

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет залізничного транспорту

**ЗАХАРОВ ДЕНИС СЕРГІЙОВИЧ**



УДК 666.972

**ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ З ВИСОКОЮ МІЦНІСТЮ  
НА РОЗТЯГ**

Спеціальність 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор  
**Толмачов Сергій Миколайович,**  
Харківський національний автомобільно-дорожній  
університет, професор кафедри технології дорожньо-  
будівельних матеріалів і хімії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор  
**Солодкий Сергій Йосифович,**  
Національний університет "Львівська політехніка",  
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів;

кандидат технічних наук, доцент  
**Казімагомедов Ібрагім Емірчубанович,**  
Харківський національний університет будівництва та  
архітектури, доцент кафедри будівельних матеріалів та  
виробів

Захист відбудеться «05» липня 2019 р. о 12.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7 та на сайті: <http://kart.edu.ua>.

Автореферат розісланий «04» червня 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук, доцент



О.В. Лобняк

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Аналіз роботи дорожніх цементних бетонів верхніх шарів покриттів показує, що вони знаходяться під постійним впливом різних агресивних чинників: градієнтів температури і вологості, циклічних і стаціонарних механічних навантажень, розчинів хімічних реагентів та ін. Дії цих факторів приводять до появи в структурі бетону внутрішніх напружень розтягу, які приводять до утворення тріщин і подальшого руйнування бетонів. Ці процеси стали особливо небезпечні в останні 2...3 десятиліття, коли інтенсивність і частота таких впливів збільшилася у кілька разів, а вимоги до фізико-механічних властивостей дорожніх бетонів залишилися на колишньому рівні. Наприклад, в проектах виконання робіт, клас міцності на розтяг при згині встановлений не вище 5,2 МПа, що явно недостатньо, а часто його не вказують, обмежуючись нормуванням міцності при стиску. Застосування традиційних суперпластифікаторів не приводить до необхідного рівня збільшення міцності бетонів на розтяг при згині, а введення обов'язкових повітровтягувальних добавок веде до зниження міцності. При цьому руйнування дорожніх бетонів при будь-яких видах зовнішніх впливів відбувається від напружень розтягу, рівень яких постійно зростає. У цих умовах актуальними є дослідження, спрямовані на підвищення міцності при згині дорожніх бетонів, що містять сучасні органо-мінеральні добавки і фібру.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у складі держбюджетної теми плану НДР за замовленням Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) № ДР 0117U003625 «Провести дослідження та розробити національний стандарт щодо технічних умов на суміші цементобетонні та цементобетон дорожні»; № ДР 0115U001617 «Провести дослідження та розробити рекомендації з влаштування шарів дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону».

**Мета дослідження** – створення дорожніх цементних бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині за рахунок підвищення ефективності застосування його структурних компонентів.

### **Задачі дослідження:**

- на підставі аналізу літературних джерел виявити основні компоненти структури, що впливають на підвищення міцності при згині дорожніх цементобетонів;
- дослідити вплив зони контакту «цементний камінь-заповнювач», а також співвідношення між дрібним і крупним заповнювачами на структуру і міцність при згині бетону при різному вмісті лещадних частинок у щебені,
- вивчити характер впливу суперпластифікатору полікарбоксилатного типу, активної мінеральної добавки, повітровтягувальної добавки, а також їх комплексів на структуру і міцність бетонів при згині;

- дослідити вплив поліпропіленової фібри на міцність бетонів при згині;
- вивчити механізм впливу складових компонентів структури на підвищення міцності бетону при згині;
- провести дослідно-промислове впровадження отриманих результатів.

**Об'єкт дослідження** – процес зміни міцності при згині дорожніх цементних бетонів при дії компонентів структури.

**Предмет дослідження** – закономірності впливу співвідношення заповнювачів, хімічних, активних мінеральних добавок і фібри на міцність при згині і експлуатаційні властивості дорожнього бетону.

**Методи дослідження.** Основні експериментальні дослідження виконано за допомогою стандартних методів визначення фізико-механічних та експлуатаційних властивостей дорожніх цементних бетонів. Дослідження структури

бетону здійснювали за допомогою оптичної мікроскопії. Фазовий склад цементного каменю вивчали за допомогою рентгенофазового та диференційно-термічного аналізів.

**Достовірність і обґрунтованість одержаних результатів досліджень** забезпечена застосуванням в експериментальних дослідженнях незалежних стандартних фізико-хімічних і фізико-механічних методів досліджень, статистичної обробки отриманих результатів досліджень. У теоретичних дослідженнях – залученням фундаментальних положень і закономірностей фізико-хімічної механіки дисперсних систем і матеріалів та колоїдної хімії. Результати експериментальних досліджень підтверджують теоретичні уявлення.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

*Вперше:*

- встановлено механізм впливу лещадних частинок на структуру зони контакту, мезоструктуру і властивості дорожніх бетонів верхніх шарів, який полягає в розпушенні бічних і нижніх поверхонь під лещадними частинками при вібрації в результаті неспівпадіння параметрів віброущільнення і власних частот коливань лещадних частинок, що приводить до зниження міцності і морозостійкості бетону;

- встановлено механізм впливу активної мінеральної добавки на формування порової структури бетону в присутності повітровтягувальних добавок, що полягає в диспергуванні крупних бульбашок і утворенні умовно-замкненої мікропористості, що сприяє підвищенню в першу чергу міцності при згині і морозостійкості бетону;

- встановлено, що застосування полікарбоксилатного суперпластифікатору і активної мінеральної добавки, а також їх комплексу приводить до переважного зростання міцності бетонів при згині в порівнянні з міцністю при стиску;

- встановлено характер впливу органо-мінерального комплексу, що складається з повітровтягувальної, суперпластифікуючої і активної мінеральної добавок на структуру бетону, що полягає в підвищенні однорідності структури в

присутності активної мінеральної добавки, зниженні кількості великих пор і збільшенні мікропористості за рахунок меншого впливу повітряної пористості на міцність при згині в порівнянні з міцністю при стиску, що підтверджує доведене розрахунковим шляхом підвищення стійкості повітряних бульбашок.

*Отримало подальший розвиток:*

- уявлення про механізм впливу комплексу суперпластифікатор + активна мінеральна добавка на міцнісні властивості бетону, що полягає в утворенні підвищеної кількості гідросилікатів кальцію в зоні контакту (в порівнянні з об'ємом), що приводить до переважного зростання міцності бетону на розтяг при згині;

– уявлення про вплив коефіцієнта розсунення зерен крупного заповнювача на міцність бетону, яке полягає в тому, що оптимізація його величини розрахунковим шляхом, яка залежить не тільки від розмірів заповнювачів, а й від наявності або відсутності суперпластифікатора в складі бетону, дозволяє збільшити міцність бетону при згині.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропонована методика розрахунку, що дозволяє кількісно визначити внесок впливу поліпропіленової фібри різних геометричних розмірів на міцність бетону на розтяг при згині. Розроблено склади дорожніх бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині.

Розроблено проект ДСТУ XXXX:20XX «Суміші цементобетонні та цементобетон дорожні. Технічні умови», який знаходиться на затвердженні. Розроблені та затверджені наступні нормативні документи: ТУ У 23.6-38278077-002:2015 «Смеси фибробетонные и фибробетоны верхнего слоя монолитной железобетонной плиты для строительства и реконструкции трамвайного пути. Технические условия»; «Технологический регламент на изготовление смесей фибробетонных и фибробетонов верхнего слоя монолитной железобетонной плиты для строительства и реконструкции трамвайного пути»; Р В.2.7-218-02071168-870:2016 «Рекомендації щодо приготування пісних цементобетонних сумішей та влаштування основ дорожніх одягів із пісного укочуваного цементобетону»; ТТК 37641918/02071168-198:2016 «Типова технологічна карта на влаштування шару основи із пісного укочуваного цементобетону».

Результати досліджень впроваджені при реконструкції 14-ти трамвайних переїздів в м. Харкові, а також при будівництві монолітної бетонної плити над конструктивом станції метро «Перемога».

**Особистий внесок здобувача.** Огляд літературних джерел за темою дисертаційного дослідження. Узагальнення даних щодо впливу різноманітних факторів на міцність при згині дорожнього цементобетону, експериментальні дослідження та аналіз їх результатів. Формулювання гіпотези досліджень та нових наукових положень виконано спільно з науковим керівником. Особистий внесок автора у публікаціях відображено у списку опублікованих праць за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертаційного дослідження.** Основні положення дисертаційної роботи доповідались на: Міжнародній науково-технічній конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» (м. Одеса, 03 червня 2016 р.); VI-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті» (м. Харків, 19 – 21 квітня 2017 р.); II-й Міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології в будівництві» (м. Київ, 6 – 7 квітня 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ефективність підприємства – інноваційні технології та економічні рішення» (м. Харків, 7 – 8 червня 2018 р.); 80-й, 81-й, 82-й науково-технічній та науково-методичній конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (м. Харків, 2016 р., 2017 р., 2018 р.).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковано у 14 наукових публікаціях, з яких 6 публікацій у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, у тому числі 2 публікації у виданнях, що входять до Міжнародних наукометричних баз даних, 1 публікація у зарубіжному фаховому періодичному виданні; 4 праці апробаційного характеру, з них 1 – у міжнародній наукометричній базі Scopus; 3 – додаткові публікації.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 163 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації 201 сторінок, у тому числі 130 сторінок основного тексту, 42 рисунка, 35 таблиць.

## **ОСНОВИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційного дослідження. Сформульована мета та поставлені задачі досліджень. Визначено об'єкт і предмет дослідження. Наведені наукова новизна та практичне значення отриманих результатів. Відображено особистий внесок здобувача. Наведено відомості про публікації та апробацію роботи, а також про структуру дисертації.

У **першому розділі** виконано аналітичний огляд літератури щодо впливу компонентів бетону на його міцність при згині та стиску. Показано, що основною причиною руйнування дорожніх бетонів є їх низька міцність при згині. Проаналізовано фактори, які надають вплив на фізико-механічні властивості бетонів, в тому числі, на міцність при згині. На основі аналізу проведених раніше досліджень були виділені основні з них: якість зони контакту «цементний камінь-заповнювач», співвідношення між заповнювачами, наявність або відсутність дисперсного фіброармування, суперпластифікуючі та активні мінеральні добавки. Дослідженням впливу цих факторів на властивості важких і дорожніх бетонів займалися такі вчені, як: В.І. Бабушкін, Ю.М. Баженов, В.Г. Батраков, М.І. Волков, Б.М. Віноградов, В.М. Вировий, В.І. Гоц, С.С. Гордон, І.М. Грушко, В.Д. Глуховський, Л.Й. Дворкін, В.М. Дерев'янка, Л.М. Добшиц, І.Е. Казімагомедов, П.В. Кривенко, Р. Лерміт, Ю.Л. Любімова,

А.В. Мішутін, Н.А. Мощанський, А.М. Невіль, М.І. Нетеса, О.Г. Ольгінський, Е.Р. Пінус, А.М. Плугін, К.К. Пушкарьова, В.Б. Ратінов, Р.Ф. Рунова, М.А. Саницький, Х.С. Соболев, С.Й. Солодкий, О.В. Ушеров-Маршак, Р. Хердтл, Л.О. Шейніч, Т.В. Шпирько, І. Штарк, Р.-С. Aitcin, S. Chatterji, M. Collepari, J.A. Dodds, I. Ray, D.S. Zhang, D.J. Hannant та ін. Показано, що ці дослідження були спрямовані на оцінку впливу виділених факторів на міцність бетонів при стиску, а також щільність структури бетону на різних рівнях. У ряді робіт основна увага була приділена спеціальним властивостям, таким, як ударна стійкість, тріщино- або корозійна стійкість та ін. Вивченню міцності при згині в роботах було приділено недостатньо уваги, не були чітко сформульовані закономірності впливу тих чи інших факторів на міцність при згині, або ці дослідження не проводили.

У розділі показано, що якість зони контакту грає основну роль у підвищенні міцнісних властивостей бетонів, а також їх довговічності, тому що вона є найбільш слабкою ланкою структури бетону. Були розроблені способи поліпшення якості зони контакту, але автори вивчали підвищення міцності при стиску. Крім того, деякі способи, наприклад, попередня обробка заповнювачів розчинами хімічних реагентів не підходить для технології виготовлення монолітних дорожніх бетонів. Відзначено, що всі дослідники вважають, що для підвищення характеристик бетону, в тому числі і міцності при згині, необхідно поліпшити якість зони контакту. Для цього необхідно систематизувати вплив на зону контакту заповнювачів та сучасних хімічних і мінеральних добавок.

В останні кілька десятиліть з'явилася велика кількість робіт щодо застосування у важких бетонах дисперсного армування. У розділі показані різновиди волокон, що застосовуються в технології бетонів. Зазначено, що недоліками сталеві і скловолоконної фібри є їх низька корозійна стійкість, а найбільш перспективною для застосування в дорожніх бетонах є поліпропіленова фібра. У розділі також показано, що в більшості робіт дослідження стосувалися впливу фібри на тріщиностійкість та ударну стійкість, а також ряд спеціальних властивостей бетонів. Дані щодо впливу фібри на міцність бетонів розрізнені і суперечливі, хоча відзначено позитивний вплив поліпропіленової фібри на міцність бетону при згині. Однак, ці дослідження також потребують уточнення, особливо за розмірами волокон, їх кількості, характеру впливу, на міцність бетону при згині.

Досить докладно вплив якості заповнювачів, а також співвідношення між ними на міцність бетонів при згині було показано в роботах шкіл М.І. Волкова та І.М. Грушко, і пізніше – в роботах школи А.М. Плузіна, який основну увагу приділяє коефіцієнтам розсушення зерен крупного і дрібного заповнювачів. У дослідженнях інших авторів основна увага була приділена створенню максимально щільної упаковки частинок в бетоні. Показано, що це неприйнятно для дорожніх бетонів, в складі яких знаходяться повітровтягувальні добавки, які розуцільнюють структуру. Введення повітровтягувальних добавок необхідно для підвищення морозо- і корозійної стійкості бетонів. Крім того, в

дослідженнях відсутні дані щодо впливу лещадних частинок на властивості бетонів, в тому числі, міцність при згині. В першу чергу, це стосується кількості лещадних частинок в межах 5...25 %, що зазначені в нормативних документах, як допустимі для дорожніх бетонів верхніх шарів покриття. Все це вимагає проведення додаткових досліджень.

Найбільше число робіт було присвячено впливу хімічних і мінеральних добавок на властивості важких бетонів. В основному в дорожніх бетонах використовують суперпластифікатори на основі очищених лігносульфонатів, а також нафталін- або меламінсульфованих формальдегідів. Застосування сучасних полікарбоксилатних або поліакрилатних суперпластифікаторів в дорожніх бетонах практично не досліджено, відповідно, це стосується їх впливу на міцність при згині. У розділі показано позитивний вплив мікронаповнювачів і, зокрема активних мінеральних добавок на щільність і міцність бетонів. Однак, ці дослідження відносяться до бетонів для цивільного і промислового будівництва. Дослідження щодо впливу активних мінеральних добавок в дорожніх бетонах відсутні. Це ж відноситься до сучасних органо-мінеральних комплексів, що складаються з активної мінеральної добавки і полікарбоксилатних суперпластифікаторів. У розділі також показано, що дослідження щодо впливу повітровтягувальних добавок на міцність бетону при згині відсутні.

У **другому розділі** дисертації розглянуті теоретичні передумови підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг при згині. Обґрунтовано основні напрямки, що дозволяють підвищити міцність дорожніх бетонів при згині. Показано, що розтягуючи напруги, які виникають в дорожньому бетоні від зовнішніх механічних навантажень, а також градієнтів температури і вологості можуть досягати 3,5 МПа, а в умовах зростаючих зовнішніх навантажень ще більших величин. Визначено необхідний рівень міцності бетону при згині, що дозволяє протидіяти цим навантаженням – не менше 7 МПа. В якості основних способів підвищення міцності бетонів при згині виділені зниження водоцементного відношення (В/Ц), підвищення якості зони контакту між цементним каменем і заповнювачем, зменшення крупності щебеню і оптимізацію кількісного складу заповнювачів. У той же час, підвищення активності цементу і його витрати може привести до підвищення водопотреби, прискореному тужавленню цементного тіста, інтенсивної контракції, що неприпустимо за технологією влаштування покриттів і якості дорожнього бетону.

У розділі показано, що до складу дорожніх бетонів можуть входити спеціальні комплекси добавок, що забезпечують, наприклад, додатковий об'єм втягнутого повітря, стійкість до розшаровування і т.д., тому для вибору правильного співвідношення між заповнювачами необхідно забезпечувати не максимальну щільну упаковку частинок заповнювача, а застосовувати принцип розрахунку оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчинною



частиною, викладений в роботах А.М. Плугіна і його школи за відомими формулами:

$$\alpha_{opt} = 2,1 \cdot \left( 1 + \frac{d_n}{d_{щ}} \right)^3 - 1,1 \quad (1)$$

де  $d_n$  – середній розмір зерен піску переважаючого часткового залишку на ситі;  
 $d_{щ}$  – середній розмір зерен щебеню;

$$\alpha = \frac{\frac{Ц}{\rho_u^u} + Ц \cdot \frac{В}{Ц} + \frac{П}{\rho_u^n}}{\frac{Щ \cdot Пуст^u}{\rho_{нас}^u}} \quad (2)$$

де  $Ц$ ,  $П$ ,  $Щ$  – витрати цементу, піску і щебеню;  $\rho_u^u$  – істинна густина цементу;  
 $\rho_u^n$  – істинна густина піску;  $\rho_{нас}^u$  – насипна густина щебеню;  $Пуст$  – пористість щебеню;  $В/Ц$  – водоцементне відношення.

Такий розрахунок слід проводити для кожного випадку прийнятих дрібного і крупного заповнювачів.

Уточнено механізм впливу мінеральних добавок на структуру та міцність дорожнього бетону, який полягає в тому, що активні центри високодисперсних мінеральних добавок і цементних частинок вступають в реакцію з появою новоутворень, найбільш ймовірно в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач», що змінює властивості самої зони і всього бетону. Це сприяє зниженню небезпеки можливої взаємодії між реакційноздатним заповнювачем і лугами цементу. Крім того, активні мінеральні добавки (АМД) можуть змінювати порову структуру розчинної частини бетону. Наприклад, загальна пористість може залишатися незмінною, але в бетонах з АМД, за рахунок утворення гідросилікатних фаз типу CSH (I), зростає гелева пористість, мікропористість і зменшується капілярна пористість. У дослідженнях, проведених під керівництвом В.П. Сопова було показано, що АМД здатні нейтралізувати негативний вплив витрат цементу більше 500 кг/м<sup>3</sup> на усадку, контракцію і сприяють підвищенню однорідності структури. Л.О. Шейнічем та Є.К. Пушкарьовою показана також можливість поліпшення властивостей цементних композитів, що містять АМД за рахунок явищ самоорганізації структури.

Відзначено позитивну властивість АМД впливати на глибину карбонізації структури бетону. У ряді робіт показано, що поряд з карбонізацією може відбуватися «карбонатне» розчинення вихідних матеріалів. Це пов'язано з тим, що при незворотному переході гідроксиду кальцію в карбонат порушується динамічна рівновага між вихідною фазою і розчином за кількістю іонів Ca<sup>2+</sup>, що веде до інтенсивного розчинення аліту з виділенням в розчин портландиту, що

побічно підтверджують дослідження В.Б. Ратінова. Цьому ж сприяє здатність АМД змінювати характер розташування активних центрів на поверхні частинок.

У розділі дано теоретичне обґрунтування механізму впливу комплексів хімічних і мінеральних добавок на процеси структуроутворення у дорожніх бетонах. У проведених раніше дослідженнях показано, що дзета-потенціал частинок цементу в суспензіях, які містять полікарбоксилатні суперпластифікатори, набагато нижче, ніж у випадку меламін- або нафталінформальдегідних, але ефективність дії полікарбоксилатів вище. Тому, механізм дії полікарбоксилатів обумовлено проявом стеричного ефекту, тобто ефекту просторового відштовхування (забезпеченого наявністю довгих ланцюжків трансплантатів з нейтральної сторони), а не наявністю негативно заряджених аніонних груп ( $\text{COO}^-$ ), які відповідальні за адсорбцію молекул.

На думку Р. Лерміта роль повітровтягувальної добавки полягає в тому, щоб перетворити нерівномірно розподілене повітря і розподілити його у вигляді повітряних бульбашок діаметром 50...250 мкм. Кількість таких бульбашок в бетоні може становити  $5 \times 10^{11}$  штук в  $1 \text{ м}^3$  бетону. Ці бульбашки розташовуються між частинками піску і обволікаються плівкою рідкої фази, яка має

поверхневий натяг. Бульбашки, укріплені на частинках піску, сприяють виникненню між ними сил зчеплення, які досить істотні, якщо рахувати кількість

бульбашок. Якщо виходити з викладеного, то диспергована таким чином повітряна фаза здатна вплинути на зміну міцності бетонів при згині. У той ж час, при введенні АМД типу високодисперсної золи повітряна пористість зменшується, також як і розмір бульбашок.

Тому можливим є підвищення однорідності порової структури в присутності комплексу хімічних і мінеральних добавок. Для доказу цього проведено розрахунок стійкості повітряних бульбашок за формулою Лапласа

$$\Delta p = 4\sigma / r, \quad (3)$$

де  $\sigma$  – поверхневий натяг на межі «бульбашка-повітря»,  $r$  – радіус бульбашки, а коефіцієнт 4 показує те, що бульбашка має дві поверхні – внутрішню і зовнішню.

Дані оптичної мікроскопії дозволили визначити розміри повітряних бульбашок, розрахувати їх середній радіус і показати, що тиск усередині бульбашки в системі, яка містить комплекс суперпластифікатор (СП) + повітровтягувальна добавка (ПВД) + АМД вище, ніж в системі без АМД в 1,41 рази. За результатами підрахунку були побудовані гістограми розподілу пор за розмірами (рис. 1), які показали, що в присутності АМД змінюється характер пористості: збільшується мікропористість, знижується макропористість.

Також в розділі наведено теоретичні уявлення про процес поризації структури зони контакту у присутності лещадних частинок щебеню. Показано, що дослідження ряду авторів свідчать про можливість утворення пор і пустот під горизонтально або похило розташованими лещадними частками через те, що

при віброущільненні не збігається частота вібрації і власна частота коливання лещадних частинок. При цьому може також відбуватися «спливання» лещадних частинок в верхню частину бетону. Проведені дослідження зрізів структури бетону підтвердили це (табл. 1).

У розділі розглянуто також механізм впливу поліпропіленової фібри на підвищення міцності дорожніх бетонів. На думку ряду авторів роль фіброволокон полягає у тому, що вони, сприймаючи частину зовнішнього навантаження, перешкоджають розвитку тріщин. Тому руйнування має відбуватися за рахунок розриву і висмикування волокон. В цьому випадку фібра здатна внести найбільший внесок у приріст міцності бетону при згині. Раніше проведені в ХНАДУ дослідження показали, що оптимальною за міцністю є витрата фібри  $0,9...1 \text{ кг/м}^3$  бетонної суміші при її довжині 12 мм і діаметрі  $20...50 \text{ мкм}$ . Кількість волокон при цьому складе 500 млн. шт./ $\text{м}^3$  бетонної суміші.

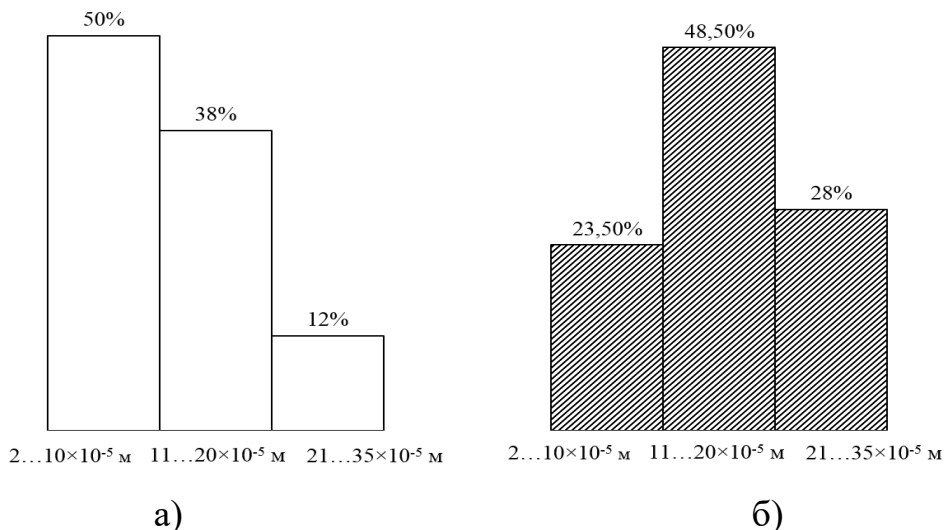


Рис. 1. Розподіл пор за розмірами, відсоток від загальної кількості: а) зразок, що містить СП, ПВД, та АМД; б) зразок, що містить СП і ПВД

Таблиця 1  
Зіставлення кількості лещадних частинок у різних частинах зразка бетону

Кількість лещадних частинок у щебені, %	Кількість лещадних частинок у різних частинах зразка бетону, шт.	
	Верхня частина зразка	Нижня частина зразка
5 %	3	6
15 %	9	4
25 %	12	6

Було встановлено, що поліпропіленова фібра рівномірно розподіляється в об'ємі суміші при її введенні в змішувач разом з щебенем. Розрахунок показав, що за умови рівномірного розподілу волокон по всіх трьох осях координат, приріст міцності бетону при згині за рахунок введення поліпропіленової фібри

досягає 3,38 МПа. Крім того, в розділі показано, що за рахунок здатності додатково залучати повітря поліпропіленова фібра може позитивно впливати на довговічність бетонів.

Була сформульована гіпотеза досліджень. Підвищення міцності бетону при згині можна забезпечити за рахунок введення в його склад сучасного полікарбонатного СП в комплексі з АМД і ПВД, що дозволить додатково диспергувати повітряні бульбашки, забезпечить рівномірний розподіл бульбашок і АМД в об'ємі бетону, активізує появу новоутворень в тому числі в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач» і підвищить щільність мікро- і мезорівнів структури бетону. При цьому необхідно розрахувати правильне співвідношення між крупним і дрібним заповнювачем в складі бетону. Введення до складу бетонної суміші поліпропіленової фібри певної довжини і кількості забезпечить додаткове збільшення міцності при згині за рахунок опору розриву і висмикуванню волокон із розчинної матриці.

У **третьому розділі** приведено характеристики матеріалів і методів досліджень, які використовувались у роботі. У експериментальних дослідженнях застосовували портландцементи марок ПЦ І-500-Н, ПЦ ІІ/А-Ш-400 Р, ПЦ ІІ/А-Ш-500 Р-Н, пісок кварцовий з модулем крупності 1,9 та 2,2, щебінь гранітний фракцій 5-10 мм та 10-20 мм. Як хімічні добавки застосовували суперпластифікатори – FK 88, Fk 59, повітровтягувальну добавку Centrament Air 202 фірми MC-Bauchemie (Німеччина), та Sika Plast 2508, Sika Plast 1135, повітровтягувальну добавку Sika Mix Plus фірми Sika (Швейцарія). Як активну мінеральну добавку (АМД) використовували порошкоподібну добавку «Універсал ВМ» виробництва ТОВ «Будіндустрія ЛТД» (м. Запоріжжя, Україна). У дослідженнях використовували поліпропіленову фібру типу «Мікроарм» виробництва ТОВ «ДІФ» (м. Дніпро, Україна). Склади бетону відповідали класу за міцністю на стиск В30 (марка за міцністю на стиск М400).

Фізико-механічні та експлуатаційні властивості бетону визначали за стандартними методами згідно діючих нормативних документів. Щільність, міцність

при стиску та згині, визначали на зразках-призмах розмірами 7×7×28 см та 4×4×16 см. Морозостійкість визначали на зразках-кубах розміром 7,07×7,07×7,07 см. Для зіставлення результатів досліджень використовували зразки-куби розміром 7,07×7,07×7,07 см.

Фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації цементного каменю і бетону проводили за допомогою рентгенофазового, диференційно-термічного аналізів, структуру бетону вивчали за допомогою оптичної мікроскопії. Для статистичної обробки експериментальних даних використовували математичні методи обробки результатів.

У **четвертому розділі** приведено результати експериментальних досліджень підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг при згині. Показано, що відомий спосіб поліпшення зони контакту «цементний камінь-заповнювач» за рахунок обробки поверхні щебеню розчинами солей, наприклад, хлориду заліза, дозволяє незначно підвищити міцність бетону при згині – до 9,5 %. Більший

ефект (до 20 %) забезпечує обробка щебеню водою. Однак, враховуючи, що на передових каменедробильних заводах щебінь миють, а також практичну неможливість виробляти таку обробку сьогодні в умовах ЦБЗ, цей спосіб не має практичного значення і далі не розглядався.

Відповідно до викладеного в розділі 2 було проведено розрахунок оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчинної частиною. Для піску з модулем крупності  $M_{кр} = 1,9$  найбільш представницької фракцією стала 0,315...0,63, тому середній розмір зерна склав 0,47 мм. Для гранітного щебеню фракції 5-10 мм середній розмір зерна 7,5 мм. Розрахунок показав, що  $\alpha_{опт}$  для цих матеріалів дорівнює 1,42. Далі варіювали співвідношення між крупним і дрібним заповнювачем в межах  $\Pi = 1000...400$  кг/м<sup>3</sup>,  $\Psi = 900...1500$  кг/м<sup>3</sup> при  $\text{Ц} = 350$  кг/м<sup>3</sup>. Підставляючи фактичні властивості застосовуваних матеріалів в формулу 2 отримали розрахункові значення  $\alpha$  для бетонних сумішей з СП і без СП (табл. 2).

Таблиця 2

Розрахункові значення фактичного коефіцієнту розсунення зерен щебеню

№ з/п	Співвідношення пісок : щебінь, кг	СП Sika Plast 2508, 1 %	В/Ц	$\alpha$
1	1000 : 900	без добавки	0,57	2,56
		з добавкою	0,49	2,46
2	800 : 1100	без добавки	0,54	1,83
		з добавкою	0,46	1,75
3	600 : 1300	без добавки	0,50	1,32
		з добавкою	0,44	1,27
4	400 : 1500	без добавки	0,46	0,95
		з добавкою	0,41	0,91

Очевидно, що найбільш близькими до  $\alpha_{опт}$  є  $\alpha = 1,32$  (бетон без СП) і  $\alpha = 1,27$  (бетон з СП). Проведений по цій же формулі розрахунок показав, що для досягнення оптимального коефіцієнта розсунення зерен щебеню в бетоні без добавок (при усередненому В/Ц = 0,52) витрати піску повинна бути 642 кг/м<sup>3</sup>, а витрати щебеню – 1258 кг/м<sup>3</sup>. Аналогічно для бетону з добавками витрати піску и щебеню для оптимального коефіцієнта розсунення повинні бути: пісок – 671 кг/м<sup>3</sup>, щебінь – 1229 кг/м<sup>3</sup>. Було виготовлено зразки бетонів наведених складів, які випробовували на міцність і за результатами побудовані графічні залежності міцності бетону від  $\alpha$  (рис. 2, 3).

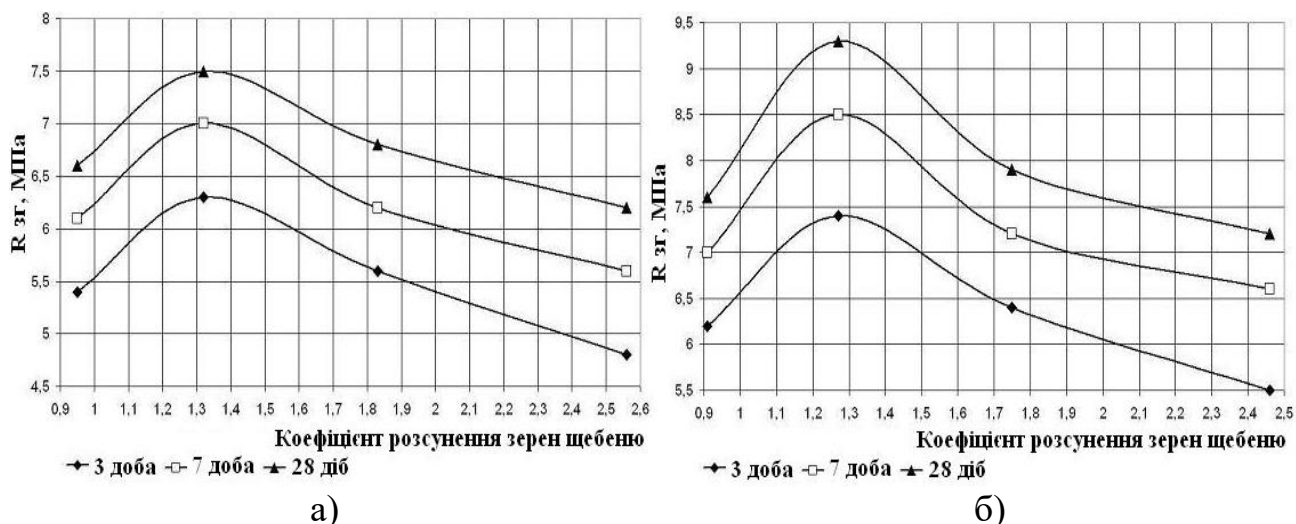


Рис. 2. Залежність міцності при згині бетону від  $\alpha$ : а) без добавки; б) з добавкою

Залежності мають екстремальний характер і показують, що для даних матеріалів оптимальним за міцністю при згині є  $\alpha \approx 1,3$ . За міцністю при стиску для бетонів з СП цей коефіцієнт займає область значень  $\alpha \approx 1,32 \dots 1,75$ .

У розділі наведені результати випробувань бетонів на цементі ПЦ І-500 Н на міцність при різному вмісті лещадних частинок в щебені (5...25 %). Вони показали, що при збільшенні вмісту лещадних частинок від 5 % до 15 % відбувається зниження міцності при згині до 14 %, а при стиску – до 5 %.

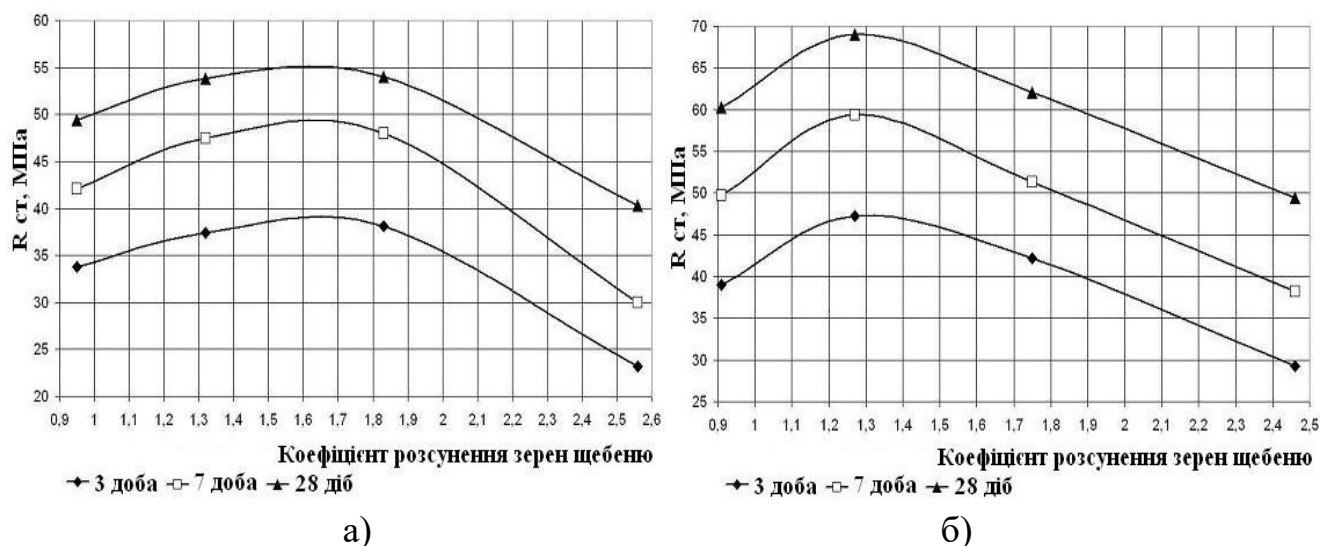


Рис. 3. Залежність міцності при стиску бетону від  $\alpha$ : а) без добавки; б) з добавкою

Наведено результати оптико-мікроскопічних досліджень зразків, що містять різну кількість лещадних частинок (рис. 4, 5). Аналіз показав, що можна чітко виділити межу зони контакту «цементний камінь-лещадний заповнювач» (рис. 4, а). Ця межа знаходиться під нижньою горизонтальною (а також під похилою) поверхнею лещадної частинки. До зони контакту примикає

«прикордонна» зона шириною до  $2...3 \times 10^{-4}$  м, в якій знаходиться велика кількість пор розміром  $0,8...1,2 \times 10^{-4}$  м. Це свідчить про недостатнє ущільнення зони контакту через велику площу лещадної частинки, під якою вібрація втрачає свою ефективність. У той же час, на верхньої поверхні частинки щебеню на тому ж зображенні (рис. 4, а), межа зони контакту відсутня, вона розмита. При цьому розчинна частина цього зразка досить однорідна (рис. 4, б). Спостерігаються рівномірно розподілені пори розміром  $1,2...2,4 \times 10^{-4}$  м, що свідчить про гарне ущільнення розчинної частини бетону. У складі з вмістом лещадних частинок 15 % (рис. 5, а) також можна побачити чітко представлену зону контакту «цементний камінь-щебінь» під лещадними частинками щебеню. Є також розмита «прикордонна» зона з великою кількістю пор більшого розміру ( $1,6...2,4 \times 10^{-4}$  м), ніж при вмісті лещадних частинок 5 %. В структурі розчинної частини бетону кількість пор більше (рис. 5, б). Розмір пор також збільшений в порівнянні з бетоном, що містить 5 % лещадних частинок. Помітно, що збільшення пористості зі збільшенням кількості лещадних частинок відбувається не стрибкоподібно, а плавно, що приводить до поступового зниження міцності бетонів.



Рис. 4. Структура бетону при вмісті лещадних частинок у щебені 5 %:  
а) зона контакту; б) розчинна частина



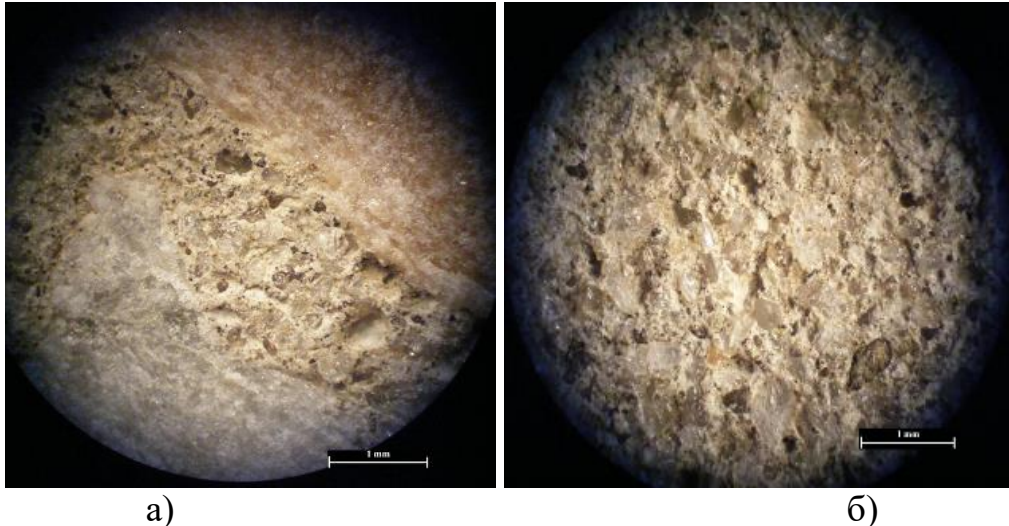


Рис. 5. Структура бетону при вмісті лещадних частинок у щебені 15 %:  
а) зона контакту; б) розчинна частина

Дослідження впливу лещадних частинок на міцність бетонів на цементі ПЦ II/A-III-400 показали, що при зниженні активності цементу і збільшенні вмісту в ньому шлаку міцність бетонів знижується в більшому ступені, ніж для бетонів на чистоклінкерних цементах – до 20 %. У розділі також показано, що основний негативний вплив лещадних частинок полягає в погіршенні якості структури бетону – зростанні пористості, що веде до підвищення водопоглинання на 40...80 % і зниження морозостійкості на 1...2 марки.

У розділі також наведені результати випробування впливу СП різного хімічного складу на міцність бетонів. При введенні СП міцність бетонів при згині зростає більшою мірою, ніж міцність при стиску (14...28 % і 9...17 % відповідно в різні терміни твердіння), але найбільший ефект характерний для бетонів з полікарбоксилатним СП. При цьому зростає однорідність структури, про що свідчить зниження коефіцієнта дефектності, який є відношенням міцності при стиску до міцності при згині (чим він менший, тим структура більш однорідна, а бетон – ізотропний). Можна сказати, що дія суперпластифікаторів переважно спрямована на зростання міцності при згині. Найімовірніше, вплив суперпластифікаторів різного типу направлено на поліпшення всіх елементів структури бетону, в тому числі, зони контакту, яка визначає міцність при згині.

Однак, ефективність полікарбоксилатного СП щодо впливу на міцність при згині знижується при переході до низькоякісних цементів, про що свідчать отримані дані.

Далі наведені дані дослідження впливу АМД «Універсал ВМ» на міцнісні властивості бетону. Оптимізація результатів дозволила визначити витрати добавки – 5...7 % від маси цементу. Дослідження показали, що застосування активної мінеральної добавки «Універсал ВМ», до складу якої входить до 0,1 % від маси цементу полікарбоксилатного суперпластифікатора дозволяє підвищити міцність бетону при згині, на 20 %, в той час, як міцність при стиску підвищується на 10,5 % (табл. 3). Застосування органо-мінерального комплексу,



що включає полікарбоксилатний суперпластифікатор і активну мінеральну добавку забезпечило зростання міцності бетонів на 38 % при згині і на 32 % при стиску в порівнянні з бетонами без цього комплексу. При цьому зниження коефіцієнта дефектності структури бетонів підтверджує поліпшення її однорідності.

Таблиця 3

Вплив органо-мінерального комплексу на міцність бетонів

Вид і кількість добавки, % від $m_{ц}$	$R_{зг}$ , МПа, у віці, діб.		$R_{ст}$ , МПа, у віці, діб.		$K_{деф}$ , у віці, діб.	
	<b>3</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>28</b>
Без добавки	4,36	5,51	31,3	40,0	7,18	7,26
«Універсал ВМ» – 5	5,78	6,57	35,0	44,2	6,06	6,72
«Універсал ВМ» – 5 + Sika Plast 2508 – 0,7	6,23	7,45	43,8	52,8	7,03	7,09

Наведено результати дослідження впливу додатково залученого повітря на міцність бетонів. Було встановлено, що при збільшенні вмісту об'єму втягнутого повітря в бетонну суміш незалежно від вмісту шлаку в складі цементу відбувається зниження міцності бетонів як при згині, так і при стиску, однак, міцність при стиску знижується в 1,5...2 рази більшу величину, ніж міцність при згині. Дослідження кінетики набору міцності бетонами з різним об'ємом втягнутого повітря показали, що зростання міцності бетонів при згині в часі відбувається швидше, ніж при стиску. Крім того, набір міцності бетонів при згині триває постійно протягом до 120 діб, а при стиску практично припиняється через 28 діб природного твердіння. Це ще раз підтверджує, що об'єм втягнутого повітря змінює порову структуру бетонів і не зачіпає структуру зони контакту.

Дослідження впливу комплексів добавок на міцність бетонів показали, що при приблизно одноковому об'ємі втягнутого повітря в бетонну суміш, введення АМД «Універсал ВМ» приводить до збільшення міцності бетону в порівнянні з бетоном без АМД на 12,0...16 % при згині і на 7,7...12,4 % при стиску (табл. 4). Ці дані побічно підтверджують те, що в присутності АМД формується більш дрібна пористість, а також поліпшується якість зони контакту і підвищується однорідність бетону.

Результати дослідження впливу поліпропіленової фібри на властивості дорожніх бетонів, наведені в розділі, дозволили встановити, що при оптимальному вмісті поліпропіленової фібри міцність на розтяг при згині фібробетонів без СП зростає у порівнянні з бетонами без фібри на 40 %. Приблизно на стільки ж поліпшується коефіцієнт дефектності структури бетону.

Таблиця 4

Вплив комплексів добавок на міцність бетонів

Вид та кількість добавок, % від $m_c$	Об'єм втягнутого повітря, %	$R_{зг}$ , МПа, у віці діб.		$R_{ст}$ , МПа, у віці діб.		$K_{деф}$ , у віці діб., ( $R_{ст}/R_{зг}$ )	
		7	28	7	28	7	28
Fk 59 – 0,7 % + Air 202 – 0,07 %	4,5	5,92	7,51	34,6	48,3	5,84	6,43
Fk 59 – 0,7 % + Air 202 – 0,1 % + «Універсал ВМ» – 5 %	4,2	6,86	8,38	38,9	52,0	5,64	6,20

Зменшення  $K_{деф}$  в даному випадку відбувається за рахунок переважного зростання міцності при згині. Також проводили експериментальні дослідження щодо впливу комплексу добавок, що включає СП + ПВД + АМД + фібра, і співвідношення між двома фракціями щебеню ( $\text{Щ}_{5-10} : \text{Щ}_{10-20} = 25 : 75 \dots 60 : 40$  %) на міцність дорожніх бетонів. Дослідження показали, що при введенні до складу дорожніх бетонів органо-мінерального комплексу і поліпропіленової фібри, при збільшенні кількості щебеню дрібної фракції, відбувається зниження міцності при стиску на 2,0...7,5 %. У разі, якщо вміст крупного щебеню більше, ніж дрібного, то зниження міцності не відбувається. Це можна пояснити тим, що при правильно обраному співвідношенні між фракціями щебеню формується щільний каркас. При цьому міцність бетону на розтяг при згині зростає і досягає 8...8,1 МПа.

Показано, що при введенні до складу бетону поліпропіленової фібри відбувається значне зниження коефіцієнта дефектності структури бетону, як в жорстких, так і помірно рухомих сумішах. Це зниження відбувається на тлі постійного збільшення міцності бетону при згині. Тому можна сказати, що введення фібри і зростання міцності при згині сприяє підвищенню однорідності структури бетону і поліпшенню ізотропності його властивостей.

Дослідження впливу фібри також показали, що морозостійкість фібробетонів зростає на 1...2 марки в порівнянні з бетонами без фібри, що обумовлено не тільки повітровтягувальною здатністю фібри, а й збільшенням міцності бетону при згині.

Також в розділі наведені результати фізико-хімічних досліджень. Дериватографічним та рентгенофазовим дослідженням піддавали проби цементного каменю з АМД і без неї, відібрані із зони контакту «цементний камінь-заповнювач» і з середньої частини зразка. Дослідження показали, що в зразках без АМД вміст низькоосновних гідросилікатів типу CSH (I), а також портландита більше в середній частині, ніж в зоні контакту. У зразках з АМД, також при меншому вмісті портландита, вміст низькоосновних гідросилікатів в 2,2 рази вище в зоні контакту, ніж в середній частині зразка, що підтверджує висловлені раніше теоретичні положення про зв'язуванні портландита в CSH (I) і переважному утворенню в зоні контакту.

У розділі 5 запропоновані рекомендації щодо виготовлення бетонних сумішей для бетонів з підвищеною міцністю на розтяг при згині. Розроблено

склади бетону з підвищеною міцністю на розтяг при згині. Згідно розроблених рекомендацій та проведених експериментальних досліджень було проведено впровадження при виготовленні бетонних сумішей і будівництві бетонних основ і покриттів трамвайних переїздів в м. Харкові та була побудована монолітна бетонна плита над конструктивом станції метро «Перемога». Результати досліджень використано при розробці проекту ДСТУ XXXX:20XX «Суміші цементобетонні та цементобетон дорожні. Технічні умови». Розроблено та затверджено 4 галузевих нормативних документа на суміші фібробетонні та фібробетони, пісні цементобетонні суміші для укочуваних цементобетонів. Розрахунковий загальний економічний ефект від впровадження розробки за рахунок підвищення міцності при згині, часткової економії цементу склав 195 тис. 480 грн. Крім того відбувається збільшення терміну служби покриття у 2 разі за рахунок підвищення марки за морозостійкістю, що дозволяє економити на експлуатаційних витратах. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі ХНАДУ при підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія», спеціалізація «Автомобільні дороги та аеродроми», «Мости та транспортні тунелі».

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. На основі аналізу літературних даних показано, що основними компонентами структури, які безпосередньо впливають на міцність дорожніх бетонів

при згині є: зона контакту «цементний камінь-заповнювач», співвідношення між крупним і дрібним заповнювачами, наявність лещадних частинок, поліпропіленової фібри, а також органо-мінерального комплексу, до складу якого

крім суперпластифікатора і мінеральної добавки може входити також повітровтягувальна добавка.

2. Встановлено, що при оптимальному коефіцієнті розсунення зерен щебеню розчинною частиною,  $\alpha_{\text{опт}}$ , який залежить від фізико-механічних властивостей крупного та дрібного заповнювачів, витрат заповнювачів, цементу і води, а також наявності або відсутності суперпластифікатора полікарбонатного типу, міцність бетону при згині зростає на 20...30 %. Коефіцієнт  $\alpha_{\text{опт}}$  визначають розрахунковим шляхом і, виходячи з властивостей компонентів бетонної суміші, приймають максимально близьке до  $\alpha_{\text{опт}}$  співвідношення між заповнювачами.

Показано, що збільшення кількості лещадних частинок в межах, передбачених нормативними документами (5...25 % від загальної кількості щебеню) приводить до концентрації лещадних частинок у верхній частині бетону (до 2 разів більше, ніж в нижній частині), а також утворення зон підвищеної пористості в зоні контакту і перехідній зоні під такими частинками. Це приводить до зниження однорідності бетону, про що свідчить підвищення

коефіцієнта дефектності структури, і зниження міцності бетону при згині на 15...20 %, морозостійкості – на 1 марку, підвищення водопоглинання на 70...80 %.

3. Встановлено, що введення суперпластифікаторів в бетонну суміш сприяє підвищенню міцності бетону при згині (до 28 %) більшою мірою, ніж при стиску (до 18 %) і найбільший ефект забезпечують полікарбоксилатні суперпластифікатори. При цьому коефіцієнт дефектності структури знижується на 10 %, що свідчить про підвищення однорідності бетону. Показано, що при переході до низькоалітових цементів ефективність полікарбоксилатів знижується. Застосування органо-мінерального комплексу, що складається з полікарбоксилату і активної мінеральної добавки (АМД) приводить до підвищення міцності бетону при згині до 40 %, а міцності при стиску – до 32 % при одночасному підвищенні однорідності структури.

4. Показано, що введення малорозчинних АМД приводить до зміщення рівноваги реакції гідролізу аліта, сприяючи збільшенню кількості портландита, що утворюється, який вступає в реакцію з АМД та утворює низькоосновні гідросилікати кальцію (ГСК), кількість яких за даними фізико-хімічного аналізу, перевищує кількість ГСК в бетоні без АМД до 2,2 рази. Доведено, що переважне утворення таких ГСК відбувається в зоні контакту «цементний камінь-заповнювач» та прилеглий зоні. При цьому міцність бетону при згині зростає на 19 %, а при стиску – на 10 %.

5. Встановлено, що застосування повітровтягувальної добавки приводить до зниження міцності бетону в тим більшій мірі, чим більший об'єм втягнутого повітря. При цьому міцність при згині знижується до 9,5 %, а при стиску – до 21,8 %, але коефіцієнт дефектності знижується до 20 % в порівнянні з бетонами без повітровтягувальної добавки, що свідчить про підвищення однорідності структури. Введення АМД в бетон спільно з органо-мінеральним комплексом приводить до зміни порової структури бетону в порівнянні з бетоном без АМД: кількість пор радіусом  $2...10 \times 10^{-5}$  м зростає в 2,1 рази – (до 50 % від загальної кількості), а кількість пор великого радіусу  $2,1...3,5 \times 10^{-4}$  м знижується в 2,5 рази (до 12 %), стійкість повітряних бульбашок зростає на 40 %. Це приводить до переважного зростання міцності при згині (на 12 %).

6. Показано, що для дрібнозернистих бетонів оптимальною є витрата поліпропіленової фібри  $0,9 \text{ кг/м}^3$ , при її довжині 12 мм, що дозволяє підвищити міцність при згині на 18...40 %, однорідність структури на 20...35 % і збільшити морозостійкість на 1...2 марки в порівнянні з бетонами без фібри. Приріст міцності бетону при згині за рахунок введення фібри, який визначено розрахунковим шляхом, склав 3,38 МПа (до 42 % від загальної міцності), що узгоджується з отриманими експериментальними даними. Введення органо-мінерального комплексу спільно з фіброю дозволяє забезпечити рівномірно розподілену мікропористість, що сприяє зменшенню негативного ефекту зниження міцності при згині за рахунок додатково залученого повітря, викликаного дією фібри.

7. За результатами роботи розроблено та знаходиться на стадії затвердження проект ДСТУ ХХХХ:20ХХ «Суміші цементобетонні та цементобетон дорожні. Технічні умови», а також розроблено та затверджено 4 галузевих нормативних документа на суміші фібробетонні та фібробетони, пісні цементобетонні суміші для укочуваних цементобетонів. Результати досліджень впроваджені при реконструкції 14-ти трамвайних переїздів в м. Харкові, а також при будівництві монолітної бетонної плити над конструктивом станції метро «Перемога». Економічний ефект від впровадження розробки за рахунок підвищення міцності при згині, економії цементу і підвищення довговічності бетону на об'єктах дорожнього будівництва склав 49 грн. на 1 м<sup>3</sup> бетону.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Публікації у фахових виданнях України:*

1. Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов С. М., Плугін Д. А., Мойсеєва П. Е. Вплив коефіцієнта розсунення зерен щебеню розчином на міцність цементних бетонів при згині. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. Харків, 2017. Вип. 169. С. 64–72. (Index Copernicus). (Особистий внесок: проведені розрахунки коефіцієнту розсунення зерен щебеню розчинною частиною для складів бетону з різним співвідношенням заповнювача.)
2. Захаров Д. С. Аналіз факторів, впливаючих на прочність при изгибе бетонов транспортного назначения. *Вестник ХНАДУ*. Харків, 2017. Вып. 79. С. 151–157. (Index Copernicus).
3. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С. Дослідження впливу повітроутягування на міцність дорожніх бетонів. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса, 2017. Вип. 68. С. 96–101. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення об'єму втягнутого повітря у цементобетонних сумішах.)
4. Толмачов С. М., Рідкозубов О. О., Захаров Д. С. Проблеми підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць*. Луцьк: Луцький нац. технічн. ун-т, 2015. Вип. 4. С. 219–225. (Особистий внесок: проведено аналіз підвищення міцності дорожніх бетонів на розтяг при згині.)
5. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С. Вплив масштабного фактора при оцінки міцності бетону при згині. *Науково-технічний збірник «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво»*. Київ: НТУ, 2017. Вип. 100. С. 91–96. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення міцності при згині бетону в залежності від розмірів зразків балочок.)
6. Толмачов С. М., Беліченко О. А., Захаров Д. С., Черногал Р. Ю. Вплив лещадних частинок на міцність при згині дорожніх бетонів. *Нові технології в будівництві*. 2017. № 32. С. 53–60. (Особистий внесок: експериментальні дослідження визначення міцності при згині бетону з різним вмістом лещадних частинок у щебені.)

**Публікація у зарубіжному фаховому періодичному виданні:**

7. Толмачев С. Н., Редкозубов А. А., Захаров Д. С. Пути повышения однородности битумов. *Автомобильные дороги*. 2016. № 2. С. 51–54. (Особистий внесок: проведено експериментальні дослідження властивостей бетонів з різним співвідношенням заповнювачів та на різних за природою заповнювачах.)

**Публікації апробаційного характеру:**

8. Tolmachov S., Belichenko O., Zakharov D. Influence of additives on flexural strength of concrete. *MATEC Web of Conferences* 116, 01019 (2017), Transbud 2017. – DOI: 10.1051/matecconf/201711601019. (Scopus). (Особистий внесок: дослідження впливу комплексу СП і АМД на міцність бетонів.)

9. Захаров Д. С., Толмачов С. М. Вплив суперпластифікатора на міцність цементобетонів при різному співвідношенні заповнювачів. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд та будівель на залізничному транспорті: Тези доповідей 6-ої Міжнародної науково-технічної конференції (Харків, 19 – 21 квітня 2017 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 23–24. (Особистий внесок: експериментальні дослідження впливу СП на міцність при згині дорожніх бетонів.)

10. Беліченко О. А., Захаров Д. С. Особливості впливу різної кількості лещадних частинок у щебені на властивості цементобетонів. *Ефективні технології в будівництві: програма та тези доповідей II Міжнародної науково-технічної конференції (м. Київ, 6 – 7 квітня 2017 р.)*. Київ: КНУБА, 2017. С. 173. (Особистий внесок: оптико-мікроскопічні дослідження структури бетонів з різним вмістом лещадних частинок у щебені.)

11. Захаров Д. С. Особливості впливу різних факторів на міцність дорожніх цементобетонів. *Ефективність підприємства – інноваційні технології та економічні рішення: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 7 – 8 червня 2018 р.)*. Харків: ХНУБА, 2018. С. 7–8.

**Додаткові публікації:**

12. Толмачев С. Н., Беліченко Е. А., Захаров Д. С. Повышение свойств дорожных бетонов введением полипропиленовой фибры. *Строительные материалы и изделия*. 2016. № 1 (91). С. 76–79. (Особистий внесок: визначено вплив кількості фібри на міцність при згині цементобетону.)

13. Толмачев С. Н., Захаров Д. С. Влияние заполнителей на прочность дорожных бетонов. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса «Атлант», 2016. Вип. 63. С. 191–196. (Особистий внесок: визначення впливу співвідношення між крупним та дрібним заповнювачами на міцність бетону.)

14. Захаров Д. С., Палант О. В., Толмачов Д. С., Усік П. С. Конструкція деформаційних швів при монолітній підрейковій основі трамвайних колій. *Науковий вісник будівництва*. Харків, 2016. № 3 (85). С. 242–245. (Особистий внесок: запропоновано технологію улаштування деформаційних швів розширення та стиску на монолітній підрейковій основі.)

## АНОТАЦІЯ

**Захаров Д.С. Дорожні цементні бетони з високою міцністю на розтяг. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 – будівельні матеріали та вироби. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена актуальній проблемі підвищенню міцності дорожніх цементобетонів на розтяг при згині за рахунок підвищення ефективності застосування його структурних компонентів. Для її вирішення на підставі аналізу літературних даних виділені основні компоненти бетону, що впливають на міцність бетонів при згині.

У роботі отримали подальший розвиток теоретичні уявлення про вплив хімічних і активних мінеральних добавок та їх комплексів на процеси структуроутворення в зоні контакту. Показано, що введення активної мінеральної добавки приводить до утворення більшої кількості низькоосновних гідросилікати кальцію переважно в зоні контакту та прилеглий зону, що доведено експериментально. Запропоновано і обґрунтовано механізм впливу лещадних частинок. Показано, що при віброущільненні лещадні частинки переміщуються в верхню частину бетону, при цьому під ними і в зоні контакту утворюється підвищена пористість. За допомогою оптико-мікроскопічних досліджень структури бетону запропоновано і обґрунтовано механізм впливу активної мінеральної добавки, який полягає в диспергуванні великих повітряних бульбашок і утворенні підвищеної кількості мікропор. Виконано відповідні розрахунки, що підтверджують це. Показано, що при введенні оптимальної кількості поліпропіленової фібри необхідних геометричних розмірів міцність дорожнього бетону при згині і його морозостійкість зростають. Проведені фізико-хімічні дослідження продуктів гідратації цементного каменю, що містить органо-мінеральний комплекс і активну мінеральну добавку. Проведено дослідно-промислове впровадження результатів досліджень. Розроблено проект державного стандарту України, а також 4 галузевих нормативних документа. Розраховано економічний ефект від впровадження.

**Ключові слова:** активна мінеральна добавка, дорожній бетон, лещадна частинка, міцність при згині, міцність при стиску, органо-мінеральний комплекс, поліпропіленова фібра, структура бетону, суперпластифікатор.

## АННОТАЦИЯ

**Захаров Д.С. Дорожные цементные бетоны с высокой прочностью на растяжение. – Рукопись.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.05 – строительные материалы и изделия. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена актуальной проблеме повышения прочности дорожных цементобетонных конструкций на растяжение при изгибе за счет повышения эффективности применения его структурных компонентов. Для ее решения на основании анализа литературных данных выделены основные компоненты бетона, влияющие на прочность бетонов при изгибе: зона контакта «цементный камень-заполнитель», качество и соотношение между заполнителями, лещадные частицы, суперпластификаторы, воздухововлекающие и минеральные добавки и полипропиленовая фибра.

В работе получили дальнейшее развитие теоретические представления о влиянии химических и активных минеральных добавок и их комплексов на процессы структурообразования в зоне контакта. Показано, что введение активной минеральной добавки приводит к образованию большего количества низкоосновных гидросиликатов кальция в зоне контакта и прилегающей зоне, что доказано экспериментально. Предложен и обоснован механизм влияния лещадных частиц. Показано, что при виброуплотнении лещадные частицы перемещаются в верхнюю часть бетона, при этом под ними и в зоне контакта образуется повышенная пористость.

С помощью оптико-микроскопических исследований структуры бетона с различными добавками предложен и обоснован механизм влияния активной минеральной добавки, который заключается в диспергировании крупных воздушных пузырьков и образовании повышенного количества микропор из пузырьков повышенной устойчивости. Выполнены соответствующие расчеты, подтверждающие это. Показано, что при введении оптимального количества полипропиленовой фибры необходимых геометрических размеров прочность дорожного бетона при изгибе и его морозостойкость возрастают. Проведены физико-химические исследования продуктов гидратации цементного камня, содержащего органо-минеральный комплекс и активную минеральную добавку. Разработаны рекомендации по изготовлению бетонов с повышенной прочностью на растяжение при изгибе. Проведено опытно-промышленное внедрение результатов исследований при строительстве бетонных оснований и покрытий трамвайных



переездов в г. Харькове. Разработан проект ДСТУ XXXX:20XX «Смеси цементобетонные и цементобетон дорожные. Технические условия», а также разработаны и введены в действие 4 отраслевых нормативных документа. Расчетный экономический эффект от внедрения составил 195 тис. 480 грн.

**Ключевые слова:** активная минеральная добавка, дорожный бетон, лещадная частица, прочность при изгибе, прочность при сжатии, органо-минеральный комплекс, полипропиленовая фибра, структура бетона, суперпластификатор.

## ABSTRACT

**Zakharov D.S. Road cement concrete with high flexural strength. – Manuscript.**

Thesis for the degree of candidate of technical sciences by specialty 05.23.05 – building materials and products. – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The thesis is devoted to the actual problem of increasing the flexural strength of road cement concrete by increasing the effectiveness of its structural components. For its solution, based on the analysis of literary data, the main components of the concrete are determined, which influence on the flexural strength of concrete.

Theoretical understanding of the effect of chemical and active mineral additives and their complexes on the structure formation processes in the contact zone of cement stone-aggregate was further developed. It is shown that the introduction of an active mineral additive leads to the formation of a large amount of low-basic calcium hydro-silicates, mainly in the contact zone and the adjacent zone, which has been experimentally proved. The mechanism of the influence of the flat particles is proposed and substantiated. It has been shown that during vibrocompaction, flat particles move to the upper part of the concrete, and at the same time, increased porosity is formed under them and in the contact zone. With the aid of optical microscopic studies of the concrete structure, the mechanics of the action of an active mineral additive, which consists in the dispersion of large air bubbles and the formation of an increased number of micropores, is proposed and substantiated. Conducted calculations that confirm this. It is shown that with the introduction of the optimal amount of polypropylene fiber of the required geometric dimensions, the flexural strength of road concrete and its frost resistance increase. Physical and chemical studies of the hydration products of cement stone, which contains an organo-mineral complex and a mineral additive, have been carried out. Conducted pilot implementation of research results. A draft state standard of Ukraine, and 4 regulatory documents. The calculation of the economic effect was carried out.

**Key words:** active mineral additive, road concrete, flat particle, flexural strength, compressive strength, organo-mineral complex, polypropylene fiber, concrete structure, superplasticizer.

## **АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

### **ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ З ВИСОКОЮ МІЦНІСТЮ НА РОЗТЯГ**

**ЗАХАРОВ ДЕНИС СЕРГІЙОВИЧ**

Підписано до друку 01.06.2019 р.

Формат 60 x 84 1/16. Папір офсетний.

Друк-цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № 19060101

---

Надруковано у копії-центрі «МОДЕЛІСТ»  
(ФО-П Миронов М.В., Свідоцтво ВО4№022953)

м. Харків, вул. Мистецтв, 3 літер Б-1

Тел. 7-170-354

**[www.modelist.in.ua](http://www.modelist.in.ua)**