

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

**БАРАН СЕРГІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ**



УДК 625.7/.8

**УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО  
ПОКРИТТЯ ПІДВИЩЕНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ІЗ ЩЕБЕНЕВО-  
МАСТИКОВОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ**

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  
**Кузло Микола Трохимович**, Національний університет  
водного господарства та природокористування,  
завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів;

кандидат технічних наук

**Маляр Володимир Володимирович**, Харківський  
національний автомобільно-дорожній університет,  
доцент кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів

Захист відбудеться «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р. о \_\_\_\_\_ 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. 333.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42.

Автореферат розіслано «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради



В.І. Каськів

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### **Актуальність теми.**

На даний час в Україні як і в усьому світі найпоширенішим покриттям доріг та вулиць є асфальтобетонне, завдяки своїм перевагам, що проявляються під час будівництва, експлуатації і ремонту. Безпечний і комфортний рух транспорту можливо забезпечити тоді, коли дорожнє покриття не потребує частих ремонтних втручань і протистоїть передчасному накопиченню залишкових деформацій, зберігає суцільність при циклічному згині від проїзду транспортних засобів та при багаторазовій дії розтягуючих напружень в результаті коливань температури, а також зберігає суцільність при впливі водо-морозних циклів. Саме над створенням такого асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності останні десятиліття працювали вчені багатьох країн отримавши ряд передових розробок. До таких розробок відноситься щебенево-мастиковий асфальтобетон (далі ЩМА) – один із сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону, що найкраще відповідає вимогам до матеріалів покриття автомобільних доріг і вулиць з важким та інтенсивним рухом. Цей матеріал вже набув широкого розповсюдження у більшості країн Світу і біля двох десятків років застосовується в Україні. Однак щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття нерідко передчасно руйнується, що погіршує безпеку руху і призводить до значних витрат на ремонт. Це пояснюється відносно невеликим досвідом його застосування у вітчизняній практиці, що потребує (з більш детальним урахуванням кліматичних умов України) удосконалення методики розрахунку конструкцій дорожнього одягу, проектування складу щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші і контролю якості її виготовлення та застосування. Руйнування проявляються різною мірою в залежності від багатьох факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, температура, та ін.).

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону, з урахуванням комплексної дії впливових факторів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Наукові результати роботи одержані в процесі виконання науково-дослідних робіт кафедрою дорожньо-будівельних матеріалів і хімії 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: «Провести дослідження, удосконалити методику визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу та експериментальний зразок приладу для його визначення» (д/б № 53-19, номер державної реєстрації 0119U101525); «Розробка СОУ на метод приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами за допомогою лабораторної лопатевої мішалки» (д/б № 90-11, номер державної реєстрації 0111U005440); «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 91-11, державний реєстраційний № 0111U005559); «Розробити стандарт організації України на метод визначення розрахункових модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (державний реєстраційний № 0109U007696), «Провести дослідження та розробити СОУ на метод випробування монолітних дорожньо-будівельних матеріалів на втому (згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004)» (державний реєстраційний № 0109U007696), та плану науково-дослідних робіт Національного транспортного університету: «Розробка методики проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону» (державний реєстраційний № 0109U002153); «Розробка технології будівництва

довговічних асфальтобетонних шарів із теплого асфальтобетону, виготовленого з використанням твердих вуглеводнів» (державний реєстраційний № 0112U000140), «Розроблення вимог до асфальтобетону, направлених на розширення будівельного сезону при будівництві автомобільних доріг» (державний реєстраційний № 0113U000301), «Математичне моделювання напружено-деформованого стану дорожнього одягу з температурними швами і тріщинами» (д/б № 23, державний реєстраційний № 0103U003173).

**Мета і задачі досліджень.** *Мета* досліджень – удосконалення проектування дорожнього покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону з урахуванням характерних особливостей порушення його суцільності від впливу технологічних процесів і спільної дії транспортних і кліматичних факторів, та на цій основі визначення ефективних заходів для підвищення його довговічності.

Для досягнення мети були поставлені такі *задачі*:

- провести аналіз умов роботи і характеру руйнування щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;
- встановити аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття з урахуванням дії факторів, що на нього впливають;
- на основі експериментальних досліджень встановити розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на довговічність;
- встановити основні закономірності комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття;
- удосконалити метод проектування нежорсткого дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону;
- розробити практичні рекомендації з підвищення довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону.

*Об'єкт дослідження* – дорожнє покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону.

*Предмет дослідження* – довговічність покриття нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастикового асфальтобетону.

*Методи дослідження* – експериментально-аналітичні.

#### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- *вперше встановлено* аналітичні залежності для визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного покриття із ЩМА та оцінки його граничного стану від комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів з урахуванням процесів усадки;
- *удосконалено* метод проектування конструкцій нежорсткого дорожнього одягу із щебенево-мастиковим асфальтобетонним покриттям підвищеної довговічності;
- *отримав подальший розвиток* метод експериментального оцінювання якості технології приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші за показниками, що впливають на довговічність покриття.

#### **Практичне значення одержаних результатів:**

- *розроблено* методику експериментального оцінювання впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЩМА;
- *удосконалено* методику експериментального визначення показника зчеплення покриття з нижніми шарами конструкції дорожнього одягу;
- *удосконалено* заходи з підвищення довговічності покриття із ЩМА.

### **Результати роботи використані:**

При розробці практичних заходів з підвищення довговічності вулиць і доріг в м. Києві з урахуванням режиму навантаження від транспортних засобів, складу та інтенсивності руху, особливостей конструкції дорожнього одягу. При розробці нормативних документів з вимог до якості асфальтобетонних сумішей було враховано основні рецептурно-технологічні чинники, що впливають на якість асфальтобетону. При розробці нормативних документів з методів випробування дорожньо-будівельних матеріалів та з проектування дорожнього одягу було враховано термомеханічні процеси, що впливають на довговічність конструкцій. При вдосконаленні методики обстеження покриття автомобільних доріг і вулиць під час експлуатації з врахуванням історії будівництва та ремонтів, особливості конструкції, характеру руйнування та характеру зв'язку між асфальтобетонними шарами.

**Особистий внесок здобувача.** У праці [13] автором запропоновано оцінювати однорідність ЩМАС за коефіцієнтом варіації показника стікання в'язучого, який визначають на основі відбору точкових проб із однієї партії суміші під час періодичних випробувань. У працях [10, 14,] автором запропоновано оцінювати показник стікання в'язучого за вдосконаленою методикою, що враховує вплив динамічних коливань кузова автосамоскида при транспортуванні ЩМАС. У працях [17, 18] сформульовані особливості термонапруженого стану дорожніх покриттів, у тому числі з поперечними тріщинами.

**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 міжнародних науково-технічних та науково-практичних конференціях: «Ремонт та експлуатаційне утримання цементобетонних покриттів» 15 липня 2010 р., Київ, Україна; на 10-му Міжнародному Форумі з будівництва та експлуатації автомобільних доріг і мостів "АВТОДОРЕКСПО 2012" 27 – 29 листопада 2012 р., Київ, Україна; «Сучасні методи і технології проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд на автомобільних дорогах», 4 – 5 квітня 2013 р., Київ, Україна; на XXVI щорічній науковій сесії Асоціації Дослідників Асфальтобетону 29 – 30 січня 2014 р., Москва, Росія.; «Бетони та добавки для бетону в сучасному будівництві: актуальні питання виробництва і застосування» 4 – 5 червня 2014 р., Київ, Україна; на науково-практичних семінарах (Укравтодор) «Ресурсозберігаючі технології та матеріали для ямкового ремонту дорожніх покриттів» 21 серпня 2014 р., Київ, Україна; «Сучасні гідроізоляційні та покрівельні матеріали» 30 вересня – 01 жовтня 2015 р., Київ, Україна; «Наноматеріали і нанотехнології у виробництві будівельних матеріалів» 20 – 21 квітня 2016 р., Київ, Україна; «Сучасні матеріали та технології при новому будівництві, реконструкції та ремонтах автомобільних доріг загального користування» 26 травня 2016 р., Київ, Україна; «Гідротехнічне та транспортне будівництво» 3 – 6 червня 2016 р., Одеса, Україна.

**Публікації.** Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 38 публікаціях: з них 4 статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз, 14 статей у фахових виданнях, 6 праць апробаційного характеру, 5 праць, які додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 2 патенти України та 5 свідоцтв про реєстрацію авторського права на твір.

**Структура дисертації.** Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 143 найменувань та чотири додатки. Основний текст викладений на 137 сторінках. Текст ілюструється 27 рисунками і містить 9 таблиць.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтована актуальність дисертаційної теми, сформульована мета та задачі дослідження. Відмічена наукова новизна роботи, наведені основні наукові результати, показане практичне значення отриманих результатів та їх напрямки впровадження у виробництво.

У першому розділі розглянуто стан питання проектування нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА і поставлено мету та задачі досліджень.

Відмічено, що дослідженню довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу присвячено значний перелік робіт багатьох відомих вчених: І. Айзенмана, О.Т. Батракова, А.М. Богуславського, Ю.М. Васильєва, М.І Волкова, В.А. Веренька, І.П. Гамеляка, Б.Г. Гезенцевя, М.В. Горелишева, Л.С. Губача, В.І. Гуляєва М.М. Дмитрієва, В.О. Золотарьова, В.К. Жданюка, М.М. Іванова, А.А. Іноземцева, Ж. Карофа, П. Кендла, І.В. Корольова, Б.І. Ладигіна, О.В. Марчука, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, К. Моносміта, А.М. Онищенко, Д.О. Павлюка, Б.Г. Печеного, І. Полячека, Б.С. Радовського, О.О. Рассказова, І.А. Риб'єва, А.В. Руденського, В.Я. Савенка, А.О. Саля, Д. Сібільського, Г.К. Сьонї, Б.Б. Телтаєва, В. Хайкелом та їхніх учнів і послідовників. Було встановлено основні чинники та виявлено закономірності впливу складу асфальтобетону та властивостей компонентів, а також параметрів конструкції дорожнього одягу, що впливають на довговічність покриття. У цих дослідженнях, опираючись на основні положення механіки твердого деформівного тіла, розроблено математичні моделі напружено-деформованого стану дорожніх одягів як багатошарового на півпросторі, інженерні методики розрахунків, а також критерії граничного стану. Також слід відмітити, що в останні роки у багатьох дослідженнях значна увага приділена застосуванню методу скінченних елементів з використанням сучасних програмних комплексів. У сучасних дослідженнях приділяють велику увагу врахуванню термо-реологічних властивостей асфальтобетону, що дозволяє точніше прогнозувати довговічність покриття.

Як свідчить аналіз літературних даних, зусилля багаторічних досліджень, направлених на підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок удосконалення складу асфальтобетону та технології виготовлення і застосування асфальтобетонних сумішей, завершилися успішними практичними результатами появи ряду сучасних прогресивних різновидів асфальтобетону. До одного з них саме і відноситься ЩМА. В літературному огляді показано історію появи ЩМА, яка свідчить про те, що отримані результати ґрунтуються, головним чином, на емпіричних підходах. Проаналізовано опис різними дослідниками умов роботи ЩМА в дорожньому покритті, розглянуто особливості технології виготовлення ЩМА, проектування складу ЩМА та технологію влаштування покриття із ЩМА, наведено методи оцінки граничного стану покриття із ЩМА. Відмічено, що застосування ЩМА у вітчизняній практиці досить часто характеризується не достатньою довговічністю покриття порівнюючи із зарубіжним досвідом. На основі літературних даних також слідує, що існуючий вітчизняний нормативний метод проектування дорожніх одягів не достатньо повно враховує спільну дію транспортних засобів та коливання температури, а також дію інших впливових факторів на довговічність покриття.

Були вивчені літературні джерела щодо коливань кузова сучасних транспортних засобів, коли вони рухаються по автомобільним дорогам загального користування, а саме амплітудно-частотних характеристик під час транспортування ЩМАС. Аналіз літературних даних свідчить, що частота коливання кузова вантажного автомобіля в залежності від характеру нерівностей може змінюватися від 2 Гц до 25 Гц, а прискорення може становити від 0,2 до 4,0 і більше значень прискорення вільного тяжіння.

Виконаний літературний огляд свідчить, що у відомих дослідженнях не достатньо відображено особливості вітчизняних умов застосування ЩМА, а також неповно враховується комплексний вплив факторів (рецептурно-технологічні параметри, навантаження, час його дії, коливання температури, та ін.) на довговічність дорожнього покриття із ЩМА.

**В другому розділі** наведені теоретичні аспекти дослідження довговічності нежорсткого покриття із ЩМА.

У дослідженнях прийнята робоча гіпотеза, що полягає у наступному.

Довговічність покриття із ЩМА визначається, головним чином, його стійкістю до порушення суцільності у результаті негативної спільної дії найбільш впливових факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури при її коливанні, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого (окислення, полімеризація, поліконденсація, випаровування та інфільтрація легких фракцій в'язучого в мікропори і мікротріщини мінерального матеріалу), водо-морозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. При цьому допускається, що стійкість до розшарування асфальтобетонної суміші буде забезпечена при дотриманні вимог до рецептурно-технологічних параметрів чинних нормативних документів та додаткових вимог, розроблених на основі цих дисертаційних досліджень. Стійкість ЩМА до пластичних деформацій буде забезпечена дотриманням вимог чинних нормативних документів.

З урахуванням термо-реологічних властивостей ЩМА, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрейна-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкоджень структури матеріалу протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів, було розроблено критерій граничного стану покриття із ЩМА у вигляді:

$$M = M_{Tp} + M_{yT} + M_{yC} + M_{BMP3} \leq 1, \quad (1)$$

де  $M_{Tp}$  – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту;

$M_{yT}$  – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки;

$M_{yC}$  – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого;

$M_{BMP3}$  – міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водо-морозних впливів.

У даному випадку під пошкодженістю ЩМА, згідно існуючих загальних положень, приймається формальне кінетичне поняття незворотних розривів структурних зв'язків у матеріалі за часом при визначеному характері впливу факторів і оцінюється відносним параметром, який називають мірою пошкодженості, що за фізичною суттю є мірою вичерпування довговічності.

У виразі (1) міру вичерпування довговічності покриття із ЩМА від дії транспорту (з урахуванням загальновідомого підходу при циклічній дії напружень) запропоновано визначати за виразом:

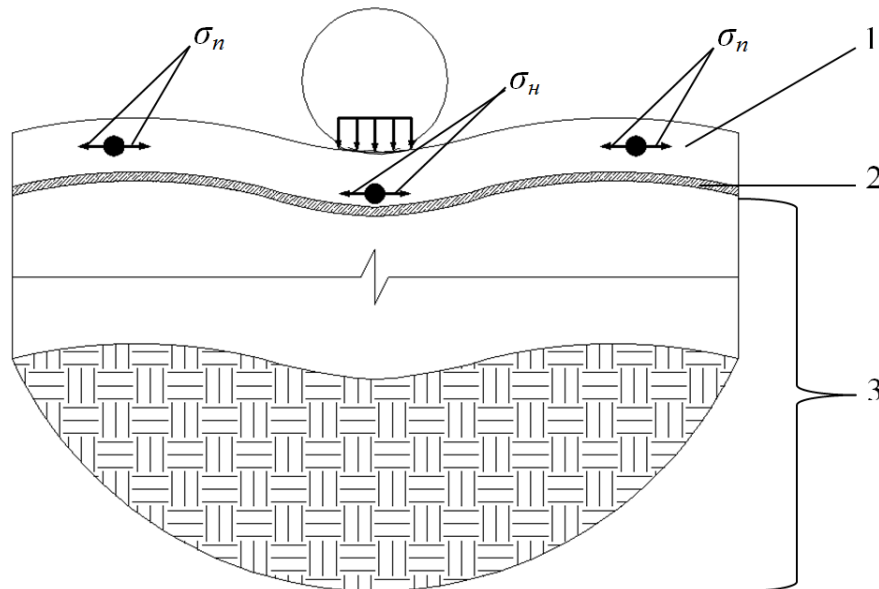
$$M_{Tp} = \sum_{i=1}^m \left( \frac{\sum N_p(t, \sigma_i)}{[N_p(\sigma_i)]} + 2 \cdot \frac{\sum N_p(t, \sigma_i)}{[N_p(\sigma_i)]} \right), \quad (2)$$

де  $\sum N_p(t, \sigma)$  – сумарна інтенсивність прикладання розрахункового навантаження в  $i$ -тий період року, на момент часу експлуатації  $t$  при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття  $\sigma_n$  та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття  $\sigma_n$ ;

$[N_p(t, \sigma)]$  – гранично допустима кількість прикладання розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття в  $i$ -тий період року при дії відповідно розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у нижній частині покриття  $\sigma_n$  та розтягуючого горизонтального нормального напруження при згині у верхній частині покриття  $\sigma_n$  (встановлюються на основі експериментальних даних);

$m$  – кількість характерних  $i$ -тих періодів року з близькими кліматичними умовами.

Розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття  $\sigma_n$  та розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у верхній частині покриття  $\sigma_n$  визначаються на основі аналітичних розрахунків з урахуванням схеми роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження згідно рисунку 1.



1 – щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття; 2 – прошарок, що з'єднує щебенево-мастикове асфальтобетонне покриття з нижніми шарами; 3 – нижні шари конструкції дорожнього одягу та ґрунт земляного полотна.

Рисунок 1 – Схема роботи щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття при дії транспортного навантаження

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від температурної усадки ( $M_{VT}$ ) виразу (1) визначається за аналітичними залежностями Радовського-Мозгового, що базуються на застосуванні критерію Бейлі, модифікованої функції довговічності Бартенєва та рішень теорії термо-в'язко-пружності при визначенні температурних напружень на базі співвідношень Больцмана-Вольтера, а також рішень теорії теплопровідності для прогнозування температурного режиму покриття:



$$M_{VT} = \int_0^t \frac{dt}{t^*(\sigma_T(t), T(t))}, \quad (3)$$

де  $t$  – момент часу експлуатації покриття;  
 $t^*(\sigma_T(t), T(t))$  – функція довговічності ЩМА;  
 $\sigma_T(t)$  – тепературні напруження;  
 $T(t)$  – температура покриття.

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого ( $M_{YC}$ ) виразу (1) встановлюється за наступною розробленою методикою.

Визначається напруження від усадки «старіння» бітумного в'язучого ( $M_{YC}$ ) на момент часу експлуатації покриття  $t$ :

$$\sigma_{yc}(t) = \int_0^t R(t' - \tau') d\varepsilon_{yc}(t), \quad (4)$$

де  $R(t' - \tau')$  – функція релаксації ЩМА;

$(t', \tau')$  – відповідно приведений (згідно принципу температурно-часової аналогії) час спостереження та час, який передує моменту спостереження;

$\varepsilon_{yc}(t)$  – відносна деформація ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого у часі, що встановлюється на основі експериментальних даних.

З урахуванням виразу (4) та зміни у часі температури покриття  $T(t)$  визначається міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від усадки «старіння» бітумного в'язучого:

$$M_{YC} = \int_0^t \frac{dt}{t^*(\sigma_{yc}(t), T(t))}, \quad (5)$$

де  $t^*(\sigma_{yc}(t), T(t))$  – функція довговічності ЩМА.

Міра вичерпування довговічності покриття із ЩМА від водо-морозних впливів  $M_{BMP3}$  виразу (1) визначається за розробленою методикою, суть якої полягає у наступному.

На основі експериментально встановленої залежності міцності на розтяг ЩМА від кількості циклів водоморозних впливів  $R_p = f(N_{BMP3})$  згідно принципу лінійного підсумовування міри вичерпування довговічності встановлюється шукане значення  $M_{BMP3}$ :

$$M(N_{BMP3}) = 1 - M(\sigma(t)), \quad (6)$$

де  $M(\sigma(t))$  – міра вичерпування довговічності ЩМА в експерименті при встановленні  $R_p = f(N_{BMP3})$  для заданого режиму зміни розтягуючих напружень  $\sigma(t)$ .

**Третій розділ** присвячений експериментальним дослідженням довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону. Ці дослідження полягали у проведенні лабораторних, стендових та натурних випробувань і числового аналізу.

Були проведені лабораторні дослідження впливу рецептурно-технологічних параметрів на найбільш небезпечне явище, що суттєво впливає на довговічність покриття – це утворення неоднорідності асфальтобетонної суміші під час технології її приготування,

та при проявленні процесу зернової сегрегації ЩМАС у результаті розшарування суміші при зберіганні у накопичувальному бункері та при транспортуванні у автосамоскидах. Таке розшарування призводить до утворення на покритті місць з надлишком в'язучого (виникає небезпека утворення пластичних деформацій) та місць з недостатньою його кількістю (виникає небезпека передчасного порушення суцільності).

Отримані результати лабораторних досліджень підтвердили відомі закономірності впливу на стандартний показник розшарування ЩМАС (за методом Шеленберга) вмісту стабілізуючих добавок та кількості полімерних модифікаторів, а також виявлені нові закономірності впливу виду і кількості енергозберігаючих добавок на цю характеристику. Також за допомогою лабораторних випробувань було проведено дослідження впливу на розшарування суміші часу витримування її у накопичувальному бункері та часу транспортування. Імітацію впливу часу витримування суміші у накопичувальному бункері здійснювали шляхом витримування лабораторного стакана із пробюю суміші у термошафі протягом різного періоду з наступним визначенням показника стікання в'язучого за ДСТУ Б В.2.7-127. Вплив транспортування імітували шляхом створення коливань платформи разом із закріпленим термоізованим лабораторним стаканом, наповненим пробюю ЩМАС. Амплітудно-частотні характеристики коливання проби ЩМАС регулювали за допомогою амортизаційної системи платформи та швидкістю обертів ексцентрика під платформою. Вимірювання амплітудно-частотних характеристик коливань проби ЩМАС виконували за допомогою тензометричного комплексу (рис. 2). Під час випробувань застосовували найбільш характерні параметри коливань проб ЩМАС, відповідно до коливань завантаженого кузова автомобіля: частота 6 – 8 Гц, прискорення 3 – 4 g.

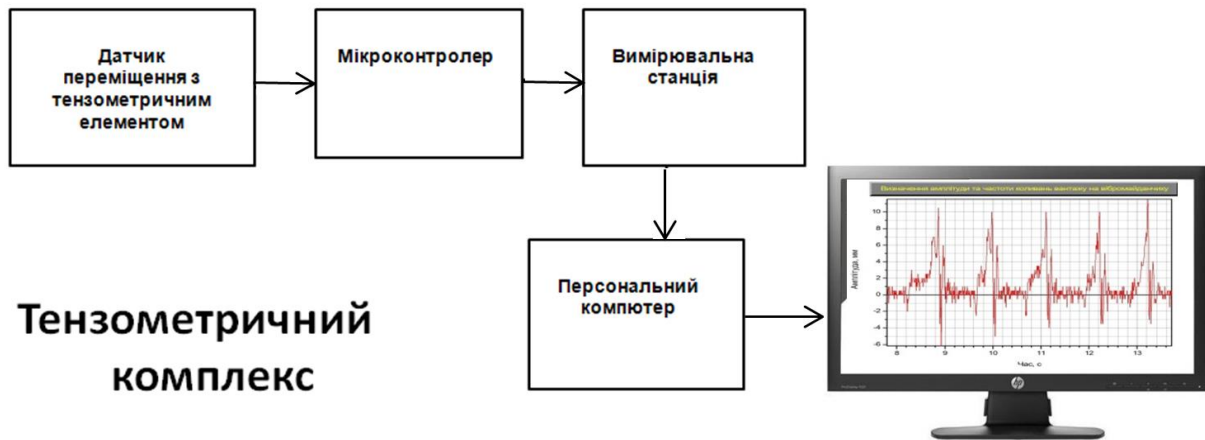


Рисунок 2 – Блок-схема тензометричного комплексу вимірювання амплітудно-частотних характеристик коливань проби ЩМАС

З результатів досліджень слідує, що при довготривалому статичному витримуванні може відбутися перевищення допустимого значення стандартного показника стікання в'язучого (0,2 % при витримуванні проби ЩМАС в термошафі протягом 1-ї години), про що свідчить приклад, наведений на рисунку 3 (суцільна лінія). Аналізуючи результати залежності показника стікання від часу транспортування (рис. 3, штрихова лінія) можна відмітити, що спостерігається суттєве збільшення показника стікання в'язучого, який перевищує вимоги чинних нормативних документів. Такі результати вказують, що час транспортування більш істотно впливає на показник стікання, оскільки при транспортуванні на великі відстані ЩМАС зазнає впливу коливань від автосамоскида.

Для оцінювання стійкості ЩМАС до впливу динамічних коливань запропоновано застосовувати коефіцієнт тиксотропії суміші, що є відношенням показника стікання

в'язучого, отриманого після коливань проби ЩМАС ( $B_{дин}$ ), до показника стікання, отриманого при статичному витримуванні ( $B_{ст}$ ):

$$K_{ТСТ} = B_{дин} / B_{ст} . \quad (7)$$

Також підтвердження впливу коливань кузова при транспортуванні на розшарування ЩМАС було отримано у наступних експериментах.

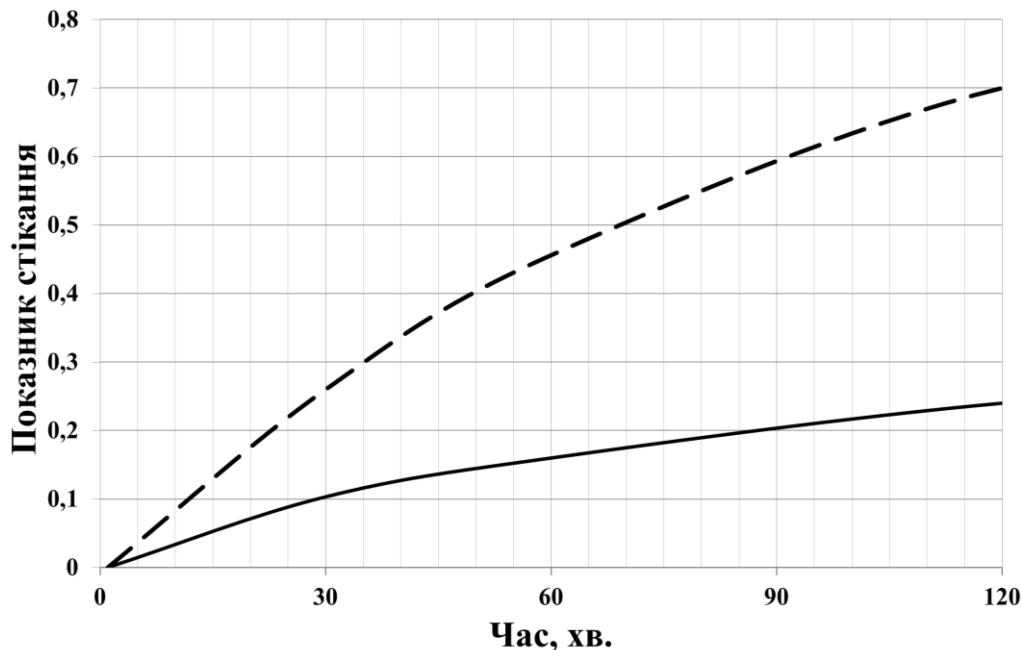


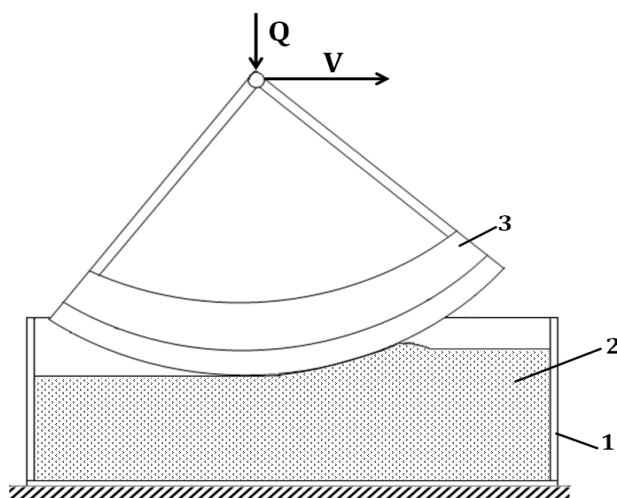
Рисунок 3 – Залежність показника стікання в'язучого, (%) від часу, (хв) витримання (суцільна лінія) і транспортування (штрихова лінія) для ЩМАС-20 на бітумі БНД 60/90

Термоізолюваний розбірний металевий циліндричний короб висотою 100 см, діаметром 11 см заповнювали при температурі ЩМАС, що відповідає температурі її приготування за вимогами нормативних документів. Після чого короб з ЩМАС піддавали впливу динамічних коливань. Після динамічних дій короб розбирали і суміш в ньому ділили на верхню і нижню частини. Далі суміш цих двох частин випробовували на визначення показника стікання за стандартною методикою. Результати випробувань показали, що показник стікання нижньої частини ЩМАС був більшим за показник стікання верхньої частини. Залежно від гранулометричного складу, вмісту бітуму і стабілізуючих волокон збільшення значення показника стікання нижньої частини спостерігалось у межах 1,1 – 1,8 рази порівняно з верхньою частиною.

Отримані результати експериментальних досліджень підтверджують і пояснюють результати натурних спостережень за влаштуванням і поведінкою покриття із ЩМА на ряді вітчизняних об'єктів, куди асфальтобетонна суміш доставлялась на відстані 80 – 150 км або транспортні засоби довгий час знаходились у заторах чи у дорозі при проїзді по міським вулицям із світлофорним регулюванням.

У лабораторних дослідженнях визначали стандартні фізико-механічні та термореологічні і термомеханічні властивості ЩМА. Стандартні властивості визначали на зразках, що отримані за методикою ущільнення сумішей шляхом пресування в сталевих циліндричних формах, за допомогою стандартних приладів і методів. Термореологічні і термомеханічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону, які використовуються для оцінювання довговічності покриття із ЩМА визначали на зразках, отриманих методом

укочування за допомогою секторного пресу (методика Хом'якова-Радовського-Щербакова), що імітує ущільнення суміші котками на дорожніх об'єктах і створює структуру ЩМА, близьку до натурних умов (рис. 4). При цьому було досліджено параметри технології ущільнення ЩМАС та її вплив на дроблення мінеральних зерен. Отримання зразків здійснювали за методикою СОУ 45.2-00018112-020.



1 – металева форма; 2 – ЩМАС; 3 – сектор

Рисунок 4 – Схема ущільнення ЩМАС за допомогою секторного пресу

Здійснено експериментальне визначення показників термореологічних і термомеханічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону: функцію повзучості, функцію релаксації, функцію температурно-часової аналогії, функцію довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування, розрахункові значення модуля пружності, міцності на розтяг при вигині, показник втоми, коефіцієнт температурної тріщиностійкості, інтегральний показник стійкості до колієутворення, міцність зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві. Ці експерименти виконувались за допомогою методів і приладів, розроблених в НТУ, в науково-дослідній лабораторії «Технології матеріалів і конструкцій транспортного будівництва» ім. проф. Г.К. Сяньї, у тому числі і за участю дисертанта.

Дослідження поведінки покриття із ЩМА в різних конструкціях дорожнього одягу під дією рухомого транспортного навантаження проводили на кільцевому стенді (рис. 5). Аналізували вплив рецептури ЩМАС та особливостей конструкції дорожнього одягу на поведінку покриття залежно від кількості проїздів автомобілів.



Рисунок 5 – Загальний вигляд кільцевого стенду



Рисунок 6 – Відбір кернів на кільцевому стенді

Зокрема оцінювали зчеплення асфальтобетонного покриття із ЩМА і нижчерозташованих асфальтобетонних шарів за допомогою методики СОУ 45.2-00018112-046. Для досліджень використовували прилад НТУ-ЗЧ-1 та зразки керни, які були відібрані з покриття кільцевого стенду (рис. 6). При визначенні міцності зчеплення між шарами було встановлено, що найвищий коефіцієнт запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві спостерігався між шаром покриття із ЩМА та нижчерозташованим шаром, влаштованим із асфальтобетону типу А. При цьому було встановлено, що застосування модифікованої бітумної емульсії підвищує цей показник на 20 – 30 % порівняно з немодифікованою.

За допомогою числового аналізу було досліджено особливості напружено-деформованого стану та граничного стану покриття із ЩМА при дії транспортного навантаження за різних температурних умов. Для цього використовували відомі аналітичні рішення, номограми, скінченно-елементні програмні комплекси, літературні дані. Був встановлений комплекс факторів, що негативно впливає на довговічність покриття.

В процесі експлуатації покриття у верхній його частині (див. рис. 1) можуть виникати горизонтальні нормальні розтягуючі напруження  $\sigma_n$ , що діють за межами площі контакту пневматика з покриттям (рис. 7). Також було з'ясовано, що розтягуючі горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття  $\sigma_n$  безпосередньо під площею контакту пневматика транспортного засобу можуть виникати через роз'єднання покриття з нижніми шарами у результаті появи, при певних умовах, «відривних» вертикальних нормальних напружень (рис. 8). Крім того утворення таких напружень  $\sigma_n$  відбувається при певних температурних умовах, коли співвідношення модулів пружності ЩМА і матеріалу склеюючого прошарку та нижнього асфальтобетонного шару (див. рис. 1) становитимуть більше 20. У тому числі, цьому сприяє вплив процесу тиксотропії на значне зменшення в'язкості матеріалу склеюючого прошарку при механічній дії на нього транспортного навантаження у літній період року.

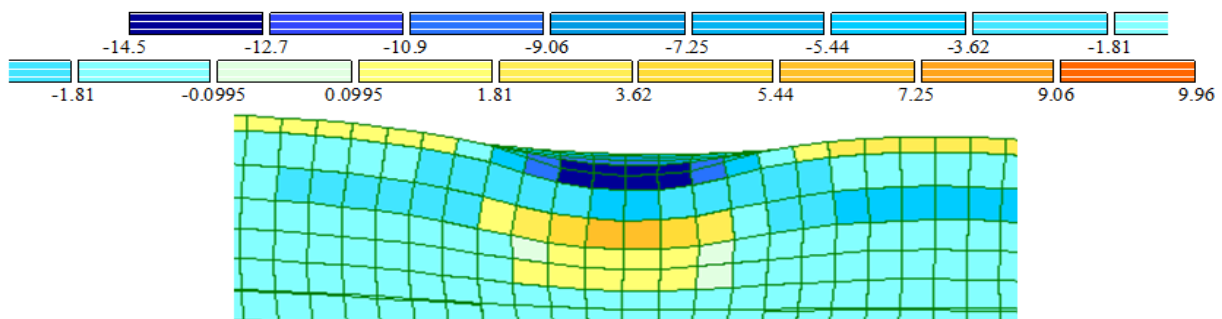


Рисунок 7 – Поле розподілення горизонтальних нормальних напружень у конструкції нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА (т/м<sup>2</sup>)

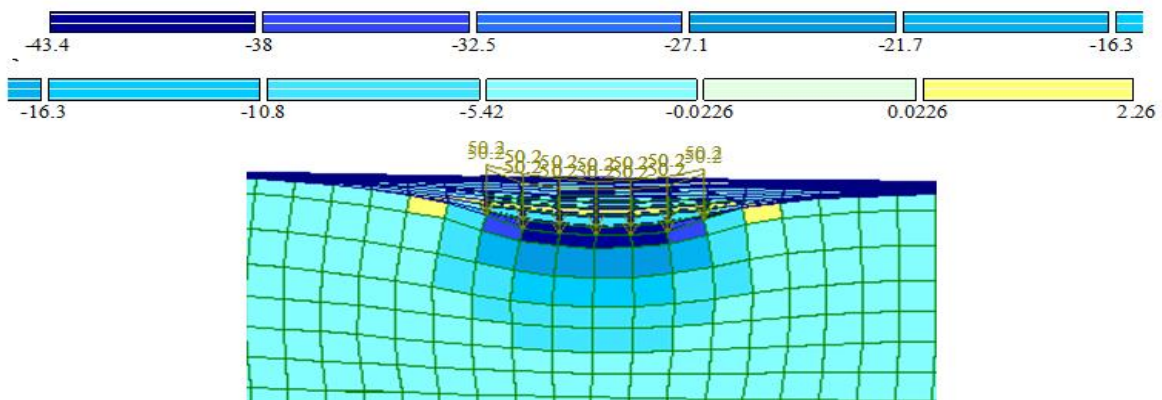


Рисунок 8 – Поле розподілення нормальних вертикальних напружень у конструкції нежорсткого дорожнього одягу з покриттям із ЩМА (т/м<sup>2</sup>)

Також, безпосередньо такі розтягуючі напруження  $\sigma_n$  завжди виникають при відсутності зчеплення покриття із ЩМА з нижніми шарами, що має місце при порушенні технології будівництва. Крім того, при потраплянні води під покриття у результаті порушення його суцільності, наприклад, при утворенні тріщин за рахунок гідродинамічних ударів при проїзді транспорту (як свідчать відомі дослідження) веде до відшарування покриття, що теж призводить до виникнення напруження  $\sigma_n$ .

Були проведені натурні дослідження шляхом обстеження вулиць і доріг населених пунктів та доріг загального користування. При цьому оцінювали стан дорожнього одягу і встановлювали види, розповсюдженість і розміри дефектів асфальтобетонного покриття. З характерних ділянок відбирали вирубку і керни, виготовляли зразки, досліджували властивості ЩМА. Аналіз результатів обстеження стану покриття із ЩМА, що експлуатується при різних режимах навантаження, дав можливість виявити фактори, що призводять до порушення суцільності покриття і підтвердити теоретичні передумови підвищення його довговічності.

**Четвертий розділ** дисертаційної роботи присвячений практичному впровадженню результатів досліджень.

На основі дисертаційних досліджень розроблено методику експериментального оцінювання впливу рецептурно-технологічних параметрів на довговічність покриття із ЩМА. Вона полягає у перевірці коефіцієнта однорідності ЩМАС за показником стікання в'язучого на початку випуску нової партії суміші, а також коефіцієнта тикситропії залежно від умов транспортування.

Удосконалено заходи з підвищення довговічності покриття із ЩМА: матеріалознавчі, що передбачають регулювання складу і властивостей асфальтобетону з метою підвищення міцності і витривалості, технологічні – спрямовані на вплив параметрів технології випуску транспортування та укладання ЩМАС, які зменшують ризик факторів, що призводять до передчасного порушення суцільності покриття, а також спрямовані на застосування додаткових заходів з контролювання дотримування технологічно-рецептурних параметрів; конструктивні – передбачають застосування принципів конструювання дорожнього одягу, направлених на підвищення довговічності покриття із ЩМА.

Розроблено методику випробувань ЩМАС, що дозволяє імітувати вплив транспортування. Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги до показника розшарування в'язучого ЩМАС залежно від часу витримування у накопичувачі і часу транспортування, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Вимоги до значення показника стікання в'язучого залежно від часу витримування в накопичувачі і часу транспортування

Час витримування суміші в накопичувачах, год.	Час транспортування суміші, год.	Показник стікання в'язучого, % за масою, не більше
0,5, не більше	від 0,5 до 1,0 включно	0,14
0,5, не більше	від 1,0 до 2,0 включно	0,10
від 0,5 до 1,0 включно	0,5, не більше	0,16
від 0,5 до 1,0 включно	від 0,5 до 1,0 включно	0,12
від 1,0 до 2,0 включно	від 1,0 до 2,0 включно	0,08

Також запропоновано визначати однорідність щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші на основі аналізу коефіцієнта варіації показника стікання в'язучого щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші при відпрацюванні технології виготовлення.



Удосконалено методику експериментального визначення показника зчеплення покриття з основою, яка полягає у використанні заданого комплексного впливу горизонтальних та вертикальних навантажень на керн, відібраний із дорожнього об'єкта з верхнім шаром із ЩМА. Після цього зразок піддається водо-морозним впливам і випробовується на розтяг. Це дозволяє краще імітувати дію транспортних та кліматичних факторів та оцінити їх вплив на роз'єднання покриття із ЩМА із нижніми шарами.

Результати досліджень знайшли своє впровадження під час науково-технічного супроводу та спостереження на таких об'єктах як: проспект Бажана, проспект Перемоги, проспект Воз'єднання, бульвар Перова, проспект Гагаріна у м. Києві та на автомобільних дорогах державного значення М-06 Київ-Чоп, М-03 Київ-Харків-Довжанський, М-02 Кіпті-Глухів-Бачівськ, Т-05-14 Добропілля-Лиман у Донецькій обл.

Крім того, результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробленні нормативних документів для дорожньо-будівельної галузі України.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає у удосконаленні проектування покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону нежорсткого дорожнього одягу. Це дозволило отримати нові наукові результати для точнішого прогнозування довговічності покриття із ЩМА та забезпечувати отримання більш економічних рішень при проектуванні і будівництві дорожнього одягу автомобільних доріг і вулиць.

1. У роботі виконано аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду підвищення довговічності асфальтобетонного покриття із ЩМА нежорсткого дорожнього одягу, проаналізовано результати відомих вчених, підтверджена актуальність дисертаційних досліджень. Встановлено, що не достатньо вивчені питання стосовно особливостей застосування ЩМА у вітчизняних умовах, а також неповно враховано комплексну дію факторів, що впливають на довговічність дорожнього покриття із ЩМА.

2. На основі проведеного аналізу умов роботи і характеру руйнування покриття із ЩМА прийнята робоча гіпотеза забезпечення його довговічності, розроблена розрахункова схема, на основі застосування положень кінетичної теорії міцності твердих тіл з урахуванням термо-реологічних властивостей отримані аналітичні залежності для прогнозування порушення суцільності покриття при спільній дії факторів: транспортне навантаження, усадка покриття від зниження температури, усадка покриття від «старіння» бітумного в'язучого, водо-морозні впливи, розшарування асфальтобетонної суміші при порушенні рецептурно-технологічних параметрів, недостатнє зчеплення з нижнім шаром. Це все дає можливість підвищити точність прогнозування довговічності покриття із ЩМА.

3. Використовуючи експериментальні випробування і відомі літературні дані встановлено розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття (функція релаксації, функція температурно-часового зміщення, функція довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування), що дає можливість здійснювати числовий аналіз впливу різних факторів на довговічність покриття із ЩМА.

4. Проведені лабораторні, стендові та натурні дослідження і числовий аналіз дозволили встановити кількісний та якісний вплив деструктивних факторів на довговічність покриття із ЩМА. Так з'ясовано: розтягуючі горизонтальні нормальні напруження можуть з'являться у покритті із ЩМА в теплу пору року і зменшувати його довговічність більше ніж у 2-а рази; вплив коливаний кузова при транспортуванні ЩМАС може призводити (залежно від її рецепту та часу транспортування) до збільшення показника стікання в'язучого у 2 – 7 разів, що призводить до утворення локальних зон на

покритті з недостатньою кількістю в'язучого, де коефіцієнти водостійкості та морозостійкості можуть зменшуватись більше ніж на 20 – 40 %. Отримані результати дозволили встановити основні закономірності комплексного впливу технологічних, транспортних та кліматичних факторів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття.

5. Розроблено метод проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону нежорсткого дорожнього одягу, який дозволяє за рахунок повнішого врахування термореологічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону та урахування характерних особливостей порушення його суцільності точніше прогнозувати довговічність покриття.

6. За результатами аналізу впливу дії основних факторів на порушення суцільності покриття із ЩМА удосконалено заходи з підвищення його довговічності. Їх застосування дозволяє на стадії конструювання дорожнього одягу, його розрахунку, проектування рецептурно-технологічних параметрів та контролю якості технологічних процесів направлено регулювати довговічність покриття із ЩМА.

7. Розроблено методику випробувань ЩМАС, що дозволяє імітувати вплив транспортування. Проведені дослідження дозволили розробити додаткові вимоги до показника розшарування в'язучого ЩМАС залежно від умов транспортування.

8. Застосування результатів досліджень впроваджено при розробленні 14-ох нормативних документів і підтверджено відповідними довідками із таких організацій: КК «Київавтодор», Державне агентство автомобільних доріг України («Укравтодор»), ТОВ «СБМУ «Підряд», ПрАТ «Асфальтобетонний завод» та інших організацій. Також результати досліджень було використано у навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних робіт.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Баран С.А., Мозговой В.В., Мозговая Л.А., Прудкий А.В., Куцман А.М., Мозговой А.В. Совершенствование проектирования асфальтобетонных слоев усиления // Автомобильные дороги и мосты. Минск. 2008. №2. С. 16-20.

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

3. Баран С.А., Мозговой В.В., Куцман А.М., 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. Бишкек. 2016. Вып 1(51). С. 107-113.

4. Baran S., Mozgovyi V., Kutsman A. 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. Баран С.А. Особливості розрахунку дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2008. Вип. 75. С. 167-172.



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

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

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

9. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М. Міцність дорожнього одягу – основа якості автомобільних доріг // Автошляховик України: наук.-виробн. журнал. Київ. 2013. №4 (234). С. 32-35.

10. Баран С.А., Мозговой В.В., Ольховый Б.Ю., Нимчук К. И. Выбор энергосберегающих добавок для расширения строительного сезона при устройстве поверхностного водоотвода с щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей на мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2013. Вип. 90. С.49-56.

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

12. Баран С.А., Мозговий В.В., Боровик І.І. Вплив наноструктурних процесів на довговічність щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка, наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 57. С.77-83.

13. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Підвищення однорідності щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. Київ. 2016. Вип. 96. С.33-42.

14. Баран С.А., Ольховий Б.Ю., Мозговий В.В. Особливості використання інноваційних технологій для забезпечення довговічності покриття із щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ОДАБА: зб. наук. праць. Одеса. 2016. Вип. 63. С.167-173.

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

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

17. Баран С.А., Шевчук Л.В., Ващіліна О.В., Лебедева І.В. Скінченно-елементний моніторинг напружено-деформованого стану дорожнього покриття з розшаруванням // Вісник КНУ ім. Т.Г. Шевченка. Серія: фіз.-мат. науки. Київ. 2018. № 2. С. 57 – 63.

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

**- Опубліковані праці апробаційного характеру:**

19. Баран С.А., Мозговий В.В., Піскунов В.Г., Онищенко А.М., Прудкий О.В., Куцман О.М., Жуков В.Є. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожно-

будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2009. Вип. 33. С. 137-142.

20. Баран С.А. Підвищення гідроізоляційної здатності та якості щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 131-138

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

22. Баран С.А., Ольховий Б.Ю. Стойкость теплых асфальтобетонов к накоплению пластичных деформаций // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф. Белгород: БГТУ. 2013. Т.1. С.283 – 288.

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

24. Баран С.А., Мозговий В.В., Онищенко А.М., Ольховий Б.Ю., Опросенко І.О., Куцман О.М., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій. // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-тех. збірник. Київ. 2016. Вип. 1 (34) С.283-293.

**- Свідоцтва та патенти:**

25. Патент України на корисну модель № 47625 Україна, МПК (2009), В01F 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.

26. 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.

27. 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.).

28. 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.).

29. 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.

30. 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.

31. 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 01.11.2016р.

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., Чиженко Н.П., Гудіменко К.В. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

33. Свідоцтво України про реєстрацію авторського права на твір № 83830 Україна. Літературний письмових твір науково-технічного характеру «Оцінка впливу комплексних модифікаторів на основі вторинного поліетилену низького тиску на властивості бітумних в'язучих» // Мозговий В.В., Баран С.А., Лаптева Н.С., Маркович А.П. Дата реєстрації 20.12.2018 р.

**- Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:**

34. Баран С.А., Мозговий В.В., Герасимов В.В., Жуков В.Є., Онищенко А.М., Куцман О.М. Покращення якості асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання модифікатора дорожнього бітуму К-1 // Дороги і мости: зб. наук праць. Київ. 2008. Вип. 9. С. 172-174.

35. Баран С.А., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Лаптева Н.С. Лютенко В.А. Підвищення довговічності щebeneво-мастикового асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатора Бутонал NS 104 // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. збірник. Київ. 2010. Вип. 38. С. 84-87.

36. Баран С.А., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю. Покращення гідроізоляційної здатності асфальтобетонного покриття мостів за рахунок застосування теплих асфальтобетонних сумішей // Будівельні матеріали, виробництва санітарна техніка: наук.-техн. зб. Київ. 2013. Вип. 50. С. 97-102.

37. Баран С.А., Бондар В.М. Оцінка впливу тиксотропії на якість щebeneво-мастикових асфальтобетонних сумішей // Вісник ХНАДУ: зб. наук. праць. Харків. 2017. Вип. 79. С. 117-122.

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

## АНОТАЦІЯ

Баран С.А. Удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щebeneво-мастикового асфальтобетону – 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 дисертаційній роботі розглянуто стан питання проектування нежорсткого дорожнього одягу із щebeneво-мастиковим асфальтобетонним покриттям, проаналізовано умови роботи щebeneво-мастикового асфальтобетону (ЩМА) в дорожньому покритті, розглянуто особливості технології виготовлення щebeneво-мастикового асфальтобетону,

проектування складу щебенево-мастикового асфальтобетону та технологія влаштування покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону. Виконаний аналіз існуючих методів проектування та конструювання покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону дорожнього одягу нежорсткого типу. Наведено методи оцінки граничного стану покриття із ЩМА, а також існуючі підходи до підвищення довговічності покриття із ЩМА.

Встановлено аналітичні залежності для розрахунку довговічності щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття, які були отримані з урахуванням кліматичних факторів, умов роботи покриття та параметрів режиму транспортних навантажень і коливань температур в добовому та річному циклах.

Розроблено метод розрахунку довговічності ЩМА, що базується на феноменологічному підході з використанням основних положень кінетичної теорії міцності твердого тіла. Для визначення напружено-деформованого стану покриття розроблено аналітичні залежності на основі використання теорії термо-в'язко-пружності.

На основі експериментальних досліджень, опираючись на положення теорії термо-в'язко-пружності та теорії кінетичної міцності твердих тіл встановлено розрахункові характеристики дорожньо-будівельних матеріалів для розрахунку щебенево-мастикового асфальтобетонного покриття (функція релаксації, функція температурно-часового зміщення, функція довговічності, коефіцієнт лінійного температурного деформування), що дає можливість здійснювати чисельний аналіз впливу різних факторів на довговічність покриття із ЩМА.

Розроблено метод проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону, який дозволяє за рахунок повнішого враховування термореологічних властивостей щебенево-мастикового асфальтобетону і врахування характерних особливостей порушення його суцільності точніше прогнозувати довговічність покриття.

За результатами аналізу впливу дії основних факторів на довговічність асфальтобетонного покриття розроблені практичні рекомендації по підвищенню довговічності дорожнього покриття із щебенево-мастикового асфальтобетону за рахунок матеріалознавчих і технологічних заходів.

Ключові слова: асфальтобетон щебенево-мастиковий, довговічність дорожнього покриття, критерій граничного стану покриття, методика проектування, рецептурно-технологічні параметри, термореологічні характеристики.

## АННОТАЦИЯ

Баран С.А. Усовершенствование проектирования дорожного покрытия повышенной долговечности из щебеночно-мастичного асфальтобетона – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Национальный транспортный университет, Киев, 2020.

**В разделе 1.** Рассмотрено состояние вопроса проектирования нежесткой дорожной одежды с покрытием из ЩМА и поставлена цель и задачи исследований.

Проанализированы условия работы ЩМА в дорожном покрытии, рассмотрены особенности технологии изготовления ЩМА, проектирование состава ЩМА и технологию устройства покрытия с ЩМА, приведены методы оценки предельного состояния покрытия с ЩМА. Также изучены литературные источники по колебанию кузова современных транспортных средств, когда они движутся по автомобильным дорогам общего пользования, а именно амплитудно-частотных характеристик при транспортировке ЩМАС.

Выполненный литературный обзор свидетельствует, что в известных исследованиях недостаточно отражены особенности отечественных условий применения ЩМА, а также неполно учитывается комплексное воздействие факторов (рецептурно-технологические параметры, нагрузки, время их действия, колебания температуры и др.) на долговечность дорожного покрытия с ЩМА.

**В разделе 2.** Разработан критерий предельного состояния покрытия с ЩМА с учетом термо-реологических свойств ЩМА, используя положения кинетической теории прочности твердых тел, основываясь на принципах Пальгрейна-Майнера и Бейли о суперпозиции повреждений структуры материала в течение срока эксплуатации при отрицательной совместном действии наиболее влиятельных факторов. Приведена схема работы щебеночно-мастичного асфальтобетонного покрытия при воздействии на него транспортной нагрузки.

Установлены аналитические зависимости для расчета долговечности щебеночно-мастичного асфальтобетонного покрытия, которые были получены с учетом совместного действия наиболее влиятельных факторов: транспортной нагрузки, усадки покрытия от снижения температуры при ее колебании, усадки покрытия от «старения» битумного вяжущего (окисления, полимеризации, поликонденсации, испарения и инфильтрации легких фракций вяжущего в микропоры и микротрещины минерального материала), водоморозных влияний, расслоения асфальтобетонной смеси при нарушении рецептурных - технологических параметров.

**В разделе 3.** Были проведены лабораторные исследования влияния рецептурно-технологических параметров на долговечность покрытия. Исследовано влияние на расслоение смеси в зависимости от времени выдержки ее в накопительном бункере и времени транспортировки. Осуществлено экспериментальное определение стандартных физико-механических, а также терморологических и термомеханических свойств ЩМА. Были исследованы параметры технологии уплотнения ЩМАС и ее влияние на дробление минеральных зерен.

Исследование поведения покрытия с ЩМА в различных конструкциях дорожных одежд под действием движущейся транспортной нагрузки проводили на кольцевом стенде. Кроме этого оценивали сцепления асфальтобетонного покрытия с ЩМА и нижележащих асфальтобетонных слоев с помощью методики СОУ 45.2-00018112-046. Для исследований использовали прибор НТУ-ЗЧ-1 и образцы керны, которые были отобраны из покрытия кольцевого стенда.

С помощью численного анализа были исследованы особенности напряженно-деформированного и предельного состояний покрытия с ЩМА при воздействии транспортной нагрузки при различных температурных условиях.

Были проведены натурные исследования путем обследования улиц и дорог населенных пунктов и дорог общего пользования. При этом оценивали состояние дорожной одежды и устанавливали виды, распространение и размеры дефектов асфальтобетонного покрытия. Анализ результатов обследования состояния покрытия с ЩМА, что эксплуатируется при различных режимах нагрузки, позволил выявить факторы, приводящие к нарушению сплошности покрытия и подтвердить теоретические предпосылки повышения его долговечности.

**Раздел 4.** Разработан метод проектирования дорожного покрытия повышенной долговечности с щебеночно-мастичного асфальтобетона, который позволяет за счет полного учета терморологических свойств щебеночно-мастичного асфальтобетона и учета характерных особенностей нарушения его сплошности точнее прогнозировать долговечность покрытия.

По результатам анализа влияния действия основных факторов на долговечность асфальтобетонного покрытия разработаны практические рекомендации по повышению

долговечности дорожного покрытия с щебеночно-мастичного асфальтобетона за счет материаловедческих и технологических мероприятий.

**В выводах** обобщены полученные в работе новые научные результаты теоретических, экспериментальных и практических исследований.

Ключевые слова: асфальтобетон щебеночно-мастичный, долговечность дорожного покрытия, критерий предельного состояния покрытия, методика проектирования, рецептурно-технологические параметры, термореологические характеристики.

## ABSTRACT

Baran S.A. Improving the design of high durability pavement made of stone mastic asphalt – 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 dissertation deals with the state of design of non-rigid road pavements with stone mastic asphalt, analyzes the conditions of work of stone mastic asphalt (SMA) in road pavement, considers the features of the technology of stone mastic asphalt paving. The analysis of the existing methods of designing and constructing of non-rigid road pavements with stone mastic asphalt of was performed. Methods for estimating the limiting state of the pavements with SMA are given, as well as the existing approaches to increasing the durability of the pavements with SMA.

The analytical dependences for calculating the durability of stone mastic asphalt pavement, which were obtained taking into account climatic factors, the conditions of the pavement operation and the parameters of the mode of transport loads and fluctuations of temperatures in the daily and annual cycles, are established.

A method of calculating the durability of a SMA based on a phenomenological approach using the basic principles of the kinetic theory of solid strength is developed. Analytical dependencies were developed to determine the stress-strain state based on the use of thermo-viscosity theory.

On the basis of experimental studies, based on the provisions of the theory of thermo-viscous-elasticity and the theory of kinetic strength of solids, the calculated characteristics of road-building materials for calculating stone mastic asphalt pavement (relaxation function, temperature-fluctuation function, temperature-dependence function, linear temperature deformation), which makes it possible to perform a numerical analysis of the influence of various factors on the durability of the SMA pavements.

A method of designing a road stone mastic asphalt pavement of increased durability has been developed, which allows to predict the durability of the pavement more accurately by taking into account the thermoreological properties of stone mastic asphalt and taking into account the characteristic features of breaking its continuity.

According to the results of the analysis of the influence of the main factors on the durability of the asphalt pavement, practical recommendations have been developed to increase the durability of the pavement made of stone mastic asphalt due to material and technological measures.

Keywords: stone mastic asphalt, durability of the road surface, criterion of boundary condition of the coating, design methodology, recipe-technological parameters, thermoreological characteristics.