

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

КУЦМАН ОЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ



УДК 625.7/.8

**ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ
ШАРІВ ПІДСИЛЕННЯ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2020

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мозговий Володимир Васильович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Батракова Анжеліка Геннадіївна,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет, завідувач кафедри проектування доріг,
геодезії і землеустрою;

кандидат технічних наук, доцент
Ільченко Володимир Васильович,
Національний університет «Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка», доцент кафедри автомобільних доріг,
геодезії, землеустрою та сільських будівель.

Захист відбудеться «06» листопада 2020 р. о 10:00 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 ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано «06» жовтня 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



О.Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Відомо, що на дорогах і вулицях з твердим покриттям у більшості країн світу, у тому числі і в Україні, найбільш поширеними є нежорсткі дорожні одяги з асфальтобетонним покриттям. На сьогоднішній день, згідно офіційної інформації, більшість доріг України потребує відновлення несної здатності у результаті наявності значної кількості руйнувань, що характеризують повне вичерпання критеріїв граничного стану їх дорожнього одягу. До найбільш поширених і небезпечних видів руйнувань відносяться різноманітні тріщини. Основними причинами утворення тріщин є дія погодного-кліматичних факторів та транспортних навантажень, зміна властивостей матеріалів у часі, невідповідність капітальності конструкції дорожнього одягу рівню транспортного навантаження. Як наслідок, такі пошкодження дорожнього одягу в процесі експлуатації значно зменшують їх строк служби. Через відсутність достатньої кількості коштів, роботи з нормативного ремонту відкладаються на невизначений термін. У результаті, кількість і об'єм руйнувань збільшується і площа пошкоджень може досягати до 60-80 % від загальної площі дорожнього одягу.

Особливістю автомобільних доріг України є те, що більшість доріг були розраховані на навантаження групи Б (60 кН на вісь) або групи А (100 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації дорожнього одягу, зросли як інтенсивність руху, так і параметри транспортного навантаження (відбулося збільшення частки великовантажних транспортних засобів у транспортному потоці, підвищення їх загальної маси, навантажень на осі, тиску на контакт колеса з дорогою тощо). Як показують розрахунки проф. Б.С. Радовського, наднормативне збільшення рівня навантажень на 15-30 % викликає скорочення строку служби дорожнього одягу у 2 – 4 рази. Тому, нормативними документами з проектування конструкцій дорожніх одягів у останні роки було передбачено збільшення розрахункового навантаження до 115 кН на вісь, а потім – до 130 кН на вісь. Проте процес належного підсилення конструкцій дорожнього одягу існуючих автомобільних доріг до необхідних параметрів за міцністю відбувається зі значним відставанням від темпів руйнування дорожнього одягу.

Оприлюднена інформація про існуючий стан автомобільних доріг, свідчить що більше ніж 90% їх протяжності не відповідає вимогам щодо міцності для забезпечення руху сучасних транспортних засобів. Тому, існує нагальна потреба в підсиленні конструкцій дорожнього одягу, за рахунок виконання капітального ремонту або реконструкції. Найбільш поширеними практичними заходами вирішення таких завдань є влаштування асфальтобетонних шарів підсилення. Однак, питання щодо підвищення їх довговічності за рахунок забезпечення тріщиностійкості, з урахуванням комплексного впливу вагомих чинників (таких як спільної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень), ще не достатньо вивчене.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, грантами. Наукові результати роботи одержані в процесі виконання:

- плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету «Теоретичні основи забезпечення довговічності дорожнього покриття транспортних споруд» (д/б № 23 РК 01031U03173);

плану науково-дослідних робіт Державної служби автомобільних доріг України:

- «Розробити рекомендації з контролю якості щебенево-мастикової

асфальтобетонної суміші і асфальтобетону та прилад для виготовлення зразків із щебенево-мастикового асфальтобетону» (д/б № 72-05 РК 0105U001108);

- «Провести випробування дорожніх одягів різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами та розробити рекомендації з конструювання шарів підсилення» (д/б № 105-09 РК 0109U005581);

- «Провести випробування на кільцевому стенді найбільш перспективних конструкцій дорожнього одягу, що застосовуються для автомобільних доріг різних категорій та розробити рекомендації для їх проектування в розвиток ВБН В.2.3-218-189-2004, ВБН В.2.3-218-186-2004 та ВБН В.2.3-218-008-97» (д/б № 101-12 РК 0112U004832);

- «Провести дослідження та розробити СОУ на метод випробувань монолітних дорожньо-будівельних матеріалів на втому (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004) (д/б № 111-09/28 РК 0109U007695);

- «Розробити СОУ на метод визначення розрахункових модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (д/б № 112-09/29 РК 0109U007696);

- «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 110-11/91 РК 0111U005441).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу за рахунок підвищення їх стійкості до тріщиноутворення від сумісної дії температурних і горизонтальних нормальних та вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням.

Для досягнення мети дисертаційного дослідження були поставлені такі *задачі*:

- провести аналіз сучасних рішень стосовно підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу;
- розробити розрахункову схему роботи асфальтобетонних шарів підсилення, що ураховує дію транспортного навантаження та коливання температури;
- розробити аналітичні залежності для оцінки граничного стану при тріщиноутворенні асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів;
- провести експериментальне дослідження термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, а також міцності і довговічності асфальтобетону від спільної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень;
- розробити практичні рекомендації для забезпечення та підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонні шари підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу.

Методи дослідження – аналітичні з використанням положень теорій теплопровідності, пружності, термов'язкопружності та кінетичної теорії міцності твердих тіл, а також експериментальні з використанням стандартних та спеціальних методів випробування дорожньо-будівельних матеріалів та конструкцій дорожніх одягів.

Наукова новизна:

- на основі розробленої розрахункової схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення та аналітичних залежностей для оцінки граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при сумісній дії температурних напружень та горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням, на тріщиноутворення в шарах підсилення, з урахуванням термореологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів;
- удосконалено математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення;
- отримав подальший розвиток метод визначення термореологічних характеристик асфальтобетону.

Практичне значення отриманих результатів:

На основі отриманих аналітичних залежностей розроблено методику прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

Удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів.

Отримало подальший розвиток застосування принципів раціонального конструювання асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням стану існуючого дорожнього одягу.

Результати дослідження сприятимуть забезпеченню та збільшенню міжремонтних строків служби асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу і, як наслідок, зменшенню витрат на їх утримання та ремонт, за рахунок підвищення їх стійкості до утворення тріщин.

Особистий внесок здобувача. Отримані автором результати теоретичних та експериментальних досліджень, які виносяться на захист, відображені в публікаціях, що оприлюднені у фахових виданнях та виданнях іноземних держав. У публікаціях [3, 10, 11] автором сформульовано основні чинники, які впливають на напружено-деформований стан дорожнього одягу; вивчено вплив термореологічних процесів на міцність і довговічність асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу [1, 5, 6, 9]; обґрунтовано критерії оцінювання довговічності асфальтобетонних шарів підсилення [1-3, 7, 22, 23].

За результатами досліджень [2, 8, 25, 26, 31] було розроблено методику розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині, методику розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 64-70 в 2008-2019 рр.; на Міжнародному Форумі з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів "АВТОДОРЕКСПО" в 2015-2017 рр., «Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали» в 2015 р.. Також, результати роботи знайшли відображення при розробленні нормативних документів та програмного забезпечення, що застосовуються при проектуванні і влаштуванні асфальтобетонних шарів підсилення конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 41 публікації: 4 статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 13 статей у фахових виданнях, 6 праць апробаційного характеру, 9 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами

дисертаційних досліджень отримано 8 охоронних документів (2 патент України, 6 свідоцтв України про реєстрацію авторського права).

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 107 найменувань та п'ять додатків. Основний текст викладений на 133 сторінках. Текст ілюструється 44 рисунками і містить 8 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність дисертаційної теми, сформульована мета та задачі дослідження. Зазначена наукова новизна роботи, показане практичне значення отриманих результатів та їх впровадження у виробництво.

У **першому розділі** розглянуто стан питання стосовно довговічності асфальтобетонних шарів підсилення та проаналізовано причини зменшення довговічності нежорсткого дорожнього одягу у результаті виникнення у них тріщин.

Розглянуто роботи відомих вчених, що направлені на дослідження напружено-деформованого стану і тріщиностійкості асфальтобетонних шарів: О.Т. Батракова, А.Г. Батракової, Г.С. Бахраха, В.І. Братчуна, І.П. Гамеляка, М.В. Горелишева, Л.М. Гохмана, Л.С. Губача, В.І. Гуляєва, В.К. Жданюка, В.О. Золотарьова, М.М. Дмитрієва, М.М. Іванова, І.В. Кіяшка, Б.І. Ладигіна, К. Маклуфа, О.В. Марчука, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, К. Монісмита, Ю.Є. Нікольського, А.М. Онищенко, Д.О. Павлюка, Б.Г. Печеного, Б.С. Радовського, А.В. Руденського, А.О. Салля, В.М. Сіденка, Г.К. Сюньї, Б.Б. Телтаєва, їхніх учнів і послідовників.

Було з'ясовано, що основними причинами руйнування асфальтобетонних шарів у вигляді тріщин є: вплив транспортних навантажень, коливання температури, тріщини і шви в розташованих нижче шарах, відмінність теплофізичних властивостей матеріалів суміжних шарів із монолітних матеріалів, недостатня жорсткість основи. Залежно від природи утворення тріщин їх поділяють на: відбиті, температурні, силові, технологічні, втомні.

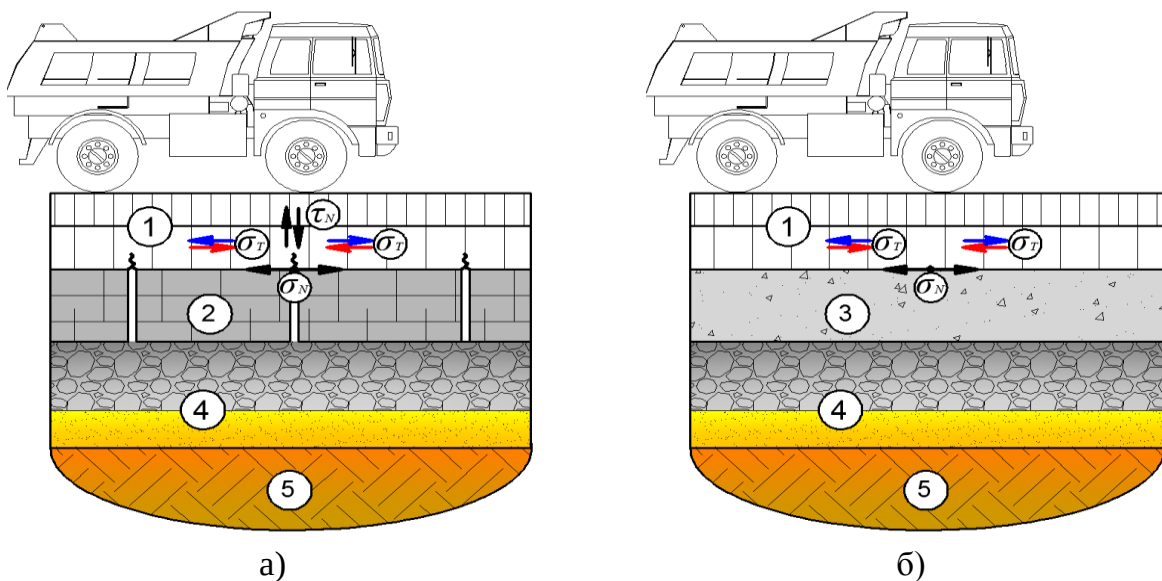
Проведений аналіз літературних даних свідчить, що існуючий нормативний метод проектування нежорсткого дорожнього одягу передбачає розрахунок асфальтобетонних шарів на тріщиностійкість лише на втому від багаторазового прикладання розрахункового рухомого транспортного навантаження у розрахунковий весняний період, використовуючи розрахунковий апарат лінійної теорії пружності. Водночас у багатьох дослідженнях було показано, що напружено-деформований і граничний стани конструкції дорожнього одягу значною мірою залежать від термореологічних властивостей матеріалів дорожнього одягу і ґрунту земляного полотна, які відображають вплив часу дії навантаження за різних температур на міцність конструкції в цілому. На основі результатів відомих досліджень створено аналітично-розрахунковий апарат, що дозволяє виконувати розрахунки напружено-деформованого стану шарів дорожнього одягу від дії транспорту. У ряді робіт аналізується термонапружений стан асфальтобетонних шарів при коливанні температури з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. Однак, виконані дослідження носять розрізнений характер, що до цього часу не дозволило на єдиній методологічній основі розробити комплексний метод розрахунку на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням термореологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів при сумісній дії температурних (викликаних коливанням температури) і горизонтальних нормальних та вертикальних дотичних (викликаних транспортним навантаженням) напружень на тріщиноутворення в шарах підсилення.

У другому розділі виконані теоретичні дослідження щодо довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу при сумісній дії напружень, що є присиною тріщиноутворення в асфальтобетонних шарах підсилення.

У дисертаційних дослідженнях прийнята робоча гіпотеза: довговічність асфальтобетонних шарів підсилення, головним чином, обумовлюється їх стійкістю до тріщиноутворення від спільної дії розтягуючих горизонтальних нормальних напружень, що виникають у процесі згину при транспортному навантаженні та при зниженні температури, а також від дії вертикальних дотичних напружень, спричинених квазіклавішним ефектом у створі тріщин і швів монолітних шарів існуючого дорожнього одягу та (або) тріщин в окремих асфальтобетонних шарах підсилення, що утворюються у процесі служби.

Розрахункові схеми роботи асфальтобетонних шарів підсилення і їх термо-напружено-деформований стан.

Ураховуючи, що умови роботи асфальтобетонних шарів підсилення суттєво залежать від виду та стану розташованих під ними шарів існуючої конструкції дорожнього одягу запропоновано виділити два типи основ з наявністю монолітних шарів з тріщинами та без них (розтріскана та суцільна). До першого типу віднесено тріщинувато-блочні основи, які внаслідок свого горизонтального температурного деформування при коливаннях температури та квазіклавішного ефекту і підвищеного прогину над тріщинами при проїзді пневматиків можуть викликати в асфальтобетонних шарах підсилення у зоні швів і тріщин основи концентрацію відповідних напружень, що призводять до розриву зв'язків в асфальтобетоні (основи із асфальтобетону з тріщинами, шари із матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими, що мають макротріщини) представлена на рисунку 1а. До другого типу віднесено квазісуцільні основи, які не викликають в асфальтобетонних шарах підсилення локальних концентрацій напружено-деформованого стану при дії транспортних навантажень та коливанні температури (основи з білого щебеню, піщано-щебеневої або піщано-гравійної суміші та інших матеріалів, що не укріплені неорганічними в'язучими) представлена на рисунку 1б.



1 – шари підсилення; 2 – верхні шари основи з макротріщинами; 3 – верхні шари основи із незв'язних матеріалів, неукріплених неорганічними в'язучими; 4 – нижні шари основи; 5 – ґрунт земляного полотна;
 σ_T – температурні напруження; σ_N – горизонтальні нормальні напруження; τ_N – вертикальні дотичні напруження

Рисунок 1 – Розрахункові схеми асфальтобетонних шарів підсилення

При вивченні термо-напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення застосовуючи феноменологічний підхід та опираючись на відомі результати досліджень було прийнято, що їх матеріали проявляють властивості квазіоднорідних лінійних термореологічно простих тіл. З метою дослідження кінетики розповсюдження тріщини в m шарах підсилення по вертикальній координаті z кожен i -тий шар поділявся на j прошарків. Для визначення температурного режиму у j -тому прошарку i -того шару, було удосконалено аналітичні залежності, отримані в НТУ на базі рішення теплопровідності Фур'є для полігармонійної косинусоїдальної закономірності зміни температури. Розглядаючи температуру прошарку як середньо-інтегральну по його товщині, отримана аналітична залежність для визначення температурного режиму при зміні температури на поверхні покриття дорожнього одягу для k гармонік з амплітудами A_n та круговими частотами ω_n :

$$T_{i,j}(z,t) = T_0 + \sum_{n=1}^k A_n e^{-w} \frac{1}{\Delta_{i,j}} \left[\int_{d_{i,j}}^{d_{i,j} + \Delta_{i,j}} e^{-z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i,j}}}} \cdot \cos \left(z \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_{i,j}}} - \omega_n \cdot t \right) dz \right], \quad (1)$$

$$\text{де } w = \sum_{i=1}^{m-1} h_i \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_i}} + \sum_{j=1}^{u-1} h_j \sqrt{\frac{\omega_n}{2a_i}}$$

$\Delta_{i,j}$ – товщина j -го підшару i -го асфальтобетонного шару;

$d_{i,j}$ – вертикальна координата поверхні j -го підшару.

Для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення при дії транспортного навантаження використовували відомі рішення для шаруватого пружного напівпростору або скінченно-елементне моделювання. З метою урахування термов'язкопружних властивостей асфальтобетону застосовували підходи квазіпружної апроксимації.

З урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону на основі рішень лінійної теорії термов'язкопружності з використанням функції релаксації у вигляді модифікованого степеневому закону Р. Шепері стосовно розрахункової схеми другого типу отримано рекурентне співвідношення для визначення температурних напружень j -тому прошарку i -того шару підсилення:

$$\sigma_{Ti}(t) = -\alpha_i H \sum_{i=1}^k \overline{A_{n,i,j}} \cos \omega_{n,i,j} t + \alpha_i (B - H) r^m \sum_{i=1}^k \overline{A_{n,i,j}} \omega_{n,i,j} t \cdot \int_0^t \frac{\sin(\omega_{n,i,j}) t d\tau}{\left[r + e^{(T_0 - Q)} (I_n(t) - I_n(\tau)) \right]^m}, \quad (2)$$

$$I(x) = \int_0^x e^{p \overline{A} \cos(2\pi/t_f) u} dU$$

де α_i – коефіцієнт лінійного розширення;

$\overline{A_{n,i,j}}$ – середньо інтегральна по товщині амплітуда коливань температури в j -тому прошарку i -того шару;

B, H, r, m – параметри функції релаксації.

Стосовно розрахункової схеми першого типу для визначення температурних напружень j -того прошарку i -того шару підсилення було використано відоме термопружне рішення у вигляді:

$$\sigma_T = E_1 \alpha_1 \Delta T_1 + \left[\left(1 + \frac{S_2 E_2}{S_1 E_1} \right)^{-1} \left(\alpha_2 \Delta T_2 E_2 \frac{S_2}{S_1} \right) \right], \quad (3)$$

де: E_i , α_i , S_i – відповідно модуль пружності, коефіцієнт лінійного температурного деформування, площа поперечного перерізу; i - номер шару зверху ($i = 1$ покриття, $i = 2$ – блочна основа); ΔT_i – зміна усередненої по товщині температури покриття або основи в часі; $\Delta T_i = T_i(t) - T_i(t=0)$. $T_i(t=0)$ – середня по товщині початкова температура шару; $T_i(t)$ – середня по товщині поточна температура шару, що змінюється в часі t .

Граничний стан асфальтобетонних шарів підсилення.

Оскільки властивості асфальтобетону залежать як від температури, так і від часу дії навантаження, виявляючи кінетичний характер руйнувань, то умова граничного стану j -того прошарку i -того асфальтобетонного шару підсилення була розроблена на основі використання кінетичної теорії міцності твердих тіл:

$$M = M_T + M_{BtB} + M_{BtT} + M_{Sh} \leq 1, \quad (4)$$

де M_T – міра вичерпування довговічності від коливання температури;

M_{BtB} – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень у нижній фібрі шару підсилення;

M_{BtT} – міра вичерпування довговічності від дії горизонтальних нормальних напружень у верхній фібрі шару підсилення;

M_{Sh} – міра вичерпування довговічності від дії вертикальних активних дотичних напружень.

Міра вичерпування довговічності асфальтобетону певного прошарку від дії відповідного виду напруження визначається за функцією Бейлі як інтегральна сума міри пошкодження.

Вплив часу дії навантаження.

Удосконалено аналітичні залежності чинного нормативного методу розрахунку асфальтобетонних шарів нежорсткого дорожнього одягу на дію транспорту, де виконується розрахунок лише від моновантаження при розрахунковому часі навантаження ($t_n = 0,1$ с). З урахуванням більш реального спектру часу дії навантаження (ділянки перегонів з частими заторами, підходи до перетину з залізничними коліями та ін.), коли певна частка автомобілів може створювати триваліший час дії навантаження ($t_n > 0,1$ с) при такому бінарному режимі за часом навантаження міцність матеріалу шару на розтяг при згині з урахуванням втомних явищ від дії розрахункових циклічних навантажень з тривалістю дії $t_n = 0,1$ с і $t_n > 0,1$ с визначається за формулою:

$$R_N^{t_n=0,1+t_n>0,1} = R_0^{0,1} k_1^{t_n=0,1+t_n>0,1} k_2(1 - v_R \cdot t), \quad (5)$$

де k_2 , v_R , t – параметри, що визначаються за ГБН В.2.3-37641918-559;

$k_1^{t_n=0,1+t_n>0,1}$ – коефіцієнт, що враховує зниження міцності внаслідок втомних явищ при багаторазовому сумарному навантаженні як при тривалості дії $0,1$ с, так і більше $0,1$ с, що обчислюється за виразом:

$$k_1^{t_n=0,1+t_n>0,1} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{t_n=0,1+t_n>0,1}}}, \quad (6)$$

де m, α параметри, що визначаються за ГБН В.2.3-37641918-559;

$\sum N_p^{t_n=0,1+t_n>0,1}$ – еквівалентне сумарне число прикладная розрахункового навантаження за формулою:

$$\sum N_p^{t_n=0,1+t_n>0,1} = \delta_{t_n>0,1} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{t_n=0,1+t_n>0,1} + (1 - \delta_{t_n>0,1}) \cdot \sum N_p, \quad (7)$$

де $\sum N_p$ – визначається за ГБН В.2.3-37641918-559;

$\delta_{t_n>0,1}$ – частка від загальної кількості автомобілів в потоці при $t_n>0,1$ с;

$\beta_{t_n=0,1+t_n>0,1}$ – коефіцієнт, що відображає вплив на втомне руйнування бінарного режиму навантаження.

У **третьому розділі** наведені результати експериментальних досліджень щодо довговічності асфальтобетонних шарів підсилення. Ці дослідження полягали у виконанні лабораторних і стендових випробувань та числового експерименту, а також натурних обстежень шарів підсилення.

У лабораторних випробуваннях використовували як стандартні методики, так і оригінальні, розроблені на кафедрі ДБМ і хімії НТУ. Для випробувань асфальтобетону виготовляли циліндричні зразки способом пресування, для визначення фізико-механічних властивостей (згідно із ДСТУ Б В.2.7-319:2016) і зразки-плити способом укочування з наступним розрізанням їх на зразки-призми, для визначення розрахункових термомеханічних характеристик. Розрахункові термомеханічні характеристики асфальтобетону (модуль пружності, показник втоми та міцність на розтяг при згині), що використовуються у розрахунках асфальтобетонних шарів на міцність, визначались у відповідності з нормативними документами СОУ 45.2-00018112-059:2010, СОУ 45.2-00018112-058:2010 та СОУ 42.1-37641918-099:2013, у розробленні яких безпосередньо приймав участь дисертант.

При цьому, було удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів. Так, для зменшення розкиду експериментальних результатів при визначенні міцності асфальтобетону на розтяг при згині було запропоновано перейти із раніше застосованої 3-х точкової схеми згину на 4-х точкову (рисунки 2), де у максимально розтягнуту зону потрапляє сукупність усіх структурних елементів матеріалу на відміну від 3-х точкової схеми випробувань. Ураховуючи, що ця характеристика асфальтобетону як термореологічного тіла залежить від швидкості деформування, була отримана формула для встановлення переходу від швидкості ходу преса при 3-х точковій схемі випробувань до її значення при 4-х точковій схемі, при якій забезпечується однакова швидкість відносної деформації розтягу зразка:

$$V_{W_2} = V_{W_1} k_{(a,l)}, \text{ при } a = l/3 \quad k_{(a,l)} = 1,278. \quad (8)$$

При проведенні дослідження сумісного впливу дії розтягуючих горизонтальних нормальних і дотичних вертикальних напружень на міцність і довговічність асфальтобетону, вивчали як змінюються ці показники на зразках-призмах при дії

горизонтальних нормальних розтягуючих напружень при згині (рисунок 2), у залежності від попереднього прикладання різного рівня дотичних «перерізаючих» напружень. Отримані результати показали, що вплив останніх суттєво зменшує ці показники. Наприклад, при умові коли такі дотичні напруження становлять 0,3 від їх руйнівного значення, час до руйнування зразків асфальтобетону при дії розтягуючих напружень зменшується у 2-3 рази. Це підтверджує необхідність урахування сумісної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень при дослідженні довговічності асфальтобетонних шарів підсилення.

Одним із ефективних заходів підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу є застосування в асфальтобетонних шарах армуючих синтетичних матеріалів (далі – АСМ), яке дозволяє підвищити їх тріщиностійкість та збільшити строк служби. Лабораторне визначення розрахункових характеристик асфальтобетонних шарів з прошарками із армуючих синтетичних матеріалів (АСМ) здійснювали при випробуванні композицій «асфальтобетон+АСМ+асфальтобетон» (рисунок 3). Було експериментально досліджено вплив технологічних і експлуатаційних факторів при улаштуванні та експлуатації армованого асфальтобетону на залишковий ресурс АСМ та розрахункові характеристики армованої композиції. Ці результати було використано при розробці СОУ 42.1-37641918-107:2013 та СОУ 45.2-00018112-076:2012.

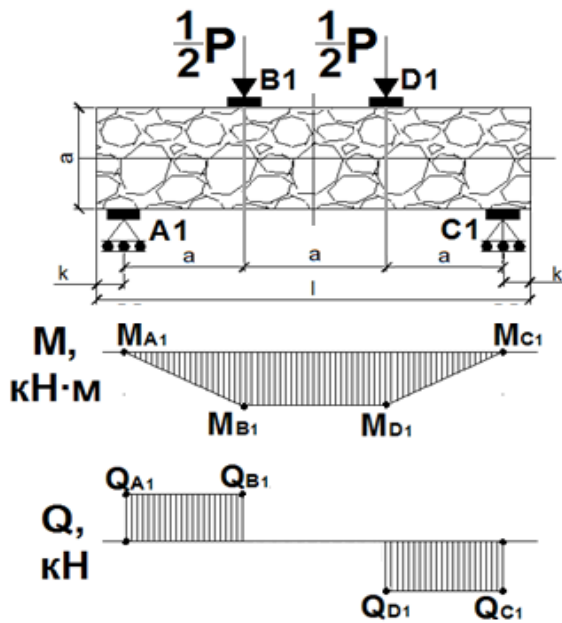
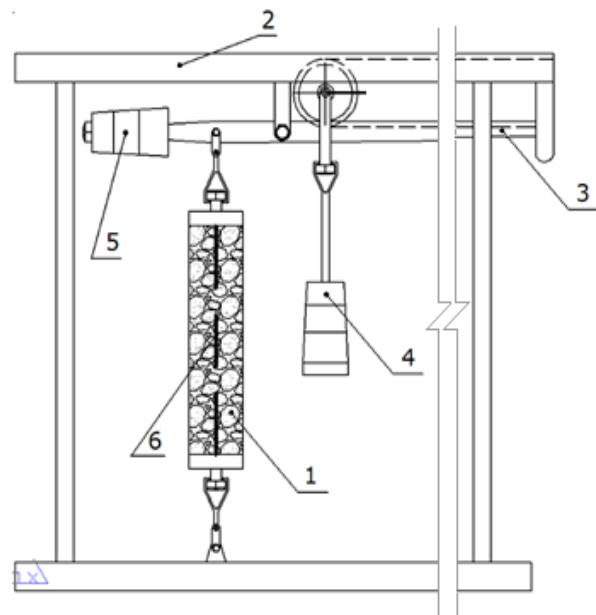


Рисунок 2 – 4-х точкова схема випробування зразків на розтяг при згині



1 – асфальтобетонний зразок; 2 – станина (корпус); 3 – консоль; 4 – рухомий вантаж; 5 – вантаж для рівноваги консолі; 6 – АСМ.

Рисунок 3 – Схема випробування зразків армованого асфальтобетону на розтяг

Термореологічні характеристики асфальтобетону, які використовуються для прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення, що характеризують термов'язкопружну поведінку асфальтобетону при зміні температури, часу дії навантаження, режиму навантаження (функцію релаксації, функцію температурно-часового зміщення, функцію тривалої міцності) визначали за методологією НТУ.

У дисертаційних дослідженнях отримав подальший розвиток метод встановлення параметрів термореологічних характеристик асфальтобетону, який, базується на використанні експериментальних результатів випробування при постійній швидкості деформування $V_\varepsilon = \text{const}$ при розтягу, що дозволяє використовувати легко доступне і широко розповсюджене пресове обладнання випробувальних лабораторій. На прикладі використання аналітичної залежності для опису функції релаксації за методикою НТУ у вигляді модифікованого степеневому закону, де необхідно встановити невідомі параметри m і r при визначених попередньо (відомими способами) значеннях тривалого H і миттєвого B модулів релаксації на основі співвідношення Больцмана-Вольтерра отримано аналітичний вираз для визначення розтягуючого напруження як функції часу:

$$\sigma(t) = V_\varepsilon H t + V_\varepsilon (B - H) r \left(\frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right)^{1-m} - \left(1 - \frac{t}{r}\right)^{1-m}}{1-m} \right). \quad (9)$$

Це дає можливість на основі експериментальних даних при різних значеннях часу t_1 та t_2 , отримати два рівняння з двома невідомими та на основі розв'язку такої системи рівнянь встановити шукані невідомі.

Були проведені стендові та натурні дослідження різноманітних конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із асфальтобетонними шарами підсилення. Отримані результати дозволили підтвердити актуальність та достовірність дисертаційних досліджень. Так для перевірки впливу застосування АСМ на підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при проїзді транспортних засобів від дії сумісного впливу розтягуючих горизонтальних нормальних і дотичних вертикальних напружень було проведено стендові дослідження на кільцевому стенді ДП "Дорожній контроль якості" (рисунок 4). У процесі випробувань, експериментальні конструкції піддавались дії двох рухомих 2-х вісних електромобілів з навантаженням на вісь 115 кН. В експериментальних конструкціях (рисунок 5) були влаштовані контрольні карти з АСМ та без них (рисунок 6), які імітують основу з тріщинами та основу зі стрибкоподібним зниженням її жорсткості, що імітує квазіклавішний ефект. Включення в роботу АСМ на контрольних картах було перевірено за методикою О.Ю. Мерзлікіна на основі коефіцієнта армування, що являє собою співвідношення результатів міцності відібраних кернів на розтягування при розколюванні за температури випробування 0°C , відповідно, з АСМ та без АСМ.

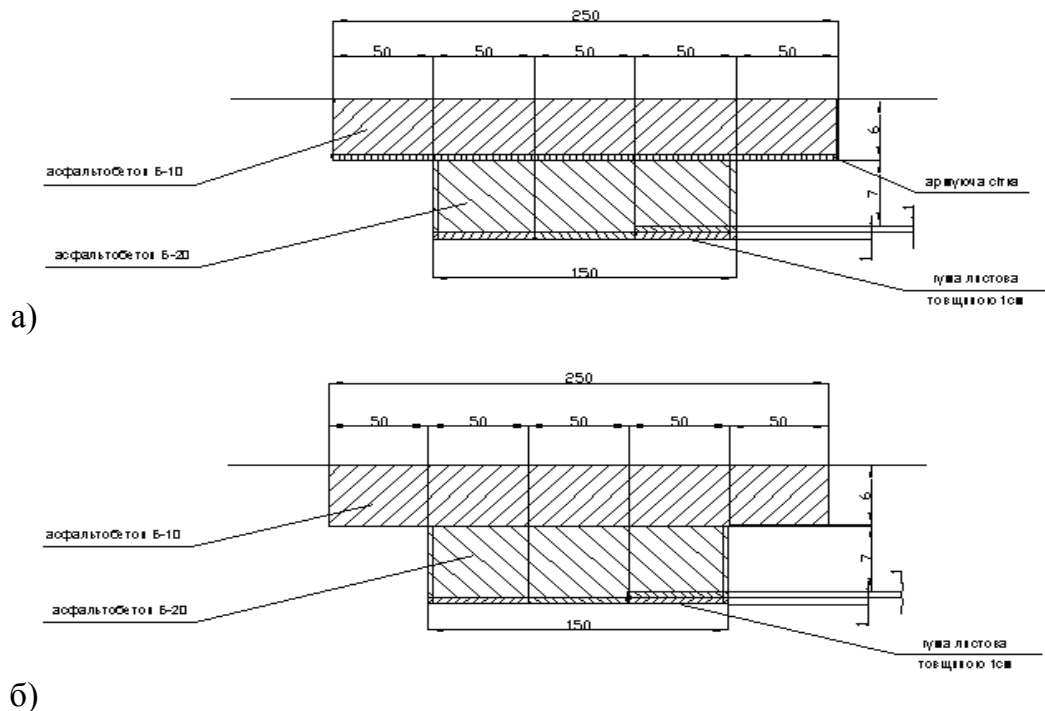


Рисунок 4 – Загальний вигляд контрольних карт після 300 обертів стенду



Рисунок 5 – Конструкція дорожнього одягу, на якій влаштовано карти з армованими асфальтобетонними шарами підсилення

За результатами випробувань встановлено, що перші поперечні тріщини з'явилися на поверхні покриття контрольної карти №2 в місці під яким нарізано штучну тріщину. На контрольній карті №1 тріщин і деформацій не було помічено навіть після більш ніж десятикратної кількості проїздів пневматиків у порівнянні з кількістю їх проїздів, коли з'явилися перші тріщини на карті №2.



а – контрольна карта №1; б – контрольна карта №2.
Рисунок 6 – Схема контрольних карт

У четвертому розділі наведена практична реалізація результатів дослідження.

Розроблено методику прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення сумісної горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень з урахуванням часу дії навантаження. Порядок розрахунку часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення представлена на рисунку 7.

Розроблено методику розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням АСМ на основі використання чинних нормативних методів розрахунку та експериментально визначених розрахункових характеристик армованого асфальтобетону. Для здійснення розрахунку дорожнього одягу з асфальтобетонними шарами і армуючими прошарками виконують процедуру приведення фактичної конструкції дорожнього одягу до розрахункової моделі в наступній послідовності:

- виконують конструювання дорожнього одягу із застосуванням асфальтобетонних шарів з армуючим прошарком згідно чинних нормативних документів за загальною схемою, що наведена на рис. 8 а;
- призначають розрахункові характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу ($E(t, T)$, $R_p(t, T)$, m) та їх товщини і розрахункові характеристики ґрунту земляного полотна (E_{gp} , φ_{gp} , C_{gp});
- виконують заміну товщини частини асфальтобетонних шарів, між якими розташований армуючий матеріал, товщиною еквівалентного шару (рис. 8 б). Розрахункові

характеристики Z_e еквівалентного шару встановлюються на основі результатів випробувань асфальтобетону з армуючим прошарком як усереднене значення розрахункових характеристик прилеглої зони до армуючого прошарку асфальтобетонного шару, що знаходиться над прошарком (Z_g^a) та відповідно асфальтобетонного шару, що знаходиться під прошарком (Z_n^a).

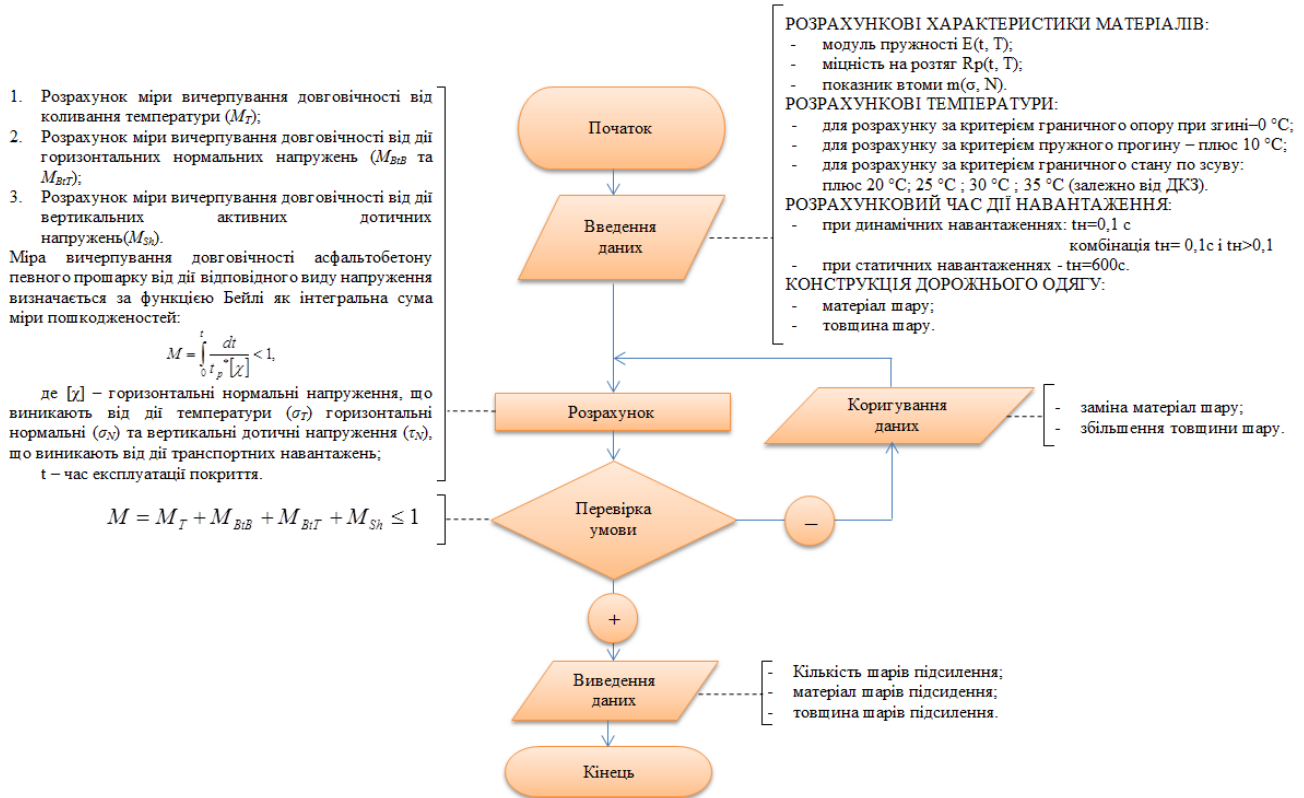


Рисунок 7 – Алгоритм розрахунку часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення

$$Z_e = \frac{Z_g^a h_g^a + Z_n^a h_n^a}{h_g^a + h_n^a}, \quad (10)$$

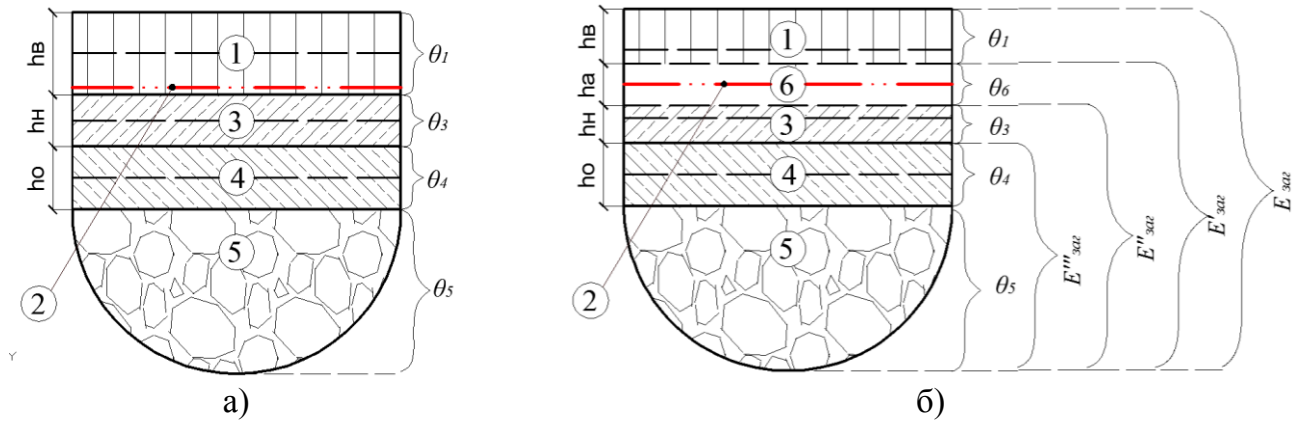
де Z_e – розрахункова характеристика еквівалентного шару;
 Z_g^a, Z_n^a – відповідно розрахункова характеристика асфальтобетонного шару над армуючим прошарком та під ним;
 h_g^a, h_n^a – відповідно товщина асфальтобетонного шару над армуючим прошарком та під ним.

Товщина еквівалентного шару (h^a) рівна сумі товщин зони армування відповідно для асфальтобетонного шару, що розташований над (h_g^a) і під (h_n^a) армуючим прошарком:

$$h^a = h_g^a + h_n^a, \quad (11)$$

де $h_g^a = 1,5 d_g^{max}$; $h_n^a = 1,5 d_n^{max}$; d_g^{max}, d_n^{max} – відповідно максимальний розмір щебеню асфальтобетону в шарі над армуючим прошарком та під ним.

- приводять отриману конструкцію дорожнього одягу до загальної розрахункової схеми (рис. 8 б) та виконують розрахунок згідно з відповідними нормативними документами.



1 – асфальтобетонний шар (або декілька шарів), розташований над армуючим прошарком; 2 – армуючий прошарок; 3 – асфальтобетонний шар (або декілька шарів), розташований під армуючим прошарком; 4 – шари основи та (або) додаткової основи; 5 – ґрунт земляного полотна; 6 – еквівалентний шар; h_b – товщина шару (шарів), розташованого над армуючим прошарком; h_n – товщина шару (шарів), розташованого під армуючим прошарком; h_a – товщина шару із армованого асфальтобетону; h_o – товщина шару (шарів) основи та (або) додаткової основи; θ_1 , θ_3 , θ_4 , θ_6 , – розрахункові характеристики матеріалів шарів дорожнього одягу ($E(t, T)$, $R_p(t, T)$, m (σ , N)); θ_5 – розрахункові характеристики ґрунту земляного полотна (E_{gr} , φ_{gr} , C_{gr}).

Рисунок 8 – Конструкція дорожнього одягу з застосуванням армуючого прошарку (а); заміна асфальтобетонних шарів, між якими розташований армуючий матеріал, еквівалентним шаром та приведення конструкції дорожнього одягу з армуючим прошарком до розрахункової моделі (б)

На основі дисертаційних досліджень удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які були використані при розробленні відповідних нормативних документів: СОУ 45.2-00018112-058:2010, СОУ 45.2-00018112-059:2010, СОУ 42.1-37641918-099:2013, СОУ 45.2-00018112-076:2012, СОУ 42.1-37641918-107:2013.

Запропоновано удосконалення існуючих принципів раціонального конструювання асфальтобетонних шарів підсилення за рахунок застосування заходів, направлених на мінімізацію дії сумісної горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень та підвищення однорідності і несної здатності основи та асфальтобетону шарів підсилення.

Результати дослідження впроваджено у навчальний процес Національного транспортного університету для проведення занять студентам спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» за освітніми програмами: «Автомобільні дороги, вулиці та дороги населених пунктів»; «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, що полягає у підвищенні довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу. Отримані нові наукові результати, що дозволяють підвищити точність прогнозування утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення і обґрунтовано вибір заходів для їх практичного застосування на об'єктах транспортного будівництва.

Основні результати полягають у наступному:

1. Аналіз існуючих досліджень стосовно підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу дозволив узагальнити наукові підходи та практичні розробки. Встановлено, що на основі багаторічних досліджень нежорстких дорожніх одягів опираючись на фундаментальні положення теорії деформівних твердих тіл дослідниками створено досить ефективні аналітично-розрахункові методи для прогнозування напружено-деформованого стану шарів дорожнього одягу з урахуванням термопружних та термов'язкопружних властивостей матеріалів і ґрунтів. Обґрунтовано, розроблено та апробовано результативні способи підвищення довговічності шарів підсилення. Однак виконані дослідження носять розрізнений характер, що до цього часу не дозволило на єдиній методологічній основі оцінювати довговічність асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу з врахуванням сумісної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень на їх тріщиноутворення.

2. Розроблено розрахункову схему роботи асфальтобетонних шарів підсилення, що ураховує дію впливових факторів, отримані математичні моделі для температурного поля і температурного режиму та напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів підсилення при полігармонійному коливанні температури з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів. Це дозволило удосконалити математичну модель для опису граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням прогнозування кінетики розповсюдження тріщини в шарах підсилення по їх товщині.

3. На основі аналітичних залежностей, отриманих для оцінки граничного стану асфальтобетонних шарів підсилення при тріщиноутворенні, з урахуванням термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення при сумісній дії температурних напружень та горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень, викликаних транспортним навантаженням. Суть його новизни полягає у врахуванні дії вертикальних дотичних напружень на зменшення часу до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах. Цей метод дозволяє для різних варіантів конструкцій підсилення існуючого дорожнього одягу (з урахуванням історії будівництва і експлуатації та його стану) більш об'єктивно встановити час до утворення тріщин в асфальтобетонних шарах та обґрунтовано вибрати найбільш раціональний варіант конструктивних і технологічних рішень.

4. На основі проведеного аналізу отриманих дисертантом та відомих експериментальних результатів визначення термореологічних і термомеханічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів проведено числовий аналіз та експериментальні випробування, що підтверджують актуальність і достовірність дисертаційних досліджень, які передбачають урахування вертикальних дотичних напружень на утворення тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення. Наприклад, проведеними дослідженнями було встановлено, що при умові коли вертикальні дотичні напруження становлять 0,3 від їх руйнівного значення, то час до руйнування зразків асфальтобетону при дії розтягуючих напружень зменшується у 2-3 рази. Застосування АСМ в шарах підсилення (особливо над тріщинами існуючої асфальтобетонної основи) дозволяє збільшити кількість транспортних навантажень до моменту появи тріщин в асфальтобетонних шарах підсилення, більше ніж у 10 разів.

5. Експериментальними дослідженнями встановлено, що ефективність заходів підвищення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу за рахунок застосування АСМ залежить від їх циклічної довговічності між асфальтобетонними шарами. Вплив пошкодженості АСМ від впливу технологічних факторів (при будівельно-монтажних роботах) і транспортних факторів (при експлуатації за високих літніх температур) зменшує їх міцнісні характеристики на 30-70 % у залежності від виду АСМ та зернового складу асфальтобетонних сумішей.

6. За результатами дисертаційних досліджень отримав подальший розвиток метод встановлення термореологічних характеристик асфальтобетону. Це дає можливість удосконалити і підвищити точність встановлення характеристик, що входять у розрахунки, і забезпечити їх достовірність.

7. Запропоновано заходи для практичного застосування результатів дослідження: розроблено методику прогнозування довговічності асфальтобетонних шарів підсилення; удосконалено методики визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів, які увійшли в чинні нормативні документи; розвинуто принципи раціонального конструювання асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням стану існуючого дорожнього одягу.

8. Застосування результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України (Укравтодор); Служба автомобільних доріг в Полтавській області; КК "Київавтодор"; ДП "ДерждорНДІ"; ВАТ "Асфальтобетонний завод" та інших. Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів та магістерських робіт.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты: научн.-техн. журнал «БелдорНИИ». – 2008. – № 2. – С. 16-20.

2. Куцман А.М., Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В. и др. Влияние термореологических процессов на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия нежестких дорожных одежд // Дороги и мосты. – 2015. Вып. 34/2. – С.102-112.

3. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Боровик И.И. и др. Особенности проектирования нежесткой дорожной одежды с применением армированных асфальтобетонных слоев автомобильных дорог Украины // Вестник Кыргызского государственного университета строительства, транспорта и архитектуры им. Н.Исанова. – 2016. – Вып. 1(51). – С. 107-113.

4. Kutsman A., Baran S., Mozgovyi V. Improvement is strength calculation for pavement structure of rail station areas // Transbud – 2017, Structure, Materials and Infrastructure. 2017. Volume 116.

Статті у фахових виданнях:

5. Куцман О.М., Мозговой В.В., Ольховой Б.Ю., Прудкий А.В. Проектирование асфальтобетонных слоев усиление при капитальном ремонте автомобильных дорог с учетом существующего состояния дорожной одежды // Вісник ДНАБА. – 2010. – Вип. 1(81). – С. 174-180.

6. Куцман О.М., Мозговий В.В., Баран С.А., Ольховий Б.Ю. Розширення будівельного сезону за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів при низьких температурах // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. – 2012. – № 3. – С. 30-32.

7. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Аксьонов С.Ю., Ольховий Б.Ю. Забезпечення якості випробувань асфальтобетона суміші при визначенні її зернового складу та вмісту бітуму // Управління проектами, системний аналіз і логістика: наук. журнал. – 2013. – № 11. – С. 69-76.

8. Куцман О.М., Мозговий В.В., Данчук В.Д., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Онищенко А.М., Мозгова Л.А. Розширення будівельного сезону при влаштуванні

асфальтобетонного покриття за рахунок використання теплого асфальтобетону на основі твердих вуглеводнів // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2014. – Вип. 29. – С. 247-258.

9. Куцман А.Н., Баран С.А., Мерзликин А.Е., Мозговой В.В., Онищенко А.Н. О влиянии физико-механических процессов на долговечность асфальтобетонного покрытия строительных конструкций // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2015. – Вип.55. – С. 20-26.

10. Куцман О.М., Мозговой В.В. та ін. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетону // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2016. – Вип. 57. – С.77-83.

11. Куцман О.М., Лаповська С.Д., Мозговой В.В., Баран С.А. Оцінка міцності цементобетонну існуючого покриття // Будівельні матеріали та вироби: наук.-техн.збірник. – 2016. – Вип. 2-3 (92). – С. 30-34.

12. Куцман О.М., Мозговой В.В., Баран С.А., Боровик І.І. Особливості проектування нежорстких дорожніх одягів із застосуванням армованих асфальтобетонних шарів для автомобільних доріг. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. – 2016. – Вип. 1 (34). – С. 294-302.

13. Куцман О.М., Баран С.А. Залежність довговічності асфальтобетонних шарів підсилення від режиму руху транспорту // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 79. – С. 143-146.

14. Куцман О.М., Мозговой В.В., Онищенко А.М., Баран С.А. Розрахунковий модуль пружності асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. – 2017. – Вип. 100. – С.68-76.

15. Куцман О.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Бондар В.М. Аналіз термомеханічних процесів в асфальтобетонних шарах автомобільних доріг // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. – 2017. – Вип. 67. – С. 96-102.

16. Куцман О.М., Густелєв О.О., Мозговой В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости: зб. наук. праць. – 2018. – Вип. 18. – С. 128-145.

17. Густелєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговой В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М., Баран С.А. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. – 2019. – Вип. 1 (43). – С. 26-38.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

18. Куцман О.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Жуков В.Є. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожно-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби санітарна техніка: наук.-техн. збірник. – 2009. – Вип. 33. – С. 137-142.

19. Куцман А.М., Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю. Устройство асфальтобетонных слоев дорожной одежды при низких температурах // Сборник статей и докладов ежегодной сессии Ассоциации исследователей асфальтобетона: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ). – 2011. – С.202-211.

20. Куцман О.М., Паламарчук М.В., Білоцерківська І.В. Особливості проектування асфальтобетонних шарів підсилення. LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. –2012. – С. 200.

21. Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Куцман А.М. Методические особенности определения расчетных характеристик материалов нежестких дорожных одежд // Сборник

статей и докладов ежегодной научной сессии ассоциации исследователей асфальтобетона. – Москва, 29-30 января 2014.

22. Мозговий В.В., Куцман О.М., Баран С.А. Розрахунок асфальтобетонного покриття на міцність, з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону. LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету: тези доповідей. – Київ. – 2017. – С. 182.

23. Alexander Kutsman, Vladimir Mozgovyi, Sergei Baran. Improvement in strength calculation for pavement structure of rail station areas // MATEC Web of Conferences Volume 116. 2017. P XX.

Свідоцтва та патенти:

24. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), B01F 7/00. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Онищенко А.М., Козлов П.В., Прудкий О.В., Лозовська І.Ю., Ольховий Б.Ю., Лаптева Н.С., Жуков О.О., Резник Ю.Л. Дата реєстрації 10.02.2010.

25. Патент України на корисну модель № 123373 Україна, МПК (2018.01), E01C 11/12. Пристрій для підготовки проб бітумів, модифікованих полімерами, до випробування на розшарування при зберіганні / Мозговий В.В., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С., Бондар В.М., Хамбір Б.Ю. Дата реєстрації 26.02.2018 р.

26. Свідоцтво про внесення суб'єкта підприємницької діяльності до Реєстру виробників та розповсюджувачів програмного забезпечення „Комп'ютерна програма розрахунку довговічності щебенево-мастикового асфальтобетону”, 09.08.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

27. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на науковий твір „Методика конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону”, 21.12.2010 р. (Мозговий В.В., Баран С.А. та ін.).

28. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 62287 Україна. Літературний письмових твір практичного характеру «Стандарт організації України. Розрахунковий опір розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів. Метод визначення. СОУ 42.1-37641918-009:2013 Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.10.2015 р.

29. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 67973 Україна. Літературний письмових твір науково-технічного характеру «Галузеві будівельні норми України. Споруди транспорту. Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах ГБН В.2.3.-547;2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 28.09.2016 р.

30. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 68416 Україна. Літературний письмових твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Монолітні дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на втому. СОУ 45.2-00018112-058:2010. Проект» // Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А., Куцман О.М., Лаптева Н.С. Дата реєстрації 01.11.2016 р.

32. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 73075 Україна. Літературний письмових 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., Чиженок Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

33. Куцман О.М., Мозговий В.В., Мозговий О.В. Особливості експлуатації асфальтобетонного покриття дорожнього одягу мостових споруд // Дороги і мости: зб. наук. праць. ДерждорНДІ. – 2007. – Вип. 7, в 2-х т., т.2. – С. 70-74.

34. Куцман О.М., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Кирієнко О.С. Випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій // Вісник ХНАДУ. – 2008. – Вип. 40. – С. 65-67.
35. Куцман А.М., Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Прудкой А.В.. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи // Каталог-справочник «Дорожная техника». – 2010. – С. 114-128.
36. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Жуков О.О., Юнак А.Л., Білан О.О. та ін. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві // Вісник ДонНАБА. – Вип. 1(81). – 2010. – С.53- 60.
37. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: наук.-техн. збірник – Вип. 43. – 2012. – С. 201-205.
38. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Баран С.А.. Міцність дорожнього одягу–основа якості автомобільних доріг // Автомобільні дороги. – 2013. – №4 (234). – С. 32-35.
39. Куцман О.М., Мозговий В.В., Пугач М.О., Мозгова Л.А., Чиженко Н.П., Соколюк М.Ю. Напрямки застосування золошлаків ТЕС у будівництві автомобільних доріг // Вісник НТУ: наук.-тех. збірник, Частина 1: серія «Технічні науки». — 2014 – Вип. 29. – С. 199-205.
40. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Білан О.О. Кільцевий стенд – незамінний помічник у виборі найкращої конструкції дорожнього одягу // Дорожня галузь України. – 2014. – Вип. 4. – С 32-37.
41. Куцман О.М., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Баран С.А., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. – 2016. – Вип. 1 (34). – С.283-293.

АНОТАЦІЯ

Куцман О. М. Забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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, 2020.

У першому розділі дисертаційної роботи розглянуто стан питання забезпечення довговічності асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу: проведено аналіз сучасних рішень при проектуванні шарів підсилення дорожнього одягу; проаналізовано особливості роботи шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу; розглянуті існуючі підходи до прогнозування довговічності шарів підсилення; сформульовано мету і задачі досліджень.

У другому розділі виконані теоретичні дослідження тріщиностійкості асфальтобетонних шарів. В результаті теоретичних досліджень, на основі розглянутих розрахункових схем роботи асфальтобетонних шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу, були отримані аналітичні залежності для опису їх граничного стану. На основі застосованих теоретичних аспектів дослідження, розроблено метод розрахунку довговічності асфальтобетонних шарів підсилення з урахуванням сумісної дії горизонтальних нормальних і вертикальних дотичних напружень на тріщиноутворення в шарах підсилення, а також з урахуванням термореологічних характеристик дорожньо-будівельних матеріалів.

У третьому розділі описані експериментальні дослідження, що полягали у проведенні лабораторних випробувань, числового експерименту та натурних обстежень. За результатами

лабораторних випробувань визначені термореологічні властивості асфальтобетону, показаний вплив швидкості деформування зразків на значення міцності асфальтобетону, встановлено вплив вертикальних дотичних напружень на опір розтягу при згині асфальтобетону. Також були встановлені розрахункові характеристики армованого асфальтобетону.

За допомогою числового експерименту встановлений вплив добового та сезонного коливання температури на довговічність асфальтобетонних шарів підсилення. При проведенні натурних експериментів, виконані спостереження за поведінкою асфальтобетонних шарів підсилення із застосуванням різних конструктивних та матеріалознавських рішень.

Четвертий розділ присвячений практичному застосуванню результатів досліджень. Для практичної реалізації результатів досліджень розроблено:

- 1) Методику розрахунку асфальтобетонних покриттів підвищеної довговічності на опір втомного руйнування від розтягування при вигині;
- 2) Методику розрахунку шарів підсилення нежорсткого дорожнього одягу із застосуванням армованого асфальтобетону.

Ключові слова: асфальтобетон, термореологічні властивості, тріщиноутворення, напружено-деформований стан, довговічність, нежорсткий дорожній одяг, шари підсилення.

АННОТАЦИЯ

Куцман А.М. Обеспечение долговечности асфальтобетонных слоев усиления нежесткой дорожной одежды – Квалификационный научный труд 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, 2020.

Во вступлении приведена общая характеристика работы, обоснована актуальность диссертационной темы, сформулированы цель и задачи исследования. Отмечена научная новизна работы, приведены основные научные результаты, показано практическое значение полученных результатов и их направления внедрения в производство.

В первой главе диссертационной работы рассмотрено состояние вопроса обеспечения долговечности асфальтобетонных слоев усиления нежесткой дорожной одежды. В работе выполнен анализ современных решений по повышению долговечности асфальтобетонных слоев усиления нежесткой дорожной одежды. По результатам анализа исследований известных ученых, можно сделать вывод, что аналитически-расчетный аппарат, предназначенный для прогнозирования напряженно-деформированного состояния слоев дорожной одежды, при оценке их долговечности не учитывает совместного действия горизонтальных нормальных и вертикальных касательных напряжений при трещинообразовании. Также установлено, что во многих подходах прогнозирования долговечности использовались решения теории упругости. Однако, напряженно-деформированное и предельные состояния конструкции дорожной одежды существенно зависят от термореологических свойств, которые отражают влияние времени действия нагрузки при различных температурах на прочность конструкции в целом. В последнее время исследователи стали уделять внимание термореологичным свойствам материалов, но выполнены исследования носят разрозненный характер, что до сих пор не позволило на единой методологической основе разработать метод оценки напряженно-деформированного состояния асфальтобетонных слоев усиления нежесткой дорожной одежды.

Во второй главе выполнены теоретические исследования трещиностойкости асфальтобетонных слоев. В результате теоретических исследований была усовершенствована математическая модель для описания предельного состояния асфальтобетонных слоев усиления нежесткой дорожной одежды. На ее основании были разработаны расчетные схемы

работы асфальтобетонных слоев усиления и получены аналитические зависимости для описания их предельного состояния с учетом совместного действия горизонтальных нормальных растягивающих напряжений и вертикальных касательных напряжений, возникающих при проезде транспортных средств. На основе примененных теоретических аспектов исследования, разработан метод расчета долговечности асфальтобетонных слоев усиления с учетом совместного действия горизонтальных нормальных и вертикальных касательных напряжений на трещинообразование в слоях усиления, а также с учетом термореологических характеристик дорожно-строительных материалов.

В третьем разделе описаны экспериментальные исследования, которые заключались в проведении лабораторных испытаний, численного эксперимента и натурных обследований. По результатам лабораторных испытаний определены термореологические свойства асфальтобетона, показано влияние скорости деформирования образцов на значение прочности асфальтобетона, установлено влияние вертикальных касательных напряжений на сопротивление растяжения при изгибе асфальтобетона. Также были установлены расчетные характеристики армированного асфальтобетона. С помощью численного эксперимента установлено влияние суточного и сезонного колебания температуры на долговечность асфальтобетонных слоев усиления. Из результатов расчета видно, что долговечность асфальтобетонных слоев может уменьшиться в 1,5-2,0 раза, при повторных действиях кратковременных нагрузок, когда температуры покрытия будут равны 10°C или 25°C . При проведении натурных экспериментов, выполнены наблюдения за поведением асфальтобетонных слоев усиления с применением различных конструктивных и материаловедческих решений.

Четвертый раздел посвящен практическому применению результатов исследований. Для практической реализации результатов исследований разработаны:

1) Методика расчета асфальтобетонных покрытий повышенной долговечности на сопротивление усталостному разрушению от растяжения при изгибе;

Суть методики заключается в установлении предельного количества приложения нагрузок на асфальтобетонное покрытие нежесткой дорожной одежды, в зависимости от условий движения, от моноцикловых нагрузок при времени действия $t_n \geq 0,1$ с или для бинарного цикла нагрузки при $t_{n1} \geq 0,1$ с и $t_{n2} \geq 10$ с.

2) Методика расчета слоев усиления нежесткой дорожной одежды с применением армированного асфальтобетона.

Суть методики заключается в замене толщины части асфальтобетонных слоев, между которыми расположен армирующий материал, эквивалентным слоем соответствующих толщины и расчетных характеристик. Далее выполняются приведение многослойной конструкции к двухслойной и расчет по критерия предельного состояния.

Ключевые слова: асфальтобетон, термореологические свойства, трещинообразования, напряженно-деформированное состояние, долговечность, нежесткий дорожная одежда, слои усиления.

ABSTRACT

Kutsman O.M. Providing durability of asphalt concrete layers for reinforcement of non-rigid road clothing. – Not for publishing.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 – road and airports. – National Transport University, Kyiv, 2020.

The introduction describes the general characteristics of the work, substantiates the relevance of the dissertation topic, formulates the purpose and objectives of the research. The scientific novelty of the work is noted, the main scientific results are given, the practical significance of the obtained results and their directions of introduction into production are shown.

The first chapter of the dissertation deals with the state of the question of ensuring the durability of asphalt concrete layers of reinforcement of non-rigid road clothing. The paper analyzes the modern solutions for increasing the durability of asphalt concrete layers of reinforcement of non-rigid road clothing. According to the results of the analysis of researches of famous scientists, it can be concluded that the analytical-calculating device intended for the prediction of the stressed-deformed state of layers of road clothing does not take into account the joint action of horizontal normal and vertical tangential stresses during fracture when assessing their durability. It has also been found that in many approaches to predicting longevity, solutions to the theory of elasticity have been used. However, the stress-strain and limiting states of the roadwear construction are significantly dependent on the thermo-rheological properties, which reflect the effect of the load time at different temperatures on the overall strength of the structure. Recently, researchers have begun to pay attention to the thermo-rheological properties of materials, but the studies carried out are disparate in nature, which still has not allowed to develop a method of evaluation of the stress-strain state of asphalt concrete layers of non-rigid road clothing on a single methodological basis.

In the second chapter, theoretical studies of the fracture resistance of asphalt concrete layers are performed. As a result of theoretical studies, a mathematical model has been refined to describe the limiting state of asphalt-reinforced layers of non-rigid road clothing. On the basis of it, the calculated schemes of operation of asphalt reinforcement layers were developed and analytical dependences were obtained to describe their limiting state, taking into account the joint action of horizontal normal tensile stresses and vertical tangential stresses arising during the passage of vehicles. Based on the applied theoretical aspects of the study, a method for calculating the durability of asphalt reinforcement layers was developed, taking into account the joint action of horizontal normal and vertical tangential stresses on fracture in the reinforcement layers, as well as taking into account the thermo-rheological characteristics of road-building materials.

The third chapter describes the experimental studies that consisted of laboratory testing, numerical experimentation, and field surveys. According to the results of laboratory tests, the thermo-rheological properties of asphalt concrete are determined, the influence of the rate of deformation of the samples on the value of asphalt concrete strength is shown, and the influence of vertical tangential stresses on the tensile strength of the asphalt concrete is determined. The calculated characteristics of reinforced asphalt concrete were also established. The numerical experiment established the effect of daily and seasonal temperature fluctuations on the durability of asphalt concrete reinforcement layers. The results of the calculation show that the durability of asphalt concrete layers can be reduced by 1.5-2.0 times, with repeated actions of short-term loads, when the coating temperatures will be equal to 10 °C or 25 °C. During the field experiments, the behavior of the asphalt concrete was performed. reinforcement layers using various structural and material science solutions.

The fourth chapter deals with the practical application of research findings. For practical realization of research results the following are developed:

1) Method of calculation of asphalt concrete coatings of increased durability for resistance to fatigue fracture from tensile bending;

The essence of the technique is to establish the maximum amount of application of loads on asphalt pavement of non-rigid road clothing, depending on the traffic conditions, on monocyclic loads at the time of action $t_n \geq 0.1$ s or for a binary load cycle at $t_{n1} \geq 0.1$ s and $t_{n2} \geq 10$ with.

2) Method of calculation of layers of reinforcement of non-rigid road clothing with the use of reinforced asphalt concrete.

The essence of the technique is to replace the thickness of a part of asphalt concrete layers, between which is reinforced material, equivalent to a layer of appropriate thickness and design characteristics. Next, the multilayer construction is reduced to a two-layer structure and the limit state criterion is calculated.

Keywords: asphalt concrete, thermo-rheological properties, cracks, stress-strain state, durability, non-rigid road clothing, layers of reinforcement.