

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЧИЖЕНКО НАТАЛІЯ ПЕТРІВНА



УДК 625.84

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ
ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному транспортному університеті Міністерства освіти і науки України, м. Києва.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Онищенко Артур Миколайович,
Національний транспортний університет, м. Київ
завідувач кафедри мостів, тунелів та гідротехнічних споруд

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Солодкий Сергій Йосифович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України, м. Львів
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів

кандидат технічних наук, доцент
Стьожка Віталій Володимирович,
директор ТОВ «Гранбуд Лідер», м. Київ

Захист відбудеться «05» березня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 209.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного транспортного університету за адресою 01103, Україна, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розісланий « 04 » лютого 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Досвід останніх років експлуатації цементобетонного покриття автомобільних доріг України показує, що одним з найпоширеніших дефектів на покритті від впливу усадки цементобетону, зміни температури та зростання параметрів транспортних навантажень є різного роду тріщини, які призводять до зменшення його строку служби, а відповідно і всієї конструкції дорожнього одягу в цілому. Утворення тріщин призводять як до зменшення довговічності самого покриття, так і до погіршення безпеки дорожнього руху, в результаті прояву нерівності, погіршення умов маневрування транспортних засобів під час руху, що у свою чергу не дозволяє повною мірою забезпечити комфортне та безпечне перевезення пасажирів і вантажів, а також впливає на зниження пропускну здатності автомобільних доріг.

Ремонт дефектів цементобетонного покриття у вигляді тріщин є складним, трудомістким та фінансово витратним процесом, що супроводжується значними матеріальними та енергетичними затратами. Окрім того, виконання ремонтних робіт по усуненню тріщин не завжди призводить до бажаного результату. Як відомо, на практиці широко використовують типові конструкції жорсткого дорожнього одягу для автомобільних доріг, які не завжди забезпечують необхідну довговічність за тріщиностійкістю, а методи їх розрахунку є недосконалими.

На сьогоднішній день існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер, так як при оцінці довговічності цементобетонного покриття враховується окремо або лише дія пневматичних коліс транспортних засобів або дія зміни температури при цьому розрахунок напружень від усадки цементобетону при твердінні не враховується взагалі, що може свідчити про відсутність такого розрахунку. Врахування спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів при оцінюванні тріщиностійкості цементобетонного покриття дозволило б більш об'єктивно проводити розрахунки на довговічність таких покриттів із заданим строком служби.

Однією з причин зменшення строку експлуатації цементобетонного покриття автомобільних доріг є недостатнє вивчення та використання хімічних добавок з метою направленою регулювання властивостей цементобетону .

Улаштування цементобетонного покриття з покращеними його властивостями за рахунок використання комплексних хімічних добавок, а також врахування спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів при проектуванні такого покриття дозволить підвищити його довговічність, що в свою чергу впливає на зменшення грошових витрат при ремонті та утриманні не лише цементобетонного покриття, а і дорожньої конструкції автомобільної дороги в цілому.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг за рахунок використання комплексних хімічних добавок з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм: «Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), «Державна цільова економічна програма розвитку автомобільних доріг загального користування державного значення на 2018-2022 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 21.03.2018 р. № 382). Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з

тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались кафедрах дорожньо-будівельних матеріалів і хімії та мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету та планами науково-дослідних і проектно-конструкторських робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання господарсько-договірних науково-дослідних робіт: «Розробити технології і нормативну документацію з приготування дорожніх цементобетонних сумішей з подовженим строком транспортування» (д/б №157-08, державний реєстраційний № 0108U006055); «Підвищення надійності конструкцій дорожніх та аеродромних покриттів при використанні високоміцного бетону» (д/б № 29, державний реєстраційний № 0113U000298); «Наукові основи прогнозування термомеханічних процесів в багатошаровому напівпросторі (на прикладі дорожнього покриття) для оцінки ресурсів підвищення його довговічності (д/б № 29, державний реєстраційний 0116U002631); «Провести дослідження та розробити методику визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей при операційному контролі якості» (д/б 56-17, державний реєстраційний № 0117U001967); «Провести дослідження та розробити методику оцінки довговічності цементобетонного дорожнього покриття з урахуванням спільного впливу змін температури та дії транспорту» (д/б 47-19, державний реєстраційний № 0119U101504).

Мета і задачі досліджень. *Мета* досліджень – удосконалення методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити наступні *задачі*:

- провести аналіз умов роботи і стану цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;

- розробити розрахункову схему та встановити аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг за тріщиностійкістю від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;

- експериментально дослідити: розрахункові характеристики цементобетону з використанням комплексних хімічних добавок; модуль пружності з урахуванням різного часу дії навантаження і температури, параметри функції довговічності; лабораторні та стендові дослідження впливу комплексної хімічної добавки на тріщиностійкість цементобетону; моделювання максимальних розтягуючих напружень в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії пневматичних коліс транспортного засобу; закономірності дії комплексної хімічної добавки на особливості твердіння, будівельно-технологічні властивості суміші та фізико-механічні властивості цементобетону;

- розробити рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг.

Об'єкт дослідження – процес спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів на цементобетонне покриття автомобільних доріг.

Предмет дослідження – встановлення закономірностей впливу факторів на довговічність цементобетонного покриття автомобільних доріг.

Методи дослідження – аналітично-експериментальні з використанням положень теорії пружності, кінетичної теорії міцності твердих тіл, стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей цементобетону, експериментальних методів

дослідження утворення тріщини в цементобетонному покритті автомобільних доріг; числового моделювання; математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше отримано аналітичну залежність та встановлено критерій граничного стану для оцінки довговічності за тріщиностійкістю цементобетонного покриття автомобільних доріг, що дозволяє враховувати комплексну дію факторів, а саме: усадку цементобетону, зміну температури та дію пневматичних коліс транспортних засобів.
- удосконалено метод оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, що дозволяє проектувати цементобетонне покриття підвищеної довговічності із заданим строком служби;
- отримали подальший розвиток такі методики, як: випробування цементобетону на втому, що дозволить оцінювати вплив комплексних хімічних добавок на довговічність; визначення модуля пружності цементобетону з урахуванням різного часу дії навантаження та температури, що необхідно для здійснення розрахунків для оцінки довговічності цементобетонного покриття;
- розроблено регресійні залежності прогнозування оптимального складу цементобетону в залежності від різної кількості комплексної хімічної добавки та портландцементу, що дозволяє направлено регулювати властивості цементобетонної суміші та цементобетону за показниками: водоцементне співвідношення, рухомості, вмісту залученого повітря, міцності на розтяг при згині, міцності при стиску, модуля пружності, вартості.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методика розрахунку, яка дозволяє проектувати цементобетонне покриття на автомобільних дорогах підвищеної довговічності за рахунок використання комплексних хімічних добавок із урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Окрім того:

- розроблено комплексні хімічні добавки поліфункціональної дії та досліджено їх вплив на особливості твердіння цементобетону;
- отримано для дослідження цементобетонів: розрахункові значення параметрів функції модуля пружності з урахуванням різного часу дії навантаження та температури; функції довговічності та показники втому;
- визначено будівельно-технологічні властивості цементобетонних сумішей з комплексними хімічними добавками, встановлено розрахункові характеристики та фізико-механічні властивості цементобетонів для покриття автомобільних доріг та проведено порівняння із сучасною хімічною добавкою аналогом зарубіжного виробництва;
- розроблено дорожні високоміцні цементобетони класу B50B_{btb}5,2P1F200W10;
- запропоновано методологію визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей при операційному контролі їх якості.

Результати роботи використані:

- при розробці нормативних документів: М 42.1-37641918-780:2020 Методика оцінки довговічності цементобетонного дорожнього покриття з урахуванням спільного впливу змін температури та дії транспорту; М 42.1-37641918-772:2018 Методика визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей; ТУ У В.2.7-20.5-38564866-001:2017 Добавки для бетонів та будівельних розчинів комплексні «ШАГ».
- при розробці практичних заходів з підвищення довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах України з урахуванням усадки цементобетону, зміни

температури, режиму руху навантаження від транспортних засобів, складу та інтенсивності руху, особливостей конструкції дорожнього одягу.

- при викладанні дисциплін: «Будівельне матеріалознавство», «В'язучі речовини», «Фізико-хімічні методи дослідження будівельних матеріалів», «Бетони і будівельні розчини. Заповнювачі для бетонів», «Сучасні будівельні матеріали для будівництва автомобільних доріг», «Бетони та будівельні розчини для будівництва транспортних споруд» на кафедрах дорожньо-будівельних матеріалів і хімії та мостів, тунелів та гідротехнічних споруд Національного транспортного університету.

Результати роботи впроваджено при влаштуванні покриття аеродрому в Міжнародному аеропорті «Херсон»; при проведенні капітального ремонту взлітно – посадкової смуги в Міжнародному аеропорті «Запоріжжя»; при влаштуванні монолітного огороження парапетного типу «Нью-Джерсі» на автомобільній дорозі М-05 Київ-Одеса км 17+740 – км 87+000»; при виготовленні високоміцних дорожніх бетонів БСГ В40Р4F200W8, БСГ В40Р4F300W8 та виробництві дорожніх плит ПДС (0,16×2,0×3,0) на ТОВ «Бетон Комплекс».

Особистий внесок здобувача.

Дисертаційна робота є результатом самостійного наукового дослідження автора. Особистий внесок здобувача полягає в отриманні наукових результатів, викладених у даній роботі. Автором проведено аналіз умов роботи і стану цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів [9,10,18,19,28,29]. Проведено аналіз існуючих методів розрахунку довговічності за тріщиностійкістю цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням впливу усадки, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів [9,18];

В спільних публікаціях [10,18,19] автором розроблено розрахункову схему, аналітичну залежність та удосконалено метод оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг за тріщиностійкістю від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів. В спільній публікації [2-4,5,6,11,12-14,22] автором експериментально отримано для досліджуваних цементобетонів: розрахункові характеристики, будівельно-технологічні властивості сумішей, фізико-механічні властивості цементобетонів, а також параметри функції довговічності та тріщиностійкість цементобетонів.

В спільній публікації [6] автором розроблено математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва. Розроблено рекомендації з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, а також методику розрахунку щодо підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг [26,27,29].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів підтверджується: застосуванням фізично обґрунтованих (на основі експериментальних даних) математичної моделі, яка перевірена на адекватність; достатнім обсягом експериментальних даних, що отримані з використанням сучасного лабораторного та стендового обладнання; апробацією результатів роботи під час виробничого впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи були представлені: на науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету Національного транспортного університету №№ 64-70 у 2008-2013, 2016-2019 рр.; “Наукові дослідження – теорія та експеримент 2009“ п’ята міжнародна науково-практична конференція, 18-20 травня 2009 р.,

Полтава, Україна; VII Відкритій українській конференції молодих вчених з високомолекулярних сполук 15-18 жовтня 2012р., Київ, Україна; третій науково – практичній конференції з іноземною участю “Застосування передових технологій в цивільному та промисловому будівництві” 24 травня 2012 р., Київ, Україна; міжнародній науково – практичній конференції “Бетони та вироби з бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва та застосування” 8-9 вересня 2009 р., Київ, Україна; міжнародних науково – практичних конференціях “Бетони та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва та застосування” 16-17 лютого 2011 р., 14-15 березня 2012 р., 25-26 вересня 2013 р., 04-05 червня 2014 р., Київ, Україна; міжнародній науково – практичній конференції “Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали” 04-05 грудня 2014 р., Київ, Україна; міжнародній науково – практичній конференції “Бетони, цементи та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва та застосування” 02-03 грудня 2015 р., Київ, Україна; науково – практичному семінарі “Сучасні підходи до проектування, будівництва та експлуатації цементобетонних дорожніх покриттів” 19 травня 2015 р., Київ, Україна; на XIV, XVI Міжнародних Форумах з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів "АВТОДОРЕКСПО 2016, 2018" науково – практичних конференціях з проектування та будівництва автомобільних доріг і мостів 10 листопада 2016 р., 08 листопада 2018 р., Київ, Україна; міжнародній конференції “Сучасні методи і технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг, споруд на них та управління проектами їх розвитку” 23-24 листопада 2016 р., Київ, Україна; I Міжнародній науково – технічній конференції “Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації” 15 листопада 2019 р., м. Харків, Україна; міжнародній науково-технічній конференції "Гідротехнічне і транспортне будівництво" 28-29 травня 2020 р., м. Одеса, Україна.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 29 наукових праць, у тому числі: 9 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України; 1 стаття у зарубіжних періодичних наукових виданнях; 4 статті додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 6 свідоцтв України про реєстрацію авторського права.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел зі 195 найменувань та вісім додатки. Основний текст викладений на 160 сторінках. Текст ілюструється 39 рисунками і містить 19 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано доцільність та актуальність теми дисертаційної роботи, її зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення. У вступі також розкривається особистий внесок автора, питання апробації результатів, публікації, загальний обсяг і структура роботи.

У першому розділі розглянуто та наведено аналіз стану проблем експлуатації цементобетонного покриття автомобільних доріг, причини виникнення його руйнувань, методи та критерії розрахунку цементобетонного покриття, а також існуючі способи підвищення його довговічності.

Розглянуто та проаналізовано роботи відомих вчених, що направлені на дослідження напружено-деформованого стану від впливу різних факторів на цементобетонне покриття автомобільних доріг, існуючих конструктивних рішень, технологій і матеріалів для підвищення довговічності покриття.

Значний внесок з підвищення довговічності цементобетону та цементобетонного покриття автомобільних доріг від впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, внесли такі вчені:

Батракова А.Г., Бабяк І.П., Болотін В.В., Гамеляк І.П., Гуляев В.І., Грушко І.М., Гоц В.І., Дорошенко Ю.М., Дмитрієв М.М., Дворкін Л.Й., Дворкін О.Л., Жданюк В.К., Каменецкий Л.Б., Кваша В.Г., Кривенко П.В., Левицький Ю.Ф., Лучко Й.Й., Малицкий В.А., Марчук О.В., Мозговий В.В., Мішутін А.В., Онищенко А.М., Павлюк Д.О., Панченко О.В., Пушкарева К.К., Перельмутер А.В., Ряпухін В.М., Савенко В.Я., Саницький М.А., Солодкий С.Й., Стьожка В.В., Якименко Я.М., Нагайчук В.М., Радовський Б.С., Рунова Р.Ф., Чернигов В.О., Толмачев С.М., Толмачев Д.С., Чистяков В.В., Шургая А.Г., Штарк Й., Goldbeck A., Winkler E., Westergaard H. та інші дослідники.

Встановлено, що існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер, так як при оцінюванні не в повній мірі враховують спільну дію усадки цементобетону, зміну напружень від річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Встановлено з аналізу робіт, присвяченим лабораторним і стендовим експериментальним дослідженням, що вони не повністю враховують вплив рецептурно-структурних, конструктивних та експлуатаційних факторів на підвищення довговічності цементобетонного покриття.

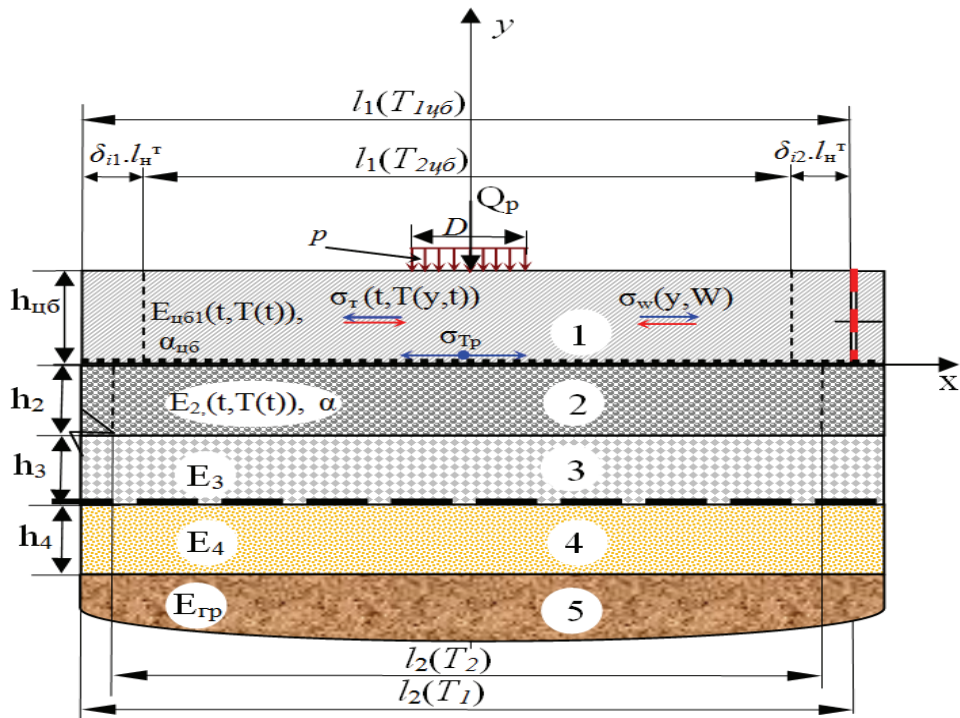
Таким чином проведений літературний огляд свідчить про необхідність у вирішенні важливої науково-практичної задачі стосовно розробки методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з використанням комплексних хімічних добавок з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни (сезонних річних та добових) температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

У другому розділі наведені основні результатами теоретичних досліджень стосовно методу оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах. Підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг за рахунок використання комплексних хімічних добавок полягають у наступному: протягом заданого строку служби цементобетонні покриття повинні бути стійкими до водо-морозних впливів; повинні бути стійкими до тріщиноутворення від спільної дії усадки цементобетону при твердінні, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. При цьому стійкість до водо-морозних впливів передбачено забезпечити належним вибором виду матеріалу для цементобетонного покриття конструкції дорожнього одягу, встановлення відповідних вимог до нього та технології його влаштування.

Оцінка тріщиностійкості цементобетонного покриття автомобільних доріг базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати напруження від: спільного впливу усадки цементобетону при твердінні; зміни (сезонних річних та добових) температур; дії пневматичних коліс транспортних. Тому для прогнозування утворення тріщин в цементобетоні від зазначених факторів пропонується оцінювати довговічність покриття, яка повинна базуватися на умові граничного стану.

Для вирішення поставлених задач розглядається розрахункова схема (рис. 1) роботи цементобетонного покриття на автомобільній дорозі при спільній дії усадки цементобетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів зі встановленням аналітичних залежностей для прогнозування та оцінки довговічності цементобетонного покриття.

Для цієї розрахункової схеми отримано аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних нормальних напружень, що виникають в цементобетонному покритті автомобільної дороги від впливу усадки цементобетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.



1 – цементобетонне покриття (товщиною від $h_{цб} = 17 - 28$ см); розділюючий прошарок із геотекстилю або поліетиленової плівки; 2 – щебінь гранітний фр. (20 - 40) мм по способу заклинки та (або) пісний бетон та (або) асфальтобетон; 3 – щебінь гранітний фр. 40 - 70 мм, по способу заклинки; геосинтетичний розділюючий матеріал; 4 – шар піску дрібнозернистого; 5 – ґрунт земляного полотна; $\rightleftharpoons \sigma_w(y, W)$ – напруження від усадки цементобетону; $\rightleftharpoons \sigma_x(t, T(y, t))$ – температурні напруження; $\sigma_{Тр}$ – горизонтальні нормальні напруження; $\delta_{i2} \cdot l_n^m$, $\delta_{i1} \cdot l_n^m$ – довжина, на яку скорочується цементобетонне покриття; $l_1(T_{1цб})$, $l_2(T_1)$ – довжина цементобетонного покриття та основи до початку температурного скорочення; $l_1(T_{2цб})$, $l_2(T_2)$ – довжина відповідно цементобетонного покриття та основи, після температурного скорочення; $\alpha_{цб}$, α – коефіцієнт лінійного температурного розширення цементобетону та основи; $E_{цб1}(t, T(t))$, $E_2(t, T(t))$ – модуль пружності цементобетону та основи, який залежить від часу дії навантаження; E_3 , E_4 , $E_{гр}$ – модуль пружності відповідних шарів основи

Рисунок 1 – Розрахункова схема цементобетонного покриття автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону при твердінні, зміни температури і дії пневматичних коліс транспортних засобів

В роботі на основі теоретичного рішення можна розраховувати напруження від усадки, що виникають в цементобетонному покритті автомобільних доріг. Величину усадки ділять на частину, що обумовлена випаровуванням вологи і частину обумовлену процесами твердіння. Для спрощення розрахунків ці процеси об'єднано в один.

Рішення базується на теорії пружності і враховує наступні параметри: масообмін (водяний пар, рідка фаза води), який формується під впливом втрат вологи на межах шару і викликає нерівномірний розподіл вологості по товщині; коефіцієнт вологопровідності, модуль пружності, коефіцієнт усадки, які відображають структуру і характеристики матеріалу; а також час догляду. Тому пропонується визначити розтягуючі напруження від усадки в цементобетонному покритті автомобільної дороги при твердінні без можливості коробитися.

$$\begin{aligned} \sigma_w(y, W) = & \frac{\alpha \cdot E \cdot t \cdot (m - m_1)}{1 - \mu} \cdot \left(\frac{y}{h} - 0,5 \right) + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot h^2 \cdot \alpha \cdot E \cdot (m + m_1)}{\pi^3 \cdot n^3 \cdot a_1 \cdot (1 - \mu)} \cdot \\ & \cdot \left\{ \sin \frac{\pi \cdot n \cdot y}{h} - \frac{2}{\pi \cdot n} - e^{-\frac{a_1 \cdot t \cdot (\pi \cdot n)^2}{h^2}} \right\} + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot h^2 \cdot \alpha \cdot E}{\pi^3 \cdot n^3 \cdot a_1 \cdot (1 - \mu)} \cdot e^{-\frac{a_1 \cdot t \cdot (\pi \cdot n)^2}{h^2}} \cdot \left\{ \frac{2 \cdot m}{\pi \cdot n} + \frac{2 \cdot m_1}{\pi \cdot n} \right\} +, \quad (1) \\ & + \sum_{n=2,4,6,\dots}^{\infty} \frac{2 \cdot h^2 \cdot \alpha \cdot E \cdot (m - m_1)}{\pi^3 \cdot n^3 \cdot a_1 \cdot (1 - \mu)} \cdot \left(\sin \frac{\pi \cdot n \cdot y}{h} - e^{-\frac{a_1 \cdot t \cdot (\pi \cdot n)^2}{h^2}} \right) \end{aligned}$$

де $\sigma_w(y, W)$ – напруження в цементобетоні від усадки, МПа;

y – поточна координата по товщині шару, м;

t – час догляду, год;

h – товщина шару, м;

C_x – коефіцієнт міри жолоблення;

α – коефіцієнт усадки, який характеризує зменшення лінійного розміру зразка при видаленні з нього 1 % вологи;

E – модуль пружності, МПа;

μ – коефіцієнт Пуассона;

$W(y, t)$ – функція розподілу вологи по товщині шару цементобетону.

a_1 – коефіцієнт вологопровідності, м²/год;

$W_{п}$ – початкова вологість, %;

m – коефіцієнт інтенсивності зміни вологи на верхній поверхні шару цементобетону від температури та швидкості вітру, %/год;

m_1 – коефіцієнт інтенсивності зміни вологи на нижній поверхні шару цементобетону, %/год.

Також в роботі використана залежність для визначення напруження від усадки в цементобетонному покритті автомобільних доріг при твердінні з можливістю коробитися.

Відомими вченими В.А. Черниговим, Ю.Ф. Левицьким та Л.І. Горєцьким в своїх роботах було запропоновано визначати температурні напруження в цементобетонному покритті автомобільних доріг від спільного впливу річних і добових температур за аналітичною залежністю (2). При вільних повздовжніх деформаціях розрахунок температурних напружень в плитах, не маючих можливості коробитися ($C_x = 1$) або маючих часткову можливість короблення ($C_x < 1$), визначають за:

$$\begin{aligned} \sigma_T(t, T(y, t)) = & k \cdot E(t) \cdot (\alpha_{цб} - \alpha_{осн}) \cdot (T(y) - \frac{k \cdot E(t) \cdot (\alpha_{цб} - \alpha_{осн})}{h}) \\ & \int_0^h T(y, t) dy - \frac{12 \cdot k \cdot E(t) \cdot (\alpha_{цб} - \alpha_{осн}) \cdot (\frac{h}{2} - y) \cdot (1 - C_x)}{h^3} \int_0^h T(y, t) \cdot (\frac{h}{2} - y) dy \end{aligned} \quad (2)$$

де $T(y, t)$ – гармонічна функція температури по товщині покриття; $E(t, T)$ – модуль пружності цементобетону, який залежить від часу дії навантаження; $\alpha_{цб}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення цементобетону; $\alpha_{осн}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення основи; h – товщина покриття; k – швидкість охолодження цементобетону; y – задана глибина.

Для розрахунку горизонтальних (нормальних) розтягуючих напружень в цементобетонному покритті від дії пневматичних коліс транспортних засобів для розрахункової схем (1) згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 напруження σ_{T_p} , які виникають

від розтягу при згині визначають для розрахунку товщини покриття при умові гарантованого повного контакту плити з основою за рахунок стійкості земляного полотна і відсутності нерівномірних осідань або здимання за залежністю:

$$\sigma_{T_p} = K_{ми} \cdot \sigma_{pt}, \quad (3)$$

де $K_{ми}$ – коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності;

σ_{pt} – напруження розтягу при згині, що виникають у цементобетонному покритті від дії навантаження, приймаються згідно з ГБН В.2.3-37641918-557.

Для оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни (сезонних річних та добових) температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, яка базується на отриманні аналітичних залежностей (1,2,6) обґрунтовано критерій граничного стану цементобетонного покриття у вигляді:

$$M_{II}(t, T(y, t), W) \leq [M_{уб}], \quad (4)$$

де $M_{II}(t, T(y, t), W)$ – сумарна міра пошкодження цементобетонного покриття, яка визначається за залежністю (5);

$[M_{уб}]$ – гранично допустиме значення міри пошкодження, що приймається рівним 1.

$$M_{II}(t, T(y, t), W) = M_{усад}(t, y, W) + M_{Тем}(t, T(y, t)) + M_{Тр}(t), \quad (5)$$

де $M_{усад}(t, y, W) = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_w(y, W)^{b_{усад}}}{B_{усад}} dt$ – міра пошкодження цементобетонного покриття від дії

усадки цементобетону при твердінні;

$\sigma_w(t, y, W)$ – напруження в цементобетоні від усадки при твердінні в залежності від вологості (W), часу (t) спостереження та початкової товщини шару (y), МПа;

$b_{усад}$, $B_{усад}$ – параметри функції довговічності цементобетону після усадки цементобетону;

$M_{Тем}(t, T(y, t)) = n_i \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{Тем}(t, T(y, t))^{b_{\tau}}}{B_{\tau}} dt$ – міра пошкодження цементобетонного покриття від зміни

температури відповідного сезону (n_i);

$\sigma_{Т}(t, T(y, t))$ – сумарні річні та добові температурні напруження при гармонічній зміні температури, які складаються із літніх ($\sigma_{л}$), осінньо - весняних ($\sigma_{о/в}$) і зимових (σ_3), МПа;

n_i – період сезону;

b_{τ} , B_{τ} – параметри функції довговічності цементобетону;

t_p – час до руйнування, с;

$M_{Тр}(t) = \frac{N_{pt}}{N(t)}$ – міра пошкодження від дії пневматичних коліс транспортних засобів;

N_{pt} – сумарна інтенсивність руху, що визначається за методикою ГБН В.2.3-37641918-557;

$N(t)$ – гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого напруження σ_{T_p} при згині.

Розрахунковий (очікуваний) строк служби T_{PO3} (в роках) цементобетонного покриття на автомобільних дорогах базується на отриманих аналітичних залежностях (1-5), а саме: строк служби T_{PO3} – це співвідношення гранично допустимого значення показника міри пошкодження $[M_{цб}]$ до сумарної міри пошкодження цементобетонного покриття від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температур та пневматичних коліс транспортних засобів, що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби цементобетонного покриття $[T_H]$ і визначається за залежністю :

$$T_{PO3} = T_{np} \cdot \frac{[M_{цб}]}{M_{цб}(t, y, T(t))} \geq [T_H], \quad (6)$$

де T_{np} – проектний строк експлуатації цементобетонного покриття в автомобільній дороги приймається 18 років;

T_H – нормативне значення строку експлуатації цементобетонного покриття в залежності від категорії автомобільної дороги приймається за ДБН В.2.3-4.

Розрахунок проводять на строк служби не менший ніж строк експлуатації цементобетонного покриття на автомобільних дорогах між капітальними ремонтами згідно з ДБН В.2.3-4.

Таким чином, отримані залежності (1-6) дозволяють розраховувати строк служби запроєктованого цементобетонного покриття на автомобільних дорогах за тріщиностійкістю з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни (сезонних річних та добових) температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також розроблено методику та алгоритм оцінювання довговічності такого покриття.

Третій розділ присвячений експериментальному вивченню пружної поведінки, міцнісних характеристик, тріщиностійкості та довговічності цементобетону на основі комплексних хімічних добавок. Основним завданням цих досліджень було встановити розрахункові характеристики та параметри довговічності досліджуваних цементобетонів з комплексними хімічними добавками, а також зіставлення отриманих експериментальних даних з теоретичними результатами.

Визначення оптимальних складів цементних бетонів із розробленою комплексною добавкою проводилось за критеріями: збереження рухомості цементобетонної суміші з часом, вмісту залученого повітря, міцності на стиск і згин, модулем пружності та економічної ефективності. Дослідження виконували з використанням двохфакторного плану експерименту. Фактори і інтервали їх варіювання наведено в табл.1. Проведено статистичний аналіз та отримано експериментально – статистичні моделі за допомогою програми STATISTICA.

Таблиця 1 – Фактори та інтервали їх варіювання

№ фактору	Фактори		Значення фактору		
	натуральний вид	кодовий вид	-1	0	+1
1	Витрата в'язучого, кг/м ³	X_1	325	350	375
2	Витрата комплексної добавки ШАГ-ПА, %	X_2	1,0	1,1	1,2

Отримані математичні моделі для параметрів оптимізації складів дорожніх цементобетонів:

- міцності при стиску 28 доба:

$$R_{ст}^{28} = E - 226,21 + 0,66 \cdot X_1 + 272,67 \cdot X_2 - 0,0009 \cdot X_1^2 + 0,05 \cdot X_1 \cdot X_2 - 123,33 \cdot X_2^2, \quad (7)$$

- міцності на розтяг при згині:

$$R_{зг}^{28} = -12,29 + 0,04 \cdot X_1 + 17,11 \cdot X_2 - 5,82 \cdot E - 5 \cdot X_1^2 + 0,032 \cdot X_1 \cdot X_2 - 7,67 \cdot X_2^2, \quad (8)$$

- модуля пружності:

$$E_{28} = -10631,36 + 113,87 \cdot X_1 + 45762,98 \cdot X_2 - 0,15 \cdot X_1^2 + 4,16 \cdot X_1 \cdot X_2 - 19861,81 \cdot X_2^2, \quad (9)$$

- вартості цементобетону із комплексною хімічною добавкою (без врахування доставки):

$$C_{ЦБС} = 201,98 + 4,28 \cdot X_1 + 0,60 \cdot X_2 - 0,002 \cdot X_1^2 + 0,47 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,17 \cdot X_2^2. \quad (10)$$

Отримані результати досліджень стали основою для оптимізації складів цементобетону, що використовується для будівництва покриття доріг. Задачу оптимізації сформульовано як задачу пошуку оптимальних складів цементобетонів із урахуванням реологічних властивостей сумішей, напружено – деформованого стану цементобетонів у конструкції та економічної ефективності.

Міцність дорожнього цементобетону на розтяг при згині – це властивість, яка визначає їх тріщиностійкість, витривалість та довговічність. Тому критерієм оптимізації прийнято границю міцності цементобетону на розтяг при згині: $B_{btb} \geq 4,4$.

В залежності від категорії дороги регламентується мінімально допустимий клас міцності цементобетону на стиск. Аналізуючи попередні результати досліджень міцності цементобетону на стиск прийнято граничне значення класу міцності B50.

Цементобетонна суміш повинна зберігати свою рухомість протягом двох годин і становити:

$$1,0 \leq OK \leq 4,0, \quad (11)$$

Для забезпечення марки по морозостійкості цементобетон для будівництва покриття доріг повинен містити залучене повітря, вміст якого регламентовано:

$$5,0 \leq V \leq 6,0. \quad (12)$$

Гранична вартість складів дорожніх цементобетонів становить 1700 грн./м³. Оптимізація складів цементобетонів для покриття доріг представлена на рис.2.

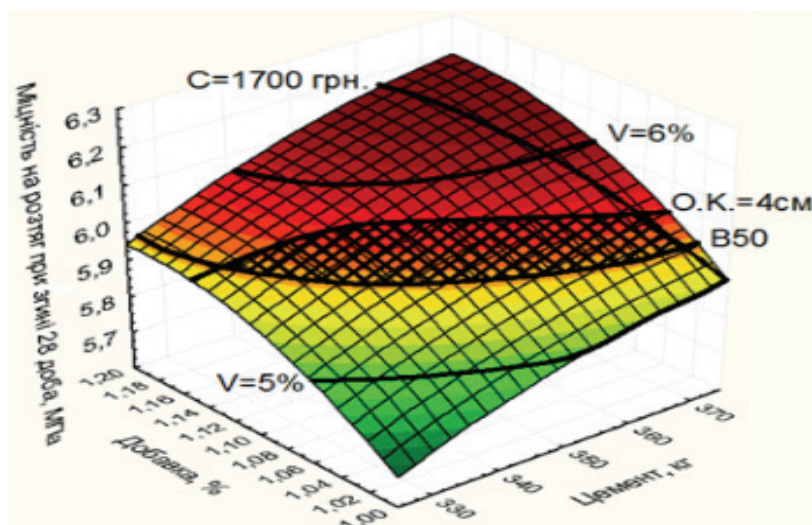


Рисунок 2 – Оптимізація складів цементобетонів покриття автомобільних доріг

Внаслідок виконання всіх етапів (підбір складу, виконання статистичної обробки даних) отримання математичних моделей технологічних, фізичних, механічних властивостей цементобетону із використанням функції цілі у вигляді вартості цементобетонної суміші та прийнятих фізико – механічних даних як обмежень виконано оптимізацію складів цементобетону. Рекомендовано впроваджувати оптимальний склад з рухомістю суміші ОК 1...4 см, класу міцності на стиск цементобетону B50(C45/50) V_{btb} 5,2F200 W10 при витраті в'язучого – від 340 до 360 кг/м³ при середньому значенні 350 кг/м³ і комплексної добавки ШАГ– ПА від 1,05...1,12 при середньому значенні 1,1 % від маси в'язучого.

Для подальших досліджень впливу комплексної хімічної добавки на будівельно-технологічні, фізико - механічні, розрахункові характеристики, тріщиностійкість і показник втоми цементобетону прийнято оптимальний склад при витраті в'язучого – 350 кг/м³ і комплексної хімічної добавки ШАГ ПА SP-1M 1,1 % від маси в'язучого.

Результати експериментальних досліджень дозволили описати функцію модуля пружності цементобетону, який залежить від різного часу дії навантаження та температури за залежністю:

$$E(t) = E_{MT} \cdot \left[1 + \frac{t \cdot e^{p \cdot (T_1 - Q)}}{\eta} \right]^{-\lambda}, \quad (13)$$

де E_{MT} – модуль пружності миттєвий, МПа;

t – час;

p, λ, η – параметри функції;

T_1 – приведена температура, °С;

Q – фактична температура.

Досліджувався вплив запропонованої комплексної хімічної добавки на тріщиностійкість цементобетону (рис.3).

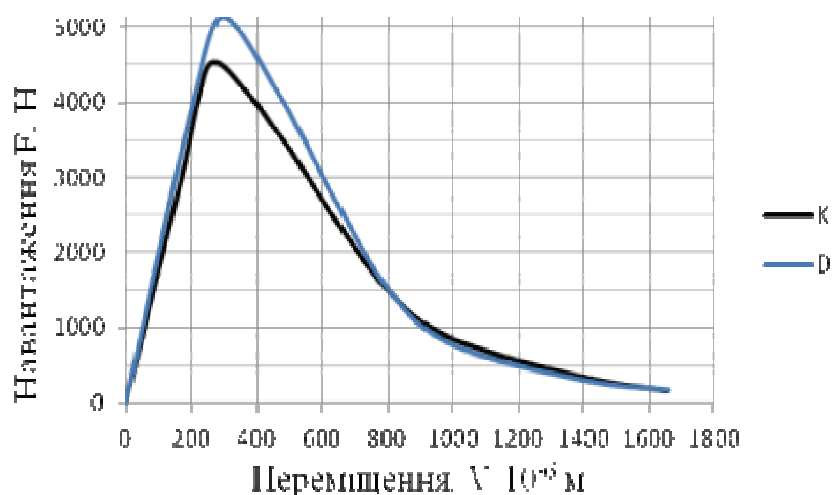


Рисунок 3 – Діаграма стану цементобетонів серії К (контрольного складу) і D (із вмістом комплексної хімічної добавки)

Результати ординати точки зламу діаграми свідчить про більшу міцність на розтяг при згині і більші енерговитрати в докритичній стадії деформування до моменту зрушення макротріщини. Більша площа діаграми під спадною віткою свідчить про більші можливості цементобетону із комплексною хімічною добавкою чинити опір

поширенню макротріщини. За енергетичними показниками тріщиностійкості (робота і питома енергія) і силовими показниками (критичні коефіцієнти інтенсивності напружень) перевагу має цементобетон із вмістом комплексної хімічної добавки.

Були проведені стендові та натурні дослідження різноманітних конструкцій жорсткого дорожнього одягу із цементобетонним покриттям. Отримані результати дозволили підтвердити актуальність та достовірність дисертаційних досліджень. У процесі випробувань, було влаштовано п'ять варіантів експериментальних конструкцій, які піддавались дії двох рухомих 2-х вісних електромобілів з навантаженням на вісь 115 кН. Результати досліджень показали, що після тридцяти тисяч проходів електромобіля по одному сліду з'явилися декілька волосяних тріщин на цементобетонному покритті з найменшою товщиною 18,6 см на секторі 5, а у всіх інших конструкціях на поверхні покриття невиявлено пошкоджень. Результати досліджень відібраних кернів на всіх конструкціях дорожнього одягу показали відповідність вимогам чинного нормативного документу.

З урахуванням отриманих в роботі теоретичних рішень та експериментальних досліджень, проведено перевірку адекватності теоретичних рішень, результати якої наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати співставлення експериментальних та теоретичних даних при визначенні міцності цементобетонних зразків на розтяг при згині з постійною швидкістю навантаження

Матеріал	Кількість добавки%	Швидкість наростання навантаження, $V\sigma$, МПа/с	Параметри функції довговічності			Напруження на розтяг при згині до руйнування $\sigma_{пр}$, МПа		
			Втома $m=1/bt$	bt	$lgBt$, с·МПа	за теор.	за експ.	δ ,%
Цементобетонні зразки розміром 4x4x16 см	0	0,0091	0,063	15,87	12,92	5,22	4,99	4,38
	0,1	0,0093	0,059	16,95	14,29	5,66	5,60	1,03
	0,5	0,0093	0,057	17,54	15,11	5,94	5,90	0,56
	0,6	0,0094	0,056	17,97	16,41	6,69	6,65	0,66
	1,1	0,0095	0,055	18,17	17,49	7,47	7,23	3,25
	0,1	0,0091	0,068	14,77	11,04	5,25	5,68	7,62

Отримані результати свідчать, що теоретичні розрахунки задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Розбіжність знаходиться для визначення міцності зразків на розтяг при згині, при постійній швидкості навантаження до руйнування в межах від 0,56 % до 7,62%, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

Це вказує на можливість практичного застосування подібних залежностей, які отримані та наведені у дисертаційній роботі з метою забезпечення або прогнозування необхідної довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

У роботі проведено числовий аналіз закономірності дії впливових факторів на довговічність цементобетонного покриття. Для прикладу використано конструкцію жорсткого дорожнього одягу з цементобетонним покриттям на автомобільній дорозі I-ї категорії при різних товщинах покриття. Результати оцінки впливу комплексної хімічної добавки на довговічність цементобетонного покриття наведено на рис.4.

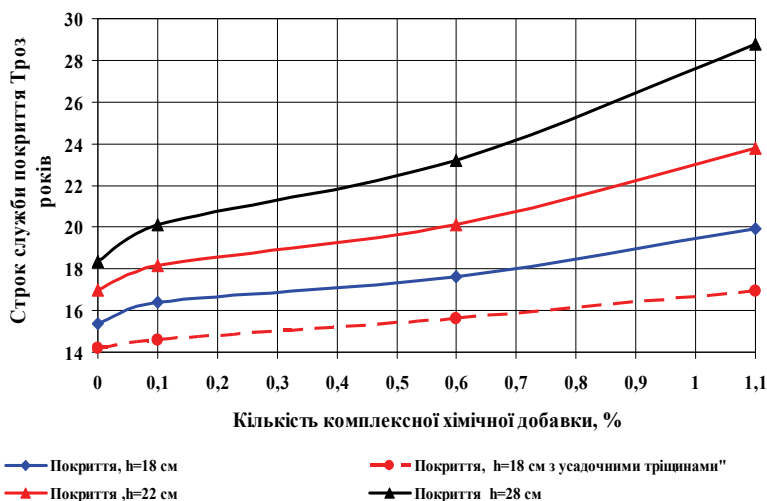


Рисунок 4 – Залежність розрахункового строку служби цементобетонного покриття автомобільної дороги в залежності від кількості комплексної хімічної добавки та товщини покриття

Встановлено, що вплив комплексної хімічної добавки у цементобетонному покритті в кількості від 0,1 - 1,1% дозволяє підвищувати його довговічність 1,2 - 1,6 рази у порівнянні з цементобетонним покриттям без хімічних добавок. Також встановлено, що на початковому етапі набору міцності в цементобетонні з'являються усадочні тріщини, які в період експлуатації призводять до зниження строку служби покриття 1,2 рази. Це ще раз підтверджує про необхідність належного контролю якості на етапі проектування зернового складу цементобетонної суміші, транспортуванні, влаштуванні та догляду при твердінні цементобетонного покриття.

Були проведені натурні дослідження шляхом обстеження цементобетонного покриття автомобільних доріг, які експлуатуються терміном від 2 до 20 років. При цьому оцінювали стан цементобетонного покриття, встановлювали види та розповсюдженість дефектів. Аналіз результатів обстеження стану цементобетонного покриття, дав можливість виявити фактори, що спричиняють утворення різного роду тріщин, які призводять до зменшення його строку служби, а відповідно і всієї конструкції дорожнього одягу в цілому і підтвердити теоретичні передумови досліджень.

Четвертий розділ дисертаційної роботи отримано рекомендації та методику розрахунку, яка дозволяє проектувати цементобетонне покриття на автомобільних дорогах підвищеної довговічності за рахунок використання комплексних хімічних добавок і з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Окрім того:

- розроблено рецептурно – структурні заходи підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг, а саме: розроблено комплексну хімічну добавку та запропоновано її використання для покращення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг; запропоновано методику розрахунку складу цементобетонів, призначену для розрахунку високоміцних цементобетонів та удосконалено її за рахунок дії комплексних хімічних добавок; запропоновано методологію визначення гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей при операційному контролі їх якості.

- розроблено конструктивні заходи підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг, а саме: алгоритм розрахунку оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг від спільної дії пневматичних коліс транспортних засобів,

зміни температури та усадки цементобетону; показники втоми цементобетону в залежності від класу цементобетону і категорії дороги; розрахункові параметри функції модуля пружності від часу дії навантаження та температури.

- *технологічні заходи* підвищення довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг, а саме: запропоновано вимоги по приготуванню цементобетонної суміші із комплексними хімічними добавками; критерії оцінки вмісту залученого повітря та рухомості суміші для забезпечення однорідності цементобетонної суміші в залежності від часу транспортування.

Результати досліджень знайшли своє практичне впровадження на різних об'єктах України, а також в 5 нормативних документах, 6 авторських свідоцтвах і навчальному процесі.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота присвячена вирішанню важливої науково-практичної задачі, що полягає в удосконаленні методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. Це дозволило отримати нові наукові результати для більш точного прогнозування довговічності цементобетонного покриття з використанням комплексних хімічних добавок та забезпечити отримання більш економічно ефективних рішень при проектуванні, будівництві, експлуатації автомобільних доріг.

1. Детальним аналізом умов роботи цементобетонного покриття на автомобільних дорогах встановлено, що покриття перебуває у складних умовах експлуатації, що з часом призводить до руйнувань покриття від спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Установлено, що існуючі методи та критерії оцінки довговічності цементобетонного покриття носять розрізнений характер, так як при оцінюванні не в повній мірі враховують спільну дію усадки цементобетону, зміну напружень від сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

2. Розроблено основну розрахункову схему роботи цементобетонного покриття автомобільних доріг з різними видами основ шарів дорожнього одягу, що враховують особливості властивостей покриття, а також аналітичну залежність та встановлено критерій граничного стану для оцінки довговічності за тріщиностійкістю цементобетонного покриття автомобільних доріг. Удосконалено метод оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, що дозволяє проектувати цементобетонне покриття підвищеної довговічності із заданим строком служби.

3. На основі проведених експериментальних досліджень цементобетону встановлено: розрахункові характеристики цементобетону з використанням комплексних хімічних добавок, а саме модуль пружності з урахуванням різного часу дії навантаження і температури, параметри функції довговічності; лабораторні та стендові дослідження впливу комплексної хімічної добавки на тріщиностійкість цементобетону; закономірності дії комплексної хімічної добавки на будівельно-технологічні та фізико-механічні властивості цементобетону; при моделюванні максимальних розтягуючих напружень в цементобетонному покритті автомобільних доріг від дії пневматичних коліс транспортного засобу.

4. За результатами числового аналізу було встановлено, що цементобетонне покриття (товщиною 22 см) автомобільної дороги з використанням комплексної хімічної добавки має більшу довговічність в 1,2 - 1,6 рази ніж цементобетонне покриття без хімічної добавки.

5. Розроблено рекомендації та методику розрахунку, яка дозволяє проектувати цементобетонне покриття на автомобільних дорогах підвищеної довговічності за рахунок використання комплексних хімічних добавок з урахуванням спільного впливу усадки

цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

6. На підставі техніко-економічного обґрунтування підтверджена економічна ефективність впровадження результатів наукових досліджень за рахунок використання комплексної хімічної добавки в кількості 1,1 % від маси цементу, що дозволяє досягти питомого економічного ефекту – 61,15 грн/м³ цементобетону у порівнянні із хімічною добавкою аналогом зарубіжного виробника.

7. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 5 державних нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації цементобетонного покриття автомобільних доріг України. Дані дослідження знайшли своє практичне впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практиках та написанні дипломних проектів та магістерських робіт для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. A.N. Onyshchenko, A.S. Lapchenko, N.P. Chyzenko, S.P. Voznyi Evaluation of inflammatory concerns in cementbound and other cemento-layers of road clothing for care and health. *Slovak international scientific journal*. Slovakia. 2019. № 27. P. 8-13. <http://sis-journal.com/wp-content/uploads/2019/04/Slovak-international-scientific-journal-No27-2019.pdf>

Статті у фахових виданнях:

2. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П., Сербін В.П., Дорошенко О.Ю. Вплив комплексної добавки на структуроутворення і властивості цементобетонну для покриття доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник*. Київ. 2011. Вип. 82. С. 59-64.
3. Чистяков В.В., Шургая А.Г., Дорошенко Ю.М., Чиженко Н.П. Цементобетони для покриття доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник*. Київ. 2012. Вип. 85. С. 48-55.
4. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П., Карпюк О.А. Порівняння сучасних добавок для високоміцного дорожнього бетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник*. Київ. 2014. Вип. 92. С. 38-49.
5. Чиженко Н.П. Оцінка тріщиностійкості модифікованого дорожнього бетону. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник*. Київ. 2016. Вип. 97. С. 20-26.
6. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Чиженко Н.П. Математичні моделі властивостей високоміцних цементобетонів для дорожнього будівництва. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. Харків. 2017. Вип. 169. С. 103-111.
7. Онищенко А.М., Лапченко А.С., Чиженко Н.П. «Оцінка напружень від усадки в цементобетонному покритті автомобільних доріг». *Вісник НУЛП, серія «Теорія та практика будівництва»* Львів. 2019. № 912. С. 132 -138.
8. Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П. Перевірка відповідності гранулометричного складу цементобетонних сумішей. *Вісник ХНАДУ*, 2019. Вип.86. С.53 – 63. DOI:10.30977/BUL.2219-5548.2019.86.2.53
9. Онищенко А.М., Чиженко Н.П. Оцінка довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Дороги і мости*. Київ, 2020. Вип. 22. С. 138-148. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.22.138>

10. Онищенко А.М., Худолій С.М., Чиженко Н.П. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник*. Київ. 2020. Вип. 46. С. 237-253.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

11. Шургая А.Г., Гудименко К.В., Чиженко Н.П. Теоретические и практические аспекты улучшения технологических показателей, экономической целесообразности и долговечности высокопрочных цементобетонов в дорожном строительстве. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*, наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 49. С. 154-163.
12. Чиженко Н.П. Высокопрочный цементобетон с комплексными добавками для дорожного и аэродромного строительства. *Автомобильные дороги и мосты*. Минск. 2015. № 2 (16). С. 69-74.
13. Шургая А.Г., Чиженко Н.П. Высокопрочный бетон в дорожном строительстве (теоретические аспекты). *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С. 43-49.
14. Шургая А.Г., Гамеляк И.П., Якименко Я.Н., Чиженко Н.П., Карпюк А.А. Высокопрочный цементобетон с комплексными добавками. *Мир дорог*. Санкт-Петербург. 2017. № 98. С.72-78.
15. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О. Ю., Борковський П.П., Чиженко Н.П., Куцоконь О., Наконешна Я. Технологічні методи регулювання властивостей бетону. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*, наук.-техн. збірник. Київ. 2014. Вип. 51. С.50-54.
16. Гамеляк І.П., Шургая А.Г., Якименко Я.М., Дмитриченко А.М., Чиженко Н.П. Удосконалення технології влаштування монолітного парпетного огородження типу “Нью-Джерсі”. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник*. Київ. 2016. Вип.1 (34). С.78 - 88.
17. Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П. Розробка методики оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії транспорту. *Збірник матеріалів I Міжнародної науково – технічної конференції “Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації”*. м. Харків, ХНАДУ, 2019. С. 197-198.
18. Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П.. Розробка методики оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії транспорту. *Збірник матеріалів I Міжнародної науково – технічної конференції “Дорожньо-будівельний комплекс: проблеми, перспективи, інновації”*. м. Харків, ХНАДУ, 2019. С. 197-198.
19. Онищенко А.М., Чиженко Н.П. Метод оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. *Збірник тез міжнародної науково-технічної конференції Гідротехнічне і транспортне будівництво*. Одеса. 28-29 травня 2020 р. С.85-89.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

20. Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Куцман О.М., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕС у будівництві автомобільних доріг. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник*. Київ. 2014. Вип. 29. С. 199-205.
21. Чиженко Н.П. Дослідження можливості застосування латексів як полімерної добавки в цементний бетон. *Будівельні матеріали, виробу та санітарна техніка*, наук.-техн. збірник. Київ. 2009. Вип. 33. С.68 -73.
22. Чиженко Н.П. Вплив полімерної добавки на фізико-механічні властивості цементобетонного покриття доріг. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*: наук.-техн. збірник. Київ. 2008. Вип. 75. С. 153 -157.

23. Дорошенко Ю.М., Дорошенко О. Ю., Борковський П.П., Чиженко Н.П. Модифікація дорожнього цементобетону відходами хімічної промисловості. *Автошляховик України: наук.-виробн. журнал*. 2011. № 6. С.42-45.

Свідоцтва та патенти:

24. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 73075 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Визначення розрахункових модулів пружності. СОУ 45.2-00018112-059 Проект» Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Чиженко Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.
25. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 81519 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Оцінка відповідності гранулометричного складу цементобетонних дорожніх сумішей» Онищенко А.М., Гаркуша М.В., Чиженко Н.П. Дата реєстрації 14.09.2018 р.
26. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 81519 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру. «Удосконалення методу проектування складу високоміцного дорожнього цементобетону» Чиженко Н.П. Дата реєстрації 14.09.2018 р.
27. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 81520 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру. «Підвищення довговічності дорожнього цементобетону за рахунок використання комплексної хімічної добавки» Чиженко Н.П. Дата реєстрації 14.09.2018 р.
28. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 85058 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру. «Напруження усадки в цементобетонних та інших цементовмісних шарах дорожнього одягу при тужавінні та твердінні» Онищенко А.М., Лапченко А.С., Чиженко Н. П. Дата реєстрації 31.01.2019 р.
29. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 97238 Україна. Літературний письмовий твір науково-технічного характеру. «Методологія розрахунку цементобетонного покриття автомобільних доріг на довговічність». Онищенко А.М., Лапченко А.С., Чиженко Н.П. Дата реєстрації 15.04.2020 р.

АНОТАЦІЯ

Чиженко Н.П. Удосконалення методу оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг. – На правах рукописи.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі представлено нове рішення актуального питання щодо методу оцінки довговічності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах з урахуванням спільного впливу усадки бетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, що дозволяє проектувати цементобетонне покриття підвищеної довговічності із заданим строком служби. Отримано аналітичну залежність та встановлено критерій граничного стану для оцінки довговічності за тріщиностійкістю цементобетонного покриття.

Розроблена методика розрахунку, яка дозволяє проектувати цементобетонне покриття на автомобільних дорогах підвищеної довговічності за рахунок використання комплексних хімічних добавок з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону, зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Отримано розрахункові значення параметрів функції модуля пружності з урахуванням різного часу дії навантаження та температури; функції довговічності та показники втоми.

Ключові слова: автомобільна дорога, цементобетон, покриття, довговічність, усадка, температура, навантаження, міра пошкодження, хімічна добавка.

АННОТАЦИЯ

Чиженко Н.П. Усовершенствование метода оценки долговечности цементобетонного покрытия автомобильных дорог. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы». (192 - Строительство и гражданская инженерия). - Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

В диссертационной работе представлено новое решение актуального вопроса по методу оценки долговечности цементобетонного покрытия на автомобильных дорогах с учетом совместного влияния усадки бетона, изменения температуры и действия пневматических колес транспортных средств, это позволяет проектировать цементобетонные покрытия повышенной долговечности с заданным сроком службы. Получена аналитическая зависимость и установлен критерий предельного состояния для оценки долговечности за трещиностойкостью цементобетонного покрытия.

Разработанная методика расчета, позволяющая проектировать цементобетонные покрытия на автомобильных дорогах повышенной долговечности за счет использования комплексных химических добавок с учетом совместного влияния усадки бетона, изменения температуры и действия пневматических колес транспортных средств. Получены расчетные значения параметров: функции модуля упругости с учетом разного времени действия нагрузки и температуры; функции долговечности и показатели усталости.

Ключевые слова: автомобильная дорога, цементобетон, покрытия, долговечность, усадка, температура, нагрузка, степень повреждения, химическая добавка.

ABSTRACT

N. Chyzenko Improving the method of assessing the durability of cement-concrete pavement. - As a manuscript.

The dissertation for candidate of technical sciences degree in specialty 05.22.11 «Highways and airfields». (192 – Construction and Civil Engineering). – National transport university, Kyiv, 2021.

The dissertation presents a new solution to the topical issue of the method of assessing the durability of cement-concrete pavement on highways, taking into account the combined effect of concrete shrinkage, temperature changes and action of pneumatic wheels of vehicles, which allows to design cement-concrete pavement of increased durability.

The analytical dependence and the criterion of the limit state for the assessment of durability by crack resistance of cement-concrete pavement, which allows to take into account the complex action of factors, namely concrete shrinkage, temperature change and the action of pneumatic wheels of vehicles.

The elastic behavior, strength characteristics and durability of cement concrete based on complex chemical additives have been experimentally studied. The calculated characteristics and durability parameters of the studied cement concretes with the use of a complex chemical additive are established, as well as the comparison of the obtained experimental data with the theoretical results. Further developed techniques such as: testing of cement concrete for cyclic fatigue, which will assess the impact of complex additives on durability; determination of the modulus of elasticity of cement concrete taking into account the different time of action of the load and temperature, which is necessary for the calculation of the assessment of the durability of the cement concrete coating; developed a regression dependence of predicting the optimal composition of cement concrete depending on the different amount of complex admixture, which allows you to directly adjust the properties of concrete by indicators: water-cement ratio, cone draft, compressive strength, modulus of elasticity, tensile strength in bending.

The results of experimental studies proved that due to the use of complex chemical additives can directly affect the technological properties of the cement concrete mixture and the structure of cement concrete, which is confirmed by increasing tensile strength in bending compared to the control composition by 30%, increasing early compressive strength by 30%, and 25% of brand strength, increase of frost resistance of cement concrete per mark, increase of water resistance in 3 times, reduction of abrasion by 40% in comparison with control structure.

The practical significance of the obtained results is that a calculation method has been developed that allows to design cement-concrete pavement on high-durability roads through the use of complex chemical additives taking into account the combined effect of concrete shrinkage, temperature change and action of pneumatic wheels. In addition: complex chemical additives of multifunctional action are developed and their influence on technological processes of structure formation and hardening of cement concrete is investigated; obtained for the study of cement concrete: the calculated values of the parameters of the modulus of elasticity, taking into account the different time of action of the load and temperature; the tensile strength in bending, taking into account the different amounts of complex chemical additives; functions of longevity and fatigue rates; the technological properties of the cement-concrete mixture are determined, the calculated characteristics and physical and mechanical properties of cement-concrete for paving of highways are established and the comparison with the modern chemical additive analogous to foreign production is carried out; the methodology of determination of granulometric composition of cement-concrete road mixes at operational control of their quality is offered.

The results of the work were used: in the development of regulations: Methods for assessing the durability of cement-concrete pavement, taking into account the joint impact of changes in temperature and the action of transport; methods for determining the particle size distribution of cement-concrete road mixtures; additives for concrete and mortars complex "Shag". Practical measures have been developed to increase the durability of cement concrete pavement on the roads of Ukraine, taking into account the shrinkage of cement concrete, temperature changes, the mode of movement of loads from vehicles, the composition and intensity of traffic, the design of pavement.

The results of dissertation research were used in the development of 5 regulations for the design, construction, reconstruction, repair and operation of cement-concrete pavement of roads of Ukraine. These studies have found their practical application in the educational process of NTU at the Faculty of Transport Engineering in lectures, practical classes, internships and writing diploma projects and master's theses.

Economic efficiency of implementation of research results, due to the use of complex chemical additive Shag-PA in the amount of 1.1% by weight of cement allows to achieve a specific economic effect - 61.15 UAH/m³ of cement concrete compared to the additive of a similar foreign manufacturer.

Key words: highway, cement concrete, covering, durability, shrinkage, temperature, loading, degree of damage, chemical additive.