \\
 & - 257.23x_3^2 + 2466.84x_4 - 965.6x_4^2 + 1596.95x_5 + 2914.57x_5^2 + 1871.52x_6 + \\
 & + 307.68x_6^2 + 2220.23x_7 - 1689.28x_7^2 - 1795.40x_8 + 7570.53x_8^2;
 \end{aligned} \quad (6)$$

- міцності при стиску у віці 28 діб:

$$\begin{aligned}
 R_{cm}^{28} = & 17.4441 + 10.7424x_1 + 49.3498x_1^2 - 92.6223x_2 + 87.9718x_2^2 + 7.5286x_3 + \\
 & + 26.928x_3^2 + 45.4273x_4 - 64.2274x_4^2 + 33.1794x_5 - 81.4141x_5^2 + 15.2617x_6 - \\
 & - 13.6964x_6^2 - 10.3458x_7 + 75.8556x_7^2 - 19.2595x_8 - 48.4949x_8^2,
 \end{aligned} \quad (7)$$

де  $x_1$  – витрата цементу, % від маси сухої суміші;  $x_2$  – витрата заповнювача – кварцовий пісок з  $M_k > 1,2$  мм, % від маси сухої суміші;  $x_3, x_4, x_5, x_6, x_7$  – вміст вапнякового піску, % від маси сухої суміші, відповідно,

$M_k > 0,14$  мм,  $M_k = 0,14-0,315$  мм,  $M_k = 0,315-0,63$  мм,  $M_k = 0,63-1,25$  мм,  $M_k = 1,25-2,5$  мм;  $x_8$  – витрата наповнювача – зола-винесення, % від маси сухої суміші.

Встановлено, що оптимальне співвідношення та карбонатної добавки і в'язучого КД/Ц = 0,8 і вище є визначальною для механічних властивостей затверділого поризованого розчину. Міцність при стиску піддається значно більшим змінам значень при зміні гранулометрії КД, ніж міцність при згині. Оптимальні значення міцності та щільності будуть при використанні КД крупністю 0,14-0,315 мм, найнижче В/Т – для розміру зерен КД 0,315-0,63 мм. Визначено, що ступінь подрібнення карбонатних добавок у більшій мірі впливає на реологію суміші, водопотребу суміші, середню густину, ніж на показники міцності. Так, оптимальні розтічність і рухомість суміші будуть при використанні КД фракції 0,315-0,63 мм (рис. 3), а водоутримання суміші збільшується із використанням КД з  $M_k < 0,315$  мм (рис. 4). Введення 10-15 % золи-винесення у суміші з карбонатними наповнювачами з  $M_k < 0,14-0,63$  мм підвищує закрити пористість до 8 % і міцність при стиску на 17 %. Вплив функціональних добавок на реологічні та інші властивості суміші наведено на рисунках 3-7.

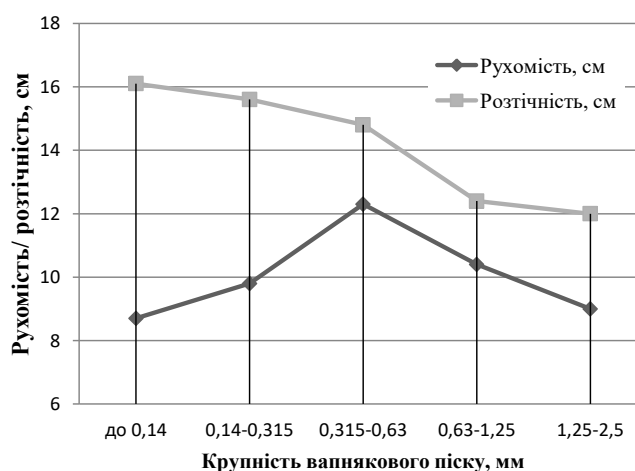


Рисунок 3 – Залежність реологічних властивостей СБС від гранулометрії КД

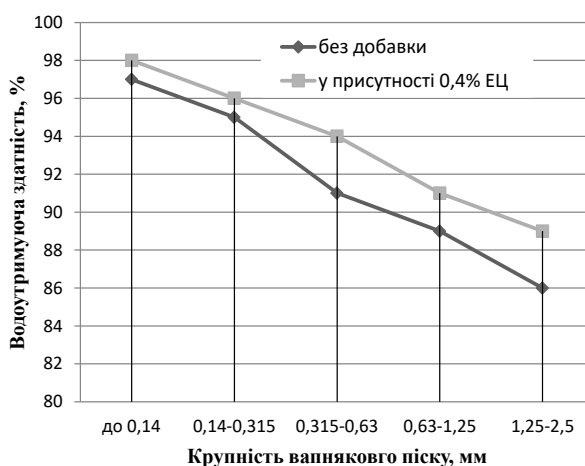


Рисунок 4 – Залежність водоутримуючої здатності суміші від гранулометрії КД та вмісту ефіру целюлози

Встановлено експериментальним шляхом, що збільшення рухомості та розтічності поризованого розчину із СБС можна спостерігати при введенні суперпластифікатора (СП) Sika Mix Plus у кількості 0,2 % від маси в'язучого (рис. 5). Інші пластифікатори не чинять прогнозованого ефекту покращення реологічних та фізико-механічних властивостей суміші.

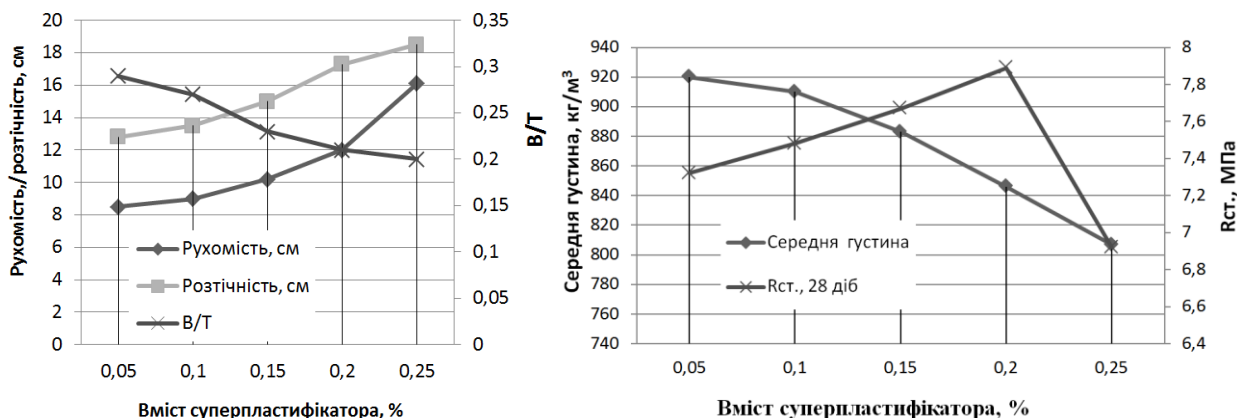


Рисунок 5 – Залежність властивостей СБС від вмісту СП Sika Mix Plus

Експериментально визначено, що при введенні в 1 м<sup>3</sup> поризованого розчину 0,2 кг фібри довжиною 2 мм та 0,3 кг фібри довжиною 4 мм можна досягнути збільшення міцності на згин у 1,5-2,7 разів та зниження середньої щільності на 40-70 кг/м<sup>3</sup> (рис. 6). Використання фібри довжиною 6 мм веде до технологічних складностей приготування і укладання поризованих розчинів.

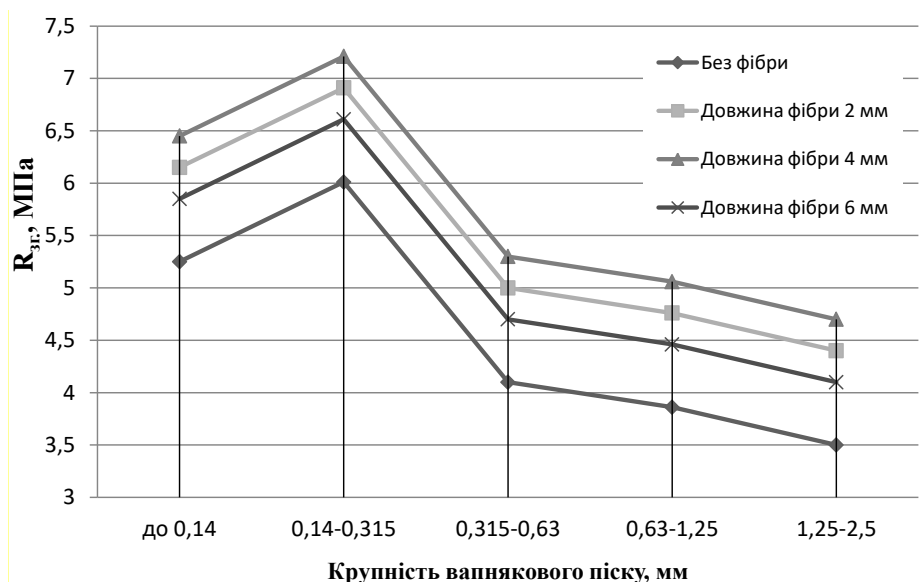


Рисунок 6 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні поліпропіленової фібри різної довжини

Найкращі показники рухомості суміші та фізико-механічних властивостей при зниженні В/Т отримано при додаванні комплексу



модифікуючих добавок, а саме при введенні 0,3 % ефіру целюлози Vermocoll САА та 4 % ридиспергуючого порошку Elotex FX2320 (рис. 7).

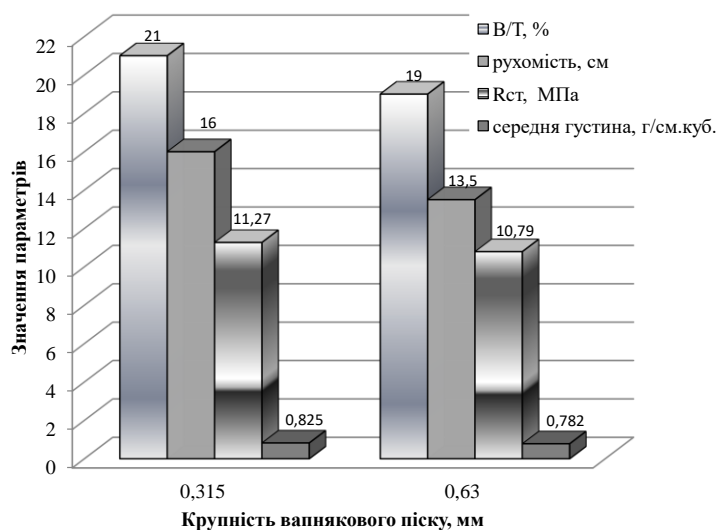


Рисунок 7 – Залежність властивостей СБС від гранулометрії КД при додаванні 0,3 % ефіру целюлози, 4 % ридиспергуючого порошку

Спільна суха активація карбонатних добавок, золи-винесення, кварцового заповнювача, функціональних добавок і поліпропіленової фібри при виготовленні СБС дозволяє отримати ефективні склади, а саме:

- знизити середню густина затверділого розчину на 19-61 %;
- підвищити міцність затверділого поризованого розчину при стиску на 6-29 %, при згині на 8-31% без збільшення В/Ц та В/Т;
- знизити витрату в'язучого до  $\text{Ц} = 20-37\%$  від маси сухих компонентів без зниження міцності затверділого розчину;
- додаткова механічна активація компонентів суміші змішуванням дозволяє підвищити міцність затверділого поризованого розчину при стиску на 8-25 % та реологічні показники розчинової суміші на 14-16 % без додаткових витрат модифікуючих добавок (рис. 8-9).

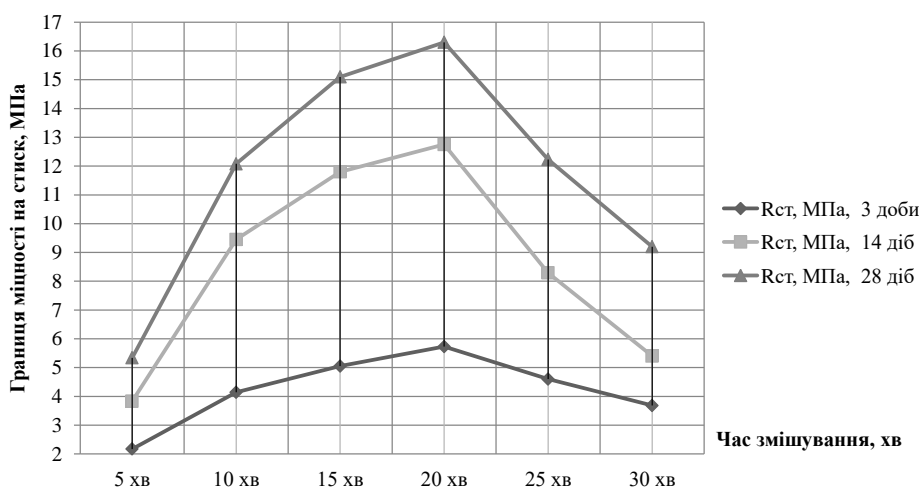


Рисунок 8 – Залежність міцності при стиску поризованого розчину від часу механоактивації складових СБС

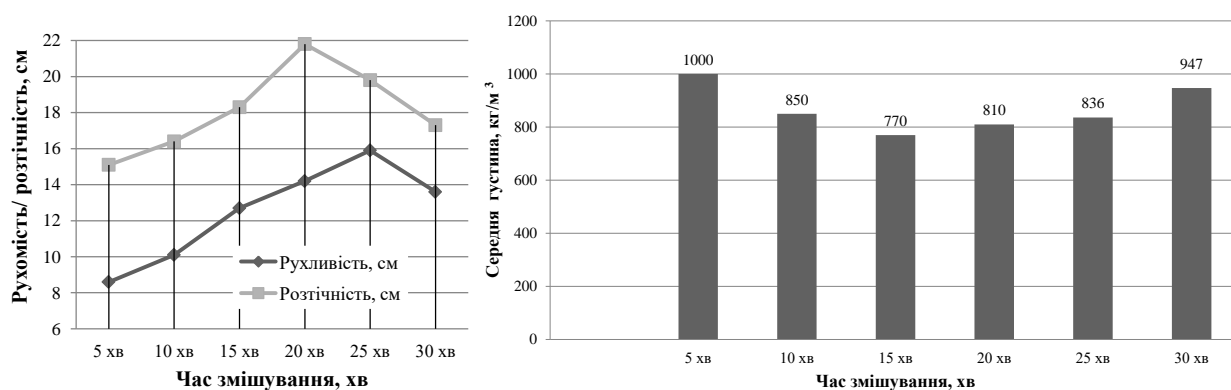


Рисунок 9 – Залежність властивостей поризованого розчину від часу механоактивації складових СБС

З рис. 8-9 видно, що збільшення часу змішування від 5 до 20 хв веде до росту міцності при стиску до 16,3 МПа, зниження середньої густини поризованого розчину до 770 кг/м<sup>3</sup>, а також позитивно впливає на реологію розчинової суміші (рухливість 12,3-14,1 см, розтічність – 18-21,8 см). При збільшенні часу активації від 20 до 30 хв дані показники починають знижуватись. Оптимальний час активації всіх компонентів СБС становить від 15 до 20 хв.

У п'ятому розділі наведені рекомендації щодо виготовлення СБС та поризованих розчинів на їх основі для елементів підлог. Розроблено технологічну схему виробництва сухої будівельної суміші для елементів підлог, де враховані додаткові операції, необхідні для поетапної механічної активації усіх компонентів суміші: I – спільний сухий помел та II – подальше додаткове ретельне змішування мінеральних та органічних складових суміші.

Було проведено дослідження звукоізолюючої ефективності поризованих розчинів на основі розроблених складів сухих будівельних сумішей (рис. 10).

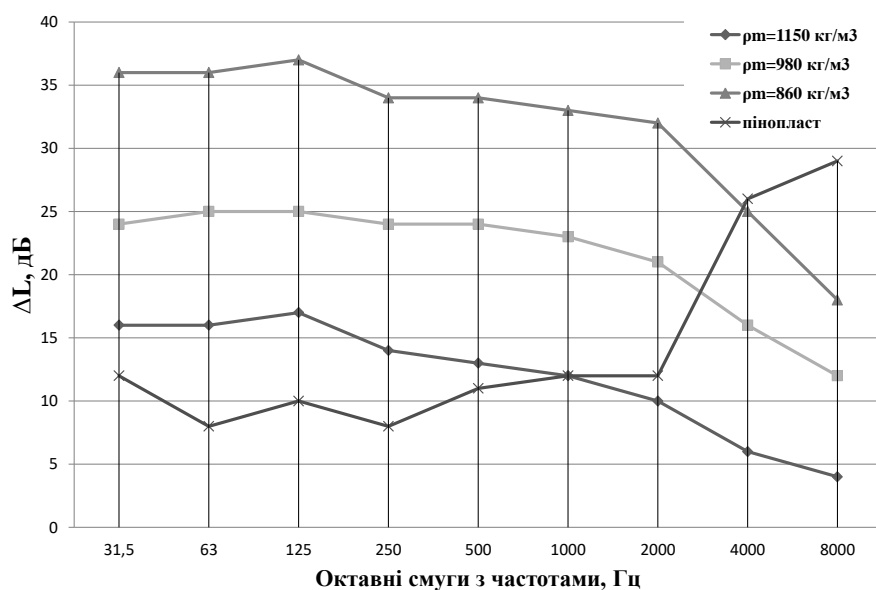


Рисунок 10 – Залежність звукоізолюючої ефективності СБС від середньої густини

Наведені на рис. 10 результати дослідження звукоізолюючої ефективності розроблених сухих сумішей показують, що звукоізолювальна спроможність перешкоди, товщиною 30 мм, виготовленої із розроблених СБС, становить  $\Delta L = 15-35$  дБ залежно від середньої густини розчину. Це дозволяє зменшити товщину звукоізоляційного прошарку підлог із 50-65 мм до 30 мм при використанні сумішей із пористих заповнювачів. Також запропоновані поризовані розчини із СБС ефективніші у порівнянні із пінополістирольними плитами у всіх діапазонах низько- і середньочастотних шумів (шум сусідів, труб в стінах, шум дороги і т.п.) до 2000-4000 Гц. Оскільки отримані суміші характеризуються закритою рівномірною пористістю, яка складає 54...64 % загальної пористості, це дозволяє використовувати їх, як бар'єр для проникнення і поширення звукових хвиль і коливань або їх гасіння.

Згідно розроблених рекомендацій було проведено дослідно-промислове впровадження при виготовленні сухих будівельних сумішей для поризованих розчинів, які були використані для влаштування звукоізоляційного прошарку і вирівнюючої стяжки при будівництві багатоповерхового житлового будинку в м. Києві. Загальний економічний ефект від впровадження розробки складає 123 грн. 80 коп. – 865 грн. 26 коп. (залежно від марки суміші) на 1 т. сухої суміші з активованими мінеральними наповнювачами із відходів промисловості у порівнянні із сумішами на штучних пористих заповнювачах. Крім того відбувається економія за рахунок звукоізолюючих та покращених теплозберігаючих властивостей розроблених СБС у порівнянні із звичайними важкими розчинами та за рахунок збільшення терміну служби підлог у порівнянні із сумішами на легких заповнювачах, що дозволяє економити на конструкціях підлог житлових будівель та на експлуатаційних витратах.

Результати досліджень використовуються у навчальному процесі ВНТУ при підготовці бакалаврів за спеціальністю 192 – «Будівництво та цивільна інженерія».

## **ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ**

У результаті виконання дисертаційної роботи було вирішено науково-практичну задачу – теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість виконання направленої поризації сумішей та механоактивації її компонентів для зниження середньої густини, підвищення реологічних, механічних та звукоізоляційних властивостей сухих будівельних сумішей для елементів підлог цивільних будівель.

1. Визначено, що застосування традиційних сухих будівельних сумішей для виготовлення поризованих розчинів не забезпечує поєднання їх високої експлуатаційної міцності (15...25 МПа) з підвищеною звукоізоляційною здатністю. Створення таких розчинів можливо при використанні СБС з активованими наповнювачами у поєднанні з пінно-дисперсною системою.

2. Встановлено, що введення поверхнево-активних речовин сумісно з мінеральними наповнювачами з позитивним поверхневим зарядом своїх часток (високопластичні глини, вапняки) у кількості до 15% підвищує стійкість пін у 2-2,2 рази порівняно з контролем. Наявність таких пінодисперсних систем забезпечує одержання пористого розчину з середньою густиною від 860 до 1210 кг/м<sup>3</sup> та міцністю при стиску 1,54...8,87 МПа (залежно від витрат цементу і гранулометрії мінеральних наповнювачів).

3. Визначено, що при введенні у суміш 37% в'язучого, наповнювачів – кварцового піску у кількості 10%, вапнякового піску фракції 0,14-0,315 мм у кількості 20%, золи-виношення у межах 17,5%, а у ролі заповнювача – 15,5% вапнякового піску з  $M_k > 1,2$  мм знижуються водопотреба суміші до 0,15-0,22 та середня густина поризованих розчинів до 900 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску через 28 діб зростає до 4...9 МПа. Виявлено, що на фізико-механічні властивості поризованого розчину із СБС чинить вплив співвідношення витрат цементу до витрат заповнювача: при Ц/З = 0,4-1 середня густина знижується до 800...900 кг/м<sup>3</sup>, міцність при стиску зростає до 6...10 МПа.

4. Експериментально обґрунтовано введення до складу суміші модифікуючих добавок: суперпластифікатор – 0,2% від маси ПЦ, ефір целюлози – 0,3% від ПЦ, редиспергуючий порошок – 4% від ПЦ, фібра поліпропіленова довжиною 4 мм – 0,3 кг, карбонатні добавки із вапняків фракції 0,315-0,63 мм – 30,8% від маси сухих компонентів суміші та зола-виношення – 15%. Використання СБС при наявності даних добавок для отримання поризованого розчину дозволило відрегулювати і оптимізувати його властивості у напрямку підвищення рухомості на 37% без збільшення водопотреби, зменшення середньої густини на 16%, збільшення міцності поризованих розчинів при стиску на 28%, при згині – на 32%, закритої пористості – на 15%.

5. Виявлено позитивний вплив спільної механічної активації компонентів СБС на реологічні та фізико-механічні властивості поризованих розчинів. Спільна багатоступенева механічна активація мінеральних компонентів суміші з ПАР, полімерними добавками та фіброю дозволила розробити склади стяжок і прошарків підлог із зниженою середньою густиною до 800-900 кг/м<sup>3</sup>, які за своїми властивостями відповідають групі СТ1 та ПР1 згідно чинного державного стандарту ДСТУ Б В.2.7-126:2011.

6. Експериментально встановлено, що звукоізолювальна спроможність перешкоди, виготовленої із розроблених поризованих розчинів, в 2,2 рази вище аналогічних пористих матеріалів. Це дозволяє зменшити товщину звукоізоляційного прошарку підлог у середньому на 40-54%.

7. Розроблено та впроваджено технологію отримання сухої будівельної суміші для отримання поризованих розчинів, де враховані додаткові операції механічної активації компонентів. Залучення даної технології при випуску звукоізоляційної суміші дозволило досягти економічного ефекту у розмірі 123,8...249,65 грн. на 1 т сухої суміші М150. Економічний ефект дослідно-промислових випробувань розробленої суміші на будівництві житлового

багатоповерхового будинку у м. Києві при влаштуванні звукоізоляційного прошарку міжповерхового перекриття товщиною 50 мм в порівнянні із базовою сумішшю на легких заповнювачах становить 19,27 грн./1 м<sup>2</sup>.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Публікації у наукових фахових виданнях України та у виданнях, включених до міжнародних наукометричних баз:*

[1] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання відходів вапняку та промислових відходів у виробництві сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 36-40, 2009.

[2] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, М. П. Машницький, та А. В. Бондар, «Залежність теплотехнічних та фізико-механічних властивостей ніздрюватих бетонів від параметрів виготовлення», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 34-39, 2009.

[3] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, В. В. Смоляк, та А. В. Бондар, «Проектування складів сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 48-54, 2010.

[4] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Використання поверхнево-активних речовин як поризуючої добавки до сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 33-40, 2011.

[5] В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Перспектива виробництва і використання поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 36-39, 2011.

[6] А. В. Бондар, «Технологічні аспекти виготовлення поризованих складів сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 1, с. 24-27, 2013.

[7] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Поризованные сухие строительные смеси: эффективность получения сухого пенообразователя методом сорбции и выпаривания», *Приволжский научный вестник*, № 10 (26), с. 36-40, 2013.

[8] В. П. Ковальський, М. С. Лемешев, В. П. Очеретний, та А. В. Бондар, «Обґрунтування доцільності використання золошламового в'язучого для приготування сухих будівельних сумішей», *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*, Вип. 26, с. 186-193, 2013.

[9] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, та А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: «Будівництво»*, Випуск 10 (18), с. 44-47, 2014.

[10] В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, А. В. Бондар, та А. С. Кузьмич, «Використання глиняного порошку як мінерального мікронаповнювача у сухих будівельних сумішах», *Международное периодическое научное издание «Научные труды SWorld»*, Выпуск 2 (43). Том 7, с. 86-92, 2016.

[11] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Бурлаков, та Є. Р. Матвійчук, «Утилізація відходів промисловості шляхом виготовлення на їх основі сухих будівельних сумішей», *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, № 3 (22), с. 21-24, 2018.

[12] А. В. Бондар, «Вплив технологічних факторів на властивості поризованих будівельних розчинів на основі сухих будівельних сумішей» *Науково-технічний збірник «Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві»*, № 2, с. 31-36, 2018. DOI: 10.31649/2311-1429-2018-2-31-36.

[13] А. В. Бондар, «Вплив карбонатних добавок на властивості поризованих сухих будівельних сумішей», *Науково-технічний журнал «Нові технології в будівництві»*, Випуск № 35, с. 63-67, 2018.

[14] А. В. Бондар, «Технологія виготовлення полегшених складів цементних сухих будівельних сумішей з мінеральними добавками», *International Academy Journal Web of Scholar: Multidisciplinary Scientific, Edition*, 2 (32), pp. 3-9, 2019. DOI: [https://doi.org/10.31435/rsglobal\\_wos/28022019/6339](https://doi.org/10.31435/rsglobal_wos/28022019/6339).

[15] А. В. Бондарь, В. П., Ковальський, В. П. Очеретний, и В. П. Бурлаков, «Цементные сухие строительные смеси с улучшенными теплозвукоизоляционными свойствами для устройства элементов полов гражданских зданий», *Международный периодический рецензируемый научный журнал «International periodic scientific journal SWorldJournal»*, Issue № 1, pp. 46-52, 2019. DOI: 10.30888/2410-6615.2019-01-01-043.

[16] А. В. Бондар, В. П. Ковальський, В. П. Очеретний, Д. В. Мороз, та І. М. Вознюк, «Вплив механічної активації мінеральних складових на властивості полегшених складів цементних сухих сумішей для підлог», *Наукове видання «Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури»: збірник наукових праць*, Випуск № 74 (березень 2019), с. 82-94, 2019. DOI: 10.31650/2415-377X-2019-74-82-96.

#### **Публікації апробаційного характеру:**

[17] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, А. В. Бондар, та А. Ф. Діденко, «Технологічні особливості введення піноутворювачів при виготовленні ніздрюватих бетонів», на *IV Міжнародній конференції молодих вчених GAC-2011 «Геодезія, архітектура та будівництво»*, Львів: Львівська політехніка, 2011, с. 126-129.

[18] А. В. Бондарь, В. П. Ковальський, и В. П. Очеретний, «Использование карбонатных пород как микронаполнителей в сухих строительных смесях пористой структуры», на *Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы архитектуры, строительства, энергоэффективности и экологии – 2016»*, Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2016, с. 207-213.

[19] А. В. Бондарь, В. П. Ковальский, и В. П. Очеретный, «Звукоизоляционные сухие строительные смеси на основании отходов производства», на *IV Междунар. науч.-практ. конф. Инновационное развитие территорий*, Череповец: ЧГУ, 2016, с. 73-78.

[20] В. П. Ковальський, А. В. Бондар, В. П. Бурлаков, А. О. Бричанський, та А. В. Ковальський, «Сухі будівельні суміші для підлог цивільних будівель», in *The development of technical sciences: problems and solutions: Conference Proceedings*, Brno: Baltija Publishing, pp. 65-68, 2018.

[21] А. В. Бондарь, и В. П. Ковальский, «Использование отходов для производства строительных материалов», *IX Молодежной экологической конференции «Северная Пальмира»*, Санкт-Петербург: НИЦЭБ РАН, 2018, с. 148-151.

[22] А. В. Бондар, «Вплив гранулометрії глиняного мікронаповнювача на властивості сухих будівельних сумішей», на *III Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика актуальних наукових досліджень»*, м. Запоріжжя, 2018, Ч. 2, с. 25-27.

[23] А. В. Бондар, «Вплив мінеральних мікронаповнювачів і полімерних добавок на властивості сухих будівельних сумішей», на *Міжнародній науково-технічній конференції «Інноваційні технології в будівництві»*, Вінниця: ВНТУ, 2018, с. 215-218.

#### **Патенти:**

[24] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суша будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10. № UA 76518 U*, 10.01.2013, Бюл. № 1.

[25] В. П. Очеретний, В. П. Ковальський, і А. В. Бондар, «Суша будівельна суміш», *МПК С 04 В 28/02, С 04 В 14/10, С 04 В 14/16, С 04 В 14/26, С 04 В 18/10, № UA 91008 U*, 25.06.2014, Бюл. № 12.

## **АНОТАЦІЯ**

**Бондар А. В. Ефективні сухі будівельні суміші для елементів підлог цивільних будівель. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 «Будівельні матеріали та виробы». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

Робота присвячена вирішенню питання створення ефективних сухих будівельних сумішей для елементів підлог цивільних будівель, шляхом виконання направленої поризації сумішей та активації її компонентів, використання відходів промисловості.

У роботі встановлено, що введення тонкодисперсних мінеральних добавок дозволяє підвищити технічні характеристики піни із поверхнево-активних речовин за рахунок підвищення сил поверхневого натягу водних оболонок піноутворювача навколо бульбашок повітря завдяки дисоціації

мінеральної речовини на їх поверхні. Отримані рівняння регресії, які дозволяють провести оптимізацію параметрів технологічного процесу виготовлення поризованих розчинів із СБС.

Встановлено, що спільна механічна активація сухим методом мінеральних наповнювачів, в'язучого та полімерних добавок дозволяє отримати склади із зниженою середньою густиною до  $800 \text{ кг/м}^3$ , високою реологічною активністю (рухомість – більше 8 см, розтічність – до 21 см, термін придатності – від 45 хв), міцністю до 15 МПа, покращеними звукоізоляційними характеристиками, зниженою водопотребою, економією цементу та хімічних добавок. Встановлено порядок механічної активації: спільний сухий помел (I етап) та подальше додаткове ретельне змішування (II етап) мінеральних та органічних складових суміші.

**Ключові слова:** сухі будівельні суміші, стяжки і прошарки підлог, заповнювач, наповнювач, карбонатні породи, зола-винесення, пісок, мінеральна добавка, активація, поризований розчин, поверхнево-активні речовини, глина, модифікуючі добавки, відходи промисловості, звукоізоляція, пориста структура.

## АННОТАЦИЯ

**Бондарь А. В. Эффективные сухие строительные смеси для элементов полов гражданских зданий. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 «Строительные материалы и изделия». – Винницкий национальный технический университет, Винница, 2019.

Работа посвящена решению вопроса создания эффективных сухих строительных смесей для элементов полов гражданских зданий, путем выполнения направленной поризации смесей и активации ее компонентов, использования отходов промышленности.

В работе установлено, что введение тонкодисперсных минеральных добавок позволяет повысить технические характеристики пены с поверхностно-активных веществ за счет повышения сил поверхностного натяжения водных оболочек пенообразователя вокруг пузырьков воздуха, благодаря диссоциации минерального вещества на их поверхности. Полученные уравнения регрессии, которые позволяют провести оптимизацию параметров технологического процесса изготовления поризованных растворов с ССС.

Установлено, что общая механическая активация сухим методом минеральных наполнителей, вяжущего и полимерных добавок позволяет получить составы с пониженной средней плотностью до  $800 \text{ кг/м}^3$ , высокой реологической активностью (подвижность – более 8 см, растекаемость – до 21 см, срок годности – от 45 мин), прочностью до 15 МПа, улучшенными звукоизоляционными характеристиками, пониженной водопотребностью,



экономией цемента и химических добавок. Установлен порядок механической активации: общий сухой помол (I этап) и дальнейшее дополнительное тщательное смешивание (II этап) минеральных и органических составляющих смеси.

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси, стяжки и слои полов, заполнитель, наполнитель, карбонатные породы, зола-унос, песок, минеральная добавка, активация, поризированный раствор, поверхностно-активные вещества, глина, модифицирующие добавки, отходы промышленности, звукоизоляция, пористая структура.

## ABSTRACT

**Bondar A. Effective dry mixes for civil engineering floors. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.**

Thesis for a Candidate Scientific Degree of Technical Sciences. Speciality 05.23.05 «Building materials and wares». –Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

The work is devoted to solving the problem of creating effective dry building mixtures for the elements of floors of civil buildings, by performing directional porousing of mixtures and activation of its components, using industrial wastes.

The hypothesis for obtaining effective dry building mixtures for elements of floors of civil buildings by the introduction of fine mineral powders, as complex additives-modifiers and stabilizers of the properties of dry mixes. To this end, ash removal and carbonate limestone wastes can be applied with their complex activation together with other components of the mixture.

In the work it is established that the introduction of mineral additives allows to increase the technical characteristics of foam. Thus, the multiplicity of foam without mineral additive is 15, and the resistance is 210 s. When adding fine-grained carbonate limestone powder, the foam stability increases to 468 s and the multiplicity drops to 13,5. This is because the fine particles of the fillers saturate the foam solution, forming a foam system and increasing the native density. Foam resistance increases due to the increase in surface tension of the water membranes of the foaming agent around the air bubbles, due to the dissociation of mineral matter on their surface.

The results of the study on the effect of the introduction of finely ground mineral powders on the compressive strength and average density of porous solutions are presented in the paper. Studies have shown that porous solutions with a mineral powder content of 10-18 %, with a cement consumption of 45 % retain a water-hardening ratio within  $W/S = 0,26-0,37$ , are characterized by the mobility of the solution mixture 6-14 cm and water-holding capacity of 95-98 % and the following parameters of the solidified solution at the age of 28 days: average density  $\rho_m = 560-1380 \text{ kg/m}^3$ , porosity –  $P = 23-66 \%$ , closed –  $P_c = 12-41 \%$ , compressive strength  $R_{st.} = 2, 85 - 8,87 \text{ MPa}$ , the coefficient of softening  $k_s = 0,81-0,91$ .

After a series of researches, processing and statistical analysis of the experimental data, regression equations are obtained, which allow optimization of the parameters of the technological process of manufacturing porous dry mixes. It is determined that the average density for the designed effective dry mixes depends on the concentration of the foaming additive, water-solid ratio (W/S) and the ratio of the cost of aggregate (fillers) to the cost of cement (C/F). It is determined that the C/F ratio plays a significant role in the growth of strength: strengthen 6-10 MPa can be obtained when  $C/F = 0,4-1$ .

Further experimental studies address the formulation of porous dry mixes sound insulation formulations using local mineral additives and production wastes as the active ingredient mixture along with the binder and functional additives.

It is shown that when used in the technology of porous SBS is not elimination of crushing of carbonate rocks, but fine particulate limestone filler, it is possible to increase the efficiency and operational properties of porous solutions based on SBS. Activation by joint mechanical grinding and mixing in runners for 5-10 minutes of limestone waste with binder and other components of the mixture allows to obtain a decrease in the average density of the solidified solution by  $\Delta\rho_m = 19-61\%$  without increasing W/C and W/S, increase in compressive strength by  $\Delta R_{28} = 6-29\%$ , reduce cement consumption by  $\Delta C = 20-37\%$ . Regulation of the rheological properties of porous solutions was due to the introduction of polymer additives. The flexural strength and shrinkage were increased by the introduction of 2-6 mm polypropylene fiber.

Joint mechanical activation by the dry method of mineral fillers, binders and polymer additives has been found to improve the rheological and technological properties of porous mortar mixtures and to increase the strength of porous mortars made on the basis of developed dry mixes. The result is the production of compounds with a low average density up to  $800 \text{ kg/m}^3$  with high rheological activity (mobility – more than 8 cm, flowability – up to 21 cm, shelf life – 45 min and more), strength up to 15 MPa, improved thermal and sound insulation characteristics, reduced water demand, savings in cement and chemical additives. The order of mechanical activation of dry mixes by joint dry grinding (I stage) and subsequent additional thorough mixing (II stage) of mineral and organic components of the mixture was established.

It is experimentally established that the sound insulation capacity of an obstacle, 3 cm thick, made from the developed dry mixes, is  $\Delta L = 15-35 \text{ dB}$ .

Below are the recommendations for the manufacture and formulation of porous mixtures for floor elements, technological schemes for mechanical activation and manufacture of dry mixes economic effect of the application of the results of work is given.

**Key words:** dry mixes, screeds and floor layers, aggregate, filler, carbonate rocks, ash-bearing, sand, mineral additive, activation, porous solution, surface-active substances, clay, modifying additives, industrial wastes, sound insulation, porous structure.

Підписано до друку 12.11.2019 р. Формат 29,7×42 ¼  
Наклад 100 прим. Зам. № 2019-158.  
Віддруковано в інформаційному редакційно-видавничому центрі  
Вінницького національного технічного університету  
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 65-18-06  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК №3516 від 01.07.2009 р.