

ВІДГУК

офіційного опоненту – доктора технічних наук, професора

- Золотарьова Віктора Олександровича

на дисертацію Густелева Олександра Олександровича

«Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу

з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті»

Актуальність обраної теми

Тріщиноутворення є одним із найбільш поширених процесів руйнування нежорстких дорожніх одягів, що супроводжують їх на всіх стадіях життєвого циклу. Внаслідок впливу кліматичних, транспортних та технологічних умов виникає багато різноманітних тріщин: поперечні температурні, повздовжні технологічні, сітчасті тріщини старіння та втомленості, відображені та конструктивні. Серед цих тріщин найбільш небезпечними та такими, наслідки від дії яких важко усуваються, є поперечні тріщини. Вони виникають через недостатню деформативність шарів покриття та температурну усадку. Їх небезпечність зумовлена тим, що вони сприяють проникненню води на різні глибини, включно до ґрунтового шару, через що утворюється зона послаблення та руйнування прилеглому у просторі навколо них. Збільшення навантаження на вісь та інтенсивності руху примножує негативні наслідки такого руйнування для подальшої експлуатації дорожніх одягів.

З огляду на це тема дисертаційної роботи є **актуальною**. Про її актуальність також свідчить зв'язок роботи з напрямками плану НДР Національного транспортного університету (д/б № 0119U101797 та д/б № 53-19 0119U101525).

Обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій

Основні наукові положення дисертації полягають у визнанні факту зниження несучої здатності та довговічності асфальтобетонних покриттів за рахунок наростаючого з кожним періодом формування тріщин, що руйнують верхній шар (покриття) дорожнього одягу, спричиняють складнощі дорожнього руху та послаблюють несучу здатність дорожньої конструкції. В зв'язку з цим виникає необ-



хідність розробки методів передбачення інтенсивності тріщиноутворення у часі та шляхів попередження руйнувань на стадії проектування складу шарів дорожнього одягу та його влаштування, а також розробки рішень щодо зупинення розвитку тріщин та відновлення його несучої здатності конструктивними та технологічними шляхами.

Основний механізм тріщиноутворення полягає у температурному скороченні полотна дороги, що призводить до виникнення в ньому розтягуючі напружень, які перевищують міцність асфальтобетону в покритті. Крім того, у осінній та весняний період тріщини виконують роль вертикальних каналів, по яким вода досягає нижніх несв'язних шарів та ґрунтової основи, послаблює їх, що супроводжується зниженням розрахункової жорсткості дорожнього одягу та утворенням супутніх дефектів (сітки тріщин та вибоїни).

Виходячи з цих обставин в роботі сформульовані послідовні задачі: розробити методи оцінювання впливу поперечних температурних тріщин на життєвий цикл дорожнього одягу, що здійснено розробкою критерія граничного стану забезпечення довговічності, яким враховується міру вичерпування довговічності на різних стадіях життєвого циклу дорожнього одягу; перевірити засади цих методів шляхом використання сучасних методів скінчених елементів, що дозволяє визначати величину та напрямок нормальних та дотичних напружень; розробити практичні шляхи попередження тріщиноутворення та усунення наслідків цього явища (що проілюстровано багатьма прикладами). Таким чином досягнута мета, що полягає у підвищенні довговічності нежорсткого дорожнього одягу, на якому утворюються поперечні температурні тріщини.

Наукова новизна досліджень

Наукова новизна досліджень, наведених у дисертаційній роботі, полягає, перед усім, у комплексному підході вивчення причини та кінетики тріщиноутворення аналітичними методами з залученням досягнень сучасної реології, термофлуктуаційної теорії міцності твердих тіл, з зорієнтованої на визначення довговічності (часу життя) дорожнього одягу, а також у вивченні напружено-

деформаційного стану конструкції дорожнього одягу з залученням методів скінчених елементів. Конкретна новизна з практичного сенсу полягає у визначенні найбільш ефективних шляхів попередження негативних наслідків тріщиноутворення на стадії експлуатації дорожніх одягів, а також розробка методів оцінки тріщин та їх класифікації.

Повнота викладу основних положень дисертації в опублікованих працях

В матеріалах дисертації наведено список праць, який включає 20 робіт із них 18 можна ідентифікувати як такі, що повною мірою відповідають темі та матеріалам дисертації. Опонент не певен, що стаття під номером 5 автореферату органічно пов'язана з темою дисертації. Тим не менш герметизація та розмітка базуються на одних і тих же фізико-механічних явищах адгезії та когезії.

Опонент не певен у відповідності темі праці № 14 щодо впливу штучних нерівностей покриття автодоріг на курсову стійкість автомобілів. Тим не менш не можна заперечувати той факт, що нерівності, утворені тріщинами, особливо розгалуженими, впливають на комфортабельність і безпеку руху автомобілів. Крім того необхідно акцептувати увагу на більш ніж 15-річній зацікавленості пошукача у вивченні поперечних тріщин (робота № 19, 2004 рік).

Аналіз змісту дисертації

Дисертація містить: вступ, чотири розділи та загальні висновки. Текст дисертації викладено на 120 сторінках, вона супроводжується 155 найменуваннями літературних джерел та 5-тьма додатками.

Розділ 1 присвячений стану питання за темою дисертації. В ньому розглядаються особливості експлуатації дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті. При цьому дисертант виходить з більш широкого уявлення про експлуатаційні властивості, яке полягає у дослідженні довговічності нежорсткого дорожнього одягу. Автор підкреслює розповсюдженість асфальтобетонних покриттів, що заслуговує на увагу, враховуючи увагу на разі приділя-

ється проблемі конкурентності нежорстких та жорстких дорожніх одягів. Позиція, викладена в дисертації відносно умов роботи асфальтобетонних покриттів та причин їх руйнування свідчить про доцільність попередження поперечних тріщин, бо саме вони у значній мірі призводять до зниження несучої здатності нежорсткої конструкції дорожнього одягу.

В підрозділі 1.1 аналізуються особливості руйнування покриття: (форма, глибина, тріщин), а також їх вплив на умови руху транспортних засобів та витрати на їх усунення. До переліку вчених, що приведено в підрозділі варто було б додати першого в історії України дослідника тріщиноутворення на асфальтобетонних покриттях Г.К.Сюньї, а також Рас попова М.М. та Гордєєва С.О.

Підрозділ 1.2 носить назву «Існуючі заходи підвищення довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті». Ця назва носить подвійний зміст. З неї витікає, що мова йде про підвищення довговічності покриттів, які вже мають тріщини. В цьому разі доцільно аналізувати засоби відновлення суцільності покриття, тобто подовження його життєвого циклу. В той же час вкрай важливим є передбачення тріщиностійкості ще на стадії проектування дорожнього одягу. Це передбачається підходом, названим в 1.2 «матеріалознавчим». Він передбачає вибір оптимальних асфальтобетонів та їх складових, використання армованих асфальтобетонних покриттів. Такий же сенс вкладається в «конструктивний» та «технологічний» заходи. В той же час у 1.2 розглядаються заходи з ремонту покриттів, на яких уже існують тріщини, наприклад, герметизація швів. Складається враження про доцільність розмежування заходів попередження тріщиноутворення та заходів усунення вже наявних тріщин.

Логічною складовою розділу 1 є розгляд (підрозділ 1.3) питання щодо кількісної оцінки тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті. В ньому увага акцентується на тому, що механізм утворення поперечних тріщин полягає у виникненні температурних розтягуючих напружень в асфальтобетонних шарах за рахунок стиснення стрічки покриття. Цьому також сприяють мікро напруження в міжзерновій зоні асфальтобетону, а також тріщини нижче лежачих шарів. Виходячи з цього, дисертант наголошує на двох шляхах уповільнення тріщиноутво-

рення: підвищення швидкості релаксаційних процесів в асфальтобетоні або підвищення міцності на розтяг за розрахунок армування, а також конструктивні заходи щодо влаштування еластичних прошарків, оптимізації геометрії плит тріщиновато-блокової основи, збільшення товщини покриття.

Особливу увагу приділено критеріям прогнозування тріщноутворення. Серед них – критичні напруги та деформації. Перші мають бути нижчими за допустимі, а другі навпаки. Розглядається історія визначення цих характеристик, з 30-их років минулого сторіччя до наших часів. Звертається увага на необхідність врахування реологічних характеристик деформування асфальтобетонів.

Підрозділу 1.3 притаманний логічно-історичний підхід від детермінованого розгляду формування температурних напружень в асфальтобетоні, як пружньому тілі, до реологічного аналізу (з врахуванням співвідношень між виникаючими напруженнями та релаксаційними характеристиками асфальтобетону).

На жаль, диссертант не звернув увагу на роботу В.Арманда щодо формування критичних напружень в асфальтобетоні та роботи В.С.Титаря щодо зниження показника життєвого циклу (умовної довговічності) з переходом до низьких критичних температур.

Розділ 2. «Теоретичні аспекти дослідження довговічності асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами». В підрозділі 2.1 цього розділу викладаються засади запобігання утворення та розвитку тріщин у асфальтобетонному покритті, що базуються на припущенні про відповідність за це ґрунтової основи та незв'язних та малозв'язних матеріалів. В основу методу покладено використання інтегральної характеристики втрати довговічності у часі, з врахуванням «історії» ремонтних заходів.

Виходячи з цього, запропоновано метод розрахунку нежорсткого одягу з поперечними тріщинами (2.2). Метод передбачає врахування показника визначення вичерпування довговічності на різних етапах служби покриття від початку експлуатації до утворення тріщини, до моменту герметизації тріщин. А також від моменту герметизації (зменшення вологості) до відновлення несучої здатності за рахунок ремонтних заходів у зоні тріщин, а потім від відновлення несучої здатно-

сті до настання критичних значень критеріїв граничного стану за довговічністю. Передбачається, що герметизація відновлює несучу здатність. Але згодом настає границя довговічності. Можна припустити, що після цього покриття неспроможне виконувати свої функції.

В якості головного фактору руйнування виступає несучка здатність (опір зсуву) ґрунтової основи. На погляд опонента такий підхід може бути плідним для прогнозування утворення вибоїн в дорожньому одязі. Крім того, використання ступеневої залежності довговічності Г.М.Бартенева до зволоження ґрунтів, було б доцільно додатково аргументувати.

Завершальним етапом визначення критичного стану покриття є встановлення кількості циклів розрахункового навантаження, яке може витримати покриття під дією горизонтального нормативного розтягуючого напруження.

З метою більш глибокого сприйняття запропонованої цієї закономірності було б бажано надати параметри швидкості деформування та температури визначення міцності на розтяг при згині асфальтобетону.

В 2.3 розглядається розрахункова схема роботи асфальтобетонного покриття при зміні температури без врахування горизонтальних нормальних навантажень після накопичення температурних тріщин за перший період експлуатації покриття. Для запобігання розвитку тріщин вони герметизуються. При цьому температурні напруження передаються на мастику, викликаючи когезійний та адгезійний опір в ній. Дієздатність мастичного шару буде забезпечуватись його релаксаційною здатністю.

В роботі також наводяться вирази, що дозволяють оцінити напруження та деформації, які що виникають у мастичному шарі. Термореологічний аналіз роботи шару покриття дав можливість визначити міру пошкодженості герметичних шарів і відповідно прогнозувати термін додаткової довговічності асфальтобетонного покриття з герметизованими тріщинами.

Підрозділ 2.4 присвячено дослідженню напружено-деформованого стану конструкції дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям, що має поперечні тріщини. Необхідність такого дослідження витікає з потреби прогнозування пода-

льшої експлуатаційної здатності конструкції. Це дослідження виконано за методологією, яка ґрунтується на методі скінчених елементів. В цьому випадку автор притримується результатів досліджень Б.С.Радовського, з яких витікає можливість використання замість в'язко-пружних характеристик пружних.

Ці дослідження показали непридатність класичним підходам епюру розподілу нормальних та дотичних напружень по вісі тріщини. Значні перенапруження свідчать про вірогідність повної втрати несучої здатності конструкції дорожнього одягу: при навантаженні 0,9 МПа нормальні стискуючі напруження досягають майже 5 МПа, а дотичні напруження 1,8 МПа. Рекомендації, що витікають з цього спонукають до зменшення транспортних навантажень взимку. Втім відомо, що найнебезпечнішим часом роботи конструкції є період весіннього різкого послаблення ґрунтових шарів дорожнього одягу.

Розділ 3 «Експериментальне дослідження довговічності дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті». В першому підрозділі цієї частини дисертації наводяться відомості про натурне дослідження покриттів з тріщинами. Це дослідження виконувалось візуальним обстеженням. Отримані результати є цікавими та корисними. З них витікає, що двошарові покриття набагато стійкіші ніж однашарові, при цьому відстань між тріщинами змінюється у часі від 10-40 м до декількох метрів. На жаль, в дослідженнях не зафіксовано кінетику накопичення тріщин після кожного зимового сезону. Тим не менш, результатів досліджень вистачило для класифікації видів тріщин за шириною геометрією, відстанню між ними.

При цьому слід зауважити, що з часом волосяні тріщини становляться дрібними і навіть середніми. Більше того, вони розподіляються на продовгуваті пластини і відшаровуються від нижнього шару. Можна припустити, що цей різновид тріщин не пов'язаний з температурою, бо вони утворюються при укочуванні асфальтобетонного шару.

Слушними та корисними є виміри прогинів поверхні. Вони якісно погоджуються з результатами визначення напружень методом скінчених елементів. Автор аргументовано підкреслює, що причиною тріщиноутворення є комплекс

порушень на стадії проектування, ущільнення, передчасне надмірне завантаження недобудованих об'єктів.

Приклади герметизації тріщинуватих покриттів, свідчать про необхідність прискіпливого ставлення до ремонтних робіт. Про це ж свідчать і наведені в дисертації (рис.3.1) приклади різних способів боротьби тріщиноутворенням.

У 3.2 розглянуто властивості матеріалів для ремонту тріщинуватих покриттів. Для цього були використані стандартні та створені кафедрою методи. Один з них (секторний прес) використано для перевірки впливу армування асфальтобетону на його втомленість.

В 3.3. виконано чисельний аналіз підвищення довговічності нежорсткого одягу з поперечними тріщинами. За його результатами зроблено наступні висновки. Нанесення штучних надрізів в моделі дорожнього одягу приводить до істотного збільшення концентрації напружень у шарі, а введення підкріплюючих плит призводить до підвищення модулів пружності від $1 \cdot 10^4$ МПа до $3 \cdot 10^4$ МПа. При цьому максимальні напруження зміщуються у напрямку підкріплюючої плити. Ефективність дії такого підсилення зростає зі збільшенням розмірів плит. Це свідчить про доцільність укріплення в районі пошкодження. Таким чином, доведена доцільність про посилення конструкції, що запобігає передчасному руйнуванню та розшаруванню дорожнього одягу.

Розділ 4 «Практичне застосування результатів досліджень».

В цьому розділі розглядаються заходи: з підвищення довговічності (продовження життєвого циклу) покриття, на якому утворились поперечні тріщини (4.1); з оптимізації технологічних процесів влаштування покриттів (4.2), з відновлення монолітності (суцільності) покриття (4.3). Виходячи, з факту, що об'єктом дослідження є саме покриття то розділ 4 фактично може розглядатись як частина розділу «Експериментальні дослідження». Бо макетування дорожнього одягу в лабораторних умовах практично неможливе.

В цьому розділі віддзеркалюється дуалізм всієї роботи про який вже йшлося, оскільки в ньому мова йде передусім про заходи попередження тріщино-

утворення на стадії проектування, тобто апріорі проектування суцільного полотна, а потім про шляхи усунення тріщин.

Серед заходів добудівного періоду слушними є: врахування напружено-деформативного стану на основних зі змінними модулями пружності по глибині; врахування кліматичних умов і відповідно уточнення розрахункових температур (про що йдеться в системі SHRP Superpave); армування покриття синтетичними сітками, влаштування тріщинопририваючих прошарків. Пропозиції щодо застосування бітумів, модифікованих полімерами (БМП), та оптимального вмісту БМП є очевидними на протязі багатьох років та по іншим причинам. Згадка про термопластичні полімери є небажаною, навіть шкідливою.

Що стосується відновлення експлуатаційної надійності покриття, на якому утворились тріщини на стадії експлуатації, то доцільними є: вчасне встановлення початку (зародження) тріщиноутворення; визначення залишкового ресурсу покриття та дорожньої конструкції, а також вибір оптимального технологічного варіанту запобігання подальшому тріщиноутворенню.

Щодо технологічних заходів на стадії влаштування покриття, то вони зводяться до обов'язковості виконання робіт принаймі згідно діючим нормативним документами або краще. Слід зауважити технологічні заходи в авторефераті визначені краще, ніж у дисертації.

Пропозиції з відновлення монолітності тріщинуватих покриттів включають нарізання швів у новому покритті (тобто у шарі посилення); герметизуванню швів мастикою; використання бітумополімерних стрічок, полімербітумних мастик, литих асфальтобетонів тощо.

Загальне враження від рекомендацій щодо усунення тріщин зводиться до того, що цей процес потребує високоякісних матеріалів, сучасних інструментальних заходів та високої культури виконання робіт. Крім того, на погляд опонента тема дисертації не стосується міроприємств по усуненню відображених тріщин в шарах асфальтобетону, влаштованих поверх цементного шару.

Обґрунтованість висновків і рекомендацій

Висновок 1. В ньому наголошується на продуктивності використання методів скіпчених елементів для розвитку уявлень про напружений стан конструкцій нежорстких дорожніх одягів. Зокрема це плідно використано для встановлення розробки нормальних та дотичних напружень поряд з місцем розташування тріщин порівняно з їх розподілом у суцільному шарі. В ньому також наведені існуючі методи попередження тріщиноутворення та усунення його негативного наслідків після формування тріщин в асфальтобетонному шарі.

Висновок 2. В ньому підсумовуються дисертаційні пошуки щодо методів оцінки впливу поперечних тріщин на несучу здатність асфальтобетонних шарів. Для цього адаптовано розроблений на кафедрі метод визначення показника міри втрати несучої здатності, викликаной появою тріщин. При цьому в якості критерію граничного стану прийнято опір зсуву слабих шарів. Цей підхід якісно погоджується результатами аналізу методом скінчених елементів.

Висновок 3. У висновку підкреслюється необхідність удосконалення розрахунку нежорсткого одягу шляхом врахування зменшення несучої здатності його шарів через їх зволоження. Це удосконалення вірогідно має бути прийнятним для випадку перезволожених ґрунтів у деяких регіонах країни та для спеціальних спорудах.

Висновок 4 стосується необхідності забезпечення адгезійних властивостей герметика до поверхні тріщин з врахуванням горизонтальних напружень, що діють у безпосередній близькості від тріщин.

Висновок 5 містить інформацію про запропоновану класифікацію температурних тріщин, яка враховує їх геометрію, викривленість, а також про показники асфальтобетону та герметики. За результатами чисельного аналізу показано роль

основи в зміні розподілу напружень в зоні їх концентрації (поблизу гирла тріщин), а також доведена необхідність використання армованих волокон, що мають коефіцієнт лінійного розширення, близький до того, який притаманний асфальтобетону.

Висновок 6. У висновку викладено заходи щодо підвищення міцності тріщинуватого дорожнього одягу та відновлення його монолітності.

Висновок 7 містить документи, що свідчать про дієздатність дисертаційних розробок. Зокрема такі свідчення надали іноземні компанії. Копії заключень в матеріалах захисту.

Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації

Зауваження щодо змісту

З назви дисертації витікає, що існує дорожній одяг з поперечними тріщинами. Насправді мова йде про одяг в якому тріщини формуються у часі. На думку опонента більш наближеним до змісту могла бути назва «Гальмування розвитку поперечних тріщин – запорука підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів». Інші зауваження щодо змісту дисертації викладені в аналізі змісту.

Зауваження щодо оформлення тексту дисертації стосуються стилістики фразоутворень

Стр.3 Тому в районах тріщин утворюється ... колійність. Там же: Ремонт ... процесом, що містить багато ручної праці. Витрачено великої кількості енергії. Стр.4 Підходу ... ґрунтуються на застосуванні армуючих матеріалів. Стр.5 і скрізь «несна здатність, замість несуча (на погляд опонента). Стр. 23 «дорожнього одягу – разом. Стр.28 Абзац перевантажений прізвищами вчених, що присвятили свої дослідження довговічності нежорсткого дорожнього одягу [1–103] та стр. 36. Стр.30 «матеріалознавчі ... заходи». Стр.34 «тепловий спис» (про що йдеться). Стр.37 «між покриттям та підставкою». Стр.38 «багато хто з запропонованих ме-

тодів». Стр.42 «уявлень про міцності». Стр.49 «Б.Г.Бартенев» замість Г.М. Стр.51 «тріщино утворення». Стр.53 Підрисуючий текст. Стр.52 «... в якому потрібні». Стр.68 Повтор фрази щодо «клавішного ефекту». Стр. 80 Невірне позначення: рис.6.1. Стр.86 назва «Визначення ... дорожньо-будівельні матеріали». Стр.90 Рис.3.6 Не наведено назву по вісям. Стр.100 «Непідкріпленої дороги» може «не- посиленої».

Висновок про відповідність встановленим вимогам

Дисертаційна робота Густелева О.О. «Підвищення довговічності нежорсткого дорожнього одягу з поперечними тріщинами в асфальтобетонному покритті» за своєю актуальністю, що полягає у розробці шляхів попередження та усунення шкідливих наслідків тріщиноутворення в жорстких дорожніх одягах; за своєю науковою новизною, що відбивається у розробці теоретичних основ тріщиноутворення в асфальтобетонних покриттях та встановлення шляхів прогнозування їх довговічності; за практичним значенням, що полягає у розробці класифікації тріщин та виробничих заходів щодо підвищення довговічності тріщинуватих асфальтобетонних шарів, відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника, затвердженого постановою Кабінетів Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 5671.2.

Офіційний опонент, професор кафедри
технології дорожньо-будівельних
матеріалів і хімії Харківського національного
автомобільно-дорожнього університету,
доктор технічних наук, професор

В.О. Золотарьов

