

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

**БРАЖНИК Ганна Володимирівна**

УДК 666.972.53:666.972.16

**МОНОЛІТНІ ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ  
ВИСОКОЇ МОРОЗОСТІЙКОСТІ  
З ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ ТА ФІБРОЮ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків - 2015

Дисертацією є рукопис.

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

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент  
Сопов Віктор Петрович,  
Харківський національний університет будівництва та  
архітектури, завідувач кафедри фізико-хімічної механіки та  
технології будівельних матеріалів і виробів;

кандидат технічних наук, доцент  
Троян Вячеслав Васильович,  
Київський національний університет будівництва  
і архітектури, доцент кафедри технології  
будівельних конструкцій і виробів.

Захист відбудеться «29» жовтня 2015 р. о «15<sup>00</sup>» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.02 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий «25» вересня 2015 р.

В.о. ученого секретаря  
спеціалізованої вченої ради,  
д.т.н., проф.

Фалендиш А.П.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Одним з недоліків існуючих дорожніх цементобетонних покриттів і виробів є їх швидке руйнування в результаті недостатньої морозостійкості бетону. На довговічність дорожніх бетонів основний вплив має нераціональне використання добавок, порушення технології приготування, транспортування і укладання бетонної суміші, посилення агресивної дії сучасних протижелезних реагентів. Недостатньо враховано комплексний вплив різних добавок на структуру дорожніх бетонів. Існуючі теоретичні уявлення про характер морозного впливу вимагають уточнення. Сучасні технології бетонів дозволяють змінити властивості бетонних сумішей і самих бетонів в широких межах. Для цього використовують комплекси хімічних добавок тонкоподрібнених наповнювачів, фібру різного походження. Застосування фібри, зокрема поліпропіленової, приводить до зниження міцності бетону при стиску до 25 %. Деякі автори відзначають, що такого не відбувається. Відомо, що традиційним шляхом підвищення морозостійкості дорожніх бетонів є застосування повітроутягуючих добавок. Повітроутягуючі добавки забезпечують необхідний вміст повітряних пор в бетоні на рівні 4 – 6 %, що потрібне для морозостійкості, але при цьому істотно знижують міцність. Дослідження різних авторів за впливом органомінеральних комплексів на основні експлуатаційні показники бетонів - міцність та морозостійкість - суперечливі: в одних випадках відзначене поліпшення цих характеристик при введенні мікронаповнювача в комплексі з суперпластифікатором, в інших випадках показано, що морозостійкість не змінюється або погіршується.

Тому актуальним є подальше дослідження впливу хімічних і мінеральних добавок, а також вивчення характеру морозного руйнування бетону в їх присутності і розробка технології одержання дорожніх цементних бетонів з підвищеною морозостійкістю, що забезпечить високу довговічність дорожніх бетонів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у складі держбюджетних тем плану НДР на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України (Укравтодор) № ДР 0110U004478 «Розробити склади і технологію виготовлення дорожніх цементних бетонів з оптимізованим повітроутягненням», № ДР 0110U003856 «Розробити рекомендації та технологічний регламент на виготовлення бетонних бортових каменів з морозостійкістю не менше F300», № ДР 0108U007434 «Розробити технологію використання поліпропіленової фібри при виготовленні монолітних і збірних цементобетонних конструкцій», та госпдоговірної теми за замовленням ПАТ «Будівельне управління № 813» № ДР 0109U008122 «Науково-технічний

супровід при будівництві цементобетонних верхніх шарів аеродромного покриття аеропорту м. Харкова».

**Мета дослідження:** розробити склади та технологію отримання морозостійкого дорожнього цементобетону, що містить органомінеральний комплекс та поліпропіленову фібру.

**Задачі дослідження:**

1. На основі аналізу літературних джерел дослідити причини морозного руйнування дорожніх бетонів і оцінити чинники, що впливають на морозо- і морозосолестійкість бетонів.

2. Вивчити і розвинути існуючі теоретичні уявлення про механізм морозносолевого руйнування та підвищенні морозостійкості дорожніх бетонів.

3. Дослідити вплив повітроутягуючих добавок та їх комплексів з карбоксилатними суперпластифікаторами на фізико-механічні властивості бетону.

4. Вивчити вплив органомінерального комплексу, повітроутягуючих добавок і поліпропіленової фібри на структуру бетону та його фізико-механічні властивості.

5. Провести фізико-хімічні дослідження структури бетону на різних рівнях з комплексами хімічних і мінеральних добавок та поліпропіленової фібри.

6. Розробити рекомендації з виготовлення бетонних сумішей з оптимізованим повітроутягненням і провести промислову перевірку результатів дослідження.

**Об'єкт дослідження** - дорожні цементобетони з хімічними, мінеральними добавками та поліпропіленовою фіброю.

**Предмет дослідження** - закономірності зміни технологічних властивостей бетонних сумішей і експлуатаційних властивостей дорожніх бетонів з органомінеральним комплексом та поліпропіленовою фіброю.

**Методи дослідження.** Основні експериментальні дослідження виконані за допомогою стандартних методів визначення технологічних властивостей бетонної суміші, фізико-механічних та експлуатаційних показників бетону. Дослідження структури і фазового складу цементного бетону проводили за допомогою оптичної мікроскопії та диференційно-термічного аналізу. Для вивчення порового простору бетону застосовували методику льодоутворення в бетонах, основу на методі ДСК О.В. Ушєрова-Маршака.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

1. Розвинені теоретичні уявлення про механізм морозносолевого руйнування дорожніх бетонів в різних рідких агресивних середовищах, який полягає у спільному впливі на структуру бетону гідравлічного тиску води, а також тиску льоду, що кристалізується, солей та новоутворень, що складаються з продуктів реакції алюмінатних фаз і солей.

2. Проведено розрахунок осмотичного тиску та визначено критичні концентрації хлористої солі для різних температур, що підсилюють морозне руйнування дорожніх бетонів.

3. Запропоновано механізм формування порової структури бетону з органомінеральним комплексом та фіброю, який полягає в диспергуванні великих бульбашок повітря, що утягуються в суміш при перемішуванні фіброю і мікронаповнювачем, та утворенні мікропористості, що є причиною меншого зниження міцності бетону у порівнянні із застосуванням повітроутягуючої добавки при однаковому повітроутягненні.

4. Досліджено вплив органомінеральних комплексів на повітроутягнення бетонної суміші, збереження її властивостей у часі в залежності від рухомості та присутності повітроутягуючих добавок і поліпропіленової фібри.

5. Вивчено вплив органомінеральних комплексів індивідуально та спільно з повітроутягуючою добавкою і поліпропіленовою фіброю на морозостійкість та фізико-механічні властивості бетонів.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано склади дорожнього бетону з комплексом добавок, а також рекомендації з виготовлення бетонних сумішей з оптимізованим повітроутягненням для бетонів високої морозостійкості. За результатами досліджень було проведено дослідно-промислове впровадження при будівництві злітно-посадкової смуги і перону в аеропорту м. Харкова. Розрахункова економічна ефективність впровадження склала 18 тис. 760 грн. та збільшення терміну служби покриття в 1,33 рази. При безпосередній участі автора розроблені нормативні документи: Р В.2.7-218-02071168-788:2011 «Рекомендації по технології виготовлення цементобетонних сумішей з оптимізованим повітроутягуванням для бетонів з маркою по морозостійкості не менш F200»; ТР 02071168/31911658-412:2012 «Технологічний регламент на виготовлення каменів бетонних бортових з морозостійкістю не менш F300»; ТР 218-02071168-403:2009 «Технологічний регламент на виготовлення бетонних сумішей з поліпропіленовою фіброю і виробів на їх основі».

**Особистий внесок здобувача.** Огляд літератури за темою досліджень, узагальнення даних про причини морозного руйнування дорожніх бетонів, експериментальні дослідження та аналіз їх результатів. Розробка гіпотези і нових наукових положень виконані спільно з науковим керівником. Впровадження результатів досліджень виконано спільно зі співавторами публікацій. Участь автора в публікаціях відображено в списку опублікованих робіт.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи були викладені на: 74-ій науково-технічній та науково-методичній конференції, присвяченій 80-річчю ХНАДУ (м. Харків, 19 – 23 квітня 2010 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Ефективні організаційно-технологічні рішення та енергозберігаючі технології в будівництві та реконструкції будівель та споруд» (м. Харків, 20 – 21 квітня

2010 р.); 3-й Міжнародній науковій конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Геодезія, архітектура та будівництво» (ГАС-2010) (м. Львів, 25 – 27 листопада 2010 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Бетони та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва і застосування» (м. Київ, 16 – 17 лютого 2011 р.); X Міжнародній конференції молодих вчених, аспірантів, студентів «Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій» (м. Макіївка, 21 – 22 квітня 2011 р.); 5-й Международной научно-технической конференции по строительным материалам, конструкциям и сооружениям «Проблемы надежности и долговечности инженерных сооружений и зданий на железнодорожном транспорте» (м. Харків, 23 – 24 квітня 2015 р.), 73-й Міжнародній науково-технічній конференції кафедр академії, інженерно-технічних працівників залізниць, підприємств та організацій України та інших країн (м. Харків, 12 – 13 квітня 2011 р.).

**Публікації.** За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 14 робіт, у тому числі 7 – в журналах і збірниках, рекомендованих МОН України, 1 – у зарубіжному виданні, що входить до міжнародної наукометричної бази даних, 4 – у матеріалах наукових конференцій та 2 – додаткові.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається із вступу, 5 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 153 найменувань та 4 додатків. Загальний обсяг дисертації 158 сторінок, у тому числі 127 сторінок основного тексту, 42 рисунка, 22 таблиці.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації. Сформульована мета та поставлені задачі дослідження, визначено об'єкт та предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Відображені наукові положення та результати досліджень, які виносяться на захист. Наведено відомості щодо структури дисертації, публікації та апробації роботи.

**У першому розділі** дисертації викладені погляди різних дослідників на причини руйнування бетонів при одночасному впливі на них механічних, фізичних і фізико-хімічних агресивних факторів. Вивченням причин руйнування бетонів і проблемами довговічності займалися В.І. Бабушкін, Г.І. Горчаков, В.С. Гладков, І.М. Грушко, Є.А. Гузеєв, Г.Г. Добролюбов, Л.М. Добшиц, П.Г. Комохов, І.М. Красний, Б.О. Крилов, А.В. Лагойда, С.А. Миронов, В.М. Москвін, М.А. Мощанский, А.М. Плугін, О.С. Попова, В.Б. Ратінов, Н.М. Свіриденко, В.П. Сизов, В.І. Соломатов, В.П. Сопов, В.Ф. Степанова, В.В. Стольников, С.М. Толмачов, О.В. Ушеров-Маршак, А.Є. Шейкін, С.В. Шестоперов, А.Г. Шлаєн, А.М. Шейнін та багато інших вчених. Ними встановлені основні фактори, що впливають на морозо- та морозосолестійкість бетонів. Основні - це величина водоцементного відношення; тонкість помелу, мінеральний склад та ступінь гідратації цементу;

вид заповнювачів; умови твердіння, склад, щільність і вік бетону; показники пористості бетону та інші. Ступінь морозного впливу в цілому визначається фазовими переходами вологи в бетоні та його капілярно-пористою структурою. Показано, що основними причинами морозного руйнування бетону покриття є заморожування води в порах і капілярах, розпушення поверхневого шару бетону, подальше його стирання та наступне пошарове руйнування структури, яке поширюється в глибину масиву.

Розглянуто сучасні способи підвищення морозостійкості бетонів. До них на сьогоднішній день можна віднести два основних:

- первинний захист. Застосовується на стадії підбору складу бетону, шляхом його раціонального проектування із застосуванням сучасних хімічних і мінеральних добавок. При цьому необхідно вдосконалення технологічних прийомів виготовлення бетонних сумішей з цими добавками, якісне ущільнення і догляд за монолітним бетоном;

- вторинний захист. Застосовується для бетону, що експлуатується, з метою відновлення частково втрачених його експлуатаційних властивостей або з метою профілактики. Найбільш ефективним способом в цих випадках є нанесення на поверхню бетону просочувальних складів.

Найбільш ефективним способом підвищення морозостійкості важких бетонів, в тому числі дорожніх, може стати правильний вибір і застосування комплексу хімічних і мінеральних добавок. Наведено класифікації добавок по В.Б. Ратінову, Л.І. Дворкіну та ДСТУ Б В.2.7-171, залежно від основного ефекту їх дії, який надає позитивний вплив на морозостійкість бетонів.

Показано, що основним позитивним ефектом дії суперпластифікуючих добавок є водозниження, сприяюче ущільненню, зміцненню структури бетону. Однак, думки вчених з приводу формування в бетонах з суперпластифікаторами умовно замкнутої мікропористої структури неоднозначні і вимагають уточнення.

Основним ефектом дії повітроутягуючих добавок є: забезпечення утримання додаткової кількості повітря в бетонній суміші, яке, у свою чергу, забезпечує необхідну морозостійкість. Але введення додаткової кількості повітря порізує структуру бетону, погіршує його міцність, стиранність і водопоглинання, що робить необхідним оптимізацію кількості залученого повітря.

Наведено узагальнену класифікацію мінеральних добавок (згідно з даними В.В. Троян) і показано, що основними ефектами їх дії можуть бути: ущільнення мікро- та мезоструктури бетону (неактивні добавки), зв'язування вільної вологи і колоїдація (високодисперсні мінеральні речовини), зниження пористості, кольматація пор і дефектів у випадку хімічної активності (активні добавки). Показані їх різновиди.

На основі досліджень Н.Ф. Афанасьєва, О.В. Кунцевіча, В.С. Гладкова, В.Г. Батракова, В.М. Москвіна, В.Н. Юнга встановлено, що підвищення морозостійкості бетонів може бути забезпечено застосуванням не тільки

повітроутягуючих, але й гідрофобізуючих добавок. Показано що, при порушеннях технологічних режимів при спільному введенні суперпластифікатора та повітроутягуючої добавки крім позитивних ефектів існує небезпека можливої коалесценції повітряних бульбашок, їх злиття в макробульбашки, та різкого зменшення кількості залученого повітря при транспортуванні та укладанні бетонної суміші.

Дослідження С.С. Гордона, В.М. Вирового, Л.І. Дворкіна, В.І. Калашнікова, Р.Ф. Рунової, В.І. Соломатова, К.К. Пушкарьової, П.В. Кривенка, О.Г. Ольгінського по застосуванню мікронаповнювачів в бетоні показали, що застосування мікронаповнювачів сприяє зміні характеру мікропористості цементного каменю у бік утворення дрібних і замкнених пор; підвищенню міцності; водо- та корозійної стійкості бетону. Не менш важливо те, що наповнювачі знижують об'ємні деформації та тепловиділення в масивних конструкціях. При цьому важливу роль відіграють дисперсність та активність поверхні мікронаповнювача. Оптимальною є питома поверхня мікронаповнювача, яка близька до цементу.

Розглянуто досвід застосування різних видів фібр в дорожніх цементних бетонах. Показано, що різні види фібр (зокрема сталева, поліамідна, вуглецева, поліпропіленова та ін. види) можуть підвищувати деформаційні властивості бетонів, що особливо важливо для підвищення тріщиностійкості, довготривалої міцності і витривалості дорожніх бетонів. Однак, при цьому може знижуватися міцність бетонів при стиску. Найбільш технологічною для застосування в бетонах, більш деформативною та хімічно інертною є поліпропіленова фібра. Показано, що ефективність поліпропіленової фібри в бетонах, в значній мірі, залежить від розмірів і конфігурації. На сьогоднішній день досвід застосування поліпропіленової фібри в дорожніх бетонах недостатній. Показано актуальність розширення досліджень, зокрема, за впливом поліпропіленової фібри на повітроутягнення бетонних сумішей та морозостійкість бетонів.

Наведено огляд застосування різних просочувальних складів для вторинного захисту цементного бетону. Показано, що їх застосування дозволяє відновити захисні властивості поверхневого шару бетону. Встановлено, що найбільш економічними і досить ефективними є просочувальні склади на основі органосилоксанів.

Сформульовано мету та задачі дослідження.

**У другому розділі** розглянуто існуючі теорії морозного руйнування цементних бетонів. Показано, що проблемами підвищення довговічності бетонів займалися Л.О. Алімов, В.І. Бабушкін, Ю.М. Бутт, Г.І. Горчаков, І.М. Грушко, Б.В. Гусєв, Є.А. Гузеєв, Г.Г. Добролюбов, Л.М. Добшиц, П.Г. Комохов, І.М. Красний, Б.О. Крилов, А.В. Лагойда, В.М. Москвін, М.А. Мощанський, Т. Пауерс, О.С. Попова, В.Б. Ратінов, Н.М. Свіриденко, В.П. Сизов, В.І. Соломатов, В.П. Сопов, В.Ф. Степанова, В.В. Стольніков, С.М. Толмачов, О.В. Ушеров-Маршак, А.Є. Шейкін, А.М. Шейнін, С.В. Шестоперов та інші вчені. В усіх дослідженнях було враховано те, що



основними причинами морозного руйнування бетонів є кристалізаційний тиск льоду при заморожуванні води та гідравлічний тиск води при утворенні льоду. Третім фактором вважається осмотичний тиск, однак, прямі дослідження його величини відсутні. Показано, що в умовах роботи дорожніх бетонів, крім цих трьох факторів на їх довговічність впливають також рідкі сольові агресивні середовища, насичення-висушування, нагрівання-охолодження, а також механічні стираючі навантаження. Тому довговічність дорожніх бетонів визначається сукупністю дії всіх факторів, що описано. Нагрівання-охолодження небезпечно в жаркий період часу, механічні стираючі навантаження проявляються після морозної деструкції поверхневого шару бетону. Тому для дорожніх бетонів основним показником довговічності є морозосолестійкість. Однак, на сьогодні відсутня єдина думка про теорію морозосольового руйнування дорожнього бетону.

Показано, що важливу роль відіграє порова структура бетону. Для забезпечення високої морозостійкості необхідне зменшення капілярної пористості та зменшення розміру пор.

Було проведено розрахунок величини осмотичного тиску розчину солі. В основі розрахунку лежить відома формула Вант-Гоффа для осмотичного тиску істинних розчинів:

$$P = \frac{c \cdot R \cdot T}{M}, \quad (1)$$

де  $M$  – маса одного моля розчиненої речовини;

$c$  – вагова концентрація розчиненої речовини;

$R = 8,31$  Дж/(Кмоль) або Нм/(Кмоль) - універсальна газова постійна;

$T$  – температура в градусах Кельвіна.

Розчинність кухонної солі в залежності від температури становить:

– при  $-18$  °С  $c = 23,88$  % або  $282,8$  кг/м<sup>3</sup>,

– при  $+20$  °С  $c = 26,43$  % або  $317,2$  кг/м<sup>3</sup>,

– для NaCl  $M = 58,5 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

При максимальній розчинності NaCl при 293 К граничний осмотичний тиск складає:

$$P = \frac{317,2 \cdot 8,31 \cdot 293}{58,5 \cdot 10^{-3}} = 13202189 \text{ Па} = 13,2 \text{ МПа} .$$

При максимальній розчинності хлориду натрію при 255 К граничний осмотичний тиск складає:

$$P = \frac{282,8 \cdot 8,31 \cdot 255}{58,5 \cdot 10^{-3}} = 10243886 \text{ Па} = 10,2 \text{ МПа} .$$

Була визначена критична концентрація сольового розчину, при якій можливе руйнування бетону в результаті осмотичного тиску. Граничне розтягуюче напруження, яку може витримати дорожній бетон М400 (клас В30) по І.М. Грушко буде 4 МПа. Критичні концентрації солі склали:

- при 255 К:  $c = 110,43 \text{ кг/м}^3$  або 12,4 %;
- при 293 °С:  $c = 96,1 \text{ кг/м}^3$  або 10,6 %.

Оскільки випробування дорожнього бетону на морозостійкість проводять, використовуючи розчин NaCl концентрацією 5 %, то величина осмотичного тиску, який виникає при цьому:

- при 255 К:

$$P = \frac{5,263 \cdot 8,31 \cdot 255}{58,5 \cdot 10^{-3}} = 190642 \text{ Па} = 0,19 \text{ МПа} ,$$

- при 293 К:

$$P = \frac{5,263 \cdot 8,31 \cdot 293}{58,5 \cdot 10^{-3}} = 219051 \text{ Па} = 0,22 \text{ МПа} .$$

При такій концентрації солі осмотичний тиск не надає істотного впливу на морозостійкість дорожнього бетону.

У дослідженнях М. Moukwa, Г.Г. Добролюбова, В.Б. Ратінова, С.В. Шестоперова показано, що поведінка бетону в умовах одночасної дії знакозмінних температур і солей аналогічна його поведінці при дії розчинів солей. Це дозволяє припустити, що ще одним фактором морозносольового руйнування бетону є кристалізаційний тиск солей в порах бетону.

Показано, що на сьогодні найбільш ефективний спосіб підвищення морозостійкості забезпечується застосуванням комплексу суперпластифікатора та повітроутягуючої добавки. Наведено розрахункові формули визначення пористості різних структурних рівнів бетону. Дано класифікації пор по Г.І. Горчакову та В.П. Сопову, що дозволяють виділити вид і розмір пор, які сприяють підвищенню якості бетону. Розглянуто механізм утворення умовно замкненої пористості, який засновано на кольматації верхньої частини пор та капілярів продуктами гідратації цементу.

Показано, що наявність будь якої пористості, а особливо додатково утвореної, може призвести не тільки до підвищення морозостійкості, а й до істотного зниження міцності та інших характеристик бетону. Тому необхідна оптимізація кількості пор в бетоні для забезпечення високих показників морозостійкості та міцності. Відзначено, що, на думку деяких вчених, введення суперпластифікатора призводить до підвищення кількості великих пор.

Для оптимізації структури пор відносно морозостійкості дорожніх бетонів, до їх складу доцільно вводити органомінеральні комплекси, що містять

суперпластифікатор і мінеральний мікронаповнювач. Крім цього, для додаткового підвищення міцності бетону на розтяг при згині в бетон вводять поліпропіленову фібру, яка може сприяти додатковому повітроутягненню.

Сформульовано гіпотезу дослідження.

**У третьому розділі** наведені характеристики матеріалів і методів досліджень, які використовувались у роботі. Для експериментальних досліджень застосовували: цемент ПЦ І-500 Н Івано-Франківського, Балакліївського та Амвросіївського цементних заводів; піски кварцові з модулем крупності 1,39 і 1,8; щебінь гранітний фракцій 5-10, 5-20 і 10-20 мм. В якості добавок суперпластифікаторів застосовували добавки FM21, BV-12 (фірма BASF, Німеччина), Супер ПК, Темп 4 (фірма «Будіндустрія» ЛТД, Україна), SM-12, SM-21 (фірма ALPI, Україна), FK 88, MC-PowerFlow 2695 (фірма MC-Bauchemie, Німеччина), Sika 2508 HE (фірми Sika, Швейцарія), повітроутягуючі добавки Lp75 (фірма BASF, Німеччина), Sika Mix Plus (фірми Sika, Швейцарія), протиморозну добавку Frigidol (фірма DEITERMANN, Німеччина). В якості мікронаповнювача використовували комплексну добавку Універсал ВМ системи Релаксол (фірма «Будіндустрія» ЛТД, Україна). В якості армуючого волокна використовували фібру поліпропіленову (ТОВ ПМТС «Спецнаб», Україна); гідроізоляційні просочувальні склади Conwisol S-60 (фірма ALPI, Україна) і «Силол» (НВП «Крок», Україна); протиожеледні реагенти «Арктика ДГ» і «Зліт - 1».

Технологічні властивості бетонної суміші, фізико-механічні та експлуатаційні властивості бетону (морозостійкість, водопоглинання, стиранність) визначали за стандартними методами у відповідності з діючими нормативними документами.

Для оцінки фазового складу і структури цементного бетону після дії солей використовували фізико-хімічні методи аналізу: диференційно-термічний аналіз за допомогою дериватографа Q-1500D, оптико-мікроскопічні дослідження за допомогою мікроскопа LABOVAL-4. Для оцінки порового простору бетону була використана методика льодоутворення у бетонах, яка заснована на методі ДСК О.В. Ушєрова-Маршака.

Для обробки експериментальних даних використовували математичні методи обробки результатів.

**У четвертому розділі** наведено результати експериментальних досліджень технологічних властивостей бетонних сумішей і експлуатаційних властивостей бетонів з органомінеральним комплексом, які містять також повітро-утягуючу добавку (ПУ) та поліпропіленову фібру (Ф). Показано, що при введенні в бетонну суміш повітроутягуючої добавки міцність бетонів знижується різним чином. Виділено три області повітроутягнення (рис. 1): 1 - 1,6...6 % - міцність при стиску знижується на 8...10 % на кожен відсоток залученого повітря; 2 - 6...9,5 % - міцність знижується на 7...8 %; 3 - 9,5...12 % - міцність знижується на 5 %.

Дослідження морозостійкості бетону при різній кількості залученого повітря показали (рис. 2), що без повітроутягуючої добавки (склад 1) і надмірному вмісті повітря (склад 7) морозостійкість різко знижується. Бетони з повітроутягненням в діапазоні від 3,2 до 6 % мають максимальну морозостійкість F400. Також при збільшенні залученого повітря більше 4 % зростає водопоглинання на 19 %, що побічно характеризує відкриту пористість, і водонасичення на 24 %, що побічно характеризує відкриту і частково умовно замкнену пористість.

Проведені оптико-мікроскопічні дослідження підтвердили утворення кристалів повареної солі у порах цементного каменю (рис. 3). У початковий період випробувань на морозостійкість це призвело до підвищення міцності бетону і зростанню  $K_{\text{мрз}}$ , а після певної кількості циклів заморожування-відтавання - до різкого зниження морозостійкості через утворення тріщин під дією напружень від солі, яка кристалізується. У бетонах, які проходили випробування у воді, підвищення міцності під час досліджень не спостерігали.



Рис. 1. Залежність міцності бетонів при стиску від кількості залученого повітря

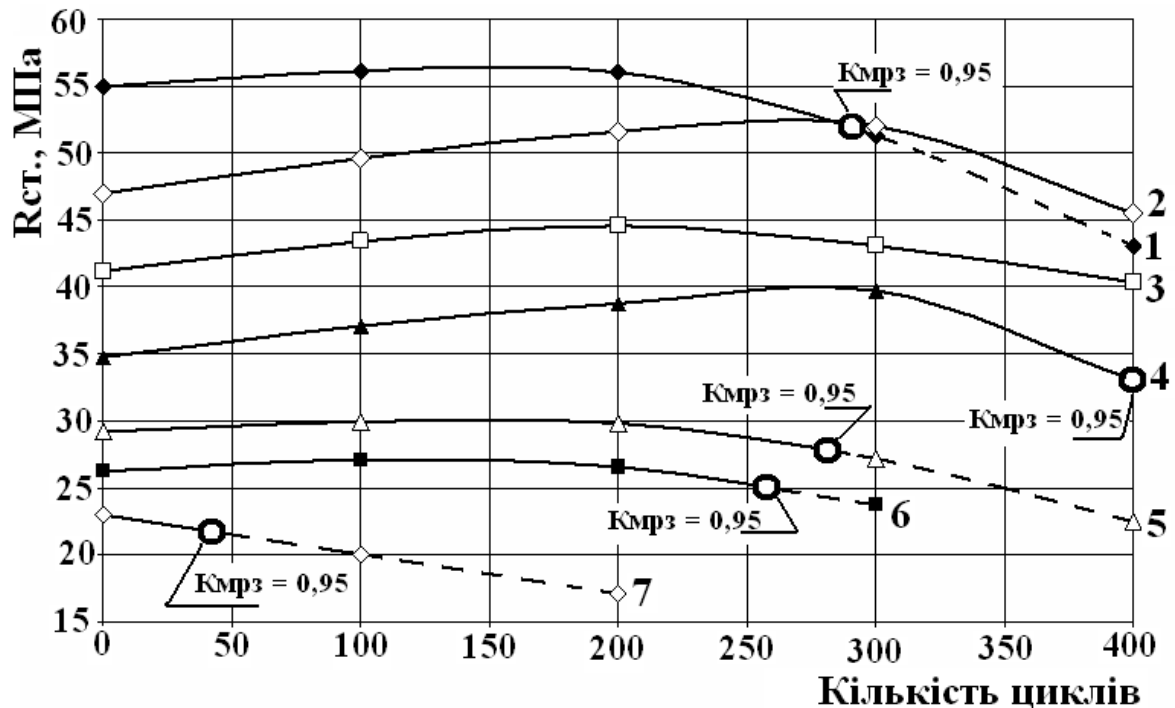


Рис. 2. Морозостійкість бетонів з різним повітроутягненням: 1) повітроутягнення 1,6 %; 2) повітроутягнення 3,2 %; 3) повітроутягнення 4,1 %; 4) повітроутягнення 6,0 %; 5) повітроутягнення 8,0 %; 6) повітроутягнення 9,5 %; 7) повітроутягнення 12,0 %

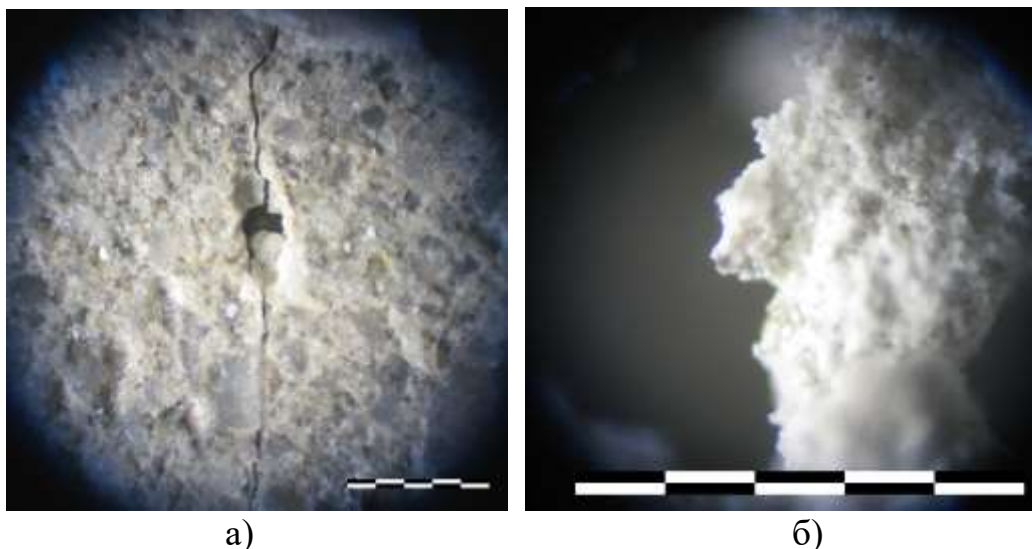


Рис. 3. Зріз зразка після 400 циклів заморожування на повітрі і відтавання в розчині солі за звичайною методикою: а) магістральна тріщина (збільшення x32); б) кристал солі (збільшення x100)

Проводили дослідження в середовищі протиожеледних реагентів - розчинах кухонної солі, антифризі «Зліт-1» (який містить солі фосфати, сульфати, хлориди і нітрати, концентрацією 20 %) та антифризі «Арктика ДГ» (який містить діетиленгліколь). Вони показали, що при випробуванні в розчині

«Зліт-1» до основних трьох факторів морозносолевого руйнування бетону (гідравлічний тиск води, кристалізаційний тиск солей та льоду) додається осмотичний тиск. Ці фактори призвели до швидкого руйнування бетону. У цьому випадку ефективним стає застосування вторинного захисту бетону шляхом його просочення захисними складами, що підтверджено експериментально. У реагенті «Арктика ДГ», який не заморожується при температурі  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  навпаки, при випробуваннях відбувається постійне зростання міцності бетону, що свідчить про продовження гідратації. Це підтверджено дослідженнями набору міцності у часі бетонів тих же складів, які тверділи при нормальних умовах у період випробувань. Дослідження показали, що при твердінні бетонів в умовах негативних температур, навіть при наявності в їх складі протиморозної добавки, погіршується їх морозостійкість (на марку), а стиранність та водопоглинання зростає. Це призводить до необхідності застосування методів захисту бетону, наприклад, методу термоса.

Досліджено вплив рухомості бетонних сумішей на вміст у них залученого повітря та морозостійкість бетонів із таких сумішей. Вони показали, що найбільш небезпечною з точки зору зниження морозостійкості є бетонна суміш рухомості П4.

Наведено результати дослідження впливу органомінерального комплексу добавок, що включає суперпластифікатор на полікарбоксилатній основі Sika2508 HE (СП) і мікронаповнювач Універсал ВМ (МКН), а також повітроутягуючу добавку (ПУ) і поліпропіленову фібру (Ф) на вміст залученого повітря у бетонну суміш. Показано, що мікронаповнювач зменшує повітроутягнення в бетонній суміші, що призвело до необхідності введення у суміш повітроутягуючої добавки або фібри. Встановлено, що введення поліпропіленової фібри довжиною 6...18 см у кількості  $0,5...1,0\text{ кг/м}^3$  разом з органомінеральним комплексом дозволяє забезпечити повітроутягнення на рівні 3,4...4,4 % (при оптимальній довжині фібри 12 мм). Застосування повітроутягуючої добавки в цьому випадку необов'язкове або доцільне при транспортуванні бетонної суміші на великі відстані, при якому повітроутягнення зменшується. При цьому витрата повітроутягуючої добавки може бути зменшена у 2 рази. У складі бетонної суміші, що містить фібру, зниження повітроутягнення та осідання конуса в часі відбувається більш повільно, ніж у складах з повітроутягуючою добавкою. Це дозволяє збільшувати дальність транспортування таких сумішей. Оптико-мікроскопічні дослідження структури бетону показали, що введення фібри дозволяє формувати в бетоні із повітряних бульбашок мікропористу структуру (рис. 4).

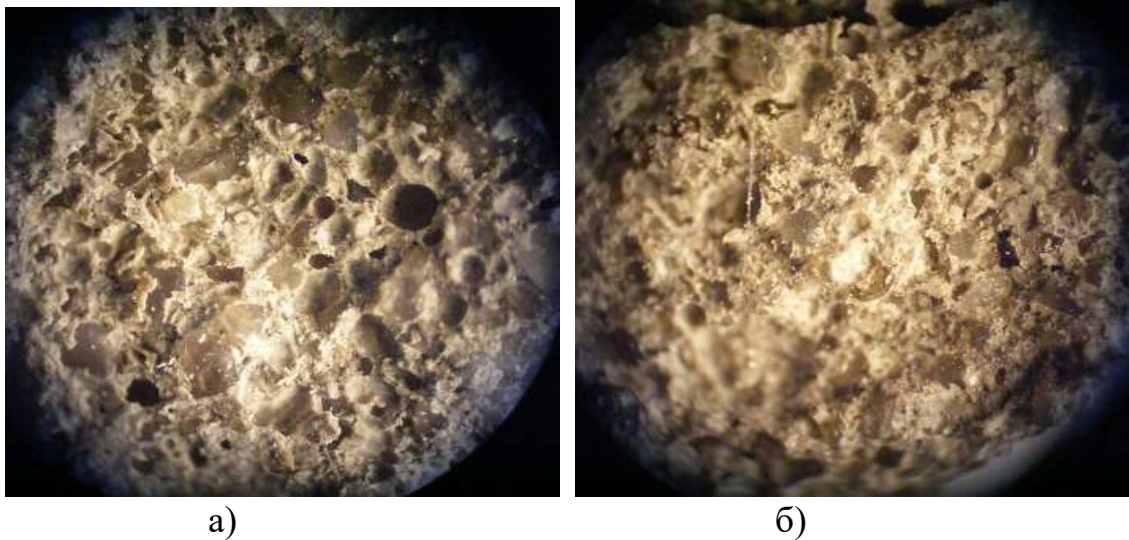


Рис. 4. Оптико-мікроскопічне зображення структури бетону з різними добавками (збільшення  $\times 32$ ): а) склад з СП + МКН + ПУ; б) склад з СП + МКН + Ф

Представлені результати оцінки характеру розподілу пор в бетонах з добавками за методикою, в основі якої лежить залежність температури льодоутворення від розміру пор. Дослідження показали, що в діапазоні мікропор від 3 до 6 нм їх розподіл однаковий у всіх складах, що містять органомінеральний комплекс та повітроутягуючу добавку або фібру. У діапазоні більших пор їх розподіл більш рівномірний у складі, в якому містяться органомінеральний комплекс, а також фібра та повітроутягуюча добавка Sika Mix Plus - від 15,6 до 92 нм. Досить широко представлений діапазон пор у складі з органомінеральним комплексом - від 25,86 до 90,92 нм. Найбільш вузький діапазон розмірів пор у складі, в якому міститься суперпластифікатор та фібра - 82,73...95 нм.

Дослідження показали, що у бетонних сумішах з органомінеральним комплексом відсутнє розшарування, а для всіх інших складів, що містять суперпластифікатор Sika 2508 HE та повітроутягуючу добавку Sika Mix Plus або фібру, розшарування мінімальне (табл. 1).

Максимальна міцність бетону спостерігається у складі, що містить органомінеральний комплекс і фібру при кількості залученого повітря 4,4 % і морозостійкості F 350. У складах бетону без мікронаповнювача, які містять повітроутягуючу добавку або фібру, морозостійкість трохи вище – F 400. Було показано, що застосування фібри замість повітроутягуючої добавки призвело до меншого зниження міцності бетону при однаковому повітроутягненні (табл. 2).

Таблиця 1

Технологічні властивості бетонних сумішей  
та експлуатаційні показники бетонів з різними добавками

№ п/п	Експлуатаційні показники:	Вид добавок			
		СП + МКН+ Ф + ПУ	СП + МКН + Ф	СП + Ф	СП + ПУ
1	Кількість утягнутого повітря, %	6,4	4,4	4,7	4,8
2	Розшаровуваність, %	0	0	0,5	1,0
3	Міцність, МПа	42,3	55,0	48,6	44,1
4	Щільність, кг/м <sup>3</sup>	2340	2420	2380	2340
5	Стиранність, гр/см <sup>2</sup>	0,30	0,18	0,25	0,3
6	Водопоглинання, % по масі	2,8	1,5	2,2	2,2

Таблиця 2

## Вплив повітряутягнення бетонної суміші на міцність бетону

№ п/п	Вид добавки	Кількість утягнутого повітря, %	R <sub>ст</sub> <sup>7діб</sup> , МПа	R <sub>ст</sub> <sup>28діб</sup> , МПа
1	СП + ПУ	4,0	27,2	54,3
		6,1	22,8	45,9
2	СП + Ф	3,8	33,3	64,3
		6,0	29,4	56,8

Проведено диференційно-термічний аналіз цементного каменю до випробування на морозосолестійкість та після 200 циклів випробувань, який показав, що у складах з органомінеральним комплексом до випробувань зменшується кількість портландіту, але зростає кількість гідросилікатних новоутворень у порівнянні зі складом без добавок. Після 200 циклів випробувань кількість Ca(OH)<sub>2</sub> у складі з органомінеральним комплексом зростає, що свідчить про тривалі процеси гідролізу. На всіх дериватограмах після 200 циклів з'являються ендоефекти в області 330 та 500...510 °С, які свідчать про утворення гідрохлоралюмінатів. В області 930 °С на дериватограмі контрольного складу з'являється ендоефект, характерний для гідрокарбоалюмінатів складу 3CaO Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> CaCO<sub>3</sub> 10H<sub>2</sub>O, який відсутній в більш щільному складі з органомінеральним комплексом. Ці дані підтверджують те, що в порах та дефектах можливе відкладення солей і новоутворень типу гідрохлоралюмінатів та гідрокарбоалюмінатів, які сприяють руйнуванню структури цементного каменю.

**У 5 розділі** запропоновано рекомендації по виготовленню бетонних сумішей з оптимізованим повітроутягненням для бетонів високої морозостійкості. За запропонованими рекомендаціями та на підставі проведених досліджень було проведено впровадження при будівництві перону та злітно-посадкової смуги в аеропорту м. Харкова. Економічна ефективність



впровадження склала 18 тис. 760 грн. та збільшення терміну служби цементобетонного покриття у 1,33 рази.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. З огляду літературних джерел встановлено, що існуючі гіпотези морозного руйнування бетонів в якості основних причин виділяють кристалізаційний тиск льоду при заморожуванні води в порах і капілярах та гідравлічний тиск води, який викликано льодоутворенням. Відсутня єдина думка про роль осмотичного тиску, як фактора руйнування. Показано, що для дорожніх бетонів, які крім знакозмінних температур піддаються також сольовій агресії в середовищі NaCl та інших агресивних протиожеледних реагентів, механізм руйнування відрізняється від вищевказаного.

2. На підставі проведеного розрахунку величин осмотичного тиску при різних температурах показано, що його руйнівна дія проявляється при концентраціях вище 10,6...12,4 %. Встановлено, що основними причинами морозносольового руйнування дорожніх бетонів є гідравлічний тиск води в порах та капілярах, який викликано кристалізацією льоду, тиск самого льоду і тиск в порах від солей, що кристалізуються, та новоутворень - продуктів реакції солей та вуглекислого газу з алюмінатними фазами клінкеру.

3. Експериментально доведено, що при випробуванні бетону на морозосолестійкість за основною методикою на першому етапі відбувається зміцнення структури за рахунок гідратації мінералів клінкеру, що триває і ущільнення пор і дефектів продуктами кристалізації солей та новоутворень. Після досягнення максимуму міцності відбувається різке її зниження і падіння морозостійкості, що приводить до руйнування бетону.

4. Встановлено існування трьох областей зниження міцності бетонів на кожен відсоток залученого повітря: у першій - міцність знижується на 8...10 %, у другій - на 7...8 %, у третій - на 5 %. Обсяг залученого повітря в бетонну суміш може бути зменшений без зниження морозостійкості.

5. Показано, що при випробуванні дорожнього бетону на морозосолестійкість в умовах дії складних сольових середовищ, з концентрацією неорганічних солей більше 20 %, руйнування бетону прискорюється за рахунок впливу осмотичного тиску. При дії на бетон концентрованих антифризів типу багатоатомних спиртів, міцність і морозосолестійкість бетонів може зростати або залишатися постійною протягом 400 циклів випробувань.

6. Встановлено, що первинний захист бетону - застосування органомінерального комплексу та повітроутягуючої добавки або поліпропіленової фібри, яка сприяє додатковому повітроутягненню, забезпечує морозосолестійкість дорожніх бетонів на рівні не нижче марки F 350...F400. Вторинний захист бетону - застосування просочувальних складів ефективний у

разі необхідності відновлення властивостей поверхні бетону, що експлуатується або з метою посилення цих властивостей.

7. Експериментально доведено, що найменшу морозостійкість в середовищах мають бетони з рухомістю П4. Показано, що застосування органомінерального комплексу спільно з поліпропіленою фіброю дозволяє забезпечити вміст додатково залученого повітря на рівні 4,0...4,7 % при забезпеченні високої морозостійкості. Введення додатково повітроутягуючої добавки в цьому випадку може привести до надлишкової поризації структури і зниження експлуатаційних показників бетону.

8. Встановлено, що збереження рухомості бетонної суміші та вмісту залученого повітря у часі в бетонних сумішах з органомінеральним комплексом та поліпропіленою фіброю вище, ніж в сумішах з повітроутягуючою добавкою. Застосування поліпропіленої фібри замість повітроутягуючої добавки при однаковому повітроутягненні приводить до меншого зниження міцності бетону за рахунок утворення переважно мікропор.

9. За результатами роботи розроблено нормативні документи: Р В.2.7-218-02071168-788:2011 «Рекомендації по технології виготовлення цементобетонних сумішей з оптимізованим повітроутягуванням для бетонів з маркою по морозостійкості не менш F200», ТР 02071168/31911658-412:2012 «Технологічний регламент на виготовлення каменів бетонних бортових з морозостійкістю не менш F300», ТР 218-02071168-403:2009 «Технологічний регламент на виготовлення бетонних сумішей з поліпропіленою фіброю і виробів на їх основі».

10. На підставі проведених досліджень було здійснено дослідно-промислове впровадження результатів дисертаційної роботи при будівництві злітно-посадкової смуги та перону в аеропорту м. Харкова. Економічна ефективність впровадження склала 18 тис. 760 грн. при розрахунковому збільшенні терміну служби цементобетонного покриття у 1,33 рази.

## **ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ ОПУБЛІКОВАНІ В ТАКИХ РОБОТАХ**

*Статті у наукових фахових виданнях:*

1. Толмачев С.Н. / Особенности морозносолевого воздействия на свойства аэродромных бетонов / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева, А.В. Матяш, А.А. Грек // Зб. наук. праць. - Харків: УкрДАЗТ, 2011. - Вип.122. - С. 244-250.

*Особистий внесок:* проведено експериментальні дослідження по визначенню морозносолевого впливу на властивості аеродромних бетонів.

2. Бражник А.В. Влияние микронаполнителя на подвижность растворных смесей / А.В. Бражник, С.А. Мироненко, С.Н. Толмачев // Будівлі та конструкції із застосуванням нових матеріалів та технологій: зб. наук. праць «Вісник ДонНАБА». - Вип. 2013-3(101). - Макіївка, 2013. – С. 45-47.

*Особистий внесок:* проведено експериментальні дослідження експлуатаційних властивостей розчинних сумішей з мікронаповнювачами та виконано аналіз їх результатів.

3. Толмачев С.Н. Исследование морозостойкости аэродромных бетонов / Толмачев С.Н., Матяш А.В. // Зб. «Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка». - № 39. - 2011. - С. 10-16.

*Особистий внесок:* проведено огляд літературних джерел про фактори, що впливають на морозостійкість бетонів і виконано експериментальні дослідження морозостійкості бетону.

4. Толмачев С.Н. Применение воздухововлекающих добавок для повышения морозостойкости дорожных бетонов / Толмачев С.Н., Матяш А.В., Крупская О.Н. // Науковий вісник будівництва. - № 51. - Харків: ХДТУБА, 2009. - С. 95-99.

*Особистий внесок:* виконано та проаналізовано експериментальні дослідження по застосуванню повітроутягуючих добавок на морозостійкість дорожніх бетонів.

5. Толмачев С.Н. Влияние условий твердения на морозостойкость дорожных цементобетонов / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева, А.В. Матяш, А.А. Грек, С.М. Миронов // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – Вип. 115. - С. 91-97.

*Особистий внесок:* проведено експериментальні дослідження щодо визначення впливу умов твердіння бетону на його морозостійкість.

6. Толмачев С.Н. Свойства дорожных бетонов с полимерной фиброй / Толмачев С.Н., Кондратьева И.Г., Маракина Л.Д., Матяш А.В., Солдатенко С.Е. // Науковий вісник будівництва. - № 48. – Харків: ХДТУБА, 2008. - С. 150-154.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження, обробка та аналіз отриманих даних.

7. Матяш А.В. Взаимосвязь воздухововлечения бетонной смеси и морозостойкости бетона / Матяш А.В., Толмачев С.Н., Кондратьева И.Г., Вялых А.Ю. // Науковий вісник будівництва. - № 57. – Харків: ХДТУБА, 2010. - С. 195-202.

*Особистий внесок:* виконано уточнюючі експериментальні дослідження морозостійкості бетону з різним повітроутягненням.

*Публікації у міжнародних виданнях чи у збірниках, що включені до міжнародних наукометричних баз:*

8. Толмачев С.Н. Особенности морозносолевого воздействия на свойства аэродромного бетона / Толмачев С.Н., Матяш А.В. // Строительные материалы. - № 3. - 2011. - С. 107-109.

*Особистий внесок:* проведено огляд літературних джерел про існуючі погляди морозного руйнування бетону та проведено уточнюючі експериментальні дослідження морозносолевого впливу на властивості аеродромного бетону.

*Додаткові:*

9. Толмачев С.Н. Исследование сроков схватывания цементного теста в условиях нормальных и близких к 0 °С температур / С.Н. Толмачев, Е.А. Беличенко, А.В. Бражник // Бетон и железобетон в Украине. - № 2. – 2015. - С. 11–14.

*Особистий внесок:* виконано експериментальні дослідження.

10. Толмачев С.Н. Исследование механизма морозного разрушения дорожных бетонов / С.Н. Толмачев, И.Г. Кондратьева, А.В. Матяш // Бетон и железобетон в Украине. - № 2. - 2010. - С. 18-22.

*Особистий внесок:* виконано оптико-мікроскопічні дослідження структури бетону після дії солей.

*Апробаційного характеру (доповіді на конференціях):*

11. Толмачев С.Н. Снижение прочности бетона при введении воздухововлекающих добавок в бетонную смесь / Толмачев С.Н., Бражник А.В. // Сб. трудов III Всероссийской научн.-практ. конф. «Современные проблемы строительства и жизнеобеспечения: безопасность, качество, энерго- и ресурсосбережение». - Якутск. Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Амосова. - 3-4 марта 2014. - С. 369–373.

*Особистий внесок:* виконано уточнюючі експериментальні дослідження та проведено аналіз отриманих даних.

12. Матяш А.В. Исследование влияний на морозостойкость аэродромных бетонов антигололедных реагентов / А.В. Матяш // Матеріали X Міжнар. наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів. - Макіївка, 21-22 квітня 2011 р. / Зб. наук. праць «Вісник ДонНАБА». - Вип. 2011-3(89). - Макіївка, 2011. – С. 71–74.

13. Матяш А.В. Взаимосвязь структуры и морозостойкости дорожных бетонов / А.В. Матяш // Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений: сб. докл. Междунар. научн.-практ. конф. - Белгород, 3–4 декабря 2009 г. / Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, 2009. – С. 249–254.

*Особистий внесок:* виконано, оброблено та проаналізовано експериментальні дослідження.

14. Толмачев С.М. Морозостійкі дорожні бетони з оптимізованим повітроутягненням / Толмачев С.М., Кондратьева І.Г., Беличенко О.А., Матяш Г.В. // Матеріали VII науково-технічного семінару «Структура, властивості та склад бетону» «Бетони і розчини з використанням ефективних добавок та відходів промисловості». - Зб. «Будівельні конструкції». – Вип. 72. – Київ: НДІБК, 2009. – С. 553–560.

*Особистий внесок:* проведено експериментальні дослідження щодо оптимізації кількості залученого в бетонну суміш повітря.

## АНОТАЦІЯ

**Бражник Г.В.** Монолітні дорожні цементні бетони високої морозостійкості з органомінеральним комплексом та фіброю. – На правах рукопису.

Дисертаційна робота на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.05 - будівельні матеріали та вироби. - Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2015.

Дисертація присвячена вивченню та розвитку теоретичних уявлень про механізм морозного руйнування дорожнього цементного бетону в різних рідких агресивних середовищах. У роботі проведено розрахунок величини осмотичного тиску та визначено критичні концентрації розчину хлористої солі, які можуть призвести до руйнування бетону спільно з дією негативних температур.

Виконано експериментальні дослідження технологічних властивостей бетонних сумішей, фізико-механічних та експлуатаційних показників бетонів з різними комплексами добавок. Встановлено, що на кожен додатковий відсоток повітроутягнення від повітроутягуючої добавки міцність бетону падає в середньому на 10 %, повітроутягнення викликане введенням поліпропіленової фібри призводить до зниження міцності лише на 4 %. Показано, що застосування в бетонних сумішах комплексу добавок суперпластифікатора на полікарбосилатній основі, мікронаповнювача та поліпропіленової фібри дозволяє отримати бетонну суміш з оптимальним повітроутягненням, що забезпечує морозостійкість не менше F300 без зниження марки по міцності. Проведено оптико-мікроскопічні дослідження структури бетонів в присутності поліпропіленової фібри. Показано, що введення фібри дозволяє формувати в бетоні з повітряних бульбашок мікропористу структуру. Це призводить до меншого зниження міцності бетону в порівнянні із застосуванням повітроутягуючої добавки при однаковому повітроутягненні.

Результати досліджень пройшли виробничу перевірку, впроваджені при будівництві аеропорту в м Харкові.

**Ключові слова:** органомінеральний комплекс, суперпластифікатор, повітроутягуюча добавка, мікронаповнювач, фібра, повітроутягнення, міцність, пористість, морозостійкість, морозосолестійкість, бетонна суміш, дорожній цементний бетон.

## **АННОТАЦІЯ**

**Бражник А.В.** Монолитные дорожные цементные бетоны высокой морозостойкости с органоминеральным комплексом и фиброй. – 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, 2015.

Диссертация посвящена изучению и развитию теоретических представлений о механизме морозного разрушения дорожного цементного бетона в различных жидких агрессивных средах. В работе проведен расчет величины осмотического давления и определены критические концентрации раствора хлористой соли, которые могут привести к разрушению бетона совместно с действием отрицательных температур.

Выполнены экспериментальные исследования технологических свойств бетонных смесей, физико-механических и эксплуатационных показателей бетонов с разными комплексами добавок. Установлено, что на каждый дополнительный процент воздухововлечения от воздухововлекающей добавки прочность бетона падает в среднем на 10 %, воздухововлечение, вызванное введением полипропиленовой фибры, приводит к снижению прочности лишь на 4 %. Показано, что применение в бетонных смесях комплекса добавок суперпластификатора на поликарбоксилатной основе, микронаполнителя и полипропиленовой фибры позволяет получить бетонную смесь с оптимальным воздухововлечением, обеспечивающим морозостойкость не меньше F300 без снижения марки по прочности. Установлено, что сохранность подвижности бетонной смеси и содержания вовлеченного воздуха во времени в бетонных смесях с органоминеральным комплексом и полипропиленовой фиброй выше, чем в смесях с воздухововлекающей добавкой. Проведены оптико-микроскопические исследования структуры бетонов в присутствии полипропиленовой фибры. Показано, что введение фибры позволяет формировать в бетоне из воздушных пузырьков микропористую структуру. Это приводит к меньшему снижению прочности бетона по сравнению с применением воздухововлекающей добавки при одинаковом воздуходержании.

По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработаны и утверждены Государственным агентством автомобильных дорог Украины (Укравтодор) нормативные документы.

Результаты исследований прошли производственную проверку, внедрены при строительстве взлетно-посадочной полосы и перрона в аэропорту г. Харькова, рассчитана экономическая эффективность внедрения.

**Ключевые слова:** органоминеральный комплекс, суперпластификатор, воздухововлекающая добавка, микронаполнитель, фибра, воздухововлечение, прочность, пористость, морозостойкость, морозосолеустойкость, бетонная смесь, дорожный цементный бетон.

## ABSTRACT

**Brazhnik G.V.** High frost resistance monolithic road cement concrete with a organomineral complex and fibers. - Manuscript.

Thesis for scientific degree of candidate of technical sciences, specialty 05.23.05 - building materials and products. - Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, 2015.

Dissertation is devoted to the study and development of theoretical ideas about the road cement concrete frost destruction mechanism in various corrosive liquids. In the work performed the calculated value of the osmotic pressure and the critical concentrations of sodium chloride salt solute, which, with the negative temperatures effect, can lead to the destruction of concrete.

Provided experimental research of concrete mixtures technological properties, physical-mechanical and operational performance of concrete with different additives complexes. It was found that for every additional percentage of air entrainment of air-entraining additive the strength of concrete reduce on 10% average, air entrainment caused by the polypropylene fibers adding reduces the strength on 4% only. It is shown that the use in concrete mixtures the complex of polycarboxylate based superplasticizers, microfiller and polypropylene fibers additives allows to obtain concrete mixture with optimal air entrainment, that providing frost resistance not less than F300 without strength reducing. Performed optical microscopy researches of the concrete structure in the presence of polypropylene fibers. It shown that the fibers adding in concrete allows to forming of air bubbles microporous structure. This lead to less reduction in concrete strength, compared to using air-entraining additives with the same air content.

The research results have been production tested, implemented during the construction of the airport in Kharkiv.

**Keywords:** organomineral complex, superplasticizer, air-entraining agent, microfiller, fiber, air entrainment, strength, porosity, frost resistance, salt frost resistance, concrete mixture, road cement concrete.

## **АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

**МОНОЛІТНІ ДОРОЖНІ ЦЕМЕНТНІ БЕТОНИ  
ВИСОКОЇ МОРОЗОСТІЙКОСТІ  
З ОРГАНОМІНЕРАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ ТА ФІБРОЮ**

**БРАЖНИК Ганна Володимирівна**