

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

ОНИЩЕНКО АРТУР МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 625.7/.8

**НАУКОВІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ
АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ
НА АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ**

05. 22. 11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2017

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор
Мозговий Володимир Васильович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри дорожньо-будівельних
матеріалів і хімії, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Батракова Анжеліка Геннадіївна,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри вишукувань та проектування
доріг і аеродромів, м. Харків

доктор технічних наук, професор
Мішутін Андрій Володимирович,
Одеська державна академія будівництва та архітектури
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри проектування, будівництво та експлуатація
автомобільних доріг, м. Одеса

доктор технічних наук, професор
Солодкий Сергій Йосипович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри автомобільних доріг та мостів Інституту
будівництва та інженерії довкілля, м. Львів

Захист відбудеться «8» грудня 2017 р. о 12-00 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, зал засідань (ауд. 333).

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

Автореферат розісланий «7» листопада 2017 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради _____ В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Автодорожні мости є невід'ємною складовою мережі автомобільних доріг транспортної інфраструктури України. Транспортно-експлуатаційний стан переважної більшості автодорожніх мостів не відповідає сучасним вимогам дорожнього руху і потребує поліпшення з урахуванням соціально-економічних потреб держави. На автомобільних дорогах України загального користування експлуатується близько 16100 автодорожніх мостів. Переважна більшість автодорожніх мостів має залізобетонну плиту проїзної частини з асфальтобетонним покриттям. Останніми роками, у зв'язку зі зростанням параметрів транспортних навантажень та аномально високими літніми температурами, значного розповсюдження набули дефекти на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів у вигляді колії. Утворення колії призводить як до зменшення довговічності самого покриття, так і до погіршення безпеки дорожнього руху, в результаті прояву ефекту аквапланування, підвищення слизькості покриття (особливо у зимовий період) та погіршення умов маневрування транспортних засобів під час руху, що у свою чергу не дозволяє повною мірою забезпечити комфортне та безпечне перевезення пасажирів і вантажів, а також впливає на зниження пропускної здатності мостів та автомобільних доріг в цілому.

Ремонт дефектів асфальтобетонного покриття у вигляді колії є складним, трудомістким та фінансово витратним процесом, що супроводжується значними матеріальними та енергетичними затратами. Окрім того, виконання ремонтних робіт по усуненню колії не завжди призводить до бажаного результату. Як відомо, на практиці широко використовують типові конструкції одягу їздового полотна для автодорожніх мостів, які не завжди забезпечують необхідну стійкість до утворення колії, а методи їх розрахунку є недосконалими. Існуючі методики запобігання утворенню колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та фактичних режимів навантаження великоваговими транспортними засобами за різних температурних умов.

Відсутність науково обґрунтованих теоретичних, експериментальних та практичних методів з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини призводить до зменшення довговічності такого покриття та зниження рівня безпеки дорожнього руху, а також до значних економічних збитків.

Тому, розробка наукових основ підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами, планами. Тема дисертації відповідає напрямам і завданням державних науково-технічних програм: «Транспортна стратегія України на період до 2020 року» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 20.10.2010р. № 2174-р), «Концепція державної цільової економічної програми розвитку автомобільних доріг загального користування на 2013 - 2018 роки» (Розпорядження Кабінету міністрів України від 03.09.2012р. № 719-р).

Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались 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: «Дослідити вплив конструкційних і технологічних факторів та матеріалів на колієстійкість асфальтобетонного покриття при випробуванні на кільцевому стенді від дії великовантажних транспортних засобів» (державний реєстраційний № 0111U003963), «Провести стендові дослідження та розробити рекомендації з застосування асфальтобетону, армованого мікрОВОлокнами» (державний реєстраційний № 0109U008351), «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), «Розробити рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах» (державний реєстраційний № 0111U005559), «Провести дослідження та розробити методику розрахунку асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів на довговічність» (державний реєстраційний № 0114U00645), «Провести моніторинг, дослідити утворення тріщин і залишкових деформацій в асфальтобетонних покриттях мостів та розробити альбом типових конструкцій мостового полотна» (державний реєстраційний № 0114U001880), «Розробка методики проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону» (державний реєстраційний № 0109U002153), «Забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на мостах» (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), «Підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг і вулиць за рахунок застосування інноваційних технологій» (державний реєстраційний № 0114U005141), «Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок застосування полімерних модифікаторів» (державний реєстраційний № 0113U000301).

Мета і задачі досліджень. Мета роботи полягає в розробленні наукових основ підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, при дії вертикальних навантажень від пневматичних коліс транспортних засобів за високих літніх температур.

Для досягнення поставленої мети в дисертації визначені завдання:

- провести аналіз: умов роботи асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії;

- розробити математичну модель прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини від дії вертикальних навантажень пневматичних коліс транспортних засобів при високих літніх температурах та розробити метод розрахунку стійкості покриття до утворення колії;
- удосконалити метод визначення температури асфальтобетонного покриття в смузі накату на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, з урахуванням впливу взаємодії пневматичних коліс з покриттям при їх коченні;
- розробити методи та провести експериментальні лабораторні та стендові дослідження впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних і кліматичних, транспортних та експлуатаційних факторів на стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії;
- експериментально встановити: параметри термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону; характеристики утворення колії; температуру асфальтобетонного покриття в смузі накату; міцність зчеплення між асфальтобетоном та залізобетонною основою при зсуві;
- встановити закономірності впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини;
- розробити практичні методики з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини та оцінити їх техніко-економічну ефективність.

Дисертаційна робота побудована на запропонованій автором науковій *ідеї*: утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах, головним чином, відбувається від дії вертикального циклічного навантаження пневматичних коліс транспортних засобів при високих літніх температурах, за рахунок накопичення залишкових пластичних деформацій в конструкції мостового полотна, що опирається на жорстку залізобетонну основу з урахуванням комплексного впливу внутрішніх (структурних, конструктивних, технологічних) та зовнішніх (кліматичних, транспортних, експлуатаційних) факторів.

Для досягнення основного наукового результату та встановленої наукової *ідеї* висунуто *робочу гіпотезу*: закономірності накопичення залишкових вертикальних деформацій від дії зовнішніх факторів для прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів можуть базуватись на застосуванні феноменологічної моделі, незалежно від виду прояву внутрішніх факторів. Використовуючи такий підхід, математична модель може бути отримана на основі застосування положень теорії пружнопластичності при вирішенні задач утворення колії від дії пневматичного колеса, з урахуванням термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону та на основі експериментально встановлених параметрів цієї моделі в умовах, що відображають особливості роботи покриття при певному виду прояву внутрішніх факторів.

Об'єкт дослідження – явище утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини від інтенсивності дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів та зміни температурних умов.

Предмет дослідження – закономірності утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини від дії вертикального навантаження пневматичних коліс транспортних засобів за високих літніх температур.

Методи дослідження: аналітично-експериментальні з використанням положень теорії пружнопластичності і термов'язкопружності та експериментальних методів дослідження утворення колії в асфальтобетонному покритті на жорсткій основі; чисельного моделювання; математичної статистики; регресійного аналізу; планування багатofакторних експериментів.

Наукова новизна отриманих результатів. Основний науковий результат дисертаційного дослідження полягає в розробленні наукових основ з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини з урахуванням комплексної дії впливових факторів.

Елементами наукової новизни є:

у перше:

- розроблена класифікація причин утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, що дозволило більш повно врахувати внутрішні (рецептурно-структурні, конструктивні, технологічні) і зовнішні (кліматичні, транспортні, експлуатаційні) фактори при розробці математичної моделі та методу прогнозування утворення колії;
- розроблений метод розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах, що дозволяє врахувати комплексну дію факторів і причин з урахуванням термов'язкопружнопластичних властивостей матеріалу;
- визначена закономірність утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та кліматичних, транспортних, експлуатаційних факторів, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку глибини колії;
- розроблено регресійну залежність для прогнозування показника стійкості асфальтобетону до утворення колії в залежності від кількості прикладань навантажень, їх величини, температури та характеристик матеріалу, що дозволяє направлено регулювати внутрішні параметри з урахування заданих зовнішніх факторів;

удосконалено:

- критерій міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним покриттям і жорсткою залізобетонною основою автодорожнього мосту, що дає можливість оцінити якість гідроізоляційних матеріалів;

- метод оцінки довговічності асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, з урахуванням впливу водоморозних факторів та параметрів навантаження на порушення суцільності асфальтобетону, що дає можливість підвищувати стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії без утворення дефектів у вигляді тріщин;
- математичну модель прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті, що відображає термов'язкопружнопластичні властивості матеріалу, вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів та параметрів циклічного навантаження;
- метод визначення температури в смузі накату асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, що дозволяє врахувати додаткове нагрівання покриття за рахунок його взаємодії із пневматичними колесами транспортних засобів;
- метод дослідження асфальтобетону на утворення колії в лабораторних умовах, що дозволяє оцінювати зміну утворення колії в залежності від швидкості кочення колеса та його середнього тиску на поверхню;
отримали подальший розвиток:
- методи визначення термов'язкопружнопластичних показників властивостей асфальтобетону, що необхідні для здійснення розрахунків з прогнозування утворення колії на покритті;
- метод визначення рецептурно-структурних параметрів асфальтобетону підвищеної стійкості до утворення колії, з метою обґрунтованого вибору складу асфальтобетону.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій підтверджено: використанням фундаментальних законів деформованого твердого тіла, зокрема теорій пружності, пластичності, термов'язкопружності; логічністю вибору методів та методик дослідження, коректним використанням сучасних програмних комплексів; відповідним обсягом експериментальних досліджень і повторних вимірювань у дослідах, які задовольняють заданій точності та надійності; задовільним рівнем збіжності результатів теоретичних і експериментальних досліджень; результатами натурного моделювання інтенсивності утворення колії в асфальтобетонному покритті на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості»; результатами натурного спостереження стану асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини.

Практичне значення отриманих результатів. У результаті проведених досліджень розроблено методики з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів на всіх етапах життєвого циклу покриття: проектування складу асфальтобетонних сумішей та контролю якості їх складових; проектування конструкцій асфальтобетонного покриття; технології приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування покриття; утримання та експлуатації покриття.

Розроблено методи та методики:

- проектування асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини підвищеної стійкості до утворення колії;
- експериментального визначення параметрів математичної моделі з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини;
- підбору складу асфальтобетону підвищеної стійкості до утворення колії;
- експериментального визначення міцності зчеплення між асфальтобетонним покриттям, гідроізоляційним матеріалом і залізобетонною основою при зсуві;
- лабораторної оцінки стійкості асфальтобетону до накопичення залишкових пластичних деформацій;
- експериментальних випробувань для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на бетонній основі кільцевого стенду;
- контролювання процесу модифікації бітуму полімерами нафтового дорожнього з використанням лабораторної лопатевої мішалки;
- оцінки експлуатаційної стійкості асфальтобетону до утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини;
- техніко-економічної оцінки ефективності заходів з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії.

Розроблено окремі положення нормативів:

- типові конструкції асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності для застосування на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, з урахуванням різних категорій автомобільних доріг та кліматичних умов;
- нормативно-технічні документи: СОУ 45.02-00018112-020:2009 «Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій», СОУ 45.2-00018112-046:2009 «Асфальтобетон дорожній. Методика оцінки зчеплення між асфальтобетонними шарами при зсуві», СОУ 45.2-00018112-062:2010 «Конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг. Методи випробування на кільцевому стенді», СОУ 45.2-00018112-059:2010 «Дорожньо-будівельні матеріали. Методи визначення розрахункових модулів пружності», ГБН В.2.3-218-547:2010 «Влаштування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу при низьких температурах», ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови», Р. В.2.3-218-02070915-797:2011 «Рекомендації з підвищення зсувостійкості асфальтобетонного покриття на бетонних та залізобетонних основах», Р. В.2.3-218-21476215-795:2011 «Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття», Р. В.2.3-218-21476215-222:2011 «Рекомендації щодо застосування асфальтобетонних сумішей, армованих мікрОВОлокнами», СОУ 42.1-37641918-100:2013 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролювання процесу модифікації», ТУ У В.2.7-17.1-3149000135-001:2014

«Добавки стабілізуючі АРОН для щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей. Технічні умови», АД2.4-37641918-003:2015 «Альбом типових конструкцій дорожнього одягу мостового полотна», М 02070915-750:2016 «Методика проектування асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів», якими поповнено Фонд галузевих будівельних норм та нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України;

- рекомендації щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах України, а саме: міст на вході в Гавань Подільського мостового переходу через р. Дніпро, м. Київ; залізнично-автомобільний мостовий перехід через р. Дніпро, м. Київ; розв'язка на примиканні пр. Науки до Столичного шосе, м. Київ; естакада на Труханів острові Подільського мостового переходу через р. Дніпро, м. Київ; будівництво транспортної розв'язки біля станції метро «Дніпро» – конструкція на проїзній частині монолітної естакади, м. Київ; реконструкція транспортної розв'язки на перетині бульвару Дружби народів та Наддніпрянського шосе в Печерському районі, м. Київ; реконструкція транспортної розв'язки на поштової площі в Подільському районі, м. Київ; капітальний ремонт мосту «Метро» через Русанівську протоку р. Дніпро у Дніпровському районі, м. Київ; естакада на вул. Набережно-Рибальська, м. Київ; конструкція дорожнього одягу на естакадній частині Південного мостового переходу через р. Дніпро, м. Київ; міст на автомобільній дорозі Н-15 Запоріжжя – Донецьк, км 210+212; міст на автомобільній дорозі Н-15 Запоріжжя – Донецьк, км 214+500 – км 217+000; естакада в м. Донецьк по вул. Байдукова; міст на автомобільній дорозі «Обхід м. Донецьк», км 0+000 – км 2+200; на автомобільній дорозі М-03 Київ – Харків – Довжанський: шляхопровід на км 45+000, міст через р. Трубіж на км 70+000, міст через р. Недра на км 75+000; естакада в м. Одеса; міст Лозова, Харківська область; розробка вимог та рекомендацій до гідроізоляційних матеріалів.

Результати наукових досліджень впроваджено в навчальний процес Національного транспортного університету при підготовці фахівців за напрямом «Будівництво та цивільна інженерія» з фахового спрямування (спеціалізації) «Автомобільні дороги і аеродроми», «Мости і транспортні тунелі», «Технологія будівельних конструкцій, виробів і матеріалів». В лекційних курсах з дисциплін «Асфальтобетон», «Органічні в'язучі», «Будівельне матеріалознавство», «Інноваційні технології виготовлення матеріалів», «Технології і матеріали для особливих умов» запропоновано методи та методики по визначенню глибини колії в асфальтобетоні для проведення лабораторних занять, курсового і дипломного проектування, виконання магістерських науково-дослідних робіт.

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійно виконаним науковим дослідженням. Наукові результати, що містяться в роботі, отримані автором особисто, в тому числі розроблено, досліджено та практично апробовано методи з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини на території

України. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, викладених у даній дисертаційній роботі, полягає в тому, що: проведено аналіз умов роботи асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, проаналізовано існуючі теоретичні та експериментальні методи з прогнозування утворення колії [2, 4, 10, 39, 42]; розроблено математичну модель і метод з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини від дії вертикальних навантажень пневматичних коліс транспортних засобів при високих температурах [2, 6-8, 17, 18, 23, 26, 28, 30, 32, 37, 39, 40, 43-45]; удосконалено метод визначення температури в смузі накату асфальтобетонного покриття з урахуванням впливу взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з покриттям при їх коченні [45]; розроблено методи та проведено експериментальні лабораторні та стендові дослідження впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів з утворення колії на покритті [3, 5-9, 11-13, 17, 18, 20, 22, 23-25, 27, 34, 36, 43, 47, 48, 50]; експериментально встановлено параметри термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону [1, 14-16, 23, 33, 46], міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві [17-19, 23, 43, 49, 53]; розроблено метод контролювання процесу модифікації бітуму нафтового дорожнього полімерами, з використанням лабораторної лопатевої мішалки [11, 14, 36, 41]; досліджено закономірності впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини [7-9, 13, 20, 22, 24, 29, 38]; запропоновано метод розрахунку міцності зчеплення асфальтобетонного покриття із залізобетонною плитою проїзної частини мосту при зсуві, від дії екстреного гальмування пневматичних коліс транспортного засобу [12]; розроблено практичні методи з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини [1-3, 6, 7, 12, 24, 31, 35, 38, 40, 47-55].

Апробація результатів дисертації. Основні наукові положення та практичні результати дисертаційних досліджень доповідались, обговорювались і отримали позитивну оцінку на науково-практичних та науково-технічних міжнародних, республіканських і вузівських конференціях та семінарах, серед яких: міжнародна науково-технічна конференція, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів», Харків – 2010 року; міжнародна конференція «Новые дороги России», Саратов – 2011 року; «Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений», Мінськ – 2012 року; міжнародна науково-практична конференція «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов», Харків – 2012 року; «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузі», 28 – 31 травня 2012 року, Луцьк; «Сучасні методи і технології, будівництва та експлуатації інженерних споруд на автомобільних дорогах», Київ – 2013 року; 16-та конференція молодих вчених «Наука –

майбутнє Литви», 8 травня 2013 року, Вільнюс, Литва; 8-ма міжнародна наукова конференція «TRANSBALTICA», 9 – 10 травня 2013 року, Вільнюс, Литва; 17-та конференція молодих вчених «Наука – майбутнє Литви», 8 травня 2014 року, Вільнюс, Литва; XII міжнародна Всеросійська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія і науково-технічний прогрес. Урбаністика», 21 листопада 2014 року, Пенза, Росія; міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг і мостів «Автодорекспо» №№ 12 – 14, Київ – 2014 – 2016 рр.; наукові конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів Національного транспортного університету №№ 62 – 73 в 2006 – 2017 рр.

Публікації. У процесі виконання дисертаційної роботи теоретичні та практичні положення опубліковано в 55 наукових працях, із них: 2 монографії; 11 статей у закордонних виданнях, у тому числі 7 одноосібних; 19 статей опубліковано у фахових виданнях України, у тому числі 10 одноосібних, 14 праць апробаційного характеру, з них 4 одноосібні; 3 свідоцтва та 6 патентів.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, шести розділів і загальних висновків. Робота містить 343 сторінку основного тексту, на яких 137 рисунків і 34 таблиць, список використаних джерел із 522 найменувань (102 – іноземними мовами), а також вісім додатків на 212 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, запропонована наукова ідея та гіпотези, сформульовані мета та задачі дослідження, наукова новизна та практичне значення результатів. Також у вступі розкритий особистий внесок автора, апробація результатів, публікації, структура та загальний обсяг дисертаційної роботи.

У першому розділі на основі літературного огляду здійснено аналіз умов роботи асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах, а також проаналізовано існуючі теоретичні та експериментальні методи прогнозування утворення колії.

Розглянуто та проаналізовано роботи з вивчення впливу різних факторів на асфальтобетонне покриття автомобільних доріг та мостів, існуючих конструктивних рішень, технологій і матеріалів для підвищення довговічності покриття. Значний внесок у розв'язання проблем деформування та утворення колії в матеріалах дорожніх одягів та асфальтобетонних покриттях від дії пневматичних коліс транспортних засобів та режимів їх роботи, внесли такі вчені: А.С. Александров, Г.М. Анісімов, А.Г. Батракова, О.В. Богомолів, О.К. Біруля, А.О. Білятинський, А.М. Богуславський, Г.О. Бонченко, В.І. Братчун, О.П. Васильєв, В.А. Веренько, І.А. Вікович, М.І. Волков, І.П. Гамеляк, Л.Б. Гезенцвей, Л.М. Гохман, М.В. Горелишев, К. Джонсон, В.К. Жданюк, В.О. Золотарьов, А.Ю. Ішлінський, М.М. Іванов, В.Д. Казарновський, В.Г. Карнаухов, І.В. Кияшко, П.М. Коваль, І.В. Корольов, М.М. Корнєєв, Е.В. Котлярський, Я.М. Ковальов, А.С. Колбановська, Г.М. Кірюхін,

Ю.О. Кірічек, В.П. Матуа, О.В. Марчук, О.Ю. Мерзлікін, А.В. Мішутін, В.В. Мозговий, І.Г. Овчинников, Д.О. Павлюк, Б.С. Радовський, А.В. Руденська, О.О. Рассказов, В.Я. Савенко, І.Д. Сахарова, Д. Сібільській, С.Й. Солодкий, Г.К. Сюньї, Б.Б. Телтаєв, М.Я. Хархута, М.О. Цитович, І.Р. Шегельман, В.І. Шестеріков, А.О. Шкуратовський, Г.Ф. Фукс К.Л. Монісміт та інші дослідники. Аналіз показав, що недостатньо вивчено причини та види утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини. Внаслідок утворення колії зменшується як довговічність покриття, так і погіршується безпека руху, в результаті прояву ефекту аквапланування, підвищення слизькості покриття (особливо у зимовий період) та погіршення умов маневрування транспортних засобів під час руху. Існуючі математичні моделі та методи з прогнозування утворення колії в покритті не в повній мірі враховують комплексну дію термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону та внутрішніх і зовнішніх факторів. На практиці, відомі розрахункові методи прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, не в повній мірі враховують такі фактори, як: зміна температури в смузі накату від інтенсивності транспортних засобів; термореологічні властивості асфальтобетону; інтенсивність руху великовагових транспортних засобів.

Вивченню зміни температури в дорожньому покритті присвячено роботи таких вчених, як: А.М. Алієва, А.Г. Батракова, О.І. Безбабічева, М.Г. Бабаєва, І.П. Гамеляка, Л.І. Горєцького, В.І. Гуляєва, М.М. Дмитрієва, Я.Н. Ковальова, Г.М. Кірюхіна, Б.І. Ладигіна, М.В. Матлакова, В.І. Страгиса, І.Г. Овчиннікова та інших дослідників. З'ясовано, що існуючі методи з визначення температури асфальтобетонну не враховують комплексний вплив сонячної радіації та взаємодію пневматичних коліс транспортних засобів з покриттям в межах смуги накату.

Аналіз робіт, присвяченим лабораторним і стендовим експериментальним дослідженням свідчить, що до теперішнього часу залишається відкритим питання врахування сумісного впливу конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів на утворення колії в покритті.

Таким чином, проведений літературний огляд свідчить про існування науково практичної проблеми, вирішення якої потребує створення наукових основ з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини.

У другому розділі наведено основні теоретичні положення та аналітичні залежності з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини. Сформульовано основні причини виникнення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах. Використовуючи підходи професора І.П. Гамеляка та інших дослідників до аналізу дефектів асфальтобетонного покриття, запропонована схема основних факторів і причин утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів (рис. 1). Розроблено класифікацію видів колії в одно - та двошаровому асфальтобетонному покритті (табл. 1, 2) та проаналізовано можливі варіанти сполучення комбінованого впливу факторів та причин

утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини.



Рисунок 1 – Схема основних факторів і причин утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини

Таблиця 1 – Класифікація видів колії на одношаровому асфальтобетонному покритті

№ поз	Схема колії	Опис виду колії	Вид колії
1		Накопичення залишкових деформацій зносу у верхньому шарі покриття	Колія зносу верхнього шару
2		Накопичення залишкових деформацій, доущільнення у верхньому шарі покриття	Колія доущільнення
3		Недостатнє зчеплення між асфальтобетонним покриттям і гідроізоляцією та проковзування по ній	Конструктивна колія
4		Накопичення залишкових деформацій у верхньому шарі покриття з утворенням гребню випору	Колія структурна

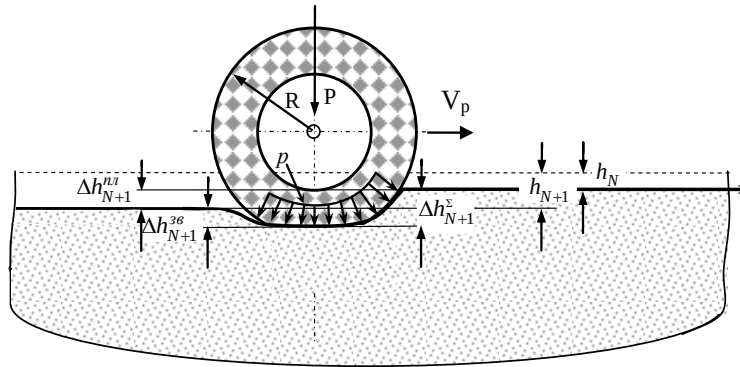
Таблиця 2 – Класифікація видів колії на двошаровому асфальтобетонному покритті за рахунок причин утворення колії у нижньому шарі

№ поз	Схема колії	Опис виду колії	Вид колії
1		Накопичення залишкових деформацій, доущільнення у верхньому та частково у нижньому шарі покриття	Колія доущільнення
2		Недостатнє зчеплення між нижнім шаром асфальтобетонного покриття і гідроізоляцією та проковзування по ній, а також накопичення пластичних деформацій у верхньому та нижньому шарі покриття	Колія конструктивна
3		Накопичення залишкових деформацій у верхньому та нижньому шарі покриття з утворенням гребню випору, при умові міцного зчеплення нижнього шару з гідроізоляцією	Колія структурна

Виходячи з прийнятої в дисертації постановки задачі було розглянуто 52 можливі такі комбінації. Це свідчить про залежність утворення колії від значної кількості параметрів впливових факторів (рис. 1), що суттєво ускладнює застосування суто аналітичного методу вирішення проблеми з прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті. Тому, в роботі застосовано аналітично-експериментальний підхід з урахуванням відомих наукових положень утворення пластичних деформацій в матеріалах дорожнього одягу. Зокрема, на основі досліджень В.О. Золотарьова, А.М. Кривіського, Н.В. Мурашиної, Д.О. Павлюка, Б.С. Радовського, Б.Б. Телтаєва та інших дослідників, можна констатувати, що при накопиченні вертикальних деформацій в асфальтобетонному покритті мостів від разового навантаження, відбуваються малі відносні деформації, сумарне накопичення яких за певний період експлуатації призводить до утворення колії. Ці деформації відбуваються за рахунок: переупакування зерен мінеральної частини асфальтобетону без зміни його об'єму і руйнування структурних зв'язків; горизонтального деформування під відбитком колеса та деформування, що супроводжується утворенням випорів при пластичних зсувних деформаціях завдяки явищам дилатансії з частковим розрихленням в структурі асфальтобетону. Як свідчать натурні спостереження і дослідження, часткове розрихлення структури асфальтобетону здебільшого відновлюється при високих літніх температурах за рахунок наступних проїздів пневматичних коліс в межах смуги накату. Крім того, було взято до уваги, що для асфальтобетону при високих експлуатаційних температурах, як і для інших пружнопластичних і в'язкопружнопластичних матеріалів, існують такі рівні навантажень, при яких не відбувається утворення залишкових деформацій, а також діапазон навантажень, при якому відбувається процес пристосованості структури асфальтобетону до повторних навантажень за рахунок залишкових напружень, що спричинятиме поступовому зменшуванню накопичення залишкових вертикальних деформацій до нульового значення. Дані положення були враховані при розробці математичної моделі.

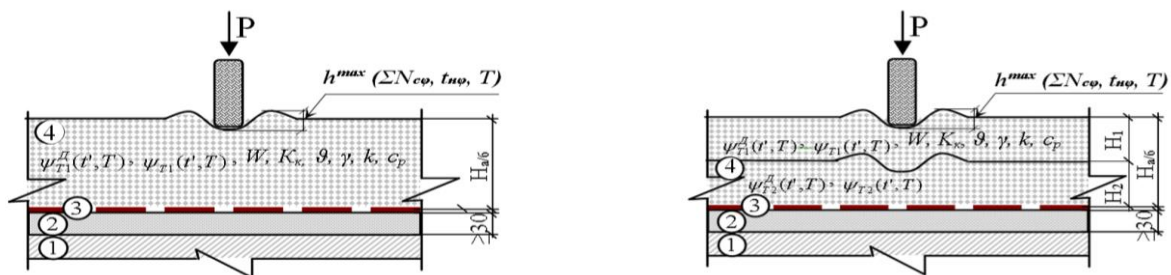
Математична модель прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини. У відповідності до робочої гіпотези при розробленні математичної моделі з прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини (рис. 2), розглядається її формування за рахунок накопичення залишкових деформацій при високих літніх температурах в асфальтобетонних шарах покриття на жорсткій основі (рис. 3, 4). Асфальтобетон, з урахуванням відомих результатів досліджень А.М. Богуславського, В.А. Веренька, Л.Б. Гезенцевя, В.К. Жданюка, В.О. Золотарьова, В.П. Матуа, Б.С. Радовського, А.В. Руденського, та Б.Б. Телтаєва та інших вчених, розглядається як термов'язкопружнопластичне тіло, властивості якого запропоновано описувати такими основними показниками: функція релаксації (в'язкопружна характеристика) асфальтобетону $\psi_T(t, T)$, яка залежить від часу дії навантаження і температури; функція деформації $\psi_T^D(t, T)$ (в'язкопружнопластична характеристика) асфальтобетону, яка залежить від часу

дії навантаження і температури; характеристика пластичності асфальтобетону $c_p(t', T)$.



R - радіус пневматичного колеса; P - навантаження від колеса на опорну поверхню; p - тиск від відбитку протектора шини на опорну поверхню; V_p - швидкість руху колеса; h_N - глибина колії після попереднього N -го проходу колеса; h_{N+1} - глибина колії після наступного $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{Σ} - приріст повної деформації ($\Delta h_{N+1}^{np} + \Delta h_{N+1}^{g/n} + \Delta h_{N+1}^{nl}$) після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{nl} - приріст пластичної деформації після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{zg} - приріст зворотної деформації після $N+1$ проходу колеса; Δh_{N+1}^{np} - приріст пружної деформації після $N+1$ проходу колеса; $\Delta h_{N+1}^{g/n}$ - приріст в'язкопружної деформації після $N+1$ проходу колеса

Рисунок 2 – Схема утворення залишкових вертикальних деформацій від прокочування пневматичного колеса транспортних засобів по асфальтобетонному покритті



1 – залізобетонна плита проїзної частини; 2 – вирівнюючий бетонний шар; 3 – гідроізоляція; 4 – одно або двошарове асфальтобетонне покриття; $\psi_{T1}^D(t, T)$, $\psi_{T2}^D(t, T)$ – функції деформації верхнього та нижнього асфальтобетонного шару; $\psi_{T1}(t, T)$, $\psi_{T2}(t, T)$ – функції релаксації верхнього та нижнього асфальтобетонного шару, МПа; K_k – коефіцієнт бокового деформування; $h(\Sigma N_{c\phi}, t_{n\phi}, T)$ – максимальна глибина колії в асфальтобетонному покритті, яка залежить від сумарної кількості прикладання розрахункового навантаження ($\Sigma N_{c\phi}$), часу дії навантаження ($t_{n\phi}$) та температури (T), м; $H_{a/6}$ – товщина асфальтобетонного покриття, м; H_1 , H_2 – товщина верхнього та нижнього асфальтобетонного шару покриття, м.

Рисунок 3 – Схема утворення колії на одношаровому асфальтобетонному покритті, яке міцно зчеплене з основою із залізобетону
Рисунок 4 – Схема утворення колії на двошаровому асфальтобетонному покритті, шари яких між собою та із залізобетонною плитою міцно зчеплені

Постановка задачі. Асфальтобетонне покриття розглядається як обмежений горизонтальними площинами термов'язкопружнопластичний шар безкінечної протяжності. Усі шари асфальтобетонного покриття та залізобетонної

основи мають постійну товщину, їх власною вагою можна знехтувати у порівнянні з впливом зовнішнього навантаження; вертикальне переміщення поверхні покриття під час руху пневматичного колеса (рис. 2) враховує всі стадії деформування (пружні, в'язкопружні, пластичні); розглядається різний час дії навантаження пневматичного колеса на поверхню покриття, що відповідає різній швидкості руху транспортного засобу V_p ; температура на поверхні асфальтобетонного покриття в межах смуги накату додатково підвищується за рахунок взаємодії пневматичних шин транспортних засобів при їх контакті з поверхнею; тиск від пневматика розглядається як середньо-інтегральний за площею його відбитку і для розрахунків приймається рівним тиску від відбитку протекторів шини p .

Як наукову передумову для розробки математичної моделі з прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, було використано: теоретичні положення та рішення задач кочення пневматичного колеса по пластичним та в'язкопружнопластичним середовищах О.Ю. Ішлінського та К. Джонсона; методологічні розробки застосування теорії термов'язкопружності для прогнозування поведінки асфальтобетону В.О. Золотарьова, В.В. Мозгового, Б.С. Радовського, Б.Б. Телтаєва та інших дослідників, при зміні температури та часу дії навантаження.

Для визначення глибини колії h після першого проїзду пневматичного колеса було використано рішення О.Ю. Ішлінського у вигляді:

$$h = \frac{1}{2} (c \cdot \beta \cdot R)^{-\frac{1}{3}} \cdot \left[\frac{3 \cdot P}{b} \cdot \left(\sqrt{\frac{c + \beta}{c}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}}, \quad (1)$$

де β - постійна пневматика, Па/м; R - радіус пневматичного колеса, м; b - ширина пневматичного колеса м; c - характеристика пластичних властивостей матеріалу, Па/м; P - навантаження від колеса на опорну поверхню, Па.

При цьому, використовували підходи О.Ю. Ішлінського стосовно врахування кількості проїздів пневматичного колеса на кінцеву вертикальну деформацію h_{N+1} , а також рішення для визначення навантаження від колеса на опорну поверхню P як функції часу дії навантаження t та швидкості руху колеса V_p і в'язкопластичних характеристик матеріалу μ , c , a : $P = f(\beta, \mu, c, a, R, t, V_p)$ - за рішеннями О.Ю. Ішлінського та в'язкопружних характеристик K , Θ , T , a : $P = f(K, \Theta, T, R, t, V_p)$ - за рішенням К. Джонсона.

Беручи за основу вище наведені теоретичні положення та відомі підходи, стосовно застосованих методів квазіпружної апроксимації у вирішенні в'язкопружних задач, на основі відомих пружних рішень (метод Р. Шепері) та застосовуючи аналогічні підходи у вирішенні в'язкопружнопластичних задач, базуючись на рішеннях пружнопластичності, розроблені математичні моделі прогнозування тиску P^* , за якого не буде утворюватись колія, а також отримано

рівняння прогнозування глибини колії h_{N+1} на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів після $N+1$ проїзду пневматичних коліс транспортних засобів.

$$p^* < \frac{16 \cdot \bar{\Psi}_T^D(t', T) \cdot b}{3 \cdot \pi \cdot D^2} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \bar{\Psi}_T^D(t, T) \cdot R}{\beta}}, \quad (2)$$

$$h_{N+1} = \frac{1}{2} \cdot (\beta \cdot c_p \cdot R)^{\frac{1}{3}} \times \left[\frac{3 \cdot \pi}{4} \cdot \frac{\bar{\Psi}_T(t', T) \cdot a_1^4}{H_{a/b} \cdot R \cdot b} \cdot \left(\sqrt{\frac{c_p + \beta}{c_p}} - 1 \right) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot [1 + \vartheta \cdot (N-1)^k]^\gamma \cdot W \cdot K_\kappa, \quad (3)$$

$$t' = \frac{t}{a_T(T)}, \quad (4) \quad c_p = \frac{\Psi_T(t', T)}{\Psi_T^D(t', T)} \cdot c, \quad (5) \quad a_1 = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \pi}{8} \cdot \frac{R \cdot p_0 \cdot D^2}{\beta \cdot b}}, \quad (6)$$

де $\bar{\psi}_T(t', T)$, $\Psi_T^D(t', T)$, $a_T(T)$ – відповідно середньоінтегральне значення по товщині функції релаксації, деформації (Па) та температурно-часової аналогії асфальтобетону; D – діаметр кола, рівновеликого за площею відбитку колеса, м; p_0 – тиск повітря в пневматичній шині, Па; W – функція, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів (вид функції і параметрів встановлюється експериментально); ϑ, k, γ – параметри, що встановлюються експериментально і відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії в асфальтобетоні при повторному проїзді N колеса.

У отриманій математичній моделі (3) використовується функція релаксації $\psi_T(t, T)$ асфальтобетону, яка уточнена за рахунок коефіцієнту, що залежить від властивостей бітумного в'язучого, а саме: пенетрації, температури розм'якшення та індексу пенетрації. Вид функції релаксації та її параметри визначаються на основі випробувань асфальтобетонних зразків. Параметри ϑ, k, γ встановлюються на основі результатів визначення глибини колії при циклічному навантаженні зразка асфальтобетонного покриття при відомих значеннях функції релаксації та температурно-часової аналогії. Вид і параметри функції W встановлюються на основі результатів визначення глибини колії при певній комбінації причин колієутворення від внутрішніх факторів з використанням відомих значень функції релаксації, температурно-часової аналогії та параметрів ϑ, k, γ . Перевірка адекватності математичної моделі здійснюється за результатами експериментального визначення глибини колії з використанням зразків асфальтобетонного покриття за допомогою колієміра, а також на основі натурних обстежень.

Дана математична модель, яка містить у собі параметри термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону (визначаються на основі експериментальних методів), дозволяє прогнозувати утворення колії в

асфальтобетонному покритті, що опирається на жорстку залізобетонну основу від різного часу дії циклічного вертикального навантаження пневматичних коліс транспортних засобів при високих літніх температурах, яка включає в себе параметри термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону (визначаються на основі експериментальних методів).

Для застосування даної математичної моделі було удосконалено метод визначення температури асфальтобетону в смузі накату, з урахуванням впливу сонячної радіації та взаємодії пневматичних коліс з покриттям при їх коченні. Тепловий баланс поверхні асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах складається із надходження і поглинання сонячної радіації та різних механізмів теплообміну з навколишнім повітрям. Якщо припустити, що нижня поверхня плити проїжджої частини знаходиться в умовах конвекційного теплообміну з повітрям всередині прогонової конструкції та повітрям під плитою проїзної частини мосту, та температура, яка повільно змінюється з часом і не має інших джерел тепла, то тепловий баланс досліджуваної системи $q_{RES}(t)$ буде складатися з адитивних теплових факторів. Запропоновано розглядати уточнене рівняння загального теплового балансу для асфальтобетонного покриття на мостах (рис. 5), що складається крім загально відомих складових: теплового потоку сонячної радіації $q_s(t)$; радіаційного теплового потоку $q_R(t)$; конвекційного теплового потоку $q_c(t)$, а також теплового потоку від впливу взаємодії пневматичних коліс з покриттям при їх коченні $q_p(t)$:

$$q_{RES}(t) = q_s(t) + q_R(t) + q_c(t) + q_p(t). \quad (7)$$

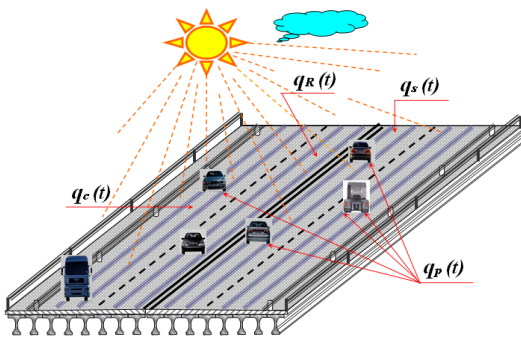


Рисунок 5 – Схема теплових потоків, що впливають на температурний режим асфальтобетонного покриття автодорожніх мостів

На основі даного рівняння загального теплового балансу (7), використовуючи результати досліджень М.В. Немчинова, були отримані уточнені аналітичні залежності для визначення температури на поверхні асфальтобетонного покриття (8) та по його товщині (9) на основі відомих рішень Фур'є теорії теплопровідності:

$$T(z=0, t) = \frac{q_s}{a_s} + \frac{q_R}{a_R} + \frac{q_c}{a_c} + \frac{2q_p}{\lambda} \cdot \sqrt{\frac{a_a \cdot t}{\pi}}, \quad (8)$$

де a_s , a_R , a_c – відповідні коефіцієнти тепловіддачі (встановлюються експериментально), Вт/м²·К; a_a – коефіцієнт температуропровідності верхнього шару асфальтобетонного покриття, м²/с; λ – коефіцієнт теплопровідності,

Вт/(м·К); Z – відповідна глибина шару, м; t – час; $q_p(t)$ – теплового потоку від впливу взаємодії пневматичних коліс з покриттям при їх коченні, Вт/м².

$$T(z, t) = T_c + \frac{4(T_0 + T_c)}{\pi^3} \sum_n \frac{1}{(2n+1)^3} e^{\frac{-(2n+1)^2 \pi^2 a \cdot t}{H_{a/6}^2}} \sin\left[\frac{(2n+1)\pi \cdot z}{H_{a/6}}\right], \quad (9)$$

де a – коефіцієнт температуропровідності, м²/с; T_0 – початкова температура поверхні, °С; T_c – кінцева температура поверхні, °С.

Для прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на залізобетонних автодорожніх мостах, було запропоновано встановлення параметрів розрахункових навантажень. До них віднесено: нормативне статичне навантаження на вісь; нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля; розрахунковий тиск від відбитку протектора шини на опорну поверхню, що залежить від тиску повітря в шині p_o ($p = k_n \cdot p_o$) та коефіцієнта пропорційності k_n , що залежить від типу шин; діаметр відбитку колеса рухомого автомобіля (визначається за чинними нормативними документами); інтенсивність руху та час дії навантаження. Розроблені параметри режимів транспортного навантаження (табл. 3).

Таблиця 3 – Параметри режимів вертикального навантаження від дії пневматичних коліс транспортних засобів

Номер виду режиму навантаження, (ф)	Вид режимів навантаження	Час навантаження ($t_{нф}$), с	Інтенсивність дії навантаження даного виду режиму (N_{ϕ}), авт/доб
1	Міські вулиці і дороги		
1.1	безперервний рух	$t_{1.1}$	$N_{\delta p} = \delta_{1.1} \cdot N$
1.2	повільний рух	$t_{1.2}$	$N_{np} = \delta_{1.2} \cdot N$
1.3	гальмування	$t_{1.3}$	$N_z = \delta_{1.3} \cdot N$
1.4	зупинка під час затору	$t_{1.4}$	$N_{zn} = \delta_{1.4} \cdot N$
1.5	розгін	$t_{1.5}$	$N_p = \delta_{1.5} \cdot N$
2	Автомобільні дороги загального користування		
2.1	безперервний рух	$t_{2.1}$	$N_{\delta p} = \delta_{2.1} \cdot N$
2.2	повільний рух	$t_{2.2}$	$N_{np} = \delta_{2.2} \cdot N$
2.3	гальмування	$t_{2.3}$	$N_z = \delta_{2.3} \cdot N$
2.4	зупинка під час затору	$t_{2.4}$	$N_{zn} = \delta_{2.4} \cdot N$
2.5	розгін	$t_{2.5}$	$N_p = \delta_{2.5} \cdot N$

У таблиці 3 позначено δ_i – доля інтенсивності даного виду режиму навантаження, що встановлюється на основі результатів техніко-економічних результатів дослідження або за довідковими даними. Час дії навантаження визначається на основі швидкості руху транспортних засобів. З метою проведення розрахунків, для найбільш типових комбінацій режимів навантаження,

розроблено схему режиму дії вертикального навантаження на асфальтобетонне покриття автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини.

У третьому розділі розроблений метод розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, в основі якого використано теоретичні положення та аналітичні залежності, що отримані у другому розділі.

Запропоновано умову граничного стану показника стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії, яка перевіряється за сумарною залишковою пластичною деформацією у вигляді колії, накопиченою за розрахунковий строк служби асфальтобетонного покриття:

$$h^{\max}(\sum N_{c\phi}, t_{n\phi}, T) \leq h_{ГД}, \quad (10)$$

де $h^{\max}(\sum N_{c\phi}, t_{n\phi}, T)$ – максимальна глибина колії в асфальтобетонному покритті, яка залежить від сумарної кількості прикладання розрахункового навантаження, часу дії навантаження та температури, м; $\sum N_{c\phi}$ – розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження, один. навант.; $h_{ГД}$ – гранично допустима глибина колії за нормативними документами, м.

Асфальтобетонне покриття на автодорожніх мостах з глибиною колії більшою гранично допустимих значень, створює небезпечні умови руху транспортних засобів і вимагає негайного проведення ремонтних робіт по її усуненню. Тому, в якості граничного стану для асфальтобетонного покриття прийнята гранично допустима глибина колії. Це означає, що утворена за розрахунковий строк служби максимальна глибина колії в асфальтобетонному покритті, не повинна перевищувати граничного значення $h_{ГД}$. Визначення загальної глибини колії $h_{заг}^{сер}$ в асфальтобетонному покритті, з урахуванням підходів А.П. Васильєва, встановлюються за залежністю:

$$h_{заг}(\sum N_{c\phi}, t_{n\phi}, T) = h_p(\sum N_{c\phi}, t_{n\phi}, T) + h_{\tau}(N_{c\phi}) + h_{\Delta} + h_{вин}, \quad (11)$$

де $h_p(\sum N_{c\phi}, t, T)$ – розрахункова глибина колії в асфальтобетонному покритті, яка визначається за рівнянням (3), м; $h_{\tau}(N_{c\phi})$ – знос покриття в смузі накату, який залежить від інтенсивності руху транспортних засобів та строку служби асфальтобетонного покриття, м; h_{Δ} – глибина колії внаслідок доущільнення асфальтобетонного покриття, м; $h_{вин}$ – висота випору колії, м.

Використовуючи залежність (11), максимальне значення глибини колії в асфальтобетонному покритті з відповідною забезпеченістю визначається за формулою:

$$h^{\max}(\sum N_{c\phi}, t_{\text{нф}}, T) = h_{\text{заг}}(\sum N_{c\phi}, t_{\text{нф}}, T) \cdot (1 + t_{\text{дй}} \cdot C_v), \quad (12)$$

де $t_{\text{дй}}$ – коефіцієнт довірчої імовірності; C_v – коефіцієнт варіації глибини колії.

Коефіцієнт варіації глибини колії на асфальтобетонному покритті C_v встановлений на основі літературних даних та власних досліджень з урахуванням автомобільних доріг різних категорій.

Отримано за формулою (12) значення максимальної глибини колії $h^{\max}$ за умовою (10). При виконанні умови (10), асфальтобетонне покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини задовольняє умові довговічності за критерієм забезпечення поперечної рівності.

Послідовність методу прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті складається з таких етапів: визначення температури асфальтобетону в смузі накату з урахуванням впливу сонячної радіації та взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з асфальтобетонним покриттям при їх коченні за виразом (8, 9); визначення фактичної сумарної кількості прикладання навантажень $N_{c\phi}$, яка базується на запропонованих параметрах режимів вертикального навантаження від дії пневматичних коліс транспортного засобу (табл. 3); визначення розрахункової глибини колії за математичною моделлю (3), визначення загальної глибини колії (11) з урахуванням вихідних даних; визначення максимальної глибини колії (12); перевірка умови (10).

У четвертому розділі розроблено експериментальні методи досліджень утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів і представлено результати та аналіз лабораторних, стендових, натурних випробувань з урахуванням комплексного впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів. Проведено натурні дослідження та проаналізовано відомі результати сучасних обстежень, у тому числі бази даних АЕСУМ, з метою вивчення причин та закономірностей утворення колії.

Об'єкти експериментальних досліджень: асфальтобетонне покриття на залізобетонних мостах та шляхопроводах України, кільцевий стенд ДП «Дорожній контроль якості»; традиційні асфальтобетони піщані і дрібнозернисті асфальтобетони (тип Г, В, Б, А), щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) та асфальтобетон литий (ЛА). Досліджувались асфальтобетони з використанням щебню розміром 10 мм, 15 мм, 20 мм на бітумах дорожніх марок БНД 40/60, БНД 60/90, БНД 90/130 та бітумах, модифікованих полімерами марок: БМПА 40/60-57, БМПА 60/90-53, що модифіковані полімерами – термоеластопластами, терполімерами; гідроізоляція - використовувалась рулонна, мастикова та напилювана.

Дослідження температури покриття. Виконувались натурні дослідження стосовно температурного режиму та температурного поля покриття на мостах, у тому числі у зоні смуг накату. Використовували тепловізійне обладнання та пірометричні датчики для визначення температури покриття. В дисертаційній роботі наведено результати вимірювань температурних режимів та

температурного поля асфальтобетонного покриття на шляхопроводі Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві у червні 2014 року. Отримані результати дозволили перевірити адекватність теоретичних рішень стосовно температури асфальтобетонного покриття та встановити кількісні дані про підвищення температури його поверхні в смузі накату. За результатами досліджень встановлено, що в теплу пору року, в період з 12 год до 17 год, за рахунок взаємодії пневматичних коліс транспортних засобів з покриттям при їх коченні, в смузі накату температура покриття прогрівається на $3^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ вище ніж на поверхні покриття між полосами накату.

Визначення глибини колії в асфальтобетоні. Дані експериментальні дослідження виконувались у таких напрямках: оцінювалась стійкість різних складів асфальтобетонів до утворення колії на лабораторному коліємірі; досліджувався вплив міцності зчеплення між асфальтобетонними шарами та міцності зчеплення між асфальтобетонними шарами і гідроізоляцією бетонної основи при зсуві за високих температур на стійкість до утворення колії; проводились порівняльні випробування на кільцевому стенді різних варіантів конструкцій на цементобетонній основі дорожнього одягу.

Оцінка стійкості асфальтобетонів до утворення колії. Розроблено метод для визначення показника стійкості до накопичення залишкової деформації у вигляді колії при багатоциклового повторному навантаженні за підвищених температур. З метою формування лабораторних зразків із структурою асфальтобетону, подібною до матеріалу покриття, що влаштоване при ущільненні його котками, застосовували секторний прес, здатний імітувати укочення асфальтобетонної суміші у формі заданих розмірів. Отриманий у такий спосіб зразок у вигляді плити піддавали впливу повторних проходів огумленого колеса, що імітує дію пневматичного колеса з різними швидкостями та рівнем навантаження за різних температур. Також, під час таких експериментів вивчали вплив особливостей конструкцій асфальтобетонного покриття на утворення колії (товщини шарів, видів і характеристик гідроізоляційних матеріалів). Під час випробувань, стійкість до утворення колії оцінювали, вимірюючи її глибину, а також за допомогою інтегрального показника стійкості до накопичення залишкових деформацій, який визначали як суму площ під графічними залежностями $h_{i,j}^{експ} = f(N)$:

$$S_h^{експ} = \sum_k \sum_n \int_0^N h_{i,j}^{експ}(N) dN, \quad (13)$$

де i – порядковий номер рівня навантаження; j – порядковий номер рівня температури випробування; $h_{i,j}^{експ}$ – значення залишкової деформації у асфальтобетонному зразку у вигляді колії, мм; N – кількість проходів огумленого колеса по зразку.

Отримані результати експериментальних досліджень впливу рецептурно-структурних факторів на підвищення стійкості до утворення колії в асфальтобетоні, підтвердили відомі дані про підвищення зсувостійкості асфальтобетону за рахунок регулювання зернового складу, властивостей бітумних

в'яжучих та ін. окрім того, отримані кількісні дані та закономірності впливу режимів навантаження та конструктивно-технологічних факторів. На прикладі рисунку 6, показано вплив використання різних бітумних в'яжучих на дрібнозернистому асфальтобетоні типу А -20 на утворення колії.

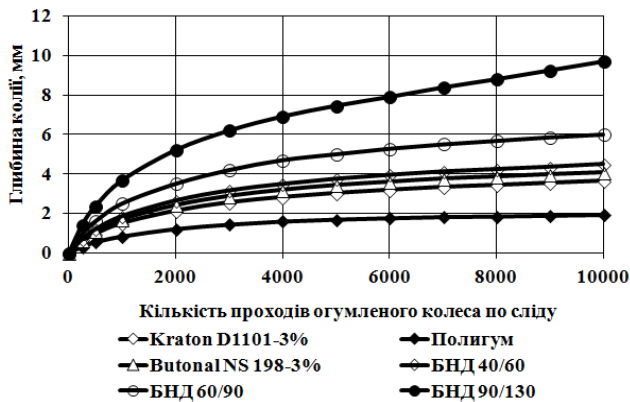


Рисунок 6 – Залежність глибини колії від кількості проходів огумленого колеса та виду бітумного в'яжучого в асфальтобетоні за температури 55 °С, при тиску 0,7 МПа

Запропоновано метод визначення коефіцієнта бокового деформування асфальтобетону. Отримані результати досліджених асфальтобетонів показали, що для асфальтобетону типу Г та В на бітумі БНД 60/90 та БНД 90/130 коефіцієнт бокового деформування асфальтобетону перевищує граничне значення, а інші асфальтобетони – ЦМА, типу Б та А показали задовільне значення коефіцієнту, а саме 0,68 – 0,97. Результати досліджень дозволили отримати функцію колієстійкості асфальтобетону. З аналізу результатів досліджень функції колієстійкості асфальтобетону встановлено експериментальні параметри, а саме: параметр a_τ є постійною величиною і дорівнює одиниці; параметр A_τ є змінною величиною і змінюється в межах від 0,28 до 0,20. Зменшення величини параметру A_τ (як приклад $A_\tau = 0,20$) свідчить про підвищення стійкості асфальтобетону до утворення колії, а збільшення значення $A_\tau = 0,28$ свідчить про погіршення стійкості, як приклад асфальтобетон типу Г.

Вплив міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним покриттям і бетонною основою на стійкість до утворення колії. Суть даного дослідження полягає в оцінці зчеплення при зсуві між асфальтобетонним покриттям (шарами) та бетонною основою, за високих температур у залежності від витрати та раціонального виду підґрунток і гідроізоляцій між асфальтобетонним покриттям і бетонною основою. Експериментальний метод полягає у визначенні міцності зчеплення асфальтобетонного покриття при дії горизонтальних і вертикальних зусиль, що моделюють дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонне покриття автодорожніх мостів при гальмуванні транспортних засобів (рис. 7), з наступним випробуванням на стійкість до утворення колії на коліємірі.

Отримані результати свідчать, що міцність міжшарового зчеплення при традиційних витратах підґрунтки між асфальтобетонним покриттям і бетонною основою може змінюватись до 2-х разів. Встановлено, що недостатнє зчеплення істотно впливає на утворення колії в асфальтобетонному покритті. Для випробуваних складів асфальтобетонів (зразків-композитів) оптимальна витрата

підґрунтовки складає від $0,4 \text{ л/м}^2$ до $0,8 \text{ л/м}^2$ і суттєво залежить від виду асфальтобетону (рис. 8).

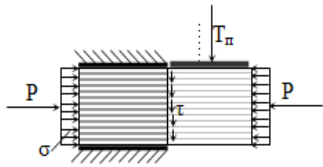
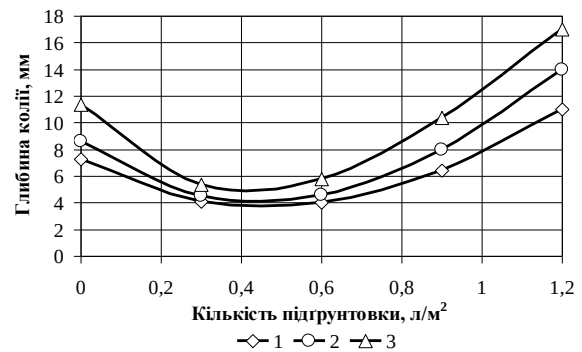


Рисунок 7 – Схема випробувань зразків кернів на зчеплення між шарами

P – нормальне зусилля, що діє перпендикулярно до торця зразка, імітуючи вертикальне зусилля від транспорту; σ – нормальне напруження рівномірно розподіленого по поверхні торців зразка, що імітує контактний тиск від транспортного колеса; T_p – дотичне зусилля, що створює випробувальний прес на контакті шарів зразка, імітуючи горизонтальне зусилля від транспорту; τ – дотичне напруження між асфальтобетонними шарами, що витримує зразок-кern до порушення зчеплення між ними



- 1 – щебенево-мастиковий асфальтобетон;
- 2 – дрібнозернистий асфальтобетон типу А;
- 3 – дрібнозернистий асфальтобетон типу Б

Рисунок 8 – Залежність глибини колії від кількості підґрунтовки в асфальтобетонах різних гранулометричних типів після 4000 проходів колеса (при температурі випробувань 60°C)

Встановлення термов'язкопружнопластичних характеристик асфальтобетону. Математична модель прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті потребує застосування характеристик, що описують термов'язкопружну поведінку асфальтобетонів ($\psi_T(t, T)$ – функції релаксації і $a_T(T, t)$ – температурно-часової аналогії) та термов'язкопружнопластичну ($\psi_T^D(t, T)$ – функція деформації, W – функція, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів, K_k – коефіцієнт пластичного бокового деформування, ϑ, k, γ – параметри, що відображають вплив циклічного навантаження).

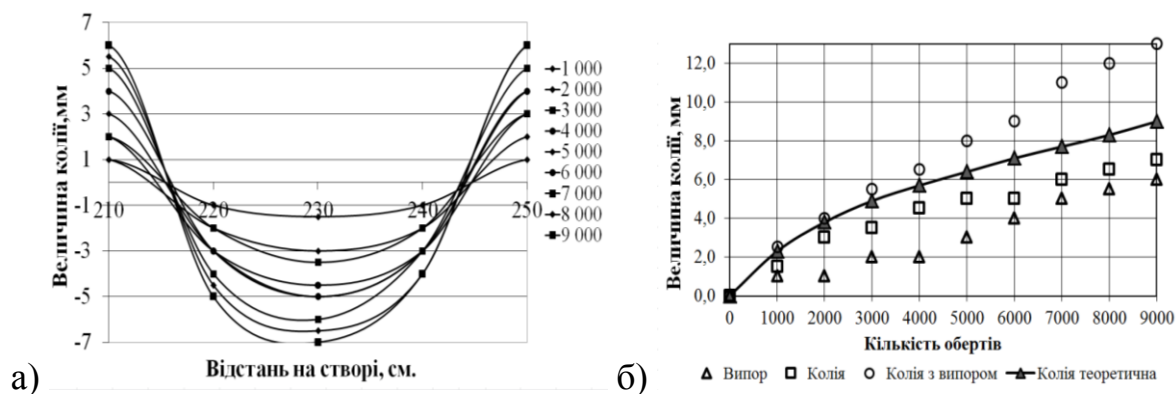
Функції релаксації, деформації і температурно-часової аналогії визначали за методикою Б.С. Радовського. Характеристик пластичних властивостей асфальтобетону встановлювали при розрахункових температурі і тиску $c = p/h_1$.

Коефіцієнт пластичного бокового деформування асфальтобетону ($K_k = h/h_n$) визначали за розробленим методом, що передбачає використання колієміра, за допомогою якого встановлюється значення глибини колії через 4000 проходів для зразків-плит, що мають бокові обмеження переміщення ($h_{\text{об.}}$) та для зразків, в яких деформація у поперечному напрямку не обмежується ($h_{\text{нпер}}$).

Розроблено експериментальний метод визначення виду функції, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від внутрішніх факторів, та її параметри, а також експериментальний параметр, що відображає вплив циклічного навантаження на утворення колії в асфальтобетоні при повторному проїзді колеса. Метод полягає у використанні секторного пресу для створення

зразків, що імітують конструкцію асфальтобетонного покриття автодорожніх мостів із залізобетонною плитою, із застосуванням певної комбінації внутрішніх факторів (рис. 1, табл. 1, 2, 3).

Стендові випробування на кільцевому стенді. Дослідження полягали у вивченні поперечного профілю асфальтобетонного покриття на бетонній основі з вимірюванням параметрів колії в залежності від кількості проїздів колеса по одному сліду за високих літніх температур (від 45 °С до 55 °С). Характерний поперечний профіль та кінетику зміни його характеристик показано на рисунку 9.



а) – поперечний профіль; б) – кінетику зміни характеристики колії

Рисунок 9 – Залежність утвореної колії в асфальтобетонному покритті, що знаходиться на бетонній основі дорожнього одягу, від кількості проїздів колеса

Отримані дані свідчать, що із збільшенням кількості навантажень темпи зростання глибини колії спочатку стрімко збільшуються, а потім поступово зменшуються (рис. 9). Зміна висоти випорів на початку характеризується повільними темпами, потім стрімким зростанням, далі - значним сповільненням їх темпів росту. Загальна глибина колії має закономірність, аналогічну зміни глибини колії з менш вираженим зниженням темпу росту і має тенденцію до подальшого зростання свого значення. Проведені дослідження зміни щільності асфальтобетону в межах границь колії і в межах границь випорів свідчить про те, що щільність асфальтобетону в зонах випору зменшилась до 20 %, а в межах границь колії вона майже не змінилась. При цьому, товщина покриття зменшилась на величину глибини колії (на 7 мм). Це свідчить про те, що в межах траєкторії руху пневматичного колеса відбулось горизонтальне деформування асфальтобетону, що спричинило таке деформування суміжних бокових зон покриття, яке сприяло утворення випорів з розрихленням, тобто відбувся ефект дилатансії. В натурних умовах експлуатації асфальтобетонного покриття на мостах, розрихлення в зоні випорів, у більшості випадків, не спостерігається у зв'язку з випадковим характером розподілу проїзду пневматичних коліс в межах смуги накату. Це сприяє майже повному доущільненню асфальтобетону на стадії початкового розрихлення в зоні випорів і відновленню його структури за високих літніх температур, про, що свідчать результати натурних випробувань. Результати експериментальних досліджень утворення колії на асфальтобетонному покритті є

порівняними з загальноприйнятими у науковій літературі даними про характер утворення колії та підтверджують обґрунтованість висунутих у дисертаційній роботі припущень.

У п'ятому розділі встановлено закономірності впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини. Наведено результати експериментального та чисельного аналізу впливу різних факторів на утворення колії в асфальтобетонному покритті, на основі яких були встановлені основні закономірності залежності глибини колії від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних параметрів, з метою розробки ефективних методів підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії.

На основі результатів випробувань на коліємірі зразків асфальтобетонів різного зернового складу, отримано прогнозну поліноміальну модель визначення глибини колії, в залежності від швидкості руху огумленого колеса, його тиску на покриття та температури.

Проведені експериментальні дослідження глибини колії в асфальтобетоні підтвердили відповідність загально прийнятим у світовій практиці уявленням про позитивний вплив модифікації бітуму полімерами. Доведено, що модифікація бітуму полімерами (при їх кількості до 5 %) дозволяє зменшити глибину колії до 50 %. Використовуючи математичну модель (3) для прогнозування глибини колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, встановлені експериментальні параметри термов'язкопружнопластичних характеристик асфальтобетону та здійснено чисельний аналіз впливу зовнішніх і внутрішніх факторів на її утворення. Також, встановлені закономірності впливу температури, швидкості руху та товщини асфальтобетонного покриття на утворення колії в покритті для асфальтобетонів різного складу. Приклади аналізу наведено на рисунку 10. Встановлено, що збільшення товщини покриття (рис. 10) призводить до зменшення глибини колії в асфальтобетонному покритті.

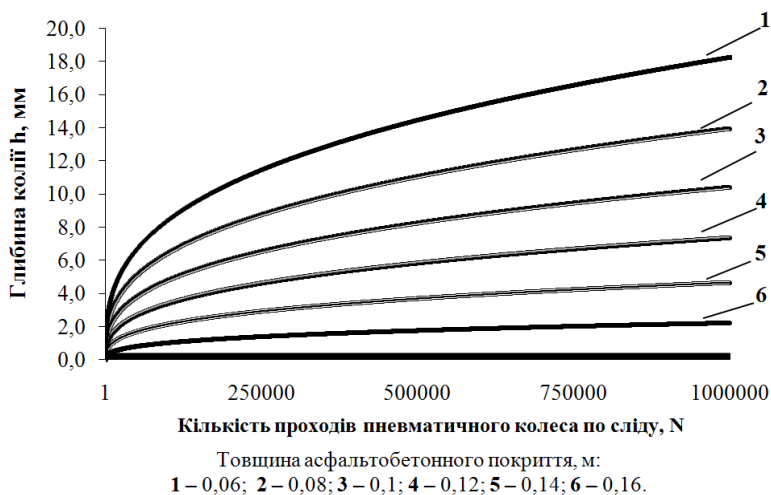


Рисунок 10 – Залежність глибини колії від навантаження $p=1,0$ МПа, що передається від пневматичного колеса транспортного засобу при швидкості руху $V=40$ км/год. на асфальтобетон типу А-20 (на бітумному в'язучому БНД 60/90), з різною товщиною покриття при температурі 50°C

У шостому розділі наведено практичні розробки з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів, основні з яких наведені нижче.

Методика проектування асфальтобетонного покриття підвищеної стійкості до утворення колії. Метод проектування базується на математичній моделі та методі прогнозування утворення колії. Вихідними даними є: параметри зовнішніх і внутрішніх факторів умов роботи асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини та параметри термов'язкопружнопластичних характеристик асфальтобетону, що встановлюються експериментально. В роботі запропоновано послідовність проектування асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, стійкого до утворення колії.

Метод розрахунку міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним покриттям та залізобетонною плитою проїзної частини автодорожнього мосту. Метод застосовується для вибору гідроізоляційних матеріалів з метою забезпечення необхідної міцності при зсуві за високих літніх температур між асфальтобетонними шарами та залізобетонною плитою проїзної частини автодорожнього мосту. Метод реалізовується у такій послідовності: відповідно до моделі визначення температурного режиму покриття встановлюється середньодобова максимальна температура кожного конструктивного шару; за результатами експериментального визначення термов'язкопружнопластичних характеристик асфальтобетону, для встановленої температури та розрахункового часу дії навантаження під час гальмування, встановлюють модулі деформації асфальтобетону та гідроізоляційного матеріалу. Це дозволяє визначити граничне значення дотичних напружень $\tau_{\text{лаб}}$, з урахуванням визначеної температури між асфальтобетонним покриттям, залізобетонною плитою проїзної частини та відповідним видом еластичного прошарку, яке приводиться до розрахункового $\tau_{\text{роз}}$ за рахунок введення коефіцієнтів морозостійкості, варіації та нормованого відхилення. Далі, за допомогою номограм, встановлюють максимальне дотичне напруження τ від гальмування пневматичного колеса по асфальтобетонному покриттю на контакті між асфальтобетоном і гідроізоляцією, а також максимальну горизонтальну відносну деформацію нижньої поверхні асфальтобетону ε . Їх значення встановлюється за допомогою сучасних комп'ютерних програм і порівнюється з гранично допустимими величинами, що встановлюються експериментально.

Методика оцінки впливу рівня невідповідності структурно-технологічних факторів вимогам на стійкість асфальтобетону до утворення колії. Суть методики полягає у перевірці коефіцієнта невідповідності K_n вимогам:

$$K_n = \frac{S_h^{n.c.впл.}}{S_h^{до впл.}} \leq [П], \quad (14)$$

де $[П]$ – показник граничнодопустимого коефіцієнта невідповідності за стійкістю асфальтобетону до утворення колії; $S_h^{до впл.}$, $S_h^{n.c.впл.}$ – відповідно показник стійкості асфальтобетону до утворення колії, до впливу невідповідностей та, після їх впливу.

Методика встановлення мінімально допустимої температури ущільнення асфальтобетонної суміші при влаштуванні покриття. Суть методики полягає у встановленні допустимих температур влаштування асфальтобетонних шарів для запобігання недостатнього ущільнення суміші, яке сприятиме утворенню колії у процесі експлуатації покриття за рахунок його доущільнення. Для цього використовуються результати двох експериментальних закономірностей, що отримуються експериментально за допомогою секторного пресу та колієміру, одна з яких являє собою залежність коефіцієнта ущільнення асфальтобетону від температури ущільнення, а інша відображає залежність глибини колії асфальтобетону від коефіцієнта ущільнення. Отримані експериментальні дані використовуються для графічного способу встановлення допустимої температури, схема якого представлена на рисунку 11.

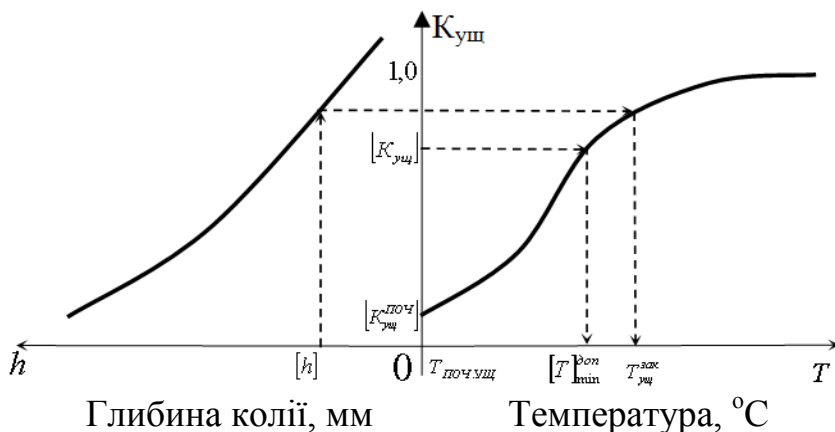


Рисунок 11 – Схема встановлення допустимих температур ущільнення асфальтобетонної суміші для забезпечення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії

Методика визначення показника розширення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші від термінів її зберігання і транспортування. Методика полягає у визначенні допустимого значення (з позиції забезпечення стійкості щебенево-мастикового асфальтобетону до утворення колії) показника стікання щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, в залежності від часу транспортування та зберігання в накопичувальному бункері. Потрібно

дотримуватись вимог до показника стікання E_p ЩМАС в залежності від часу зберігання та транспортування, що визначається за залежністю:

$$E_p \leq B \cdot e^{-b_1 \cdot t_{Tp}} \cdot \Delta_{\delta} \cdot \left(1 + \frac{t_{\delta}}{t_{\delta}''}\right)^l, \quad (15)$$

де E_p – фактичний показник стікання в'язучого, який залежить від часу транспортування ЩМАС, %; B – показник стікання в'язучого із ЩМАС, що дорівнює 0,20 % за масою; b_1 , Δ_{δ} , l – коефіцієнти, що встановлюються експериментально; t_{Tp} – час транспортування суміші, хв.; t_{δ} – час зберігання суміші у бункері, хв.; t_{δ}'' – безпечний час зберігання суміші у бункері, хв.

Також, результати досліджень знайшли застосування при розробленні нормативних документів, проектів, рекомендацій, пропозицій, рецептів матеріалів, конструкцій, технологій для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах. В роботі запропоновано шляхи подальшого розвитку.

Розроблено:

- обґрунтовані типові конструкції покриття підвищеної довговічності для застосування на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини з урахуванням різних категорій автомобільних доріг та кліматичних умов;
- рекомендації щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту, асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах України.

Результати наукових досліджень знайшли застосування при розробці 18 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах України.

Економічний ефект від впровадження результатів наукових досліджень досягається підвищенням у 1,7 – 2,3 рази розрахункового строку служби асфальтобетонних покриттів автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, а також зменшенням фінансових витрат у 1,2 рази на їх поточні ремонти та експлуатаційне утримання.

У додатках наведено: зарубіжний досвід підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії, а також існуючі критерії та методи їх оцінки; методи обробки і результати експериментів; здійснено оцінку достовірності результатів теоретичних положень; доведена адекватність математичних моделей на основі співставлення теоретичних розрахунків з результатами експериментальних випробувань; приклади методів розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах з урахуванням зазначених факторів; економічна ефективність застосування дисертаційних досліджень; список опублікованих праць.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нові вирішення наукових та практичних проблем. У дисертаційній роботі створені наукові основи з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини. У дослідженнях враховано комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону; високої температури асфальтобетонного покриття від впливу сонячної радіації та взаємодії пневматичних коліс із покриттям при їх коченні; вертикального тиску на покриття пневматичних коліс транспортних засобів та часу його дії; інтенсивності прикладання вертикальних навантажень.

Результати дисертаційних досліджень дозволили сформулювати теоретичні та науково-практичні висновки, основними з яких є:

1. Із аналізу відомих літературних даних та досліджень стосовно мостового полотна автодорожніх мостів встановлено:

- переважна їх більшість має залізобетонну плиту проїзної частини з асфальтобетонним покриттям, в останні роки на яких спостерігається інтенсивне зростання дефектів у вигляді колії, у зв'язку з ростом параметрів транспортних навантажень та аномально високими літніми температурами (понад 50 % пластичних деформацій із загальної кількості дефектів);

- в існуючих наукових розробках не достатньо вивчено: причини та види утворення колії на асфальтобетонному покритті; не в повній мірі враховано комплексний вплив термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону та внутрішніх і зовнішніх факторів; підходи вивчення утворення колії не мають єдиної наукової та методологічної основи; існуючі експериментальні дослідження не достатньо відображають фактичні умови роботи покриття; не в повній мірі вивчено стійкість асфальтобетонного покриття до утворення колії при комбінованому застосуванні різних практичних заходів.

2. Розроблено теоретичні положення, які включають:

- математичну модель, яка дозволяє прогнозувати глибину утворення колії в асфальтобетонному покритті, що опирається на жорстку залізобетонну основу, від дії циклічного вертикального навантаження пневматичних коліс транспортних засобів при високих літніх температурах, яка включає в себе наступні параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону (визначаються на основі експериментальних методів), параметри конструкції мостового полотна, дії вертикального навантаження та зміни температури;

- метод розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, від дії вертикальних навантажень пневматичних коліс транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантажень.

3. Удосконалено метод визначення температури асфальтобетону в смузі накату, з урахуванням впливу сонячної радіації та взаємодії пневматичних коліс з покриттям при їх коченні, що дозволяє врахувати додаткове нагрівання покриття за рахунок його взаємодії із пневматичними колесами транспортних засобів.

4. Розроблені методи експериментальних лабораторних, стендових та натурних досліджень, а саме: визначення параметрів термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону; оцінки міцності зчеплення між асфальтобетонним покриттям, гідроізоляційним матеріалом і бетонною основою при зсуві; параметрів оцінки стійкості асфальтобетону до накопичення залишкової деформації; встановлення параметрів кінетики утворення колії асфальтобетонного покриття на бетонній основі кільцевого стенду; контролювання процесу модифікації бітуму полімерами з використанням лопатевого змішувача; визначення в натурних умовах температури асфальтобетонного покриття в смузі накату та параметрів утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини.

5. На основі експериментальних результатів:

- отримані результати дослідження впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів на утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини;

- визначенні параметри термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону, характеристики колієутворення, температуру асфальтобетонного покриття в смузі накату, міцність зчеплення між асфальтобетоном та залізобетонною основою при зсуві;

- одержані порівняльні результати випробування асфальтобетонів типів А, Б, В, Г (з максимальним розміром щебеню від 5 мм до 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-15, ЩМА-20) та литих асфальтобетонів (ЛА-10, ЛА-15), із яких випливає, що мінімальне значення глибини колії спостерігається для ЩМА-20.

6. На основі чисельного аналізу встановлено:

- закономірності впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, зокрема доведено, що модифікація бітуму полімерами дозволяє зменшити глибину колії в асфальтобетонному покритті до 50 % за абсолютним значенням, при порівнянні однакових типів і видів асфальтобетонів;

- отримано поліноміальну модель оцінки величини утворення колії, в залежності від найбільш впливових факторів, що дозволяє проаналізувати зміну глибини колії при зміні значень вхідних параметрів та визначити раціональну комбінацію значень вхідних параметрів, які забезпечать мінімальне значення утворення колії.

7. Розроблені практичні методики з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини, зокрема: метод проектування асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності, а також вимоги до матеріалів асфальтобетонного покриття та параметрів його конструкції.

Впроваджені в практику підприємств та організацій дорожньої галузі України рецепти матеріалів, конструкцій покриття, технології його влаштування. За рахунок застосування практичних методик, очікується збільшити строк служби асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, у порівнянні з існуючим терміном, в 1,5 – 1,8 рази. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 18 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах України.

Економічний ефект від впровадження наукових результатів дисертаційних досліджень досягається від підвищення у 1,7 – 2,3 рази розрахункового строку служби асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини, а також зменшенням витрат у 1,2 рази на їх поточні ремонти та експлуатаційне утримання.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Монографії

1. Онищенко А. М., Кузьмінець М. П., Редченко В. П., Тарнопольський Д. Й., Аксьонов С. Ю. Теоретичні та експериментальні дослідження Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві: монографія. К. : НТУ, 2014. 341 с.
2. Онищенко А. М., Кузьмінець М. П., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В. Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах : монографія. К. : НТУ, 2015. 323. с.

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних науко-метричних баз:

3. Onishchenko A., Mozgoviy V., Kyrienko O., Olhovyi B. Scientific bases of providing of road coverage wholeness on bridges // Zespolone konstrukcje mostowe. 2009. P. 423-436.
4. Онищенко А. Н. Экспериментальная оценка устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи / В. В. Мозговой, А. Н. Онищенко, О. В. Прудкий и др. // Дорожная техника. 2010. С.114-128.
5. Онищенко А. Н. Колеестойкость асфальтобетонного покрытия на цементобетонных основаниях // Журнал современных строительных технологий «Красная линия». 2011. Вып. Дороги. № 52. С. 38-41.
6. Онищенко А. М. Методи оцінки колієстійкості асфальтобетону // Slovak international scientific journal : construction and architecture. Slovakia. 2016. № 2 (2). P. 16-26. ISSN 5782-5319.
7. Онищенко А. М. Проектування зернового складу асфальтобетону підвищеної колієстійкості з оптимізацією за показником розрахункового строку служби. *International scientific and practical conference "World science"*. 2017. № 4(20), Vol.2. P. 32-35. ISSN 2413-1032. Видання входить до наукометричних баз даних: Index Copernicus, eLIBRARY.

8. Онищенко А. Н. Влияние различных факторов на интенсивность образования остаточных деформаций виде колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов (часть 1) // Мир дорог. 2013. № 3. С. 2-4.
 9. Онищенко А. Н. Влияние различных факторов на интенсивность образования остаточных деформаций виде колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов (часть 2) // Мир дорог. 2013. № 4. С. 28-29.
 10. Онищенко А. Н. Причины образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов и способы повышения колеестойкости // Дорожная техника. 2013. С. 134-144.
 11. Onishchenko A., Kuzminets M., Aksenov S. Analysis of modified bitumen difference polymers // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. Lublin – Rzeszow, 2014. № 8. P. 101-106.
 12. Онищенко А. М. Метод розрахунку міцності зчеплення асфальтобетонного покриття з проїзною частиною мосту при зсуві від дії екстреного гальмування транспортного засобу // Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2016. С. 12-19.
 13. Онищенко А. Н., Мозговой В. В., Гаркуша Н. В., Белан О. О. Анализ напряжено-деформированного состояния и устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия, испытанного на кольцевом стенде // Мир дорог. 2016. С. 28-32.
- Статті у фахових виданнях:**
14. Онищенко А. М. Досвід застосування полімерів в дорожньому будівництві // Управління проектами, системний аналіз і логістика. 2007. № 4. С. 146-153.
 15. Онищенко А.М., Бесараб О. М., Смолянець В. В., Макарьев О. О. Теоретичні основи термореологічної поведінки полімерасфальтобетонів на основі латексів Butonal // Автошляховик України. 2007. - №6. С. 37-40.
 16. Онищенко А. М., Бесараб О. М., Смолянець В. В., Макарьев О. О. Експериментальні дослідження термореологічної поведінки полімерасфальтобетонів на основі латексів Butonal // Автошляховик України. 2008. № 1. С. 36-39.
 17. Онищенко А.М. Випробування конструкцій дорожнього одягу на кільцевому стенді – успіхи, проблеми, перспективи (частина 2) / Мозговий В. В., Онищенко А.М., Прудкий О. В., Куцман О. М. та ін. // Автошляховик України. 2010. № 4. С. 24-31.
 18. Онищенко А. М., Мозговий В. В., Лаптева Н. С., Невінгловський В. Ф. Експериментальна оцінка колієстійкості асфальтобетону за допомогою лабораторних установок // Автошляховик України. 2010. № 13. С. 93-100.
 19. Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С., Гаркуша М. В. Методика забезпечення колієстійкості асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. 2011. Вип. 1(87). С. 17-25.
 20. Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю. Дослідження колійності асфальтобетонів різних типів та видів на бітумному в'язучому «Полігум» // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2012. № 46. С. 272-278.

21. Онищенко А. М., Мозговий В. В., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу // Автошляховик України. 2012. № 5. С. 25-30.
22. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. Експериментальний аналіз впливу мікрОВОЛОКОН на підвищення тріщиностійкості та коліє стійкості асфальтобетонного покриття випробуваного на кільцевому стенді // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2013. Вип. 88. С. 89-100.
23. Онищенко А. М. Метод визначення функції зсувостійкості асфальтобетонного покриття на штучних спорудах // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту : Серія «Транспортні системи і технологія». К. : ДЕТУТ, 2013. Вип. 24. С. 52-59.
24. Онищенко А. Н. Выбор гранулометрического состава асфальтобетона повышенной колеестойкости экспериментальным методом для автодорожных мостов // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2014. № 56. С. 161-170.
25. Онищенко А. М. Експериментальний метод випробування інтегрального показника стійкості до накопичення залишкових деформацій асфальтобетону у вигляді колії // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту : Серія «Транспортні системи і технологія». К. : ДЕТУТ, 2014. Вип. 25. С. 56-62.
26. Онищенко А. М. Оцінка надійності при прогнозуванні величини колії в асфальтобетонному покритті на транспортних спорудах // Управління проектами, системний аналіз і логістика. 2015. Вип. 15, Частина 1 : Серія «Технічні науки». С. 119-128.
27. Онищенко А.М., Мозговий В.В., Ольховий Б.Ю., Опрощенко І.О., Куцман О.М., Баран С.А., Різніченко О.С. Оцінка довговічності асфальтобетонного покриття шляхом випробування асфальтобетону на стійкість до накопичення залишкових деформацій // Вісник Національного транспортного університету. 2016. Вип. 34, С.283-293.
28. Онищенко А. М. Теорія колієутворення в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2016. Вип. 96. С. 163-191.
29. Онищенко А. М. Аналіз результатів колійності в литому асфальтобетоні «гусасфальт» // Будівельні матеріали та вироби. 2010. № 1(91). С.72-74.
30. Онищенко А. М. Методологія розрахунку колієутворення в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2016. Вип. 97. С. 158-182.
31. Онищенко А. М. Практичні методи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до колії на транспортних спорудах // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2017. Вип. 101. С. 145-187.
32. Онищенко А. М. Математична модель розрахунку колії в асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. 2017. Вип. 66. С. 177-183.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

33. Онищенко А. М., Мозговой В. В., Піскунов В. Г., Прудкий О. В., Куцман О. М. Уточнена методика визначення модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2009. Вип. 33. С. 137-142.
34. Онищенко А.М. Методика оцінки ефективності зчеплення гідроізоляційних матеріалів з асфальтобетонним покриттям на мостах / Мозговий В. В., Онищенко А.М., Жуков О. О., Лаптева Н. С. та ін. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2009. Вип. 34. С. 67-73.
35. Онищенко А. М., Мозговий В. В., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С. Управління якістю по забезпеченню зсувостійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття на мостах // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2010. Вип. 38. С. 88-97.
36. Onishchenko A. M., Mozgoviy V. V., Nevinglovsky V. F., Investigation of Modified with a Polumer Latex Butonal NS 104 the Bitumen Preparation Parameters Influence on the Paving Bitumen Properties. *Chaina / Former Soviet Union Area Workshop on Pavement Technologies 2010* Xi'an China (14–16 october 2010). Chan' an University, China, 2010. P. 1-9.
37. Онищенко А. Н. Методика определения колеестойкости асфальтобетонных покрытий на бетонных и железобетонных основаниях в лаборатории. *Новые дороги России* : сб. трудов Международной конференции. Саратов, 2011. С. 91-97.
38. Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Раделицька Н. В. Дослідження впливу полімерних матеріалів на підвищення колієстійкості асфальтобетону. *LXVIII Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2012. С.148.
39. Онищенко А .М. Існуючі способи підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг. *Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов*: мат. Межд. науч.-практ. конф. (01–04 ноября 2012, г. Харьков). Харьков, 2012. С. 193-198.
40. Онищенко А. М., Мозговий В. В., Різніченко О. С., Невінгловський В. Ф. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок конструктивних матеріалознавчих та технологічних заходів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2012. Вип. 45. С. 144-149.
41. Onishchenko A., Aksenov S., Garkusha M., Nevynhlovskyy V. Experimental metod of determination of rutting firmness of asphalt pavements on bridgers. *Transbaltica 2013 : The 8th International Conference*. (Vilnius, May 9-10, 2013). Vilnius, Lithuania, 2013. P. 148-152.
42. Онищенко А. М. Проблема колієутворення на асфальтобетонному покритті штучних споруд автомобільних доріг та шляхи її вирішення. *LXIX Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2013. С.26.
43. Онищенко А. М., Різніченко О. С., Невінгловський В. Ф. Методика визначення втрати міцності зчеплення гідроізоляційного матеріалу між асфальтобетоном і

цементобетонною основою при зсуві після впливу водомороз них факторів // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. 2013. № 50. С. 103-106.

44. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Лапченко А. С. Методика розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з урахуванням укріплення основи // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 93. С. 67-78.

45. Онищенко А. М. Математична модель температурного впливу на асфальтобетонне покриття автодорожніх мостів від дії коліс транспортних засобів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2015. Вип. 94. С. 168-190.

46. Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Різніченко О. С., Гаташ Я. С., Куртєв В. С. Аналіз результатів визначення функції релаксації асфальтобетонів // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2016. Вип. 95. С. 47-61.

Свідоцтва та патенти:

47. Свідоцтво серія № 36218. Методика конструювання дорожнього одягу з покриттям підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Баран С. А., Куцман О. М., Лаптева Н. С. Дата реєстрації 21.12.2010 р.

48. Свідоцтво серія № 41995 Науковий твір. Конструювання дорожнього одягу на мостах з асфальтобетонним покриттям підвищеної зсувостійкості / Онищенко А. М., Куцман О. М., Лаптева Н. С., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С., Гаркуша М. В. Дата реєстрації 30.01.2012 р.

49. Свідоцтво серія № 62286. Практичні рекомендації по підвищенню довговічності асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С. Дата реєстрації 28.10.2015 р.

50. Патент України на корисну модель № 40965. Прес для виготовлення і контролю зразків асфальтобетону / Онищенко А. М., Жуков О. О., Мозговий В. В., Радовський Б. С. Дата реєстрації 27.04.2009 р.

51. Патент України на корисну модель № 47604. Асфальтобетонна суміш / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Козлов П. В., Резник Ю. Л. Дата реєстрації 10.02.2010 р.

52. Патент України на корисну модель № 47616. В'язуче «Полігум» / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Козлов П. В., Резник Ю. Л. Дата реєстрації 10.02.2010 р.

53. Патент України на корисну модель № 47625. Прилад для випробування зразків асфальтобетону НТУ-ЗЧ-1 / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Козлов П. В., Резник Ю. Л., Куцман О. М. та ін. Дата реєстрації 10.02.2010 р.

54. Патент України на корисну модель UA 91290 «Стабілізуюча добавка для асфальтобетонної суміші» 25.06. 2014 р. (Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Волинська І. М.).

55. Патент України на корисну модель № 91289. Спосіб отримання стабілізуючої добавки для асфальтобетонної суміші / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Волинська І. М. Дата реєстрації 25.06.2014 р.

АНОТАЦІЯ

Онищенко А.М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми» (192 – Будівництво та цивільна інженерія) – Національний транспортний університет Міністерства освіти і науки України, Київ, 2017.

У дисертаційній роботі наведені наукові основи вирішення важливої народногосподарської проблеми стосовно підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини за рахунок забезпечення його стійкості до утворення колії.

На основі критичного аналізу результатів існуючих теоретичних, практичних та експериментальних досліджень з прогнозування утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів встановлено, що: недостатньо вивчено причини та види утворення колії на асфальтобетонному покритті; існуючі математичні моделі та методи з прогнозування утворення колії на покритті не в повній мірі враховують комплексну дію впливових факторів, а також не мають єдиної наукової та методологічної основи; відсутні методи розрахунку глибини колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів із залізобетонною плитою проїзної частини.

Розроблено метод прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини від дії циклічних навантажень транспортних засобів при високих температурах.

Розроблено методи та проведено експериментальні лабораторні та стендові дослідження впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних та експлуатаційних факторів з утворення колії на асфальтобетонному покритті автодорожніх мостів. Доведено, що модифікація бітуму полімерами дозволяє зменшити глибину колії в асфальтобетонному покритті до 50 % за абсолютною величиною, при порівнянні однакових типів та видів асфальтобетонів. Отримано прогнозну поліноміальну модель оцінки величини утворення колії в залежності від найбільш впливових факторів, що дозволяє проаналізувати зміну глибини колії при зміні вхідних параметрів та визначити раціональну комбінацію вхідних параметрів, які забезпечать мінімальне значення утворення колії.

Розроблено практичні методи з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах із залізобетонною плитою проїзної частини. Розроблені та впровадженні в практику підприємств та організацій дорожньої галузі України рецепти матеріалів, конструкцій покриття та технології його влаштування.

Ключові слова: автодорожній міст, асфальтобетон, бітум, добавка полімерна, колія, покриття, стійкість, структура, температура, термов'язкопружність.

АННОТАЦИЯ

Онищенко А.Н. Научные основы повышения устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах. Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы» (192 – Строительство и гражданская инженерия) – Национальный транспортный университет Министерства образования и науки Украины, Киев, 2017.

В диссертационной работе разработаны научные основы решения важной проблемы повышения долговечности асфальтобетонного покрытия на автодорожных мостах с железобетонной плитой проезжей части, в части обеспечения его устойчивости к образованию колеи.

На основе критического анализа результатов существующих теоретических, практических и экспериментальных исследований по прогнозированию образования колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов установлено, что: недостаточно изучены причины и виды образования колеи на асфальтобетонном покрытии; существующие математические модели и методы прогнозирования образования колеи на покрытии не в полной мере учитывают комплексное влияние действующих факторов, а также не имеют единой научной и методологической основы; отсутствуют методы расчета глубины колеи на асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов с железобетонной плитой проезжей части.

Разработан метод расчета глубины колеи в асфальтобетонном покрытии на автодорожных мостах с железобетонной плитой проезжей части от действия циклических нагрузок транспортных средств при высоких температурах.

Разработаны методы и проведены экспериментальные лабораторные и стендовые исследования влияния рецептурно-структурных, конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на образование колеи в асфальтобетонном покрытии автодорожных мостов. Доказано, что модификация битума полимерами позволяет уменьшить глубину колеи в асфальтобетонном покрытии до 50 % по абсолютному значению, при сравнении одинаковых типов и видов асфальтобетонов. Получено прогнозную полиномиальную модель оценки образования величины колеи в зависимости от наиболее значимых факторов, что позволяет проанализировать изменение глубины колеи при изменении входных параметров и определить рациональную комбинацию значений, которые обеспечат минимальное значение образования колеи.

Разработаны практические методы по повышению устойчивости асфальтобетонного покрытия к образованию колеи на автодорожных мостах с железобетонной плитой проезжей части. Разработаны и внедрены в практику предприятий и организаций дорожной отрасли Украины рецепты материалов, конструкций мостового полотна и технологии его устройства.

Ключевые слова: автодорожный мост, асфальтобетон, битум, добавка полимерная, колея, покрытие, устойчивость, структура, температура, термовязкоупругость.

SUMMARY

Onishchenko A.N. Scientific foundations for increasing resistance of asphalt-concrete pavement to rut formation on road bridges. Qualification scientific paper as a manuscript.

Thesis for a Doctorate Degree in Technical Sciences, speciality 05.22.11 – automobile roads and airfields (192 – Construction and civil engineering) – National Transport University Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2017.

The thesis provides scientific foundations of the solution for an important national economic problem concerning the increase of durability of asphalt-concrete pavement on reinforced concrete road bridges by providing resistance to formation of ruts.

Based on the critical analysis of the results of existing theoretical, practical and experimental studies on predicting rut formation on asphalt-concrete pavement of road bridges, it has been established that:

- causes and types of rut formation on road pavement are not sufficiently studied;
- existing mathematical models and methods for predicting of rut formation on road pavement do not fully take into account the complex effect of influence factors, and also do not have a unified scientific and methodological basis;
- there are no methods for calculating rut depth on asphalt-concrete pavement of reinforced concrete road bridges.

The thesis has developed the method of forecasting rut formation in asphalt-concrete pavement on road bridges from the impact of cyclic loads of vehicles at high temperatures.

The thesis has developed methods and conducted experimental laboratory and benchmark tests of the influence of prescribed-structural, constructive, technological, operational factors on rut formation of the road pavement.

It has been proved that the modification of bitumen by polymers allows to reduce the rut depth to 50% in asphalt-concrete pavement in absolute value when comparing identical types of asphaltic concretes. The paper obtained a predictive polynomial model of estimation of the rutting value depending on the most influential factors, which allows to analyze the change of the rut depth when values of input parameters are changed and to determine rational combination of values of input parameters which will provide the minimum value of the rut formation. We have developed practical methods for increasing stability of asphalt-concrete pavement to the rut formation on road bridges. The recipes of materials, pavement designs and technologies of its installation have been developed and introduced into the practice of enterprises and organizations of the road-building industry of Ukraine.

Key words: road bridge, asphalt-concrete, bitumen, polymeric additive, rut, pavement, resistance, structure, temperature, thermoviscoelasticity.