

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

кандидата технічних наук, доцента, доцента кафедри
технології будівельних виробів та матеріалознавства
Національного університету водного господарства та природокористування
Житковського Вадима Володимировича

на дисертаційну роботу **Разсамакіна Андрія Вікторовича**
за темою: **«ДЕКОРАТИВНІ РЕАКЦІЙНО-ПОРОШКОВІ БЕТОНИ НА
ОСНОВІ ЛУЖНО-АКТИВОВАНИХ ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТІВ»**

представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань

19 — Архітектура та будівництво за спеціальністю

192 — Будівництво та цивільна інженерія

Ретельне вивчення дисертаційної роботи Разсамакіна Андрія Вікторовича «Декоративні реакційно-порошкові бетони на основі лужно-активованих шлакопортландцементів», а також наукових публікацій, пов'язаних із нею дають змогу надати оцінку наукового рівня роботи, а саме її актуальності, наукової новизни, обґрунтованості наукових положень, практичного значення, висновків та рекомендацій.

Актуальність обраної теми та її зв'язок з державними програмами.

Сучасний розвиток будівельної індустрії, підвищення вимог до безпеки об'єктів, а також необхідність ресурсо- й енергозбереження зумовлюють потребу у створенні нового покоління будівельних матеріалів. Такі матеріали повинні поєднувати високі фізико-механічні та експлуатаційні показники, екологічність, економічну доцільність, довговічність, декоративність і здатність протидіяти інтенсивним механічним та атмосферним впливам.

Особливої актуальності набуває розроблення високоміцних і бетонів, придатних для спорудження та відновлення об'єктів цивільної, енергетичної, транспортної й критичної інфраструктури.

Важливим напрямом вирішення зазначеної проблеми є застосування лужно-активованих шлакопортландцементів, у складі яких значна частина портландцементного клінкеру замінюється гранульованим доменним шлаком. Це дає змогу зменшити енергоємність виробництва та пов'язаний із нею вуглецевий слід, одночасно забезпечуючи високу міцність і довговічність в'язучої системи.

Окремого значення набуває створення на основі таких цементів декоративних реакційно-порошкових бетонів. В Україні білий портландцемент промислово не виробляється, а потреби будівельної галузі забезпечуються переважно імпортною продукцією. Тому розроблення вітчизняних білих і кольорових лужно-активованих цементів, здатних забезпечити стабільність забарвлення, високу міцність, довговічність та стійкість до експлуатаційних

впливів, має не лише наукове, а й важливе економічне значення.

Дослідження були виконані здобувачем в межах держбюджетної науково-дослідної роботи «Розробка реакційно-порошкових бетонів підвищеної ефективності на основі лужно-активованих цементів для захисту об'єктів критичної інфраструктури» (№ державної реєстрації 0123U1011832), відповідно до тематичного плану Міністерства освіти і науки України.

Достовірність основних положень дисертації підтверджується достатнім обсягом експериментальних досліджень та розробкою технологічних рекомендацій щодо виробництва і експлуатації реактивно-порошкових бетонів підвищеної ефективності на основі лужно-активованих цементів для захисту об'єктів критичної інфраструктури.

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій.

Наукові положення, висновки та практичні рекомендації, сформульовані у дисертаційній роботі, мають належне теоретичне обґрунтування та підтверджені результатами комплексних експериментальних досліджень.

Достовірність одержаних результатів забезпечується застосуванням стандартних методів визначення строків тужавлення, міцності, питомої поверхні, консистенції, усадки, стійкості забарвлення та схильності до висолоутворення. Поряд із фізико-механічними випробуваннями автором використано комплекс фізико-хімічних методів, зокрема рентгенофазовий і диференційно-термічний аналізи, растрову електронну мікроскопію з мікроаналізом, калориметрію, контракційні вимірювання, визначення електричного опору та гальванічної електрорушійної сили тверднучих цементних паст.

Основні положення наукової новизни полягають у встановленні закономірностей композиційної побудови лужно-активованих шлакопортландцементів, які забезпечують отримання на їх основі високоефективних реакційно-порошкових бетонів із високою швидкістю набору міцності, підвищеною тріщиностійкістю, регульованими власними деформаціями та здатністю тверднути у складних температурно-вологісних умовах.

Розвинено наукові уявлення про структуроутворення лужно-активованих цементних матриць унаслідок утворення низькоосновних гідросилікатів кальцію та гідроалюмосилікатів. Встановлено особливості формування мікроструктури та порового простору декоративних лужно-активованих реакційно-порошкових бетонів у присутності карбонатних, алюмосилікатних і титановмісних добавок та поверхнево-активних речовин. Визначено закономірності впливу діоксиду титану, карбонату кальцію, каоліну, складу шлакопортландцементної системи й вмісту сполук заліза у шлаку на ступінь білизни, міцність і стабільність декоративних характеристик матеріалу.

Підтверджено можливість отримання білих і кольорових реакційно-порошкових бетонів на основі лужно-активованих шлакопортландцементів шляхом комплексного модифікування відбілювальними та структуроутворювальними добавками.

Практичне значення одержаних результатів.

Практичне значення дисертаційної роботи полягає у розробленні складів і технологічних принципів одержання декоративних реакційно-порошкових бетонів на основі лужно-активованих шлакопортландцементів, які поєднують високу ранню та довготривалу міцність і стабільні декоративні характеристики.

Використання гранульованого доменного шлаку як основного алюмосилікатного компонента сприяє ресурсо- та енергозбереженню, а також зменшенню емісії вуглекислого газу, пов'язаної з виробництвом цементу. Одночасно вирішується питання раціонального використання крупнотоннажних побічних продуктів металургійного виробництва.

Автором запропоновано базові склади реакційно-порошкових бетонів, технологічні режими їх приготування залежно від агрегатного стану лужного активатора, методику розрахунку складу піщаних бетонів методом абсолютних об'ємів, а також рекомендації щодо виробництва товарних і сухих сумішей.

Розроблені склади можуть бути використані для виготовлення високоміцних декоративних виробів, облицювальних елементів, плиток вентиляованих фасадів, ремонтних і захисних матеріалів, а після проведення відповідних спеціальних випробувань — у конструкціях об'єктів енергетичної, транспортної, гідротехнічної та критичної інфраструктури.

Практична цінність роботи посилюється можливістю створення на вітчизняній сировинній базі білих і кольорових цементних матеріалів, здатних частково замінити імпортований білий портландцемент, що сприятиме розширенню асортименту вітчизняних декоративних будівельних матеріалів, підвищенню ресурсної незалежності будівельної галузі.

Таким чином, одержані результати мають важливе науково-практичне значення для розвитку технології лужно-активованих цементів і реакційно-порошкових бетонів, підвищення ефективності використання промислової мінеральної сировини та створення високофункціональних матеріалів для цивільного і спеціального будівництва.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності. Дисертаційна робота Разсамакіна А.В. складається з анотації, вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 182 найменувань та додатку. Загальний обсяг дисертації становить 205 сторінок друкованого тексту, робота містить 64 рисунки і 44 таблиці. Структура дисертації є логічною, матеріал викладений послідовно і відповідає поставленій меті та завданням.

У **вступі** обґрунтовано актуальність розроблення декоративних реакційно-порошкових бетонів на основі лужно-активованих шлакопортландцементів. Актуальність роботи пов'язано з необхідністю створення високоміцних, швидкотверднучих, довговічних і декоративних матеріалів, здатних застосовуватися у цивільному будівництві та для захисту об'єктів критичної інфраструктури.

Перший розділ роботи має оглядово-аналітичний характер. У ньому розглянуто сучасні підходи до отримання реакційно-порошкових бетонів, принципи формування їх високої міцності, щільності, тріщиностійкості та довговічності. Автор аналізує способи підвищення активності в'язучих систем, застосування тонкодисперсних компонентів, оптимізацію зернового складу, зменшення водов'язучого відношення та використання мікроармування.

Значну увагу приділено лужно-активованим цementsам, особливостям їх структуроутворення та перспективам використання як основи для реакційно-порошкових бетонів. Розглянуто проблеми швидкого тужавлення, усадочних деформацій, формування висолів і забезпечення стабільності властивостей лужно-активованих матеріалів.

Окремим напрямом аналізу є надання цementsам і бетонам декоративних властивостей. За результатами аналізу літератури сформульовано теоретичні передумови та робочу гіпотезу дослідження.

У **другому розділі** наведено характеристики використаних компонентів і описано комплекс експериментальних методик.

Як основні компоненти в'язучих систем використано гранульований доменний шлак, портландцемент ПЦ І 42,5N і силікати натрію з різними значеннями силікатного модуля. Наведено хімічний склад шлаків і портландцементу, фізичні характеристики сировини, параметри дисперсності та властивості дрібних заповнювачів. Описана сировинна база загалом достатня для відтворення основних лабораторних складів.

Для визначення технологічних і фізико-механічних характеристик використано нормативні методи встановлення нормальної густоти, строків тужавлення, міцності, консистенції та питомої поверхні. Комплекс фізико-хімічних досліджень включав калориметрію, контракційні вимірювання, визначення електричного опору та гальванічної електрорушійної сили цементних паст, диференційно-термічний аналіз, електронну мікроскопію з мікроаналізом і рентгенофазовий аналіз. Для оцінювання декоративних характеристик застосовано спектрофотометричне визначення білизни, випробування на висолоутворення та стійкість забарвлення до ультрафіолетового випромінювання і тепловологого оброблення.

Третій розділ присвячено формуванню властивостей в'язучого для подальшого отримання реакційно-порошкових бетонів. Досліджено вплив співвідношення шлаку та портландцементу, агрегатного стану метасилікату

натрію, способу введення активатора і дозування модифікувальних добавок на строки тужавлення, реологічні характеристики та міцність. Портландцемент у шлакоцементній складовій варіювали у межах 5–45 %, а метасилікат натрію вводили у вигляді порошку або водного розчину. Для регулювання цього показника обґрунтовано застосування підвищених доз модифікованого лігносульфонату натрію. Визначено можливість забезпечення технологічно прийнятних строків тужавлення при збереженні високої активності цементу.

Результати фізико-механічних випробувань узгоджено з даними калориметрії, контракції, електричного опору, гальванічної електрорушійної сили, рентгенофазового та мікроструктурного аналізів. Це дало змогу пов'язати зміну технологічних властивостей зі швидкістю розчинення шлакової фази та формуванням гідратних новоутворень.

У розділі сформовано базові склади швидкотверднучих лужно-активованих шлакопортландцементів, що має значення для усієї роботи.

У **четвертому розділі** досліджено можливість отримання білих і кольорових лужно-активованих цементів.

Як базову сировину обрано доменний шлак із відносно низьким вмістом сполук заліза. Вивчено вплив кількості метасилікату натрію, частки портландцементу та відбілювальних добавок на міцність і ступінь білизни цементного каменю. Основними відбілювальними компонентами були діоксид титану, карбонат кальцію та каолін.

З використанням математичного планування експерименту встановлено спільний вплив складу шлакопортландцементу та дозування відбілювальних добавок на білизну, строки тужавлення і міцність. Обґрунтовано оптимальну кількість TiO_2 та CaCO_2 , за якої забезпечується необхідний рівень білизни при збереженні достатньої активності цементу.

Важливим результатом є визначення взаємозв'язку між вмістом оксидів заліза у шлаку та необхідною кількістю відбілювальних компонентів.

У **п'ятому розділі** дисертації досліджено розвиток міцності декоративних цементно-піщаних композицій у ранні та тривалі строки тверднення. Встановлено вплив TiO_2 , CaCO_2 , каоліну та мінеральних пігментів на міцність, усадку, водоутримувальну здатність і стабільність забарвлення. Для дослідних складів застосовували оптимізовані дозування відбілювальних добавок.

Оцінено морозостійкість, стійкість до циклічного замочування і висушування, ультрафіолетового опромінення та тепловологого оброблення. Досліджено схильність декоративних композицій до утворення висолів і показано доцільність застосування карбоксиметилцелюлози для підвищення водоутримання та зниження ризику появи поверхневих сольових відкладень.

Експериментально підтверджено стабільність кольору пігментованих складів і можливість отримання широкої гами декоративних матеріалів.

Розділ містить значний обсяг результатів щодо довговічності декоративних композицій і підтверджує можливість їх практичного використання.

Шостий розділ є основним експериментальним розділом дисертації. На першому етапі виконано оптимізацію складів за критерієм міцності. Вивчено вплив співвідношення «в'язуче — пісок», гранулометрії дрібного заповнювача, частки портландцементу, агрегатного стану метасилікату натрію та силікатного модуля рідкого скла.

Показано, що застосування оптимізованого зернового складу піску дає змогу зменшити водопотребу та підвищити міцність. Використання метасилікату натрію у вигляді розчину сприяє швидшому набору ранньої міцності порівняно з порошковим введенням. Встановлено оптимальне значення силікатного модуля рідкого скла.

Значна увага приділена довготривалому розвитку міцності. Отримані залежності показують стабільне зростання міцності до 360 діб, а для окремих складів її значення досягають 140–145 МПа.

У розділі досліджено ударну міцність і характер руйнування бетонів. Вивчено вплив вмісту компонентів та гранулометрії заповнювача на усадочні деформації бетону. Показано можливість зменшення усадки до значень, співставних із показниками звичайних бетонів.

Також оцінено морозостійкість, водостійкість, атмосферостійкість і стабільність декоративних покриттів у натурних умовах. За сукупністю результатів обґрунтовано можливість отримання високоміцних, швидкотверднучих, тріщиностійких і декоративних реакційно-порошкових бетонів.

Сьомий розділ має прикладну спрямованість і узагальнює результати попередніх. Автором розглянуто можливість виготовлення реакційно-порошкових бетонів у вигляді товарних бетонних сумішей і сухих будівельних сумішей. Визначено вимоги до шлакопортландцементної основи, дисперсності компонентів, вмісту портландцементу, параметрів лужного активатора та регуляторів строків тужавлення.

Розглянуто особливості технології залежно від введення лужного компонента у порошкоподібній або рідкій формі.

Запропоновано базові склади реакційно-порошкових бетонів, наведено їх технологічні та фізико-механічні характеристики. Розроблено методику розрахунку складів піщаних бетонів методом абсолютних об'ємів, яка враховує об'єм лужного активатора, вміст повітря та спосіб укладання суміші.

Окремо розглянуто перспективи екструзійного формування та 3D-друку, наведено рекомендовані значення рухомості, водоутримання і строків тужавлення. Проведено орієнтовне техніко-економічне порівняння розроблених складів із бетонами на основі традиційного портландцементу.

Загальні висновки дисертації достатньо повно відображають основні наукові та практичні результати проведених досліджень, відповідають сформульованій меті та завданням. Дисертація виконана з використанням сучасної технічної термінології. Ілюстрації, схеми, таблиці добре доповнюють текстовий матеріал. Оформлення роботи відповідає вимогам щодо присудження наукових ступенів і присвоєння вчених звань.

Повнота викладення результатів роботи у наукових працях. Основні положення дисертації висвітлено у 16 наукових публікаціях здобувача, з них 8 статей у фахових виданнях України, 2 – у періодичних наукових виданнях інших держав, які входять до міжнародних наукометричних баз. 6 публікацій у матеріалах доповідей міжнародних конференцій. Результати дисертаційної роботи пройшли апробацію на конференціях різного рівня, що можна вважати достатнім. Робота оформлена відповідно до вимог наказу МОН України від 12 січня 2017 р. №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Основний обсяг досліджень проведено з використанням Дніпродзержинського гранульованого доменного шлаку та одного портландцементу ПЦ І 42,5N. Водночас автором зроблено висновок, що врахований діапазон вмісту оксидів заліза дозволяє використовувати всі відомі доменні шлаки України для отримання білих лужно-активованих цементів. Таке узагальнення потребує перевірки щонайменше на декількох шлаках різного походження, основності, склофази, дисперсності. На мою думку доцільно було б чітко визначити межі, при яких можна застосовувати отримані залежностей.

2. Основна перевага реакційно-порошкових бетонів крім високої міцності та відсутності дефектів – це висока текучість суміші, котра зазвичай забезпечується оптимізацією гранулометричного складу та використанням ефективних ПАР-розріджувачів. У дослідженнях автор використовував добавку ЛСТ-М, яка не відновиться до пластифікаторів з високим водоредукуючим ефектом, тому не зовсім зрозуміло, яким чином забезпечувалась висока текучість, характерна для РПБ. З цією метою слід було б порівняти ЛСТМ із сучасними високоефективними суперпластифікаторами або іншими диспергаторами, сумісними з лужно-активованими системами.

3. У роботі для оптимізації запропонованих композицій широко використовувався метод математичного планування експерименту. Для планованих експериментів наведено рівняння регресії та коефіцієнти апроксимації, проте цього недостатньо без дисперсійного аналізу, оцінювання похибки відтворюваності, значущості коефіцієнтів і перевірки адекватності моделей. У додатках до роботи вказані характеристики моделей не наведені.

4. Розроблений у роботі РПБ віднесено до класу С80/95, однак даних клас визначається міцністю циліндрів і стандартних кубів із відповідною статистичною забезпеченістю. Основні результати міцності автор отримав при

випробуваннях стандартних балок 40*40*160 мм, тому робити висновок про відповідність отриманої міцності класу С80/95 не зовсім коректно. Причому обґрунтування коефіцієнтів переходу зроблено не було.

5. Автор рекомендує розроблені РПБ для атомних електростанцій, контейнерів радіоактивних відходів, гідротехнічних споруд, колекторів, мостів, складів боєприпасів, бомбосховищ і фортифікаційних об'єктів. Наведені результати морозостійкості, водостійкості та циклічного замочування-висушування не забезпечують достатньої доказової бази для всіх заявлених сфер, для яких необхідною є наявність інших характеристик.

Наведені зауваження не носять принципового характеру і в перспективі можуть бути враховані автором при проведенні подальших досліджень.

Висновок про дисертаційну роботу.

В цілому, дисертаційна робота **Разсамакіна А.В.** на тему «Декоративні реакційно-порошкові бетони на основі лужно-активованих шлакопортландцементів» за рівнем її наукової новизни і практичного значення відповідає встановленим вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації», Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії (Постанова Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44), а її автор – **Разсамакін А.В.** заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 19 Архітектура та будівництво за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент:

Доцент кафедри технології
будівельних виробів та матеріалознавства
Національного університету
водного господарства
та природокористування,
кандидат технічних наук, доцент



Вадим ЖИТКОВСЬКИЙ

