МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГУСТЄЛЄВ ОЛЕКСАНДР ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 625.7/.8

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ НЕЖОРСТКОГО ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З ПОПЕРЕЧНИМИ ТРІЩИНАМИ В АСФАЛЬТОБЕТОННОМУ ПОКРИТТІ

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. Київ.

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

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Золотарьов Віктор Олександрович,
Харківський національний автомобільно- дорожній університет, завідувач кафедри «Технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії»;
кандидат технічних наук, доцент
Ільченко Володимир Васильович,
Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, доцент кафедриавтомобільних доріг, геодезії, землеустрою та сільських будівель

Захист відбудеться «*20*» *грудня* 2019 р. о 13^{00} годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 у Національному транспортному університеті за адресою: 01010, Україна, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

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

Автореферат розіслано «*20*» *листопада* 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Відомо, що одним із найбільш розповсюджених матеріалів покриття як на автомобільних дорогах загального користування, так і на комунальних вулицях і дорогах з нежорстким дорожнім одягом є асфальтобетон. Це пов'язано з рядом його переваг: доступність компонентів, технологічність у приготуванні і застосуванні, широкий спектр різновидів, можливість направленого регулювання властивостей, високі атмосферостійкість, міцність і довговічність тощо.

Однак не зважаючи на велику кількість проведених досліджень і розроблених практичних заходів для запобігання й уникнення поперечних температурних тріщин, ці види руйнувань ще залишаються одними із найбільш розповсюджених дефектів асфальтобетонного покриття. Ці поперечні тріщини температурно-усадного походження утворюються з певним кроком по довжині покриття у результаті як сезонних, так і добових коливань температури. У процесі експлуатації утворюються нові поперечні температурні тріщини і відстань між ними зменшується від десятків до декількох метрів. Їх поява призводить до багатьох негативних наслідків.

Зокрема, через тріщини потрапляє вода і суттєво знижує несну здатність шарів основи і ґрунту земляного полотна (у тому числі через засоленість при потраплянні протиожеледних речовин), як наслідок, у зоні тріщин виникає значне ослаблення дорожньої конструкції. Це призводить до прискорення появи різних видів руйнувань під дією транспортних навантажень і кліматичних факторів як самого асфальтобетонного покриття, так і дорожнього одягу в цілому. Тому в районах тріщин часто утворюються сколи, викришування, ямковість, вибоїни, просідання, сітка тріщин та колійність. У зв'язку з цим поява поперечних температурних тріщин призводить до передчасного виходу з ладу дорожнього одягу і зниження нормативних строків служби. Утворення температурних тріщини в асфальтобетонному покритті вимагає значних додаткових витрат на їх ремонти. Ремонт асфальтобетонного покриття з поперечними температурними тріщинами є складним, трудомістким і дорогим процесом, що містить багато ручної праці і супроводжується витратою великої кількості енергії і високоякісних дефіцитних матеріалів, погіршення умов і безпеки руху. У той же час, застосовані ремонтні заходи не завжди досягають бажаного результату.

Слід відмітити, що однією із причин передчасного утворення поперечних температурних тріщин є відсутність нормативних методів розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість, що на практиці намагаються компенсувати заходами з регулювання властивостей асфальтобетону та удосконаленням конструкцій дорожнього одягу. Однак ці заходи не дають очікуваних результатів. Крім того, також відсутні методи, що враховують зміну напружено-деформованого стану нежорсткого дорожнього одягу та прогнозування його довговічності протягом життєвого циклу з урахуванням появи поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті. При цьому для забезпечення необхідного експлуатаційного стану автомобільних доріг в існуючій практиці виконують певні ремонтні заходи. Однак при призначенні видів ремонту не враховується фактична зміна напружено-деформованого стану дорожнього одягу і як ця зміна у процесі експлуатації буде впливати на його довговічність.

Таким чином, вище наведене свідчить про актуальність дисертаційних досліджень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати, отримані в роботі, пов'язані з напрямами плану науково-дослідної роботи Національного транспортного університету «Математичне моделювання напружено-деформованого стану дорожнього одягу з температурними швами і тріщинами» (д/б № 53, номер державної реєстрації 0119U101797), а також за планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, а саме: «Провести дослідження, удосконалити методику визначення зчеплення між асфальтобетонними шарами дорожнього одягу та експериментальний зразок приладу для його визначення» (д/б № 53-19, номер державної реєстрації 0119U101525).

Мета і задачі досліджень. *Мета* досліджень – підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними температурними тріщинами в асфальтобетонному покритті.

Для досягнення мети роботи необхідно було вирішити наступні *задачі*:

- проаналізувати стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини;
- розробити метод оцінювання впливу поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті на довговічність дорожнього одягу від комплексного впливу чинників з урахуванням реологічних властивостей дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунту земляного полотна;
- розробити математичні моделі оцінювання стійкості герметиків для ремонту покриття з поперечними тріщинами до дії коливань температури;
- розробити методики і провести експериментальні та числові дослідження впливу чинників на підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті;
- розробити практичні заходи щодо підвищення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини.

Об'єкт дослідження – нежорсткий дорожній одяг з асфальтобетонним покриттям.

Предмет дослідження – довговічність дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини.

Методи дослідження – експериментально-аналітичні.

Наукова новизна отриманих результатів:

- *вперше розроблено:* метод оцінювання впливу поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті на довговічність дорожнього одягу від комплексного впливу чинників з урахуванням реологічних властивостей дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунту земляного полотна;
- *удосконалено:* метод перевірки стійкості герметиків для ремонту покриття з поперечними тріщинами до дії коливань температури.

Практичне значення одержаних результатів:

- *розроблено:* методику розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті;
- *удосконалено:* заходи щодо підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті; технології виконання робіт при ремонті асфальтобетонного покриття з температурними поперечними тріщинами.

Результати роботи використані:

При удосконаленні методики обстеження стану автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини, зокрема, було враховано запропоновану класифікацію тріщин. Розроблені вимоги до герметизуючих матеріалів для ремонту асфальтобетонного покриття, що має поперечні тріщини; при опрацюванні верифікаційних звітів Ініціативи з прозорості інфраструктури CoST, у межах яких були проведені дослідження і оцінювання якості проектних рішень та підрядних робіт на автомобільних дорогах з асфальтобетонним покриттям; в діяльності фірми BUCHER Municipal, зокрема, під час випробування обладнання для герметизації тріщин.

Особистий внесок здобувача. У спільних публікаціях автором сформульовані особливості напружено-дефрмованого стану дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті та його вплив на довговчність дорожньої конструкції [1, 12, 15], проаналізовано та узагальнено причини тріщиноутворення асфальтобетонного покриття і обґрунтовані шляхи їх усунення [7-8, 10-11, 16]. За результатами досліджень [5, 6, 9] була розроблена концепція удосконалення технології ремонту дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини.

Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримані автором самостійно та полягають у тому, що за результатами оцінювання характеру розтріскування було виконано обґрунтування вибору технології і механізмів для відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу [2-4].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних науково-практичних конференціях: «Сучасні технології і матеріали в дорожньому будівництві» 2006 р., Харків, Україна; «I Polski kongres dogowy» 04 – 06 жовтня 2006 р., Варшава, Польща; «Наукові дослідження щодо наносистем і ресурсозберігаючі технології у великих індустріях» 18 – 19 вересня 2007 р., Бєлгород, Росія; на міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених «Ефективні матеріали, технології, машини та обладнання для будівництва та експлуатації сучасних транспортних підприємств» 03 – 04 грудня 2009 р., Бєлгород, Росія; «Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців» 20 – 21 жовтня 2016 р., Харків, Україна; «Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки» 26 – 27 квітня 2017 р., Полтава, Україна; «Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців» 19 – 20 жовтня 2017 р., Харків, Україна; «Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі» 24 – 25 вересня 2019 р., Київ, Україна.

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 20 публікаціях: з них 1 монографія, 3 статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз (у тому числі одна одноосібна), 4 статей у фахових виданнях, 8 праць апробаційного характеру, 2 праці, які додатково відображають наукові результати дисертації. За матеріалами дисертаційних досліджень отримано 2 патенти України.

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 155 найменувань та п’ять додатків. Основний текст викладений на 120 сторінках. Текст ілюструється 27 рисунками і містить 9 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі розглянуто стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини, проаналізовано особливості експлуатації дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, показано існуючі заходи підвищення його довговічності, висвітлено відомі підходи до оцінювання довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, а також мету і задачі досліджень.

Розглянуто та проаналізовано роботи відомих вчених, що направлені на дослідження напружено-деформовного стану і довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті та їх вплив на безпеку руху та експлуатаційні характеристики автомобільних доріг: О. Т. Батракова, А.Г. Батракової, Г.С. Бахраха, А.М. Богуславського, В.І. Братчуна, А.П. Васильєва, І.П. Гамеляка, Л.Б. Гезенцвея, М.В. Горелишева, Л.М. Гохмана, Л.С. Губача, В.І. Гуляєва, В.К. Жданюка, В.О. Золотарьова, М.М. Дмитрієва, М.М. Іванова, В.В. Ільченка, П. Кендла, О.П. Каніна, С.С. Кизими, І.В. Кіяшка, Б.І. Ладигіна, К. Маклуфа, О.В. Марчука, О.Ю. Мерзлікіна, В.В. Мозгового, К. Монісміта, Ю.Є. Нікольського, А.М. Онищенка, Д.О. Павлюка, Б.Г. Печеного, В.П. Поліщука, В.Г. Піскунова, Б.С. Радовського, А.В. Руденського, В.Я. Савенка, А.О. Салля, В.М. Сіденка, Г.К. Сюньї, Б.Б. Телтаєва, Б.Г. Таращанського, І.К. Яцевича та їхніх учнів і послідовників.

Аналіз існуючих рішень стосовно прогнозування температурного тріщиноутворення свідчить, що у ранніх підходах використовувались рішення теорії пружності, які не дозволяли відображати реальну поведінку в’язко-пружніх властивостей матеріалів. Останніми роками в багатьох дослідженнях почали використовувати методи, що ураховують термо-реологічні властивості матеріалів конструкцій дорожнього одягу.

Існуючі методи досліджень впливу поперечних тріщин на довговічність асфальтобетонного покриття у більшості випадків застосовують методи скінченних елементів для прогнозування термо-напруженого стану дорожнього одягу. Підходи, що направлені на забезпечення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, головним чином, ґрунтуються на застосуванні армуючих матеріалів, герметизації покриття за рахунок заробки тріщин герметиками, а також при влаштуванні захисних шарів з литих емульсійно-мінеральних сумішей або поверхневої обробки. Однак питання підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті було вивчено не достатньо.

У другому розділі наведені теоретичні аспекти дослідження довговічності асфальтобетонного покриття нежорского дорожнього одягу з поперечними тріщинами. Ці дослідження базуються на використанні основних положень теорії термо-в'язко-пружності та положень кінетичної теорії міцності твердих тіл, що застосовуються дослідниками наукової школи проф. Б.С Радовського.

У дослідженнях взято до уваги той факт, що після утворення температурних тріщин в асфальтобетонному покритті в результаті розриву зв'язків у всьому його поперечному перерізі суттєво погіршується розподільча здатність у зоні тріщин і підвищуються напруження у найбільш слабких елементах дорожньої конструкції – ґрунтовій основі та шарах з незв'язних і малозв`язних матеріалів. Тому, запропоновано оцінювати вплив поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті на довговічність дорожнього одягу, аналізуючи зміну у часі міри пошкодженності за Бейлі як міри вичерпування його довговічності від дії чинників, що впливають на критерій граничного стану за першою групою (несною здатністю) для ґрунтової основи і шарів з незв'язних та малозв`язних матеріалів – за опором зсуву. Даний підхід полягає у використанні цього показника як домінуючої інтегральної характеристики втрати довговічності дорожнього одягу і встановлюється шляхом підсумовування його значень на кожному характерному етапі експлуатації з урахуванням «історії» ремонтних заходів.

Як приклад, нижче наведено найбільш загальний випадок, коли після утворення поперечних температурних тріщин певний час асфальтобетонне покриття буде експлуатуватися без їх герметизації, що призведе до підвищення вологості ґрунту і збільшення розрахункового періоду $T_{рдр}$ з несприятливими умовами для опору зсуву. Потім через певний час може бути проведена герметизація тріщин, що буде сприяти поступовому зменшенню вологості ґрунту та $T_{рдр}$ до початкових їх значень. У подальшому розглядається, що покриття може експлуатуватися певний період до моменту відновлення несної здатності дорожнього одягу в зоні тріщин та після цього буде продовжувати експлуатуватися до настання порушення критеріїв граничного стану за довговічністю. У такому випадку критерій граничного стану для забезпечення довговічності дорожнього одягу має вигляд:

$$M((T),t) = M_1\big(T(t)\big) + M_2\big(T(t)\big) + M_3\big(T(t)\big) + M_4\big(T(t)\big) \le 1, \qquad (1)$$

де $M_1\big(T(t)\big)$ – міра вичерпування довговічності від дії активного напруження зсуву $T(t)$ протягом часу спостереження t до моменту утворення поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті t_1;

$M_2\big(T(t)\big)$ – міра вичерпування довговічності від дії активного напруження зсуву $T(t)$ протягом часу спостереження t при перезволоженні ґрунту земляного полотна та незв'язних шарів у період від моменту тріщиноутворення до моменту зменшення вологості за рахунок герметизації тріщин t_2;

$M_3\big(T(t)\big)$ – міра вичерпування довговічності від дії активного напруження зсуву $T(t)$ протягом часу спостереження t у період від моменту зменшення вологості за рахунок герметизації тріщин t_2 до моменту відновлення несної здатності дорожнього одягу за рахунок відповідних ремонтних заходів у зоні тріщини t_3;

$M_4(T(t))$ – міра вичерпування довговічності від дії активного напруження зсуву *T(t)* протягом часу спостереження *t* у період від моменту відновлення несної здатності дорожнього одягу за рахунок відповідних ремонтних заходів у зоні тріщини t_3 до настання порушення критеріїв граничного стану за довговічністю.

Міра вичерпування довговічності за критерієм опору зсуву являє собою міру пошкодженості за Бейлі:

$$M_i = \int_{t_i^{\text{п}}}^{t_i^{\text{к}}} \frac{dt}{t_p^*(T(t))}, \tag{2}$$

де $t_i^{\text{п}}$ – початковий час спостереження на *i*-му періоді;

$t_i^{\text{к}}$ – кінцевий час спостереження на *i*-му періоді (на останньому періоді $t_i^{\text{к}} = T_{сл}$) ;

t_p^* – функція довговічності, що визначається за формулою Б.Г. Бартєнєва:

$$t_p^*(T(t)) = B_{\text{т}} \cdot T^{-\beta}, \tag{3}$$

де $B_{\text{т}}$ та β – параметри функції довговічності при дії активного дотичного напруження, визначаються з урахуванням нижче наведених підходів.

Граничне напруження зсуву в ґрунті $T_{гр}$, у МПа, згідно з ВСН 46-83 «Инструкция по проектированию дорожных одежд нежесткого типа» та ГБН В.2.3-37641918-559:2019 «Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування», визначають за формулою:

$$T_{гр} = c_{гр} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 , \tag{4}$$

де $c_{гр}$ – зчеплення в ґрунті активної зони земляного полотна в розрахунковий період, МПа, встановлюють експериментально або за довідниковими даними;

k_1 – коефіцієнт, який враховує вплив навантажень на опір зсуву ґрунту, при розрахунку на вплив динамічного навантаження;

k_2 – коефіцієнт , що враховує повторність навантажень;

k_3 – коефіцієнт, що враховує особливості роботи ґрунту в конструкції.

На основі проведеного аналізу відомих результатів встановлено зв'язок коефіцієнта k_2 з сумарною кількістю проїздів розрахункового навантаження за строк експлуатації дорожнього одягу:

$$k_2 = \gamma_{пр} \cdot \left(\sum \mathrm{N_p}\right)^{-\frac{1}{\beta}}, \tag{5}$$

де $\gamma_{пр}$ і β – параметри, що встановлюються експериментально або за довідковими даними.

Тоді (4), після відповідних перетворень, буде мати вигляд:

$$\mathrm{T_{гр}} = \left[\mathrm{C_{гр}}\right] \cdot \left(\sum \mathrm{N_p}\right)^{-\frac{1}{\beta}}. \tag{6}$$

Вираз (6) свідчить про степеневу закономірність руйнування ґрунтової основи і шарів з незв'язних та малозв`язних матеріалів при дії дотичних напружень .

З урахуванням циклічного навантаження активним дотичним напруженням *T* протягом часу навантаження $t_{\text{н}}$ на основі (2) параметр $B_{\text{т}}$ визначається за виразом:

$$B_{\text{т}} = \frac{\left[\mathrm{C_{гр}}\right]^{-\beta}}{t_{\text{н}}}. \tag{7}$$

Для визначення часу t_1 до утворення температурних поперечних тріщин в асфальтобетонному покритті, у дослідженнях застосовані відомі рішення НТУ для прогнозування температурного тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті з урахуванням впливу коливань температур та транспортних навантажень. У даному випадку умова температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття має вигляд:

$$M = M_T + M_{TP} \le 1, \tag{8}$$

де M – сумарна міра вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття, що складається з міри вичерпування довговічності від температурних напружень при коливанні температури (M_T) та від дії транспортного навантаження (M_{TP}).

Міра вичерпування довговічності асфальтобетонного покриття від температурних напружень $\sigma_T(t)$ при коливанні температури до моменту t_1 утворення температурних тріщин, визначається за аналітичною залежністю

$$M_T = \int_0^{t_1} \frac{\sigma_T(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt. \tag{9}$$

де B, b – параметри функції довговічності асфальтобетону (визначаються експериментально).

Міра вичерпування довговічності від дії транспортного навантаження визначається за аналітичною залежністю, що базується на математичній моделі ГБН В.2.3-37641918-559:

$$M_{TP} = \frac{\sum N_p(t_1)}{\lfloor N_p \rfloor}, \tag{10}$$

де $\sum N_p(t_1)$ – сумарна інтенсивність руху на момент часу t_1;

$\lfloor N_p \rfloor$ – гранично допустима кількість прикладання розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого нормального напруження σ_r.

Значення $\lfloor N_p \rfloor$ встановлюється за аналітичною залежністю:

$$\lfloor N_p \rfloor = \left(\frac{R_p \cdot k_m \cdot k_{\text{пр}}}{R_{\text{зг}}}\right)^{\frac{1}{m}}, \tag{11}$$

де R_P – розрахункове значення опору розтягу при згині за умов одноразового прикладання навантаження;

k_m – коефіцієнт що, враховує зниження міцності в часі від дії погодно-кліматичних умов;

m – показник втоми;

$k_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період.

Виходячи із умови міцності асфальтобетонного покриття за ГБН В.2.3-37641918-559, значення гранично допустимого напруження асфальтобетону визначається за виразом:

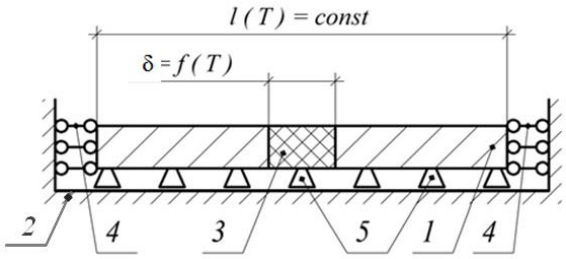
$$R_{\text{зг}} = K_{\text{мц}} \cdot \sigma_r, \tag{12}$$

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

σ_r – найбільше напруження розтягу при згині від дії розрахункового транспортного навантаження в асфальтобетонному покритті.

Параметри залежностей (10)-(12) визначаються за методикою ГБН В.2.3-37641918-559.

У дисертаційних дослідженнях будо удосконалено метод оцінювання ефективності герметизуючих матеріалів при ремонті асфальтобетонного покриття з поперечними тріщинами. Розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття з тріщиною, що заповнена герметиком, зображена на рисунку 1.



1 – асфальтобетонне покриття, 2 – основа дорожнього одягу, 3 – герметик, 4 – схема зв'язку з суміжними ділянками покриття; 5 – те ж з підстильними шарами конструкції одягу, що забезпечує горизонтальне переміщення через тертя

Рисунок 1 – Розрахункова схеми роботи асфальтобетонного покриття після утворення в ньому поперечної температурної тріщини та її герметизації

Для випадку, коли герметик має більшу податливість ніж асфальтобетон, температурні горизонтальні розтягуючі напруження σ_T в ньому та на контакті з асфальтобетонним покриттям на основі рішення одномірної задачі у пружній постановці можна отримати у вигляді:

$$\sigma_T = E_1 \cdot \alpha_1 \cdot \Delta T \cdot \left(1 + \frac{\alpha_2}{\alpha_1} \cdot \frac{l_{бл}}{\delta}\right), \qquad (13)$$

де σ_T – температурні розтягуючі напруження;

E_1 – модуль пружності герметика;

ΔT – градієнт температур;

α_1, α_2 – коефіцієнти лінійного розширення відповідно, герметика та покриття;

$l_{бл}$ – початкова довжина блоків;

δ – ширина поперечної тріщини на момент герметизації.

Отриманий компактний вираз (13) на основі точного рішення дозволяє встановити рівень термонапруженого стану герметика та адгезійного контакту у залежності від його характеристик та характеристик асфальтобетону, а також початкових розмірів блоків покриття між тріщинами та їх ширини на момент заповнення їх герметиком. Однак ця залежність справедлива для випадків, коли матеріали проявляють пружні властивості, і може бути застосована тільки для від'ємних температур.

Для більш загального випадку з урахуванням термо-в'язко-пружніх властивостей на основі положень теорії термо-в'язко-пружності температурні напруження, що виникають в герметику, можуть бути визначені за рішенням Больцмана-Волтерра:

$$\sigma_T(t,T) = \int_0^t R\big(\xi(t) - \xi(\tau)\big) d\varepsilon_T(\tau), \qquad (14)$$

$$\xi(t)=\int_0^t \frac{dt}{a_T(T(t),Q)}, \quad \xi(\tau)=\int_0^t \frac{d\tau}{a_T(T(t),Q)}, \tag{15}$$

де *R(t)* – функція релаксації герметика;

ε_T – відносна температурна деформація герметика;

t – момент часу при якому визначається напруження;

τ – момент часу, що передує t;

ξ – час, що приведений на основі принципу температурно-часової аналогії (ТЧА) до тієї температури *Q*, при якій експериментально встановлюються параметри функції релаксації *R(t)*;

a_T – функція ТЧА.

Функція релаксації герметика може бути описана у вигляді модифікованого степеневого закону:

$$R(t)=H+(B-H)\cdot\left(1+{}^{t}\!/_{r}\right)^{-m}, \tag{16}$$

де *m*, *r*, *H* і *B* – постійні, що визначаються експериментально;

Функція ТЧА описується виразом:

$$a_T(T,Q)=e^{-p(T-Q)}, \tag{17}$$

де *p* – постійна, що визначається експериментально.

Відносна температурна деформація визначається за виразом:

$$\varepsilon_T=\alpha_1\cdot\left(T_0-T(t)\right)\cdot\left(1+\frac{\alpha_2}{\alpha_1}\cdot\frac{l_{бл}}{\delta}\right). \tag{18}$$

З урахуванням гармонійної зміни температури $T(t)$ річні і добові коливання середньої по товщині покриття температури можна записати у вигляді:

$$T(t)=T_{ср}+\overline{A_c}\cos\frac{2\pi}{t_c}+\overline{A_r}\cos\frac{2\pi}{t_r}t, \tag{19}$$

де $T_{ср}$ - усереднена по товщині середньорічна температура покриття;

$\overline{A_c}$, $\overline{A_r}$ і t_c, t_r - відповідно амплітуда і період коливань усередненої по товщині температури покриття в добовому і річному циклі.

Амплітуда коливань усередненої по товщині температури покриття ($\overline{A_c}$ або $\overline{A_r}$) вважається приблизно рівною середньому по товщині значенню амплітуди коливань температури на різних глибинах:

$$\overline{A}\approx\frac{1}{h}\int_0^h A(z)dz=\frac{A(z=0)}{h\sqrt{\pi/t_n a}}\left(1-e^{-h\sqrt{\pi/t_n a}}\right), \tag{20}$$

де *a* - коефіцієнт температуропровідності матеріалу покриття;

t_n - період коливання температури.

На основі вище описаних виразів є можливість прогнозувати температурні напруження в будь-який час *t*. Однак, оскільки характеристики міцності також залежать як від температури, так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то є необхідність визначитися з показником довговічності герметизуючих

матеріалів та умовою граничного стану. Маючи рішення для визначення температурних напружень в покритті, умови міцності і вираз для функції довговічності, можна розрахувати показник температурної тріщиностійкості M_{mp} до кінця терміну служби $t_{сл}$.

$$M_{mp} = \int_0^{t_{сл}} \frac{\sigma_T(t)^{b_\tau(T(t))}}{B_\tau(T(t))} dt. \qquad (21)$$

де B_τ і b_τ – параметри функції довговічності, що визначаються експериментально.
При цьому, має виконуватися умова забезпечення температурної тріщиностійкості:

$$M_{mp} \le 1. \qquad (22)$$

Для дослідження комплексного впливу транспортних навантажень на напружено-деформований стан конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини (рис. 2), використовували методологію, розроблену професором В.І. Гуляєвим, що базується на методі скінченних елементів.

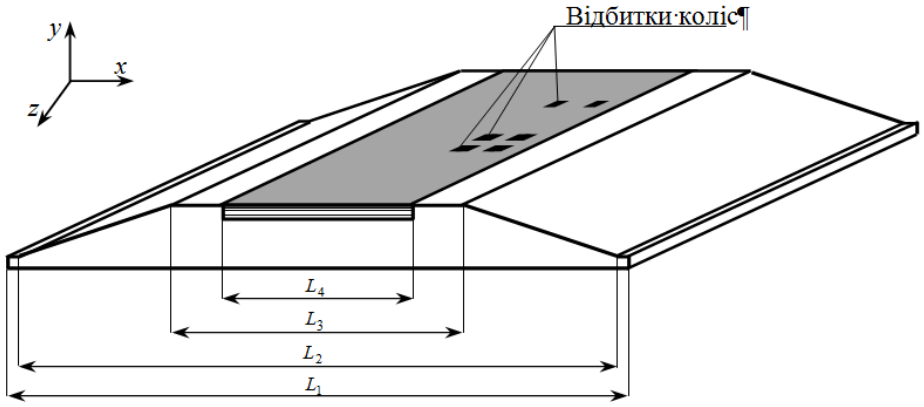


Рисунок 2 –Схема дорожньої конструкції

Для розв'язання задачі за допомогою площин $x = const$, $y = const$, $z = const$ виділяється із загального неоднорідного шаруватого масиву конструкції дорожнього одягу прямокутний паралелепіпед і, задаючи відповідні граничні умови на відповідних граничних площинах, розв'язуються відповідні рівняння теорії пружності числовим методом. Урахування термо-в'язко-пружніх властивостей дорожньо-будівельних матеріалів здійснюється за допомогою застосування спрощеного методу квазіпружньої апроксимації, використовуючи метод Р. Шеппері. При цьому, як було показано у дослідженнях Б.С. Радовського, результати розрахунків мають достатньо гарну збіжність при заміні термо-в'язко-пружніх характеристик на пружні, що визначені при відповідних розрахункових температурах та часі дії навантаження. При побудові цих рівнянь враховувалося, що швидкості поширення хвиль пружніх деформацій в масиві, що розглядається (складові сотні метрів в секунду), набагато перевищують швидкості руху автомобілів. Тому, навантаження від сил тяжіння рухомого транспортного засобу можна вважати квазістатичним і задачу формулювати в статичній постановці.

Третій розділ присвячений експериментальним дослідженням довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті. Ці дослідження полягали у проведенні натурних обстежень, лабораторних випробувань та числового експерименту.

За результатами натурних досліджень розроблена класифікація поперечних температурних тріщин з урахуванням найбільш характерних їх ознак.

Були проведені натурні дослідження щодо впливу поперечних тріщин на прогини поверхні асфальтобетонного покриття. Дослідження підтвердили відомі результати про те, що в зонах поперечних тріщин має місце «клавішний ефект». При цьому, різниця в

перемішеннях країв тріщини залежить як від ширини розкриття тріщини, так і від стану шарів основи і ґрунту земляного полотна і може бути в межах від 10% до 40%, або більше.

Таблиця 1 – Класифікація поперечних температурних тріщин за найбільш характерними їх ознаками

Ознаки класифікації	Види тріщин
За шириною розкриття	волосяні до 3 мм
	дрібні 4–7 мм
	середні 8–15 мм
	крупні 16 мм і більше
За характером завивистості	прямі
	слабо звивисті
	сильно звивисті (зигзагаподібні)
За відстанню між тріщинами	рідкі (середня відстань між тріщинами 50 – 100 м)
	часті (середня відстань між тріщинами 20 – 50 м)
	густі (середня відстань між тріщинами 0,5 – 20 м)
За довжиною	що перетинають всю ширину проїзної частини
	що перетинають одну праву або ліву проїзну частину
	які становлять ¼ – ½ ширини проїзної частини в одному напрямку
За моментом утворення	первинні (перші тріщини, що утворились з приблизно однаковим кроком)
	вторинні (тріщини, що утворились між первинними тріщинами)
	послідуючі (тріщини, що утворились між вторинними та послідуючими тріщинами)
За причинами утворення	температурні невідображені
	температурні відображені вертикальні від блочної основи
	температурні відображені горизонтальні від суміжних блоків покриття
	температурні відображені комбіновані від блочної основи та суміжних блоків покриття

Для експериментальних досліджень використовували як стандартні методи та прилади, так і оригінальні, розроблені в НТУ.

На основі проведених експериментів та літературних даних були встановлені фізико-механічні та реологічні характеристики дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів, необхідних для виконання розрахунків при дослідженні впливу різних чинників на довговічність дорожнього покриття.

Крім того, було виконано лабораторні та натурні дослідження щодо впливу армуючих синтетичних матеріалів на підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів.

Для оцінки ефективності застосування армуючих синтетичних матеріалів, за методикою НТУ експериментально визначали розрахункові характеристики армованого асфальтобетону: модуль пружності, міцність на розтяг при згині та показник втоми.

Зокрема, результати випробування композиції «асфальтобетон+ґратка+ асфальтобетон», із застосуванням ґраток на основі скловолокна, обробленого полімербітумним в’яжучим, показали, що:

- модуль пружності підвищується до 20 – 40 % і збільшується із зростанням температури, порівняно із композицією без застосування ґратки;
- міцність на розтяг збільшилась на 20 – 30 %;
- показник втоми також збільшився на 5 –20 %.

За допомогою числового аналізу, при використанні скінченно-елементної апроксимації основних співвідношень теорії пружності, були виконані дослідження концентрації напружень у зонах наявності тріщин шаруватої конструкції покриття.

На рис. 3 і рис. 4 наведені результати скінченно-елементного аналізу впливу тріщин в одному з нижніх (третьому) шарів при перерозподілі нормальних напружень σ_{xx} від дії вертикального навантаження P на відбиток контакту колеса з дорогою. Максимальні за модулем значення цих напружень позначені зафарбованими і не зафарбованими кружечками. На кольоровому зображенні цього поля кожному відтінку кольорової палітри відповідає значення напруження, що наведені справа на стовпчику кольорової шкали. Характер розподілу σ_{xx} у вертикальному перерізі, що проходить через площину тріщини наведений на рис. 4. Як видно з даних рис. 4, спостерігається різка концентрація цих напружень в гирлі тріщини, з віддаленням від цієї зони напруження σ_{xx} швидко зменшуються.

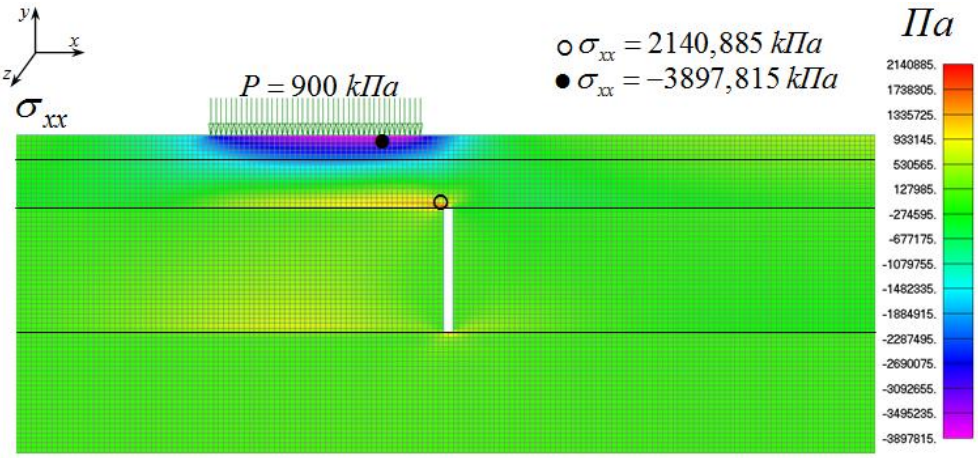


Рисунок 3 – Поле розподілення нормальних напружень σ_{xx} (випадок $h1$ = 0,04 м, $h2$ = 0,08 м, $h3$ = 0,21 м, $h4$ = 0,2 м, $h5$ = 1,47 м, P = 900 кПа)

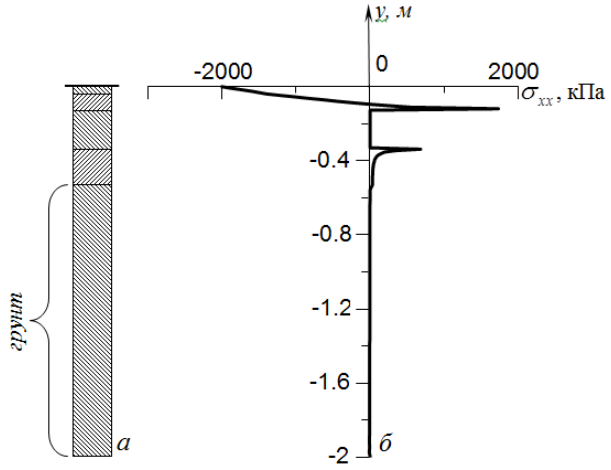


Рисунок 4 – Схема розташування шарів покриття (а) і графік функції в центральному перерізі (б)

Внутрішня тріщина суттєво вплинула також на розподіл і концентрацію дотичних напружень τ_{xy}. Як видно з даних, що наведені на рис. 5 і рис. 6, значні величини τ_{xy} мають місце під крайовою зоною розподілення навантаження P (рис. 5). Однак найбільша концентрація цієї функції має місце у верхньому гирлі тріщини (рис. 5 і рис. 6). У нижньому гирлі тріщини ця концентрація є відчутно меншою. У той же час, необхідно врахувати, що підвищенні значення цієї функції досягли поверхні ґрунтового масиву, що має понижену міцність на зсув.

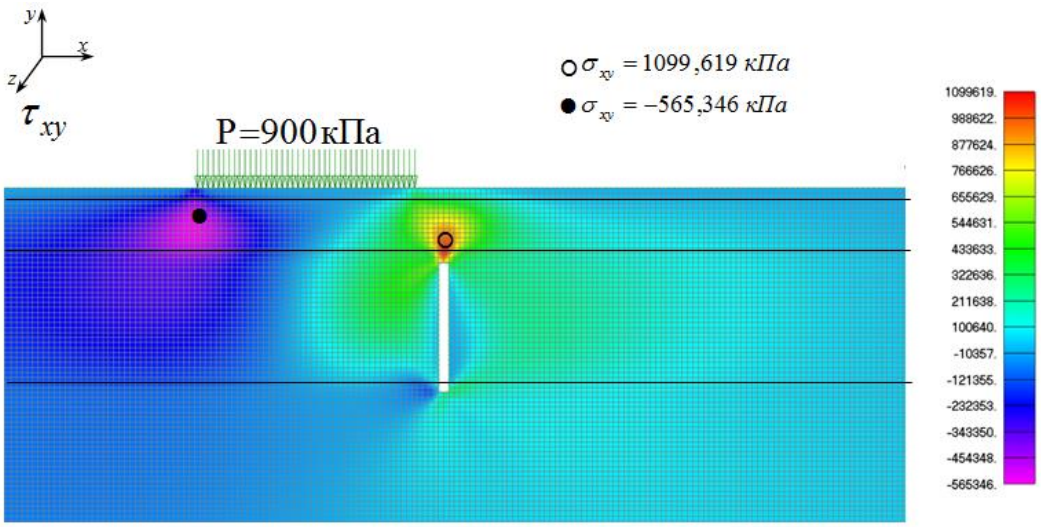


Рисунок 5 – Поле розподілення дотичних напружень τ_{xy} (випадок $h1$ = 0,04 м, $h2$ = 0,08 м, $h3$ = 0,21 м, $h4$ = 0,2 м, $h5$ = 1,47 м, P = 900 kПа)

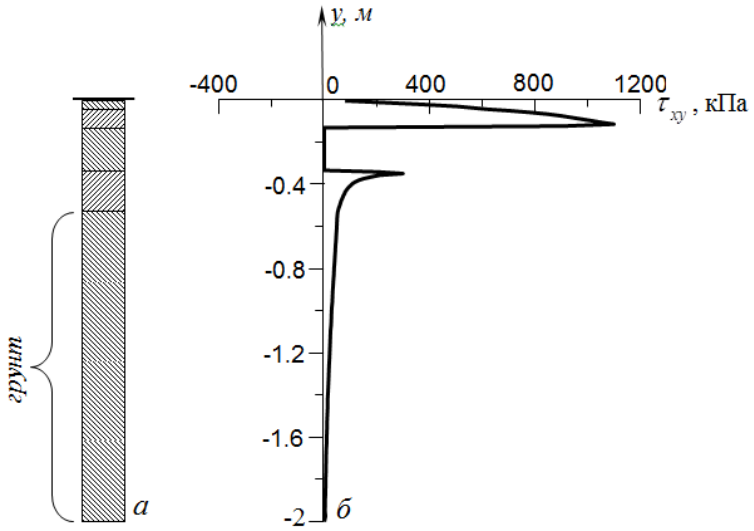


Рисунок 6 – Схема розташування шарів покриття (а) та графік функції τ_{xy} (y) в центральному перерізі (б)

Аналогічні дослідження виконані для випадку, коли вертикальна тріщина пронизує два верхні шари (рис. 7–10). Тут напруження σ_{xx} також концентрується в гирлі тріщини, при чому воно відчутно виросло і стало стискуючим (рис. 7 і рис. 8). Суттєва перебудова відбулася і з напруженнями τ_{xy} (рис. 9 і рис. 10). Їх концентрація також має місце в гирлі тріщини і вона відрізняється відчутним зростанням τ_{xy} в порівнянні з випадком наявності внутрішньої тріщини (рис. 5 і рис. 6).

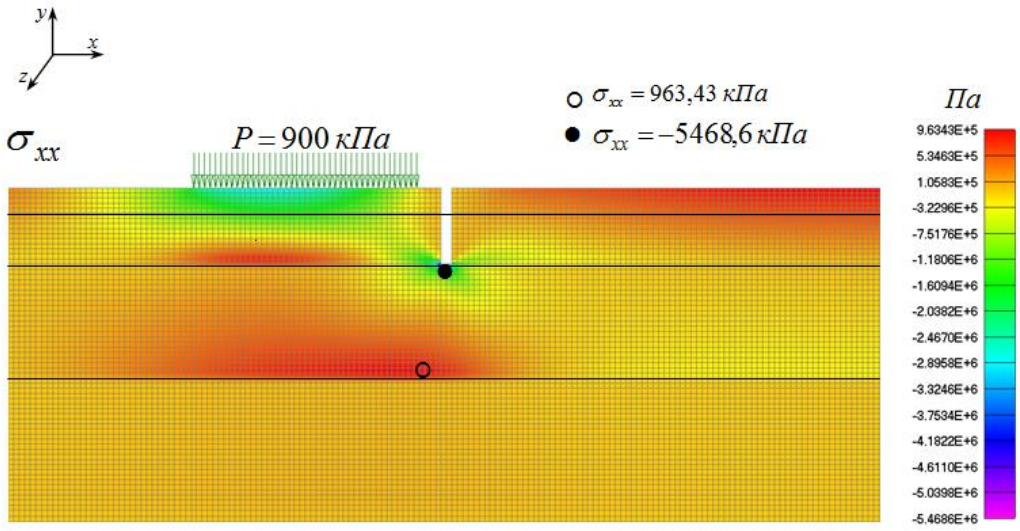


Рисунок 8 – Поле розподілення нормальних напружень σ_{xx} (випадок $h1$ = 0,04 м, $h2$ = 0,08 м, $h3$ = 0,21 м, $h4$ = 0,2 м, $h5$ = 1,47 м, P = 900 kПа)

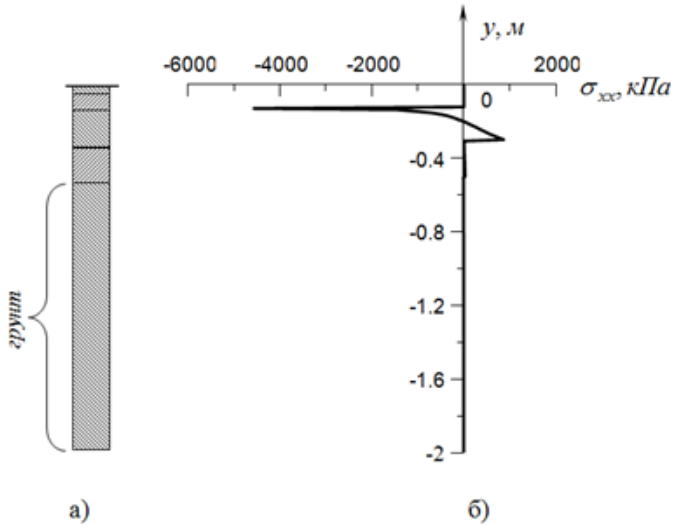


Рисунок 9 – Схема розташування шарів покриття (а) та графік функції σ_{xx} (y) в центральному перерізі (б)

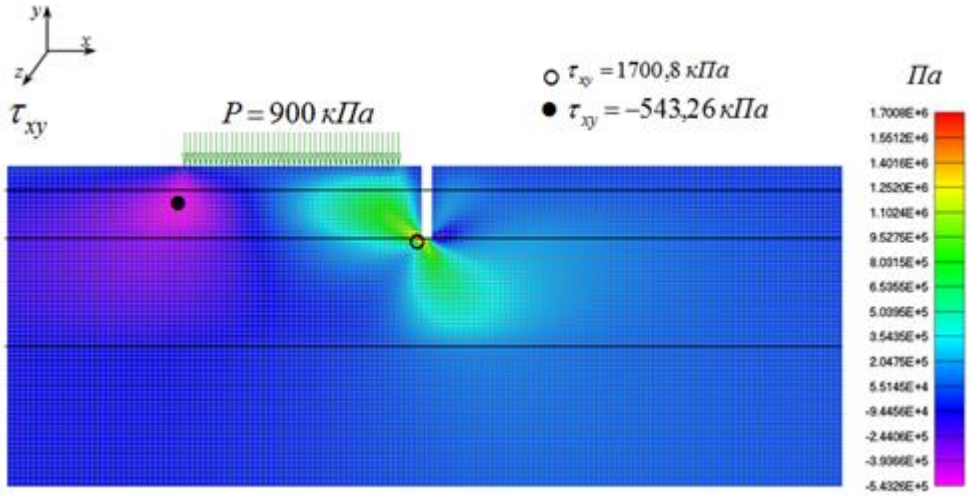


Рисунок 10 – Поле розподілення дотичних напружень τ_{xy} (випадок $h1$ = 0,04 м, $h2$ = 0,08 м, $h3$ = 0,21 м, $h4$ = 0,2 м, $h5$ = 1,47 м, P = 900 kПа)

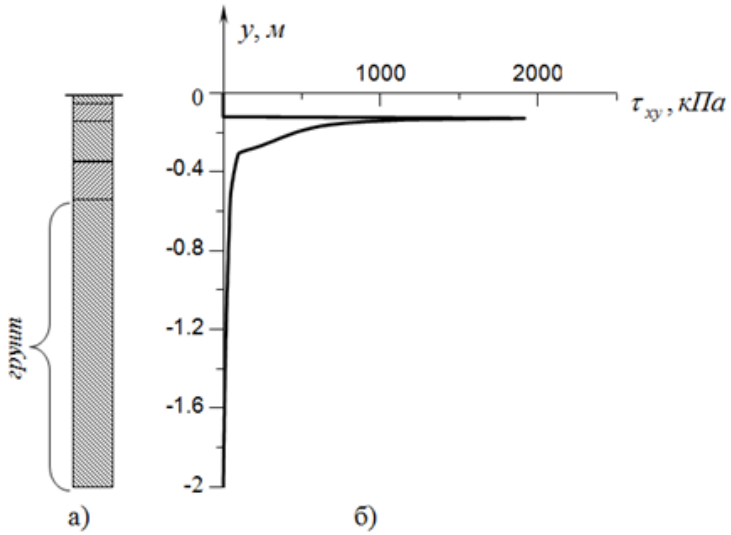


Рисунок 11 – Схема розташування шарів покриття (а) та графік функції τ_{xy} (y) в центральному перерізі (б)

У четвертому розділі дисертаційної роботи для практичного застосування результатів дослідження було розроблено:

- рекомендації з комплексного підвищення міцності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що мають поперечні тріщини (складаються із матеріалознавчих, конструктивних і технологічних підходів):

матеріалознавчі:

- застосування герметиків підвищеної деформативності за низьких температур та високою адгезійною здатністю до асфальтобетону;
- застосування армуючих матеріалів з мінімальними граничною відносною деформацією та коефіцієнтом лінійного температурного розширення;
- застосування литого полімерасфальтобетону для відновлення монолітності покриття з крупними поперечними тріщинами;

конструктивні:

- ремонт крупних тріщин на всю товщину асфальтобетонних шарів із застосуванням армуючих матеріалів;
- укріплення шарів основи та ґрунту земляного полотна в зоні поперечних тріщин;

технологічні:

- застосування просочування та ін’єктування шарів основи та ґрунту земляного полотна в зоні поперечних тріщин;
- застосування технології гарячого ресайклінгу для відновлення монолітності покриття з тріщинами;

- методику оцінювання характеру розтріскування та обґрунтування вибору технології і механізмів для відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу:
  - аналіз вихідних даних стосовно: категорії дороги (вулиці), складу та інтенсивності руху, конструкції дорожнього одягу, історії будівництва та ремонтів, наявності доступних матеріалів і механізмів;
  - візуальний огляд поверхні;
  - створення картографії дефектів;
  - здійснення (за необхідності) інструментальних вимірювань прогину (чаші прогину), відбір кернів (вирубок), випробування асфальтобетону, ґрунту тощо;
  - встановлення різновидів поперечних тріщин згідно їх класифікації;

- розроблення варіантів технології відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу;
- виконання техніко-економічного аналізу варіантів технології та вибір і обґрунтування раціонального варіанту для реалізації.

- методику розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини:
  - збір і аналіз вихідних даних;
  - розробка варіантів конструкції дорожнього одягу;
  - розрахунок конструкції за ГБН В.2.3-37641918-559;
  - визначення міри вичерпування довговічності від дії активного напруження зсуву *T(t)* протягом часу спостереження *t* на характерних етапах експлуатації асфальтобетонного покриття;
  - визначення часу до моменту настання порушення критеріїв граничного стану за довговічністю;
  - вибір найбільш раціонального варіанту, за результатами техніко-економічного обґрунтування.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача, що полягає у підвищенні довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними температурними тріщинами в асфальтобетонному покритті.

Основні результати полягають у наступному:

1. Виконано аналіз існуючого стану питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини. Встановлено, що у багатьох підходах використовувались розв'язки теорії пружності, що не дозволяє відображати реальну поведінку дорожньо-будівельних матеріалів. В останні роки існуючі дослідження оцінювання впливу поперечних тріщин на довговічність дорожнього одягу широко застосовують методи скінченних елементів для прогнозування термонапруженого стану дорожнього одягу, ураховуючи також термо-в'язко-пружну поведінку матеріалів. На практиці існуючі методи забезпечення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, головним чином, ґрунтуються на застосуванні армуючих матеріалів, герметизації покриття за рахунок зароблення тріщин герметиками, а також при влаштуванні захисних шарів з литих емульсійно-мінеральних сумішей або поверхневої обробки. Однак це питання не достатньо вивчене з урахуванням комплексного впливу факторів та термо-реологічних властивостей матеріалів.
2. На основі застосованих теоретичних аспектів дослідження, розроблено метод оцінювання впливу поперечних температурних тріщин в асфальтобетонному покритті на довговічність дорожнього одягу від комплексного впливу чинників з урахуванням термо-реологіних властивостей асфальтобетону. Цей метод полягає у використанні показника міри вичерпування довговічності протягом усього строку експлуатації за критерієм граничного стану для ґрунтової основи і шарів з незв'язних та малозв`язних матеріалів – за опором зсуву.
3. Удосконалено метод розрахунку нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті. Удосконалення методу розрахунку нежорсткого дорожнього одягу полягає у врахуванні зменшення розподільчої здатності покриття у зоні тріщин та несної здатності ґрунту земляного полотна і шарів з

незв’язних та малозв`язних матеріалів через їх перезволоження, внаслідок потрапляння інфільтраційної вологи.

4. Удосконалено метод оцінювання ефективності герметизуючих матеріалів при ремонті асфальтобетонного покриття з поперечними тріщинами, що полягає у визначенні горизонтальних температурних напружень, які спричиняють розрив когезійних зв’язків герметика та/або адгезійних зв’язків герметика з покриттям.

5. Виконані експериментальні дослідження впливу факторів на підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті дозволили узагальнити характер і види температурних тріщин та розробити їх класифікацію, що враховує такі ознаки: ширину розкриття; характер звивистості; момент утворення; місце утворення; довжину; причини утворення. Визначені розрахункові термомеханічні характеристик асфальтобетону та герметиків. За допомогою числового аналізу при використанні методу скінченних елементів було досліджено вплив укріплення основи під поперечною тріщиною на напружено-деформований стан дорожнього одягу. Числові розрахунки показали, що включення плит з більш високими значеннями модуля пружності і граничними напруженнями в зоні концентрації напружень дорожнього покриття дозволяє локально зміцнити шарову конструкцію і збільшити загальну несну здатність системи і підвищити довговічність у 2-4 рази.

6. Розроблено заходи для практичного застосування результатів дослідження, в тому числі: рекомендації з комплексного підвищення міцності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що мають поперечні тріщини, залежно від категорії дороги і характеру руйнувань; методику оцінювання характеру розтріскування асфальтобетонного покриття та обґрунтування вибору технології і механізмів для відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу; заходи із відновлення монолітності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу після утворення температурних тріщин. Герметизація тріщин в асфальтобетонному покритті дозволяє зменшити обсяги ямкового ремонту у 1,5–2,0 рази.

7. Застосування результатів досліджень було підтверджено відповідними довідками із таких організацій: ДП ДерждорНДІ, САД у Київській обл., САД у Харківській обл., BUCHER, CoST, Crafco, StraBmayr. Результати досліджень знайшли своє впровадження в навчальному процесі НТУ на факультеті транспортного будівництва при читанні лекцій, проведенні практичних занять, виробничих практик та написанні дипломних проектів.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- Монографії:

1. Густєлєв О.О., Гуляєв В.І., Гайдачук В.В., Мозговий В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів // Монографія – К. : НТУ, 2018. – 252 с.

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

2. Густєлєв О.О., Гайдачук В.В., Радкевич А.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термонапружене деформування шаруватого покриття на вгнутій ділянці дороги // Опір матеріалів і теорія споруд.: наук.-техн. збірник. 2019. Вип. № 102. С. 180-190.

3. Густелев А.А., Мозговой В.В., Шевчук Л.В. Анализ механизма подкрепления армирующей сеткой многослойного покрытия // Вестник КаздорНИИ: научно-практ. журнал. 2019. №1-2 (61-62). С. 141-148.

4. Густєлєв О.О. Оцінювання ефективності герметизуючих матеріалів при ремонті асфальтобетонного покриття з поперечними тріщинами // Галузеве машинобудування, будівництво.: збірник наукових праць. 2019. Вип. № 1 (52). С. 166-169.

- Статті у фахових виданнях:

5. Густєлєв О.О., Осипов В.О. До питання вибору матеріалів для влаштування горизонтальної дорожньої розмітки на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі // Нові технології в будівництві: наук.-техн. журнал. 2018. Вип. № 34. С. 47-49.

6. Густєлєв О.О., Мозговий В.В., Гайдайчук В.В., Заєць Ю.О., Шевчук Л.В., Куцман О.М. Механічні ефекти і парадокси явищ термопружного напруження в конструкціях дорожніх одягів // Дороги і мости: збірник наукових праць. 2018. Вип. № 18. С. 128-145.

7. Густєлєв О.О., Гайдайчук В.В., Мозговий В.В., Шевчук Л.В. Аналіз деформування дорожного покриття на металевій плиті Південного моста // Промислове будівництво та інженерні споруди: наук.-виробн. журнал. 2019. № 1. С. 31-38.

8. Густєлєв О.О., Гуляєв В.І., Мозговий В.В., Шлюнь Н.В., Куцман О.М., Баран С.А. Дослідження напружено-деформованого стану дорожнього одягу з укріпленою основою під поперечними тріщинами і швами // Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»: наук.-техн. збірник. 2019. Вип. № 1 (43). С. 26-38.

- Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Густелев А.А., Кияшко И.В. Концепция совершенствования технологии ремонтов слоев дорожных одежд на основе органических вяжущих. Современные технологии и материалы в дорожном строительстве: материалы международной научно-практической конференции. Харьков: 2006. С. 68-70.

10. Густєлєв О.О., Жданюк В.К. On the issue of repair technique of asphalt pavements with throught-the-thickness temperature cracks. (04.10.2006 – 06.10.2006). Warszawa : I Polski kongres dogowy, 2006. С. 485-490.

11. Густелев А.А., Титарь В.С.. Мартымьянов С.В. Основные причины трещинообразования на асфальтобетонных покрытиях и пути их устранения. Научные исследования наносистемы и ресурсосберегающие технологии в стройиндустрии : мат. XVIII междун. наук.-практ. конф. (18.09.2007 – 19.09.2007 р.). Белгород, 2007. С. 144-149.

12. Густелев А.А., Кияшко И.В., Минаков О.С. Повышение трещиностойкости асфальтобетонных дорожных покрытый. Эффективные материалы, технологии, машины и оборудование для строительства и эксплуатации современных транспортных сооружений.: мат. междун. наук.-практ. конф. молодых ученых (03 – 04 декабря 2009 г.). Белгород, 2009. С. 144-149.

13. Густєлєв О.О., Осипов В.О. Вивчення впливу підвищених пішохідних переходів на курсову стійкість автомобілів. Новітні технології в автомобілебудуванні, транспорті і при підготовці фахівців : наук. праці міжн. наук.-практ. та наук.-метод. конф., присв. 85-річчю кафедри автомобілів з Дня народж. проф. А. Б. Гредескула (20 – 21 жовтня 2016 р., м. Харків). Харків, 2016. С.76.

14. Густєлєв О.О., Осипов В.О. Щодо впливу штучних нерівностей покриття автодоріг на курсову стійкість автомобілів. Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки : мат. всеукр. наук.-техн. конф. (26 – 27 квітня 2017 р., м. Полтава). Полтава, 2017.

15. Густєлєв О.О., Осипов В.О. Огляд інженерних рішень, які спроможні мінімізувати аварійність за участю автомобільного транспорту. Автомобільний транспорт і автомобілебудування. Новітні технології і методи підготовки фахівців. (19 – 20 жовтня 2017 р., м. Харків). Харків, 2017. С. 81-82.

16. Густелев А.А., Гайдайчук В.В., Мозговой В.В., Шевчук Л.В., Шлюнь Н.В. Термонапряженное состояние дорожных покрытий. Сучасні методи і проблемно-орієнтовані комплекси розрахунку конструкцій і їх застосування у проектуванні і навчальному процесі: ІІІ міжн. наук.-практ. конф. (24 – 25 вересня 2019 р., м. Київ). Київ, 2019.

- Свідоцтва та патенти:

17. Патент України на корисну модель № 113145 Україна, МПК (2017.01), E01F9/00. Спосіб влаштування горизонтальної дорожньої розмітки на проїздній частині доріг та вулиць / Густєлєв О.О. Дата реєстрації 10.01.2017 р.

18. Патент України на корисну модель № 118040 Україна, МПК (2017.07), E01C23/14. Спосіб плавлення снігу на стаціонарному снігоплавильному пункті за допомогою умовно теплих господарсько-побутових вод/ Густєлєв О.О. Дата реєстрації 25.07.2017 р.

- Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

19. Густелев А.А., Кияшко И.В., Стороженко М.С. Влияние сквозных поперечных трещин на условия службы дорожных конструкций. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво: наук.-техн. збірник. 2004. Вип. № 71. С. 36-39.

20. Густєлєв О.О., Стороженко М.С., Кіяшко І.В. Формування однорідної якості асфальтобетону в залежності від параметрів і режимів технологічного процесу. // Дороги і мости. Збірник наукових статтей. Київ. 2006. Вип. № 5. С. 305-311.

АНОТАЦІЯ

Густєлєв О. О. Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

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

У дисертаційній роботі розглянуто стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні температурні тріщини, проаналізовано особливості експлуатації дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, показано існуючі заходи підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, висвітлено існуючі методи оцінювання довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, а також мету і задачі досліджень.

Наведені теоретичні аспекти дослідження довговічності асфальтобетонного покриття нежорского дорожнього одягу з поперечними тріщинами. Розглянуто основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття до та після утворення поперечних температурних тріщин. Розвинуто метод оцінювання ефективності герметизуючих матеріалів при ремонті асфальтобетонного покриття з поперечними тріщинами. Виконано дослідження комплексного впливу транспортних навантажень та коливань температури на напружено-деформований стан конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини за допомогою методу скінченних елементів.

Виконано експериментальні дослідження довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті, що полягали у проведенні натурних обстежень, лабораторних випробувань та числового експерименту.

Розроблено: практичні рекомендації з комплексного підвищення міцності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини, в залежності від категорії дороги і характеру руйнувань; оцінювання характеру розтріскування та обґрунтування вибору технології і механізмів для відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу; відновлення монолітності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу після утворення температурних тріщин.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, довговічність, напружено-деформований стан, нежорсткий дорожній одяг, поперечні температурні тріщини.

АННОТАЦИЯ

Густелев А.А. Повышение долговечности нежесткой дорожной одежды с поперечными трещинами в асфальтобетонном покрытии. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Национальный транспортный университет, Киев, 2019.

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

В разделе 1. Рассмотрено состояние вопроса обеспечения долговечности доржного одежды с асфальтобетонным покрытием, имеющим поперечные температурные трещин. Проанализированы особенности эксплуатации дорожной одежды с поперечными трещинами в асфальтобетонном покрытии. Показано существующие меры повышения долговечности дорожной одежды с поперечными трещинами в асфальтобетонном покрытии. Освещены существующие методы оценки долговечности дорожной одежды с поперечными трещинами в асфальтобетонном покрытии.

В разделе 2. Приведенные теоретические аспекты исследования долговечности асфальтобетонного покрытия нежорского дорожной одежды с поперечными трещинами. Рассмотрены основные расчетные схемы работы асфальтобетонного покрытия до и после образования поперечных температурных трещин.

Развит метод оценки эффективности герметизирующих материалов при ремонте асфальтобетонного покрытия с поперечными трещинами. Выполнены исследования комплексного воздействия транспортных нагрузок и колебаний температуры на напряженно-деформированное состояние конструкции дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием, имеет поперечные трещины с помощью метода конечных элементов.

В разделе 3. Проведены экспериментальные исследования долговечности дорожной одежды с поперечными трещинами в асфальтобетонном покрытии, заключались в проведении натурных обследований, лабораторных испытаний и численного эксперимента.

Раздел 4. Разработанные практические рекомендации по комплексному повышению прочности дорожной одежды с асфальтобетонным покрытием, имеющим поперечные трещины, в зависимости от категории дороги и характера разрушений; оценивания характера растрескивания и обоснование выбора технологии и механизмов для восстановления несущей способности конструкции дорожной одежды восстановление монолитности асфальтобетонного покрытия нежесткой дорожной одежды после образования температурных трещин.

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

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, долговечность, напряженно-деформированное состояние, нежесткая дорожная одежда, поперечные температурные трещины.

ABSTRACT

Gustieliev O.O. The flexible pavement of increased durability with transverse cracks in the asphalt pavement. – Not for publishing.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 – road and airports. – National Transport University, Kyiv, 2019.

The dissertation deals with the state of the question of ensuring the asphalt layers durability of flexible pavement -with transverse temperature cracks, analyzes the peculiarities of operation of road clothing with transverse cracks in the asphalt concrete durability of cross-section cracks in asphalt pavement as well as purpose and rear research.

The theoretical aspects of asphalt layers durability of flexible pavement with transverse cracks are presented. The basic calculation schemes of the work of asphalt concrete coating before and after the formation of transverse temperature cracks are considered. A method for evaluating the effectiveness of sealing materials in the repair of asphalt concrete with transverse cracks has been developed. The complex influence of transport loads and temperature fluctuations on the tensile-deformed condition of road construction with asphalt-concrete pavement having transverse cracks using the finite element method has been investigated.

Experimental studies of the durability of road clothing with transverse cracks in the asphalt pavement were conducted, which consisted of conducting field inspections, laboratory tests and a numerical experiment.

Practical recommendations on complex increase of durability of asphalt pavement roads having transverse cracks, depending on the category of road and the nature of the destruction; assessing the nature of cracking and justifying the choice of technology and mechanisms for restoring the bearing capacity of roadwear construction; restoration of solidity of asphalt concrete covering of non-rigid road clothing after formation of temperature cracks.

Key words: asphalt pavement, durability, stress-strain state, flexible pavement, transverse temperature cracks.