

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

**ГАРКУША МИКОЛА ВАСИЛЬОВИЧ**

**УДК 625.7/.8**

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ПОКРИТТЯ  
НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

**Київ – 2019**

Дисертацією є рукопис.

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

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, доцент  
**Онищенко Артур Миколайович,**  
Національний транспортний університет,  
професор 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 проектування доріг, геодезії і  
землеустрою, м. Харків

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

Захист відбудеться «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р. о \_\_\_\_ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, зал засідань (ауд. 333).

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

Автореферат розісланий «\_\_» \_\_\_\_\_ 2019 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Досвід останніх років експлуатації автомобільних доріг показує, що одним з найпоширеніших дефектів на асфальтобетонному покритті від транспортного навантаження та високої літньої температури є колія, яка призводить до зменшення його строку служби, а відповідно і всієї конструкції дорожнього одягу в цілому.

Головною причиною утворення колії на асфальтобетонному покритті є та обставина, що більшість доріг були запроектовані під розрахункові навантаження групи А (100 кН на вісь) та групи Б (60 кН на вісь). З часом, в процесі експлуатації автомобільних доріг, зростає не тільки інтенсивність руху, але і збільшуються параметри транспортного навантаження.

Недостатня стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії суттєво знижує як міцність всієї конструкції дорожнього одягу, так і особливо рівень безпеки руху за рахунок створення ефекту аквапланування в місцях застою води та зимової слизькості.

Згідно існуючих правил ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України поява колії на асфальтобетонному покритті автомобільних доріг, є недопустимою, а та, що виникла, підлягає терміновій ліквідації. Ремонт та заходи з ліквідації колії на асфальтобетонному покритті є складним, трудомістким та фінансово витратним процесом, що супроводжується значними матеріальними та енергетичними затратами. Окрім того, існуючі підходи з виконання ремонтно-відновлюваних робіт по усуненню колії не завжди призводять до бажаного результату. Як показує широкий практичний досвід, використання типових конструкцій нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, не завжди забезпечують необхідну стійкість до утворення колії, а методи їх розрахунку є недосконалими.

Існуючі методи оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та укріплених шарів основи з урахуванням режимів навантаження великовагових транспортних засобів за різних температурних умов.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок удосконалення методу її оцінки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами**

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

Основні дослідження теоретичного і прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт, що виконувались 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: «Підвищення довговічності дорожнього одягу нежорсткого типу автомобільних доріг з шарами основи із доменних шлаків» (д/б № 6, державний

реєстраційний № 0111U002153), «Підвищення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг і вулиць за рахунок застосування інноваційних технологій» (д/б № 29, державний реєстраційний № 0114U005141); «Оцінка колієстійкості і колійності дорожнього асфальтобетонного покриття» (д/б № 47, державний реєстраційний № 0117U002325), та з тематичним планом таких науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, як: «Розробити СОУ з визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів згідно з ВБН В.2.3-218-186-2004» (д/б № 91-11, державний реєстраційний № 0111U005559), «Виконати комплекс лабораторних досліджень та уточнити розрахункові характеристики асфальтобетонів згідно чинних методик розрахунку нежорстких дорожніх одягів» (д/б № 39-15, державний реєстраційний № 0115U001653); «Провести дослідження та розробити національний стандарт щодо технічних умов на асфальтобетонні суміші і дорожній асфальтобетон з базальтовою фіброю» (д/б № 43-18, державний реєстраційний № 0118U000730); «Провести дослідження та розробити методику розрахунку стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автомобільних дорогах» (д/б № 68-18, державний реєстраційний № 0118U000728).

### **Мета і задачі дослідження**

**Мета роботи** полягає в удосконаленні методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, при дії вертикальних навантажень транспортних засобів за високих літніх температур.

Для досягнення мети були поставлені наступні задачі:

- провести аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії;
- встановити аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах;
- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів та укріплених ґрунтів; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії; закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу;
- розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

**Об'єкт дослідження** – явище утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від інтенсивності дії навантаження транспортних засобів та зміни температурних умов.

**Предмет дослідження** – закономірності утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії вертикального навантаження 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 нежорсткого дорожнього одягу; чисельного моделювання; математичної статистики.

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

- вперше отримано залежність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, що дозволяє здійснювати кількісну оцінку стійкості покриття до утворення колії;

- удосконалено метод оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів з урахуванням термов'язкопружньо-пластичних властивостей матеріалу;

- отримали подальший розвиток такі методи як: визначення термов'язкопружньо-пластичних показників властивостей асфальтобетону, що необхідно для здійснення розрахунків з прогнозування утворення колії на покритті; стендові дослідження асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на утворення колії, що дозволяє оцінити її зміноутворення в залежності від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

**Практичне значення отриманих результатів** У результаті проведених досліджень розроблена методика з підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів на всіх етапах життєвого циклу покриття: проектування складу асфальтобетонних сумішей та контролю якості їх складових; проектування конструкції нежорсткого дорожнього одягу; технології приготування асфальтобетонних сумішей та влаштування покриття.

*Окрім того:*

- удосконалено методику розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття;

- удосконалено технологію приготування ґрунтових, ґрунтово-піщаних, щебенево-піщаних та щебених сумішей, оброблених мінеральним, органічним або комплексним в'язучим;

- запропоновано заходи з контролювання властивостей асфальтобетонної суміші при її виготовленні, транспортуванні, укладанні та ущільненні, з метою підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії;

*Розроблено вимоги та нормативи:*

- вимоги до матеріалів асфальтобетонного покриття та параметрів його конструкції;

- типові конструкції нежорсткого дорожнього одягу підвищеної довговічності з урахуванням різних категорій автомобільних доріг та кліматичних умов;

- нормативно-технічні документи: 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», Р. В.3.1-218-21476215-798:2011 «Рекомендації щодо аналізу інформації за результатами моніторингу стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг у тому числі для СУСП»; СОУ 42.1-37641918-99:2013 «Дорожньо-будівельні матеріали. Метод визначення розрахункового опору розтягу при згині. Монолітних дорожньо-будівельних матеріалів»; Р. В.2.3-21476215-863:2015 «Рекомендації з проектування дорожнього одягу автомобільних доріг загального користування»; «Концепція реконструкції та модернізації кільцевого випробувального стенду»; Довідник №2 «Розрахункових

характеристик асфальтобетонів», якими поповнено Фонд галузевих будівельних норм та нормативних документів Державного агентства автомобільних доріг України;

– рекомендації щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту автомобільних доріг України, а саме: при капітальному ремонті міжнародної автомобільної дороги державного значення М 01 Київ – Чернігів – Нові Яриловичі, в Чернігівській області (км 80+500 – км 84+000 та км 89+871 – км 95+342); при капітальному ремонті автомобільної дороги державного значення М-06 Київ-Чоп на ділянці км 14+080 – км 128+000 в Житомирській та Київській областях; на автомобільній дорозі державного значення М 21 Житомир – Могилів-Подільський на ділянці км 4+000 – 35+800; на автомобільній дорозі М 03 Київ – Харків – Довжанський.

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», «Укріплення ґрунтів», «Технології та матеріали для особливих умов» запропоновані методи та методики з оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії 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 удосконалений метод оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії на автомобільних дорогах України. Особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів, викладених у даній дисертаційній роботі, полягає в тому, що: проведено аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, існуючих теоретичних та експериментальних методів прогнозування утворення колії [1, 4, 6 – 10, 15, 16]; встановлено аналітичну залежність для удосконалення методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах [1, 4, 6, 8 – 10, 13 – 16]; експериментально досліджено розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів [2, 3, 5, 8, 17, 18]; укріплених ґрунтів [2, 5, 11]; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві [1, 5]; проведено лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії [2, 3, 5, 8, 10 – 18]; встановлено закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу [2– 5, 12, 17, 18]; розроблено практичні рекомендації щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії [1, 2, 4, 7, 9, 13 – 16].

### **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 конференціях закладів вищої освіти та семінарах, серед яких: на міжнародній науково-технічній конференції «Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів», 2010 р. Харків, Україна; на міжнародній конференції «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» 20-21 вересня 2012 р., Одеса, Україна; на науково-технічній конференції «Сучасні тенденції та напрямки будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг та штучних споруд», присвяченої 50-річчя республіканського дочірнього унітарного підприємства «Білоруський дорожній науково-дослідний інститут «БелдорНДІ, м. Мінськ, Білорусь»; на міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні комп'ютерно – інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів» 1-2 листопада 2012 р., ХНАДУ, Харків, Україна; на міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг», 2013 р. Харків, Україна; на семінарі «Наукові та практичні аспекти застосування технологій стабілізації ґрунтів та холодного ресайклінгу», 25 червня 2014 р., Укравтодор, Київ, Україна; на міжнародній конференції «Гідротехнічне та транспортне будівництво» 3-6 червня 2015 р., Одеса, Україна; міжнародний форум з будівництва, експлуатації та проектування автомобільних доріг і мостів «Автодорекспо» №№ 12 – 13, Київ – 2014 – 2015 рр.; на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 66 – 74 в 2010 – 2018 рр.

**Публікації.** За результатами дисертаційної роботи опубліковано 18 друкованих робіт, у тому числі: 9 статей у фахових виданнях, 1 у закордонному виданні, 6 публікацій в працях і матеріалах наукових конференцій, 5 без співавторів та 2 свідоцтва на науковий твір.

**Структура дисертації.** Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 188 найменувань та дев'ять додатків. Основний текст викладений на 186 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність обраної теми, її зв'язок з науковими програмами, 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 покриття нежорсткого дорожнього одягу, а також проаналізовано існуючі теоретичні та експериментальні методи прогнозування утворення колії.

Розглянуто та наведено стан проблем експлуатації асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах, проаналізовано роботи з впливу різних факторів на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, існуючі типові конструкції дорожніх одягів, моделі та методи розрахунку покриття, а також існуючі способи підвищення його довговічності.

Розглянуто та проаналізовано роботи з проблем деформування та утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від дії транспортних засобів та температури, внесли такі вчені: Александров А.С., Батракова А.Г., Біруля О.К., Білятинський А.О., Богуславський А.М., Бонченко Г.О., Борщ І.М., Братчун В.І., Васільєв О.П., Веренько В.А., Вікович І.А., Волков М.І., Воловик О.О., Гамеляк І.П., Гезенцвей Л.Б., Гоглідзе В.М., Головка С.К., Горелишев М.В.,

Гохман Л.М., Жданюк В.К., Золотарьов В.О., Іванов М.М., Казарновський В.Д., Кияшко І.В., Корольов І.В., Ковальов Я.М., Колбановська А.С., Кірічек Ю.О., Лапченко А.С., Марчук О.В., Матуа В.П., Мозговий В.В., Негомедзянов А.А., Онищенко А.М., Павлюк Д.О., Печьоний Б.Г., Радовський Б.С., Руденська А.В., Савенко В.Я., Сібільський Д., Смірнов В.М., Стьожа В.В., Сюньї Г.К., Титаренко О.М., Телтаєв Б.Б., Хархута М.Я., Шуляк І.С., Barksdale R.D., Gachwendt I., Gidel, Hushek S., Huurman M., Erlingsson S., Korkiala-Tanttu L., Lizenga J., Lytton R.L., Nielsen J., Nijboer L.W., Tseng K.-H., Poliacek I. та інші дослідники. Аналіз показав, що недостатня стійкість асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії суттєво знижує як міцність всієї конструкції дорожнього одягу, так і особливо рівень безпеки руху за рахунок створення ефекту аквапланування в місцях застою води та зимової слизькості.

Існуючі моделі та методи з прогнозування утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу не в повній мірі враховують такі фактори, як: рецептурно-структурні, термореологічні властивості асфальтобетону, реологічні властивості ґрунтів, конструктивні, укріплених ґрунтів основи та їх властивостей, технологічні, кліматичні та транспортні фактори. Також істотним недоліком українських нормативних документів з проектування дорожнього одягу, зокрема ВБН В.2.3-218-186-2004, є відсутність методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії.

Проведений аналіз робіт свідчить, що до теперішнього часу залишається відкритим питання врахування сумісного впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів на утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу при лабораторних і стендових експериментальних дослідженнях.

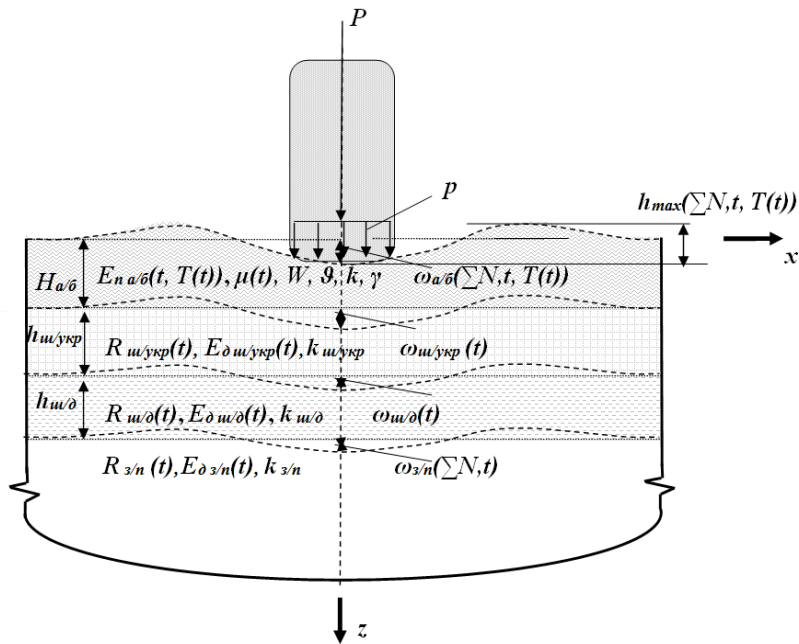
Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів урахування дії вертикальних навантажень транспортних засобів при високих літніх температурах на утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу, який дає можливість зробити висновок про те, що на даний час не розроблено удосконалений метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів.

**У другому розділі** наведено основні теоретичні положення та аналітичні залежності з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу. З метою вирішення поставлених задач, розроблено схему утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу (рис. 1).

Виходячи з прийнятої в дисертації постановки задачі в роботі застосовано аналітично-експериментальний підхід з врахуванням відомих наукових положень утворення пластичних деформацій в покритті нежорсткого дорожнього одягу. Зокрема на основі досліджень Богуславського А.М., Васільєва О.П., Золотарьова В.О., Жданюка В.К., Лугова С.В., Смірнова О.В., Мевлидинова З.А., Павлюка Д.О., Радовського Б.С., Телтаєва Б.Б. та інших дослідників, можна констатувати, що відбуваються малі відносні деформації в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу за рахунок накопичення вертикальних деформацій від дії навантаження, сумарне накопичення яких за певний період призводить до утворення колії.

З метою вирішення поставленої задачі розроблено схему утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу (рис. 1).





$p$  – питомий тиск, МПа;  $\mu(t)$  – коефіцієнт Пуассона, який залежить від часу дії навантаження, температури і виду матеріалу;  $T(t)$  – температура, яка залежить від часу, °С;  $E_{n\ a/b}(t, T(t))$  – функція модуля пластичності асфальтобетонного покриття, МПа;  $R_{u/d}(t)$ ,  $R_{u/ykr}(t)$ ,  $R_{z/n}(t)$  – функція релаксації дискретного матеріалу, укріпленого матеріалу, земляного полотна, МПа;  $E_{d\ u/d}(t)$ ,  $E_{d\ u/ykr}(t)$ ,  $E_{d\ z/n}(t)$  – функція деформації шару з дискретного матеріалу, укріпленого матеріалу, земляного полотна, МПа;  $H_{a/b}$  – товщина асфальтобетонного покриття, що складається з кількості шарів  $n$ , м;  $h_{u/d}$ ,  $h_{u/ykr}$ ,  $h_{z/n}$  – товщина шару з дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна, м;  $k_{u/d}$ ,  $k_{u/ykr}$ ,  $k_{z/n}$  – коефіцієнти, що враховують в'язко-пластичні властивості матеріалів (дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна);  $h_{max}(\sum N, t, T(t))$  – максимальна глибина колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу, м.

Рисунок 1 – Схема утворення колії на асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу автомобільної дороги

Для розроблення аналітичної залежності з прогнозування колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу (рис. 1) розглядається її формування за рахунок накопичення залишкових деформацій при дії навантаження транспортних засобів та високої літньої температури в асфальтобетонних шарах покриття та в шарах основи нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг. Асфальтобетон з урахуванням відомих результатів дослідження Богуславського А.М., Веренька В.А., Гезенцевя Л.Б., Жданюка В.К., Золотарьова В.О., Матуа В.П., Онищенко А.М., Руденського А.В. та Телтаєва Б.Б. та інших вчених, розглядається як термов'язкопружнопластичне тіло, властивості якого запропоновано описувати такими основними показниками: функція модуль пластичності (в'язкопружна характеристика) асфальтобетону  $E_{n\ a/b}(t, T(t))$ , яка залежить від часу дії навантаження і температури. А шари конструкції дорожнього одягу з урахуванням відомих результатів досліджень Васильєва О.П., Матуа В.П., Мозгового В.В., Мурашиної Н.В., Радовського Б.С., Павлюка Д.О. та Телтаєва Б.Б. та інших вчених, описати: функцією релаксації дискретного матеріалу  $R_{u/d}(t)$ , укріпленого матеріалу  $R_{u/ykr}(t)$ , земляного полотна  $R_{z/n}(t)$ ; функція модуля деформації шару з дискретного матеріалу  $E_{d\ u/d}(t)$ , укріпленого матеріалу  $E_{d\ u/ykr}(t)$ , земляного полотна  $E_{d\ z/n}(t)$ ; коефіцієнтів, що враховують в'язко-пластичні властивості матеріалів (дискретного матеріалу, укріпленого шару, земляного полотна), відповідно  $k_{u/d}$ ,  $k_{u/ykr}$ ,  $k_{z/n}$ .

Як передумова для оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, було використано: теоретичні положення та рішення задач накопичення залишкових деформацій в асфальтобетоні Богуславського А.М., Васільєва О.П., Смірнова О.В., а прогнозування залишкових деформацій в шарах основи та земляному полотні Васильєва О.П., Мурашиної Н.В., Радовського Б.С., Павлюка Д.О., Телтаєва Б.Б. та інших дослідників, при дії навантаження транспортних засобів та високої літньої температури.

З урахуванням розробленої схеми (рис.1) та відомих теоретичних положень запропоновано аналітичну залежність для прогнозування глибини утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах, яка включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури. Тому визначення загальної глибини колії  $h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t))$  в асфальтобетонному покритті з урахуванням підходів Васильєва О.П. встановлюється за залежністю:

$$h_{\text{заг}}(\sum N, t, T(t)) = \omega_{a/\bar{o}}(\sum N, t, T(t)) + \omega_{\text{ш/укр}}(t) + \omega_{\text{ш/д}}(t) + \omega_{3/n}(\sum N, t) + \omega_{\text{с}}(t) + \omega_{\tau}(\sum N, t) \quad (1)$$

$$\text{де} \quad \omega_{a/\bar{o}}(\sum N, t, T(t)) = T_{\text{сл}} \cdot \sum_1^i \frac{p \cdot (1 - \mu^2(t)) \cdot H_{a/\bar{o}} \cdot \lg n}{\bar{E}_{na/\bar{o}}(t, T(t)) \cdot \lg N} \cdot \left[ 1 + \vartheta \cdot (e^{\frac{D_d}{V \cdot t_p}} - 1)^k \right]^{\gamma} \cdot W$$

залишкова деформації в асфальтобетонному шарі, м;

$$\omega_{\text{ш/укр}}(t) = \omega_{\text{ш/д}}(t) \cdot \left[ \frac{E_{\text{дш/укр}}(t) \cdot k_{\text{ш/укр}}}{E_{\text{дш/д}}(t) \cdot k_{\text{ш/д}}} \right]^{(0,894 \cdot \ln(h_{\text{ш/укр}}) + 0,732)} \quad - \text{ залишкова деформації в}$$

укріпленому шарі основи, м;

$$\omega_{\text{ш/д}}(t) = \omega_{3/\pi}(\sum N, t) \cdot \left[ \frac{E_{\text{дш/д}}(t) \cdot k_{\text{ш/д}}}{E_{\text{дз/п}}(t) \cdot k_{3/\pi}} \right]^{(0,657 \cdot \ln(h_{\text{ш/д}}) - 0,296)} \quad - \text{ залишкова деформація в шарі}$$

дискретного матеріалу, м;

$$\omega_{3/n}(\sum N, t) = \exp^{(15 \cdot \tau + 1,38 \cdot B - 3,0) \cdot (N \cdot t)^{0,3}} \quad - \text{ залишкова деформації в земляному полотні, м;}$$

$\omega_{\text{с}}(t)$  – середня висота випорів колії, м;  $\omega_{\tau}(\sum N, t)$  – знос покриття від шипованих шин (залежить від виду мінерального матеріалу асфальтобетону), м;  $T_{\text{сл}}$  – розрахунковий строк служби дорожньої конструкції, роки;  $n$  та  $N$  – інтенсивність руху розрахункових автомобілів на полосу руху відповідно в місяць і за строк служби, один. навант.;  $t_p$  – час релаксації, с;  $V$  – швидкість транспортного потоку, приймається як середнє між швидкістю на початку експлуатації дорожньої конструкції та в кінці строку її служби, км/год;  $D_d$  – діаметр відбитку колеса рухомого автомобіля, м;  $i$  – число місяців в році з характерною середньою температурою;  $\tau$  – активні дотичні напруження зсуву в ґрунті земляного полотна, МПа;  $B$  – коефіцієнт консистенції ґрунту, доля одиниці;  $t$  – тривалість дії одного прикладення автомобільного навантаження, с;  $W$  – функція, що відображає вплив комбінації причин утворення колії від рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних факторів (вид функції і параметрів встановлюється експериментально);  $\vartheta, k, \gamma$  – параметри, що встановлюються експериментально і відображають вплив циклічного навантаження на утворення колії в

асфальтобетоні при повторному проїзді  $N$  колеса.  $\bar{E}_{na/6}(t, T(t))$  – середньо-інтегральне значення модуля пластичності визначається за залежністю, МПа:

$$\bar{E}_{na/6}(t, T(t)) = \left( \sum_{i=1}^n E_{na/6}(t, T(t)) \times H_{a6i} \right) \div \sum_{i=1}^n H_{a6i} \quad (2)$$

де  $\bar{E}_{na/6}(t, T(t))$  – функція модуля пластичності  $i$ -го шару асфальтобетонного покриття;  $n$  – кількість шарів асфальтобетонного покриття ( $n=3$ ), МПа;  $H_{a6i}$  – товщина  $i$ -го шару асфальтобетонного покриття ( $i=3$ ), м.

Для оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, яка базується на отриманні аналітичних залежностей (1, 2), запропоновано умову граничного стану, яка перевіряється як максимальне значення глибини колії  $h_{\max}(\sum N, t, T(t))$  накопиченою за розрахунковий строк служби та включає в себе загальну глибину колії  $h_{\text{зар}}(\sum N, t, T(t))$  з відповідною забезпеченістю, визначається за формулою:

$$h_{\max}(\sum N, t, T(t)) = h_{\text{зар}}(\sum N, t, T(t)) \cdot (1 + t_{\text{дй}} \cdot C_v) \leq [h_n] \quad (3)$$

де  $t_{\text{дй}}$  – коефіцієнт довірчої імовірності;  $C_v$  – коефіцієнт варіації глибини колії;  $h_n$  – гранично допустима глибина колії за нормативним документом, м.

Таким чином, удосконалено метод оцінити стійкість покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, а також запропоновано послідовність розрахунку оцінки стійкості такого покриття.

**Третій розділ** присвячений експериментальним дослідженням розрахункових термореологічних характеристик асфальтобетонів та укріплених ґрунтів, міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, проведенням лабораторним, стендовим та натурним дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії з метою вивчення їх закономірностей, а також наведено чисельний аналіз впливу різних факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу.

**Об'єкти експериментальних досліджень:** асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг, кільцевий стенд ДП «Дорожній контроль якості»; традиційний асфальтобетони дрібнозернистий, крупнозернистий (тип Б, А), щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА). Досліджувалися асфальтобетони з використанням щебеню розміром 10 мм, 20 мм, 40 мм на бітумах дорожніх марок БНД 40/60, БНД 60/90 та бітумах, модифікованих полімером марки: БМПА 60/90-53, що модифікували полімером – термоеластопластом. Досліджувалися матеріали шарів основи дорожнього одягу: укріплений ґрунт, щебінь фракції 20-40 мм, щебенево-піщана суміш, пісок, суглинок.

**Оцінка стійкості асфальтобетонів до утворення колії.** Перед випробуванням зразки виготовляли за допомогою секторного пресу (ПМА 218-21476215-450), що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші подібні умовам ущільнення котками. Базуючись на існуючому методі (СОУ 45.02-00018112-020) з метою визначення показника стійкості асфальтобетону накопичення залишкових деформацій у

вигляді колії при багатоцикловогому повторному навантаженні за підвищених температур проводили лабораторні випробування.

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'язучих, крім того, отримані кількісні дані та закономірності впливу режимів навантаження та конструктивно-технологічних факторів.

На прикладі рисунку 2, показано вплив використання різних бітумних в'язучих на дрібнозернистий асфальтобетон типу А-20, щебенево-мастиковий асфальтобетон ЦМА-10, ЦМА-20 на утворення колії.

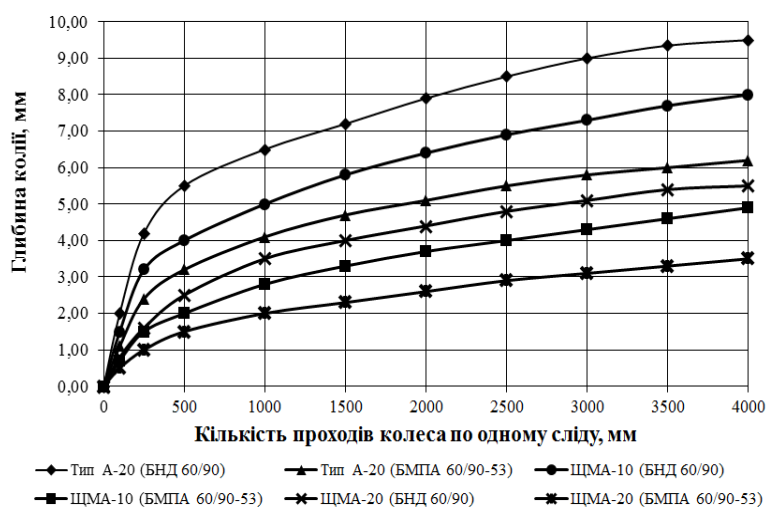


Рисунок 2 – Залежність глибини колії від кількості проходів огуменного колеса та виду бітумного в'язучого в асфальтобетоні (тип А, ЦМА) за температури 50 °С при навантаженні 700 Н

Одержані порівняльні результати (рис. 2) асфальтобетонів типу А (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЦМА-10, ЦМА-20), з яких випливає, що мінімальне значення глибини колії при температурі +50 °С становить 3,5 мм для ЦМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів. З результатів дослідження можна сказати, що використовуючи асфальтобетонів на бітумах, модифікованих полімерами, можна підвищити стійкість до утворення колії асфальтобетонного покриття на 50 – 60 %.

**Оцінка міцності зчеплення при зсуві між асфальтобетонним шаром і асфальтобетонним покриттям.** Для досліджень використовували методику (СОУ 45.2-00018112-046) для оцінки зчеплення асфальтобетонного шару і асфальтобетонного покриття при випробуванні під дією горизонтальних та вертикальних зусиль, що моделюють дію зовнішнього навантаження на асфальтобетонні шари при гальмуванні транспортних засобів. Випробування здійснювали за допомогою приладу НТУ-ЗЧ-1 зразків кернів, які були відібрані з покриття кільцевого стенду. Результатами дослідження встановлено оптимальні витрати підґрунтовки, що складають від 0,3 – 0,7 л/м<sup>2</sup> і суттєво залежить від виду асфальтобетону. Це свідчить про те, що при проектуванні асфальтобетонних шарів необхідно враховувати оптимальні параметри технології їх влаштування.

**Встановлення термов'язкопружньо-пластичних характеристик асфальтобетону.** Аналітична залежність з прогнозування утворення колії в асфальтобетонному покритті потребує застосування характеристик, що описують термов'язкопружню поведінку асфальтобетонів (функція релаксації) та

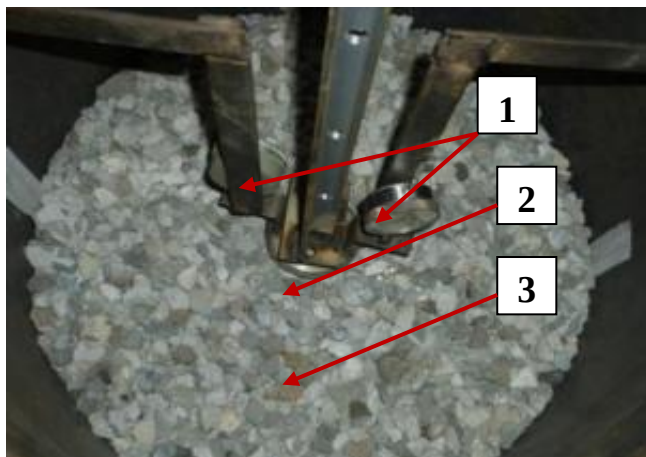
термов'язкопружнопластичну (функція модуля пластичності; функція, що відображає вплив комбінованих причин утворення колії від внутрішніх факторів; параметри, що відображають вплив циклічного навантаження).

Отримані параметри функції модуля пластичності щебенево-мастикового асфальтобетону наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри функції модуля пластичності ЩМА

| Шифр асфальтобетону    | Параметри функції $\alpha_T$ |                       | Параметри модуля пластичності |                       |           |
|------------------------|------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------|-----------|
|                        | $Q, ^\circ\text{C}$          | $p, \text{град}^{-1}$ | $E_{na/b}, \text{МПа}$        | $\eta, \text{с}$      | $\lambda$ |
| 1                      | 2                            | 3                     | 4                             | 5                     | 6         |
| ЩМА-10 (БМПА 60/90-53) | 20                           | 0,171                 | 4754                          | $1,68 \times 10^{-5}$ | 0,290     |
| ЩМА-20 (БМПА 60/90-53) | 20                           | 0,165                 | 4586                          | $1,53 \times 10^{-5}$ | 0,300     |

Для визначення деформаційних властивостей матеріалів дорожньої конструкції в лабораторних умовах визначали вертикальні переміщення за допомогою жорсткого штампу, встановленого на поверхні щебенево-піщаного шару (фракції 0 – 40 мм) покриття за допомогою важільного пресу (рис. 3), в залежності від різного часу дії навантаження. Навантаження на поверхню щебеневого шару передавалося за допомогою важільного пресу через сталевий штамп заданим діаметром. Переміщення фіксувалося за допомогою індикатора годинникового типу. Випробування переміщень проводили двічі при навантаженні  $p = 0,5 \text{ МПа}$  з тривалістю дії від 0 до 2400 с, результати наведено на рис. 4.



1 – індикатори годинникового типу; 2 – штамп із запlechниками; 3 – форма із зразком

Рисунок 3 – Схема встановлення штампу та індикатора годинникового типу при визначенні переміщень в матеріалі за допомогою важільного преса

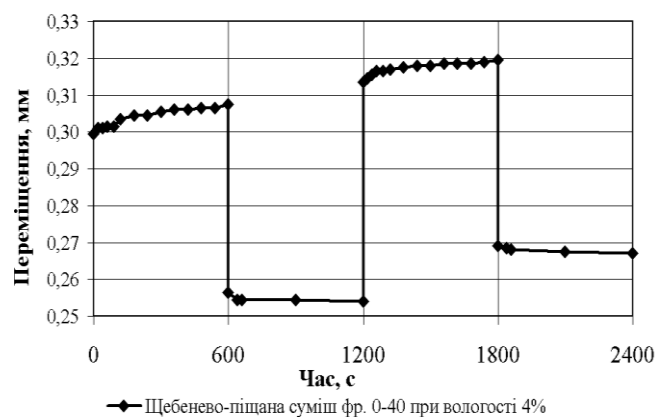


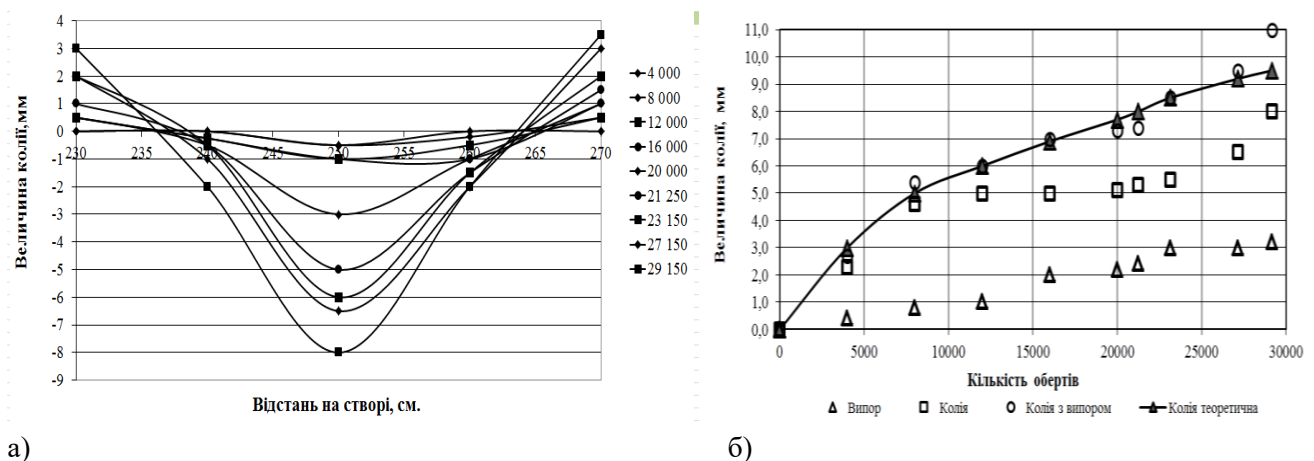
Рисунок 4 – Залежність переміщень в щебенево-піщаній суміші при вологості 4 % від часу дії навантаження

Отримані результати випробувань матеріалів шарів основи за допомогою важільного пресу (рис. 3) дозволили визначити на основі отриманих даних залежності переміщень матеріалів основи при заданій вологості та різному часу дії навантаження (рис.4), визначити параметри функцій релаксації та модуля деформації. Результати параметрів наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Параметри функції релаксації та коефіцієнт в'язкопластичності матеріалів

| Шифр матеріалу                                                               | Параметри функції релаксації |                |     |        | Коефіцієнт в'язкопластичності |
|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|-----|--------|-------------------------------|
|                                                                              | $E_{MT}$ , МПа               | $E_{dT}$ , МПа | $a$ | $\chi$ | $k$                           |
| 1                                                                            | 2                            | 3              | 4   | 5      | 6                             |
| Укріплений ґрунт, М 60                                                       | 540                          | 490            | 6,1 | 4,1    | 0,98– 0,96                    |
| Щебінь, влаштований методом заклинки (фракції 20 – 40 мм)                    | 358                          | 332            | 6,0 | 4,0    | 0,97– 0,93                    |
| Щебенево-піщана суміш (фракції 0 – 40 мм)                                    | 258                          | 236            | 5,9 | 3,9    | 0,96– 0,91                    |
| Пісок середній                                                               | 138                          | 125            | 9,0 | 3,75   | 0,94– 0,88                    |
| Суглинок                                                                     | 70                           | 49             | 5,8 | 2,1    | 0,91– 0,83                    |
| Примітка: Коефіцієнт пластичності для матеріалу шарів залежить від вологості |                              |                |     |        |                               |

**Стендові випробування на кільцевому стенді.** Дослідження полягали у вивченні поперечного профілю асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з вимірюванням параметрів колії в залежності від кількості проїздів колеса по одному сліду при температурах від 45 °С до 55 °С. Досліджувана конструкція складалася: верхній шар покриття з ЦМА-20 на бітумі модифікованому полімером, товщиною 5 см; щільний дрібнозернистий асфальтобетон типу А з максимальною крупністю мінеральних зерен 20 мм на бітумі модифікованому полімером БМПА 60/90-53, товщиною 8 см; нижній шар пористий крупнозернистий асфальтобетон типу А з максимальною крупністю мінеральних зерен 40 мм на БНД 60/90, товщиною 8 см; між шарами виконана підґрунтовка на модифікованому бітумі; шар основи з щебенево-піщаної суміші С-7, укріпленою цементом, товщиною 15 см; шар з щебенево-піщаної суміші С-5 товщиною 18 см. Результати характеру поперечного профілю та кінетику зміни його характеристик показано на рисунку 7.



а) – поперечний профіль; б) – кінетика зміни характеристики утворення колії

Рисунок 7 – Залежність утвореної колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу від кількості проїздів колеса



Отримані дані свідчать, що із збільшенням кількості навантажень темпи зростання глибини колії спочатку стрімко збільшуються, а потім поступово затухають (рис. 7). Результати досліджень дозволили встановити підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером, а також укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу.

З метою перевірки точності переміщення залишкових деформацій в поперечному профілі конструкції дорожнього одягу виконувалося її розриття (рис. 8). Результати дослідження дозволили визначити пошарове накопичення пластичних залишкових деформацій у кожному шарі конструкції дорожнього одягу (рис. 9).



Рисунок 8 – Загальний вид розриття конструкції дорожнього одягу на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості»

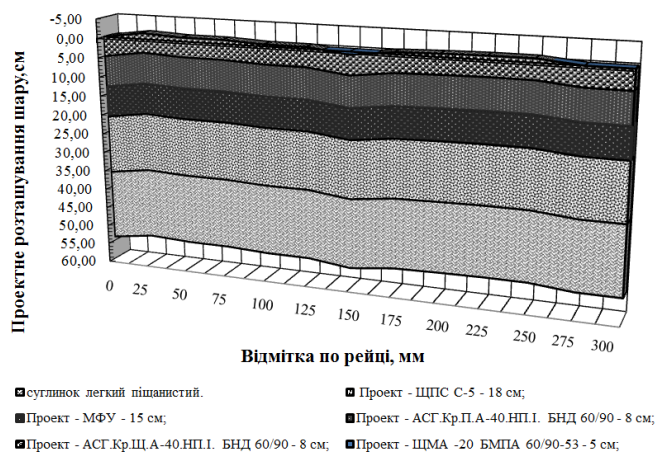


Рисунок 9 – Результати дослідження пластичних залишкових деформацій в конструктивних шарах дорожнього одягу

Проведено числове моделювання вертикальних переміщень в покритті нежорсткого дорожнього одягу за допомогою методу кінцевих елементів для різних конструкцій дорожнього одягу. На основі отриманих результатів зроблено висновок про те, що максимальні поля переміщень розповсюджуються в конструкції в якій не використовуються укріплення шарів основи, максимальні переміщення в конструкції з використанням укріплених матеріалів менші до 40%.

Для прикладу використано покриття нежорсткого дорожнього одягу, яке експлуатується на автомобільній дорозі М 03 Київ – Харків – Довжанський з 2011 року, а також для вивчення параметрів утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу була влаштована аналогічна конструкція на кільцевому стенді ДП «Дорожній контроль якості», а також співставлень з отриманою теоретичною залежністю (3) та іншими існуючими методами (рис. 10).

На підставі натурних, стендових та теоретичних (1 – 3) досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9,0 % до 18,0 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95. Це вказує на можливість практичного застосування удосконаленого методу оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу.

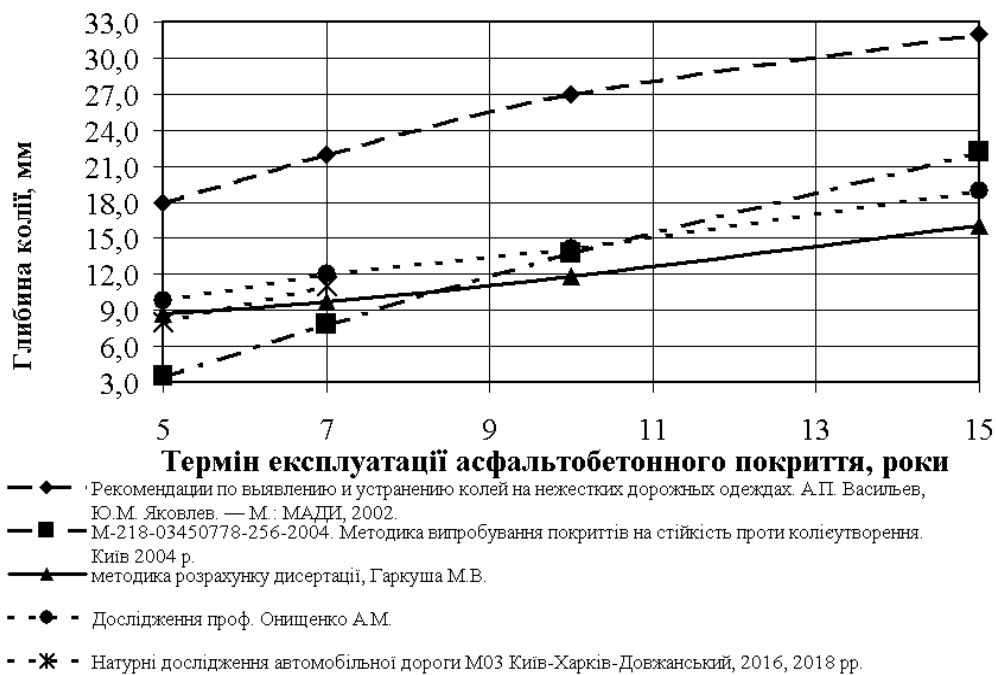


Рисунок 10 – Залежність глибини колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу на автомобільній дорозі М03 Київ – Харків – Довжанський від дії навантаження  $p=0,8$  МПа в залежності від терміну експлуатації

У четвертому розділі наведено практичні розробки з підвищення стійкості нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії із застосуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів, основні з яких наведені нижче:

- рекомендації щодо підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу;

- методика розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів;

- вимоги до характеристик матеріалів основи і земляного полотна, вимоги до властивостей асфальтобетонної суміші та асфальтобетону для підвищення стійкості нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, вимоги до бітумного в'язучого, вимоги до матеріалів підґрунтовки;

- наведені технологічні особливості по ремонту асфальтобетонного покриття в результаті утворення колійності та запропоновані технічні рішення щодо усунення можливих дефектів під час експлуатації, з метою запобігання подальших руйнувань та підвищення стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії;

- розроблені методичні вказівки для приготування ґрунтових, ґрунтово-піщаних, щебенево-піщаних та щебених сумішей, оброблених мінеральним, органічним або комплексним в'язучим, визначеного розрахунками складу для наукових досліджень;

- наведено удосконалену методику розрахунку в літній період на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабозв'язаних матеріалів конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу для підвищення стійкості до утворення колії;

- виконано техніко-економічну оцінку ефективності заходів з підвищення стійкості нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, на прикладі автомобільної дороги державного значення М 03 Київ – Харків – Довжанський;



– розроблено типові конструкції нежорсткого дорожнього одягу підвищеної стійкістю до утворення колії з урахуванням рецептурно-структурних, конструктивних і технологічних способів.

Також, результати досліджень знайшли застосування при розробці 7 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України.

**У додатках наведено:** існуючі критерії та методи оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії; методики та результати експериментальних досліджень; запропоновані конструкції нежорсткого дорожнього одягу; приклад розрахунку за удосконаленою методикою оцінки стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії; приклад розрахунку економічної ефективності застосування дисертаційних досліджень; результати впровадження дисертаційних досліджень, список опублікованих праць.

## ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення і нові вирішення наукових та практичних задач. У дисертаційній роботі удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії та враховано комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону, вертикального тиску на покриття пневматичних коліс транспортних засобів та часу їх дії на конструкцію; інтенсивності прикладання вертикальних навантажень; ці положення були підтверджені експериментальним дослідженням, в тому числі з врахуванням укріплення шарів основи дорожнього одягу.

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

1. Із аналізу відомих літературних даних та досліджень стосовно нежорсткого дорожнього одягу встановлено:

– асфальтобетонне покриття нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг перебуває у складних умовах експлуатації, що підтверджується інтенсивним зростанням дефектів у вигляді колії (понад 60% пластичних деформацій із загальної кількості дефектів), у зв'язку з ростом параметрів транспортних навантажень та високих літніх температур;

– в існуючих наукових розробках не достатньо вивчено: комплексний вплив термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону з врахуванням рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних, транспортних факторів; існуючі методи оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії не достатньо враховують комплексний вплив термореологічних властивостей асфальтобетону та укріплення шарів основи, а також фактичних режимів навантаження великовагових транспортних засобів за різних температурних умов; 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. Встановлено аналітичну залежність, яка дозволяє прогнозувати глибину утворення колії в покритті нежорсткого дорожнього одягу, від дії циклічного вертикального навантаження транспортних засобів при високих літніх температурах та включає в себе параметри: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону;

конструкції дорожнього одягу (з/без укріплення шарів основи); дії вертикального навантаження та зміни температури. Удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, від дії вертикальних навантажень транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; укріплення ґрунтів; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантаження.

### 3. На основі експериментальних результатів:

- досліджено властивості асфальтобетону та укріплених ґрунтів, а саме: фізико-механічні властивості; розрахункові параметри термов'язкопружнопластичних властивостей (функція деформації, функція релаксації, функція пластичності), міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; характеристики утворення колії;

- одержані порівняльні результати випробувань асфальтобетонів типу А, Б (з максимальним розміром зерен щебеню 20 мм), щебенево-мастикових асфальтобетонів (ЩМА-10, ЩМА-20), з яких випливає, що мінімальне значення глибини колії при температурі +50 °С становить 3,5 мм для ЩМА-20, а у типі А-20 значення колії більше в 2,7 разів.

- на підставі натурних та стендових досліджень встановлено залежність утворення глибини колії в асфальтобетонному покритті на різних конструкціях нежорсткого дорожнього одягу від впливу рецептурно-структурних, конструктивних, технологічних, кліматичних та транспортних факторів, перевірина адекватність теоретичних положень, підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними.

- на основі чисельного аналізу встановлено і доведено можливість підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок застосування: у верхньому та нижньому шарі покриття асфальтобетону на бітумі модифікованому полімером (при їх кількості до 5 %); укріпленого шару основи та раціонального конструювання дорожнього одягу.

4. Розроблено практичні рекомендації та методика розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, що дозволило отримати економічний ефект. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці 7 нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

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

1. Garkusha M. V. Prediction and assessment of residual strain of asphalt concrete pavement using finite element method / Onishchenko A. M., Leshchuk O. M. // *International scientific and practical conference "World science"*. 2018. № 4 (20), Vol.2. P. 32 – 35. ISSN 2413-1032.

**Статті у фахових виданнях:**

2. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи / Гаркуша М. В. // *Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури*. – 2012. – Вип. № 47 – С. 47 – 53.

3. Гаркуша М. В. Методика приготування та результати випробування бітуму модифікованого полімерами за допомогою лабораторного лопатевого змішувача / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Гаркуша М. В., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С. // Вісник Національного транспортного університету. – 2012. – № 26. – С. 79 – 84.
4. Гаркуша М. В. Заходи з підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Різніченко О. С., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2013. – № 1. – С. 58 – 65.
5. Гаркуша М. В. Використання нових нормативних документів для визначення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2013. – Вип. 49. – Ч. 1. – С. 245 – 251.
6. Гаркуша М. В. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С. Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – № 90. – С. 57 – 65.
7. Гаркуша М. В. Аналіз застосування холодних асфальтобетонів підвищеної колієстійкості для аварійного ремонту в екстремальних погодніх умовах / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – № 91. – С. 52 – 75.
8. Гаркуша М. В. Метод розрахунку колієстійкості асфальтобетонного покриття автомобільних доріг / Онищенко А. М. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2015. – № 58. – С. 288 – 294.
9. Гаркуша М. В. Підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // Дороги і мости: Збірник наукових праць. – К. : ДП «ДерждорНДІ», 2017. – Випуск 17. – С. 27 – 41.
10. Гаркуша М. В. Прогнозування та оцінка залишкових деформацій асфальтобетонного покриття з використанням методу скінченних елементів / Онищенко А. М., Худолій С. М., Лещук О. М. // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. : НТУ, 2017. – Вип. 1 (37). – С. 309 – 319.

#### **Опубліковані праці апробаційного характеру:**

11. Гаркуша М. В. Вплив укріплення ґрунтів на підвищення довговічності конструкції дорожнього одягу та зменшення колієутворення на автомобільних дорогах України / Гаркуша М. В. // *Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів. Матеріали міжнародної науково-технічної конференції, яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та дорожньо-будівельного факультету.* – Харків : ХНАДУ, 2010. – С.84 – 87.
12. Гаркуша М. В. Моніторинг стану дорожнього одягу для планування ремонтних робіт автомобільних доріг, у тому числі для СУСП / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Білан О. О. // Дороги і мости. – 2011. – Вип. 13 – С. 76 – 89.
13. Гаркуша Н. В. Методы повышения устойчивости к колееобразованию асфальтобетонного покрытия / Мозговой В. В., Онищенко А. Н., Гаркуша Н. В. // *Современные тенденции и направления строительства, ремонта и содержания автомобильных дорог и искусственных сооружений. Материалы научно-технической конференции, посвященной 50-летию республиканского дочернего унитарного*

предприятия «Белорусский дорожный научно-исследовательский институт «БелдорНИИ» – Минск – 2012. – С. 144 – 150.

14. Гаркуша М. В. Прогнозування накопичення залишкових деформацій в конструкції нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М. В. // *Матеріали міжнародної науково-практичної конференції з участю студентів та молодих вчених «Сучасні комп'ютерно-інноваційні технології проектування, будівництва, експлуатації автомобільних доріг і аеродромів»*. Х. : ХНАДУ. – 2012. – С. 88 – 94.

15. Гаркуша М.В. Аналіз результатів випробування дорожнього одягу різних типів на кільцевому стенді з асфальтобетонними шарами / Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю., Білан О. О. // *Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг»*. Харків., ХНАДУ – 2013. – С. 154 – 159.

16. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу. *LXXIII Наук. конф. проф.-викл. складу, аспірантів, студ. та співр. відокремл. структур. підрозд. ун-ту* : тези доп. К. : НТУ, 2017. – С. 43.

#### **Свідоцтва та патенти:**

17. Свідоцтво серія № 48068 Науковий твір. Методика визначення тріщиностійкості та колієстійкості асфальтобетонних шарів конструкції дорожнього одягу з використанням доменних шлаків в шарах основи / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Лаптева Н. С., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Дата реєстрації 26.02.2013 р.

18. Свідоцтво серія № 78942 Літературний письмовий твір науково-технічного характеру «Стандарт організації України. Дорожньо-будівельні матеріали. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій. СОУ 45.2-00018112-020:2009. Проект» / Мозговий В. В., Онищенко А. М., Різніченко О. С., Гаркуша М. В., Лещук О. М., Тюленев Є. І., Плазій Є. П. Дата реєстрації 10.05.2018 р.

### **АНОТАЦІЯ**

*Гаркуша М.В.* Удосконалення методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2019.

Дисертаційна робота присвячена удосконаленню методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії та враховано комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичних властивостей асфальтобетону, вертикального тиску на покриття транспортних засобів та часу їх дії на конструкцію; інтенсивності прикладання вертикальних навантажень.

Із літературного аналізу встановлено, що покриття нежорсткого дорожнього одягу перебуває у складних умовах експлуатації, що підтверджується інтенсивним зростанням дефектів у вигляді колії, у зв'язку з ростом параметрів транспортних навантажень та високих літніх температур, також існуючі методи оцінки стійкості покриття до утворення колії є недосконалими.

Отримано аналітичну залежність та удосконалено метод оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії, від дії вертикальних навантажень транспортних засобів, що дозволяє враховувати комплексну дію основних факторів, а саме: термов'язкопружнопластичні властивості асфальтобетону; укріплення ґрунтів; температуру асфальтобетону; вертикальний тиск на покриття пневматичних

коліс при проїзді транспортних засобів; інтенсивність прикладання вертикальних навантажень; час дії навантаження.

Експериментально досліджено розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів та укріплених ґрунтів, міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, проведено натурні, лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій у вигляді колії, отримано закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежорсткого дорожнього одягу.

Розроблено практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення стійкості асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії за рахунок рецептурно-структурних, конструктивних та технологічних заходів, що дозволило отримати економічний ефект. Результати дисертаційних досліджень знайшли застосування при розробці нормативних документів для проектування, будівництва, реконструкції, ремонту та експлуатації асфальтобетонних покриттів на автомобільних дорогах України.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, асфальтобетон, бітум, дорожній одяг, колія, навантаження, покриття, стійкість, температура, термов'язкопружність.

## АННОТАЦИЯ

*Гаркуша Н.В.* Усовершенствование метода оценки устойчивости покрытия нежесткой дорожной одежды к образованию колеи. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы». (192 – Строительство и гражданская инженерия). – Национальный транспортный университет, Киев, 2019.

Диссертационная работа посвящена совершенствованию метода оценки устойчивости покрытия нежесткой дорожной одежды к образованию колеи и учтено комплексное воздействие основных факторов, а именно: термовязкоупругопластичных свойств асфальтобетона, вертикального давления на покрытие транспортных средств и времени их воздействия на конструкцию; интенсивности воздействия вертикальных нагрузок.

С литературного анализа установлено, что покрытие нежесткой дорожной одежды находится в сложных условиях эксплуатации, что подтверждается интенсивным ростом дефектов в виде колеи, в связи с ростом параметров транспортных нагрузок и высоких летних температур, также существующие методы оценки устойчивости покрытия к образованию колеи является несовершенным.

Получена аналитическая зависимость и усовершенствован метод оценки устойчивости покрытия нежесткой дорожной одежды к образованию колеи, от действия вертикальных нагрузок транспортных средств, позволяет учитывать комплексное воздействие основных факторов, а именно: термовязкоупругопластичные свойства асфальтобетона; укрепления ґрунтов; температуру асфальтобетона; вертикальное давление на покрытие пневматических колес при проезде транспортных средств; интенсивность воздействия вертикальных нагрузок; время действия нагрузки.

Експериментально дослідовані розрахункові термореологічні характеристики асфальтобетонів та укріплених ґрунтів, міцність сцеплення між асфальтобетоном та основою при сдвиге, проведені натурні, лабораторні та стендові дослідження впливу різних факторів на утворення залишкових деформацій в вигляді колії, отримані закономірності дії впливових факторів на інтенсивність утворення колії в асфальтобетонному покритті нежесткой дорожньої одягу.

Разработаны практические рекомендации и методика расчета по повышению устойчивости асфальтобетонного покрытия нежесткой дорожной одежды к образованию колеи за счет рецептурно-структурных, конструктивных и технологических мероприятий, что позволило получить экономический эффект. Результаты диссертационных исследований нашли применение при разработке нормативных документов для проектирования, строительства, реконструкции, ремонта и эксплуатации асфальтобетонных покрытий на автомобильных дорогах Украины.

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, асфальтобетон, битум, дорожная одежда, колея, нагрузка, покрытие, устойчивость, температура, термовязкоупругость.

## SUMMARY

*Garkusha M. V.* Improving the method of evaluation of the stability of coverage of non-rigid pavement to rutting. – Manuscript.

Thesis is submitted for obtaining a Candidate Degree in Technical Science (PhD): speciality 05.22.11 «Highways and airfields». (branch of knowledge 192 – construction and civil engineering). – National Transport University, Kyiv, 2019.

Thesis is devoted to the improvement of the method of assessing the stability of non-rigid pavement to rutting, due to complex inference of major factors: thermoviscoelastic properties of asphalt, vertical tracking force of vehicles and its exposure time on construction, level of effects of vertical tracking force.

It was established that non-rigid pavement is in rough operating conditions, it is confirmed by intensive growth of defects, such as rutting, due to increase of traffic loads and high summer temperatures, as well as existing methods of assessing the stability of coverage to rutting are not enough studied.

Analytical dependency is achieved and method of assessing the stability of coverage to rutting from influence of vertical tracking force is improved, it is allowed to consider complex impact of major factors: thermoviscoelastic properties of asphalt, ground stabilization, asphalt's temperature, vertical pressure on pavement of pneumatic tire wheels of vehicles, intention of vertical pressure, action time of pressure.

Performance thermoreological predictions of asphalt and ground stabilization, adhesional strength between asphalt and the base in shear are experimental researched, field percolation tests, experimental and bench researches were done; properties of factors' impact on increase in rutting of asphalt of non-rigid pavement were achieved.

Practical recommendations and method of increasing of stability analysis of asphalt of non-rigid pavement to rutting by means of recipe-structural, constructive and technological factors allow to receive economic impact of it. Results of thesis were used in drafting of regulations for engineering, construction, repair and usage of asphalt pavement on Roadway Network of Ukraine.

**Key words:** asphalt, bitum, coverage, pavement, road network, rutting, thermoviscoelastic.