

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора,
завідувача кафедри технології будівельних виробів і матеріалознавства
Національного університету водного господарства та природокористування

Дворкіна Леоніда Йосиповича

на дисертаційну роботу Крижановського Віталія Олександровича
**«Модифіковані бетони і фібробетони для влаштування та ремонту
жорстких дорожніх і аеродромних покриттів»,**

представлену на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю
192 Будівництво та цивільна інженерія,
галузь знань 19 Архітектура та будівництво

Актуальність теми. Експлуатаційні переваги та висока довговічність жорстких цементобетонних дорожніх і аеродромних покриттів обумовили їх широке використання в Україні та світі в цілому. В останні роки саме цементобетонні покриття стали масово застосовуватися на найбільш завантажених ділянках доріг нашої країни.

Також все більш актуальною стає задача ремонту жорстких дорожніх покриттів. Це пов'язано з тим, що в Україні експлуатуються збудовані більше 40 років тому цементобетонні дороги та злітно-посадкові смуги, переважно з залізобетонних плит, а також з руйнуваннями транспортної інфраструктури, спричиненими бойовими діями, що почалися після повномасштабного вторгнення в нашу країну.

Одним з найбільш ефективних видів ремонту покриттів є їх глибинний ремонт (full-depth repair), що передбачає заміну від 1/3 до повної їх товщини. При цьому одною з основних вимог до бетонів для ремонту жорстких дорожніх і аеродромних покриттів є їх висока рання міцність.

При влаштуванні та ремонті дорожніх покриттів також слід враховувати зростаючі навантаження на дороги, обумовлені значним підвищенням навантаження на вісь транспортних засобів. В подібних умовах ефективно себе показують фібробетонні покриття, які також характеризуються підвищеною довговічністю в типових для України та решти країн Європи умовах експлуатації.

Таким чином задача розробки ефективних бетонів і фібробетонів для влаштування та ремонту жорстких дорожніх і аеродромних покриттів, яка вирішена у дисертаційній роботі, безперечно залишається актуальною. При вирішенні даної задачі здобувач спирається на наявні вітчизняні цемента і заповнювачі, а також враховує технологічні особливості приготування і застосування даних матеріалів, що додатково підтверджує актуальність виконаного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Робота виконана в Одеській державній академії будівництва та архітектури на кафедрі

автомобільних доріг та аеродромів в рамках держбюджетної теми «Розробка та впровадження сучасних технологій при будівництві автомобільних доріг, водопропускних споруд та аеродромів» (№ держреєстрації 0111U001249).

Аналіз змісту дисертації. Дисертаційну роботу викладено на 185 сторінках, у тому числі 125 сторінок основної частини. Вона складається із вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел з 282 найменувань та 2 додатків на 6 сторінках, містить 49 рисунків і 19 таблиць.

Дисертація написана грамотною технічною мовою з використанням сучасної наукової термінології. Викладення матеріалу є логічним та відповідає вимогам до наукових робіт. Зміст дисертації послідовно розкриває сутність виконаної здобувачем роботи.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дослідження, визначено його мету та основні завдання, предмет та об'єкт дослідження, відображено наукову новизну й практичне значення одержаних результатів.

У *першому розділі* проаналізована практика використання бетону і фібробетону для влаштування та ремонту дорожніх і аеродромних покриттів, розглянуто основні типи пошкоджень жорстких покриттів і причини їх виникнення. Показано, що цементобетонні покриття широко використовуються в багатьох країнах, а в останні роки і в Україні. Описано основні переваги жорстких покриттів та обґрунтовано доцільність використання для їх влаштування та ремонту швидкотвердіючих фібробетонів, зокрема зі сталевією фіброю. Проаналізовано досвід використання модифікаторів і дисперсного армування для покращення властивостей бетонів дорожніх покриттів.

Здобувач спирається переважно на сучасні публікації, що є позитивною рисою розділу.

У *другому розділі* наведено характеристику вихідних матеріалів та методів досліджень. В ньому також описано загальну схему проведення досліджень, яка складалася з 6 пов'язаних етапів: порівняння властивостей бетонів на різних типах цементу, визначення характеристик фібробетонів з поліпропіленою фіброю, вивчення впливу пластифікатору на структуру і механічні характеристики бетону, вивчення впливу метакаоліну на механічні характеристики бетону, вивчення властивостей фібробетонів з сталевією фіброю, впровадження у виробництво розроблених ремонтних складів сталевієфібробетонів.

У *третьому розділі* описано результати дослідження властивостей високофункціональних бетонів для ремонту та влаштування жорстких покриттів. Порівняно основні властивості бетонів на цементах різних типів: ССПЦ400-Д0, ПЦ-П/А-П-500 Р-Н, ПЦЦ IV/А-500 Р, ПЦ П/А-Ш-500. Встановлено, що кращу ранню міцність забезпечують цементи ПЦ-П/А-П-500 Р-Н і ПЦ П/А-Ш-500. З врахуванням фактичної ситуації на ринку для подальших досліджень обрано ПЦ П/А-Ш-500. Обґрунтовано, що поліпропіленова фібра має обмежену ефективність при керуванні властивостями бетонів для жорстких покриттів.

Досліджено вплив суперпластифікатора MasterGlenium SKY 608 на міцність і структуру бетонів, визначено раціональну кількість даного модифікатора. Отримано бетон з міцністю у віці 3х діб до 64,1 МПа і проектною міцністю до 85,6 МПа. Позитивний вплив полікарбоксилатної добавки при структуроутворенні бетону підтверджено рентгенофазовим аналізом. Також досліджено вплив метакаоліну на властивості модифікованого добавкою MasterGlenium SKY 608 бетону. Показано, що з врахуванням ринкової вартості метакаоліну його використання в бетонах жорстких дорожніх і аеродромних покриттів на сьогодні не є раціональним. Але це може змінитися при підвищенні екологічних вимог щодо вуглецевого сліду при виробництві цементу і у разі значного подорожчання енергоресурсів, які витрачаються для виробництва клінкеру.

Четвертий розділ присвячено дослідженням властивостей фібробетонів зі сталеву фібру для ремонту і влаштування жорстких дорожніх і аеродромних покриттів. За оптимальним планом проведено експеримент, в якому варіювалися 2 фактори: кількість прискорювача твердіння і кількість сталеву анкерну фібру.

Показано, що введення прискорювача суттєво підвищує ранню міцність бетонів. У віці 2-х діб міцність на стиск зростає на 9 МПа і більше, міцність на розтяг при згині на 0,6..0,7 МПа. У проектному віці склади з прискорювачем твердіння характеризуються дещо меншою міцністю. За рахунок використання сталеву фібру рання міцність бетонів на стиск зростає на 3..5 МПа, проектна міцність – на 7..10 МПа. Міцність бетонів на розтяг при згині за рахунок дисперсного армування зростає у віці 2х діб до 8,5..9,3 МПа, у проектному віці – до 15,5..17,5 МПа. Використання сталеву фібру також відчутно підвищує морозостійкість та зносостійкість бетону, що забезпечує його достатню довговічність для влаштування та ремонту жорстких покриттів. При використанні максимальну кількість дисперсної арматури та прискорювача рання міцність фібробетонів становить не менше 60 МПа, що дозволяє швидко починати експлуатацію жорстких покриттів практично для всіх типів доріг і аеродромів.

Також у четвертому розділі показано, що за рахунок використання раціональної кількості сталеву фібру і прискорювача твердіння відчутно знижується усадка бетонів, а дисперсне армування підвищує адгезію ремонтних бетонів до основи. Це дозволяє рекомендувати розроблені склади фібробетонів для глибинного ремонту покриттів (full-depth repair).

У *п'ятому розділі* описано результати впровадження проведених досліджень. З використанням комплексу експериментально-статистичних моделей обрано оптимальні склади фібробетонів для глибинного ремонту та влаштування дорожніх і аеродромних покриттів. Обрані склади бетонів забезпечують високу ранню міцність та необхідну довговічність в типових умовах експлуатації. Для ремонтних складів враховано значення адгезії до «старого» бетону.

Також у розділі описано технологію приготування і застосування швидкотвердіючого сталеву фібробетону для глибинного ремонту жорстких

покриттів автодоріг і аеродромів. За участю здобувача розроблено «Регламент з технології приготування і застосування швидкотвердіючого сталевібробетону для глибинного ремонту жорстких покриттів автодоріг і аеродромів», який затверджений у ТОВ «БАУТЕХ-Україна». Показано, що результати досліджень використовуються в освітньому процесі.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації, їх достовірності й новизни.

Достовірність основних наукових положень та отриманих у дисертації результатів підтверджується застосуванням сучасних методів дослідження та аналізу, зокрема експериментально-статистичного моделювання, використанням для визначення властивостей матеріалів обладнання атестованої лабораторії, а також відповідністю результатів теоретичним передумовам.

Представлені в дисертаційній роботі результати і наукові положення є достатньо науково обґрунтованими, зроблені висновки є достовірними. Науковий рівень результатів виконаних В.О. Крижановським досліджень є достатнім для дисертації на здобуття ступеня доктора філософії.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає наступному:

- визначено зміни властивостей та структури бетонів жорстких дорожніх покриттів на різних типах цементів при застосуванні суперпластифікатора полікарбоксилатного типу;
- встановлено вплив метакаоліну на властивості модифікованого бетону дорожніх покриттів;
- виявлено ефективність застосування дисперсного армування сталевую фіброю бетонів для ремонту та влаштування жорстких дорожніх і аеродромних покриттів;
- експериментально підтверджено позитивний вплив дисперсного армування і прискорювача твердіння на адгезійну міцність дорожніх фівробетонів;
- набуло подальшого теоретичного розвитку і експериментально підтверджено можливість поліпшення фізико-механічних властивостей бетонів для жорстких дорожніх та аеродромних покриттів за рахунок використання дисперсного армування, суперпластифікатора полікарбоксилатного типу і прискорювача твердіння;
- з використанням методів планування експерименту оптимізовано склади швидкотвердіючих сталевібробетонів для ремонту та влаштування жорстких дорожніх і аеродромних покриттів з забезпеченою довговічністю в типових умовах експлуатації.

Повнота відображення основних положень дисертації в опублікованих роботах. За темою дисертації опубліковано 16 наукових праць, з яких 4 статті у фахових виданнях України, 5 статей у наукових періодичних виданнях інших держав (1 з них індексується наукометричними базами Scopus і Web of Science, 2 індексуються наукометричною базою Web of Science), 7 тез доповідей у збірниках наукових конференцій. Опубліковані матеріали достатньо повно

висвітлюють основні положення роботи. Особистий внесок здобувача у публікаціях, виконаних у співавторстві, відображено у дисертації.

Значущість результатів дисертаційного дослідження для науки і практики. Основні положення дисертаційного дослідження пройшли всі необхідні види апробації: вони широко опубліковані, використані на практиці та в освітньому процесі закладу вищої освіти, обговорені на міжнародних наукових конференціях. Вони мають теоретичне і практичне значення для будівельного матеріалознавства.

Практична цінність отриманих результатів полягає в тому, що:

- визначена раціональна кількість суперпластифікатора полікарбоксилатного типу для дорожніх бетонів на різних типах цементів;
- розроблені склади модифікованих фібробетонів для ремонту та влаштування жорстких дорожніх і аеродромних покриттів з високою міцністю в ранньому і проектному віці, морозостійкістю, зносостійкістю та адгезією до старого бетону;
- розроблено і затверджено в компанії ТОВ «БАУТЄХ-Україна» «Регламент з технології приготування і застосування швидкотвердіючого сталефібробетону для глибинного ремонту жорстких покриттів автодоріг і аеродромів»;
- результати досліджень використовуються в освітньому процесі в Одеській державній академії будівництва та архітектури.

Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. У дисертаційній роботі В.О. Крижановського не виявлено ознак академічного плагіату та інших порушень, які могли б поставити під сумнів самостійний характер виконаного дослідження та дотримання норм академічної доброчесності.

Відповідність дисертації встановленим вимогам. Дисертація В.О. Крижановського є завершеною науковою працею. За структурою, змістом, загальним обсягом та кількістю наукових публікацій дисертація відповідає вимогам, що висуваються Міністерством освіти і науки України для отримання ступеня доктора філософії, та є результатом науково-дослідної роботи, що характеризується належним методичним рівнем виконання та узагальнення.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. Основним експериментальним дослідженням, що приведені в дисертаційній роботі, передували попередні, що мали за мету порівняти вплив різних типів цементу, а також поліпропіленової фібри в комплексі з добавками полікарбоксилатних суперпластифікаторів і метакаоліну на основні властивості дорожніх бетонів.

Як відомо, ДСТУ 8858 передбачає для цементів, що застосовуються для дорожніх бетонів, обмеження по ряду параметрів: мінералогії, строкам тужавлення, питомій поверхні, нормальній густоті. В дисертації приводиться лише хіміко-мінералогічний склад цементів та їх питома поверхня. Введення пуцоланового цементу в групу цементів, прийнятих для дослідження, вважаю зайвою, враховуючи їх відомі недоліки, і,

зокрема, низьку морозостійкість. У відповідності зі стандартними вимогами цей цемент допускається лише для застосування в основах дорожніх покриттів. Викликає сумнів також вказана його питома поверхня – $541 \text{ м}^2/\text{кг}$.

Показано, що введення в бетон поліпропіленової фібри у поєднанні з добавками метакаоліну і полікарбоксилатного суперпластифікатора суттєво покращує основні властивості дорожнього бетону.

Проте, врахувавши відомі недоліки, що характерні при введенні поліпропіленової фібри, за результатами подальших досліджень дисертант рекомендує вводити в бетон для ремонту дорожніх та аеродромних покриттів сталеву фібру. Безумовно сталеві фібробетон має певні переваги перед бетоном дисперсно армованим поліпропіленовою фіброю. Але відомі і його недоліки: підвищена здатність до корозії, посилення руйнівних коливань при ударних та вібраційних навантаженнях, міграція сталеві фібри до поверхні бетону і підвищення небезпеки для транспорту, що рухається. Враховуючи саме ці особливості сталеві фібробетону, в ДСТУ 8858 для дорожнього бетону рекомендується застосовувати поліпропіленову або базальтову фібру. Було б доцільно, на наш погляд, дослідити ефективність комбінованого дисперсного армування бетону сталеві та поліпропіленові фіброю.

2. Для аналізу структурних змін цементно-піщаних розчинів при введенні різних дозувань суперпластифікаторів у роботі виконані рентгенофазові дослідження. Дисертант пояснює позитивну роль оптимальних дозувань суперпластифікатора на різних цементах зменшенням вмісту натріймісткого гідросульфоалюмінату кальцію. Це потребує додаткових пояснень. Правильно відзначається, що структурні зміни при різному вмісті суперпластифікатора в розчині пояснюються зменшенням В/Ц, що повинно відображатись на рентгенограмах змінами кількості і складу гідратних новоутворень.

3. В дисертації правильно відзначено, що при зміні певної кількості цементу такою ж кількістю метакаоліну при однаковому вмісті суперпластифікатора збільшується В/Ц для досягнення необхідної легкоукладальності, що негативно відбивається на всьому комплексі властивостей бетону. Методично було би правильно керуватися при оцінці ефективності метакаоліну відомим в бетонознавстві правилом «приведеного В/Ц». 1 кг метакаоліну рівноцінний масі цементу менше 1 кг. При цьому для збереження постійним В/Ц потребується регулювання кількості суперпластифікатора.

4. Потребує пояснення приведені в дисертації при оцінюванні результатів випробувань бетону на морозостійкість наступний висновок: «Отримані значення для всіх складів відповідали марці за морозостійкістю F200 для дорожніх бетонів, що еквівалентно марці F600 при визначенні за методикою для інших видів бетонів (конструкційних)».

5. У четвертому розділі досліджено за допомогою експериментально-статистичних моделей сумісний вплив прискорювача твердіння Sica

Rapid 3 і фібри на В/Ц, міцність бетону на стиск і розтяг при згині, а також на його морозостійкість, зносостійкість та адгезійну міцність. Цінність виконаних досліджень не викликає сумнівів, але вона б суттєво зросла, якщо був би відомий хімічний склад використаного прискорювача твердіння.

6. У дисертації запропонована, безумовно, ефективна методика проектування оптимальних складів бетону з заданими властивостями. На нашу думку, результати її реалізації були б більш інформативними, якщо б варіювались не лише витрати добавки прискорювача твердіння і фібри у бетонах з різними нормованими властивостями, а також витрата цементу і добавки суперпластифікатора.

Відзначені зауваження суттєво не знижують наукової та практичної цінності виконаної дисертаційної роботи.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Віталія Олександровича Крижановського на тему «Модифіковані бетони і фібробетони для влаштування та ремонту жорстких дорожніх і аеродромних покриттів» є завершеною науковою працею, у якій вирішено важливу науково-технічну задачу отримання фібробетонів для жорстких дорожніх покриттів з високою ранньою міцністю та забезпеченою довговічністю. Таки бетони є ефективними для ремонту і влаштування покриттів та дозволяють швидко відкривати рух після закінчення робіт.

Дисертаційна робота на тему «Модифіковані бетони і фібробетони для влаштування та ремонту жорстких дорожніх і аеродромних покриттів», представлена на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 - будівництво та цивільна інженерія, відповідає вимогам наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» (зі змінами) та «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 р., а її автор Віталій Олександрович Крижановський заслуговує присудження ступеня доктор філософії за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія.

Офіційний опонент,
доктор технічних наук, професор,
завідувач кафедри технології
будівельних виробів і матеріалознавства
Національного університету водного
господарства та природокористування

Леонід ДВОРКІН

