

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

АКСЬОНОВ СЕРГІЙ ЮРІЙОВИЧ

УДК 625.852

**МЕТОД РОЗРАХУНКУ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО
ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛЕВИХ ТРАНСПОРТНИХ СПОРУДАХ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2016

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Онищенко Артур Миколайович,
Національний транспортний університет,
доцент кафедри дорожньо-будівельних матеріалів і хімії, м.
Київ

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

кандидат технічних наук, доцент
Даценко Володимир Михайлович,
Державне підприємство «Центр науково-технічного
супроводу дорожніх робіт та сертифікації дорожньої
продукції» (ДП «Дорцентр»), заступник директора з
наукової роботи, м. Київ

Захист відбудеться «18» березня 2016 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. Суворова, 1, зал засідань (ауд. 333).

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

Автореферат розісланий «_____» _____ 2016 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.І. Каськів

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Найбільш розповсюдженими на ортотропній плиті автодорожніх мостів (далі – металевих транспортних споруд) є асфальтобетонні покриття. Недоліком такого покриття є виникнення як поздовжніх так і поперечних тріщин. Причина виникнення тріщин в асфальтобетонному покритті, полягає у неможливості скорочення його розмірів під час охолодження, при різкому зниженні температури навколишнього середовища, а також у результаті виникнення розтягуючих напружень, внаслідок дії пневматичних коліс транспортних засобів, що призводить до появи поперечних тріщин. Температурні тріщини є первинною та головною причиною виникнення інших видів руйнувань (сітки тріщин, зсуви та ін.). Внаслідок різниці коефіцієнтів лінійного температурного розширення асфальтобетону та металу прогонової будови, відбувається руйнування зв'язків між ними. Потрапляння води в зону контакту між покриттям та основою, при швидкому проїзді транспортних засобів, призводить до руйнування матеріалу в контактній зоні.

Відмінністю роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, порівняно із таким покриттям на транспортних спорудах із залізобетонною основою, є значна її деформативність. Вертикальні переміщення ортотропної плити, під час руху транспортних засобів, викликають в асфальтобетонному покритті знако-перемінні напруження, унаслідок чого відбувається поява характерних поздовжніх та поперечних тріщин, особливо в зоні над ребрами жорсткості ортотропної плити.

Із виникненням тріщин, що утворилися внаслідок зміни температури та коливання ортотропної плити від дії пневматичних коліс транспортних засобів, поступово погіршується рівність покриття, з'являються вибоїни, що призводить до зниження безпеки руху та створення аварійно-небезпечних ситуацій. З урахуванням цього, збільшуються витрати на утримання асфальтобетонних покриттів металевих транспортних споруд, що піддаються завчасним руйнуванням. Частково або повністю зруйноване покриття призводить до пошкодження гідроізоляції. Це, у свою чергу, негативно впливає на міцність і довговічність несучих елементів транспортних споруд, що призводить до збільшення вартості та трудоемкості ремонтно-відновлювальних робіт.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Наукові результати, одержані в роботі, пов'язані з напрямками плану науково-дослідної роботи Національного транспортного університету «Теоретичні основи забезпечення довговічності асфальтобетонного покриття транспортних споруд з асфальтобетону на основі бітуму модифікованого полімерами» (д/б № 23, номер державної реєстрації 0103U003173), а також за планом науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, а саме: «Провести моніторинг, дослідити утворення тріщин і залишкових деформацій в асфальтобетонних покриттях мостів та розробити альбом типових конструкцій мостового полотна» (д/б № 10-14, номер державної реєстрації 0114U001880), «Провести дослідження та розробити методику розрахунку асфальтобетонного покриття металевих автодорожніх мостів на довговічність» (д/б № 28-15, номер державної реєстрації 01154U001652), «Провести дослідження та розробити методику розрахунку

асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів на довговічність» (д/б № 164-14, номер державної реєстрації 0114U006452), «Розробка СОУ на метод приготування бітуму модифікованого полімерами та адгезивами за допомогою лабораторної лопатевої мішалки» (д/б № 90-11, номер державної реєстрації 0111U005440).

Мета і задачі досліджень. *Мета* досліджень – удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

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

- провести аналіз існуючих методів розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- розробити розрахункові схеми та встановити аналітичну залежність для удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю, з урахуванням термореологічної поведінки асфальтобетону і спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;
- експериментально дослідити: розрахункові термореологічні характеристики литого та щебенево-мастикового асфальтобетонів з використанням полімерів; межу міцності на розтяг при згині, з урахуванням різного часу дії навантаження; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; залишкові деформації у вигляді колії; фактичні деформації горизонтального листа ортотропної плити під дією експлуатаційного навантаження, з метою моделювання максимальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті; закономірності дії впливових факторів на довговічність досліджуваних асфальтобетонів;
- розробити практичні рекомендації та методику розрахунку щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Об'єкт дослідження – асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Методи дослідження – методи теорії пружності, теорії в'язко-пружності та кінетичної теорії міцності твердих тіл; стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей бітумів модифікованих полімерами та асфальтобетонів; чисельне моделювання; планування багатофакторних експериментів; математична статистика та регресійний аналіз одержаних результатів.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше отримано закономірність зміни горизонтальних розтягуючих напружень в асфальтобетонному покритті металевій транспортній споруди в залежності від основних змінних факторів. Запропоновано умову граничного стану асфальтобетонного покриття за тріщиностійкістю, з урахуванням різного часу дії навантаження на розтяг при згині;
- удосконалено метод розрахунку довговічності за тріщиностійкістю асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів;

- отримали подальший розвиток такі методики, як: випробування асфальтобетону на циклічну втому; визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості та терморологічних властивостей асфальтобетону; дослідження міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; визначення залишкових деформацій асфальтобетону у вигляді колії; визначення межі міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження; випробування натурних фактичних деформацій горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що розроблена методика розрахунку дозволяє проектувати асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг підвищеної довговічності, а також номограма для визначення розтягуючих напружень при згині від одиничного навантаження в асфальтобетонному покритті на металевих транспортних спорудах.

Окрім того:

- встановлено кількісні та технологічні параметри модифікації бітуму полімерами з метою підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах;
- отримано для досліджуваних литих та щебенево-мастикових асфальтобетонів: розрахункові значення функції релаксації; функції довговічності; межі міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження (0,1 с, 1,0 с, 10,0 с); коефіцієнти температурної тріщиностійкості та показники циклічної втоми; залишкові деформації у вигляді колії; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві; деформації горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням металевої транспортної споруди;

Результати роботи використані при розробленні рекомендацій щодо будівництва, реконструкції та капітального ремонту асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд у м. Києві, а саме: Південного та Московського мостових переходів; улаштуванні гідроізоляційних матеріалів на металевих транспортних спорудах; проектуванні складів асфальтобетонів з підвищеною довговічністю за рахунок використання полімерів, а також при проведенні навчального процесу з дисциплін «Асфальтобетон» та «Будівельне матеріалознавство».

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є результатом самостійного наукового дослідження автора. Особистий внесок здобувача полягає в отриманні наукових результатів, викладених у даній роботі:

- аналіз існуючих методів розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також запропоновано умову граничного стану асфальтобетонного покриття за тріщиностійкістю, з урахуванням різного часу дії навантаження на розтяг при згині [1, 4, 5];
- розроблено розрахункові схеми, аналітичну залежність та удосконалено метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю з урахуванням терморологічної поведінки асфальтобетону і спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів [1, 12];

- визначені фактичні деформації горизонтального листа ортотропної плити під дією експлуатаційного навантаження, з метою визначення максимальних напружень в асфальтобетонному покритті [1, 16];
- експериментально отримано для досліджуваних асфальтобетонів [1–5, 7, 8, 11, 13–15]: розрахункові термореологічні характеристики [1]; коефіцієнти температурної тріщиностійкості та показники циклічної втоми [1, 8, 11, 14, 15]; параметри функції релаксації та параметри функції довговічності [1]; залишкові деформації у вигляді колії [5, 12]; межу міцності на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження [1]; міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві [1]; деформації горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням металевої транспортної споруди [1, 16];
- розроблено практичні рекомендації та методика розрахунку щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах [1, 3, 9].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на наукових конференціях професорсько-викладацького складу Національного транспортного університету №№ 64 – 71 в 2008 – 2015рр., а також на таких міжнародних наукових конференціях як: «Нові дороги Росії» 14 – 17 листопада 2011р., Пенза, Росія; «Сучасні гідроізоляційні, захисні та покрівельні матеріали для промислового, цивільного та дорожнього будівництва. Технології виробництва та застосування» 23 – 24 листопада 2011р., Київ, Україна; «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей» 28 – 31 травня 2012р., Луцьк, Україна; міжнародній конференції «Структуроутворення, міцність і руйнування композиційних будівельних матеріалів і конструкцій» 20 – 21 вересня 2012р., Одеса, Україна; «Проблеми теорії і практики будівельних конструкцій» 16 – 17 квітня 2013р., Одеса, Україна; 16-й конференції молодих вчених «Наука – майбутнє Литви» 8 травня 2013р., Вільнюс, Литва; «Проблеми підвищення якості та ресурсозбереження в дорожній галузі» 30 – 31 травня 2013р., Мінськ, Білорусь; 17-й конференції молодих вчених «Наука – майбутнє Литви» 8 травня 2014р., Вільнюс, Литва; XII міжнародній Всеросійській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія і науково-технічний прогрес. Урбаністика» 21 листопада 2014р., Пенза, Росія; 9-й міжнародній науковій конференції «TRANSBALTICA 2015» 7 – 8 травня 2015р., Вільнюс, Литва.

Публікації. За результатами дисертаційної роботи опубліковано 16 друкованих робіт, у тому числі: 1 монографія, 11 статей у фахових виданнях, 2 у закордонних виданнях, 2 в працях і матеріалах наукових конференцій та 1 без співавторів.

Структура дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 188 найменувань та сім додатків. Основний текст викладений на 167 сторінках. Текст ілюструється 25 рисунками та містить 24 таблиці.

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 розглянутий та наведений аналіз стану проблем експлуатації асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, причини виникнення його руйнувань, аналіз вітчизняного та зарубіжного досвіду влаштування нежорсткого дорожнього одягу на металевих транспортних спорудах, існуючі типові конструкції дорожніх одягів, що влаштовуються на таких спорудах, моделі та методи розрахунку асфальтобетонного покриття, а також існуючі способи підвищення його довговічності.

Розглянуто та проаналізовано роботи із дослідження довговічності асфальтобетонного покриття на транспортних спорудах таких вчених, як: А.Г. Батракова, О.І. Безбабичева, В.І. Братчун, О.І. Васильєв, О.Є. Гаврилов, І.П. Гамеляк, Л.Б. Гезенцевей, Л.М. Гохман, В.К. Жданюк, В.Г. Кваша, П.М. Коваль, М.М. Корнєєв, М.П. Лукін, Й.Й. Лучко, В.В. Мозговий, В.Б. Назаренко, І.Г. Овчиннікова, В.Г. Піскунов, Б.С. Радовський, І.Д. Сахарова, В.П. Снітко, Н.Є. Страхова, Г.К. Сюньї, Г.Б. Фукс, В.І. Шестериков.

Аналіз існуючих методів та моделей оцінки довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття від спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, дозволяє зробити висновок про те, що проведені раніше дослідження носять розрізнений характер, оскільки при оцінці довговічності асфальтобетонного покриття з позиції тріщиностійкості враховували окремо лише або дію коліс пневматичних транспортних засобів або вплив зміни температури. Недостатньо в розрахункових схемах враховуються особливості роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Результати огляду щодо заходів з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на таких спорудах, з урахуванням досвіду використання бітумів модифікованих полімерами свідчать про те, що питання з їхнього застосування на даний час є актуальним та потребує додаткових досліджень. Не в повній мірі досліджено вплив часу модифікації бітуму різними полімерами на властивості асфальтобетону, міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві, залишкові деформації у вигляді колії, циклічну втому.

Таким чином, проведений аналіз існуючих підходів урахування впливу температурних факторів, з впливом часу дії пневматичних коліс транспортних засобів на довговічність асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, який дає можливість зробити висновок про те, що на даний час не розроблено комплексний метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури (сезонних річних та добових температур) та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

У другому розділі наведені загальні положення визначення довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних споруд, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

З метою вирішення поставлених задач, розроблено дві розрахункові схеми (рис. 1) роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

На рисунку 1 зображено наступне: а) – варіант 1: 1 – металева конструкція транспортної споруди, 2 – ортотропна плита, 3 – гідроізоляційний матеріал метилметакрилат, 4 – покриття з литого асфальтобетону; б) – варіант 2: 1 – металева конструкція транспортної споруди, 2 – ортотропна плита, 3 – гідроізоляційний матеріал метилметакрилат, 4 – нижній шар з литого асфальтобетону ЛА-15, 5 – верхній шар з щєбенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-15; $T_{аб}$, $T_{аб\ i=1}$, $T_{аб\ i=2}$ та $T_{опт.пл.}$ – середні

температури асфальтобетонного покриття (варіант 1), верхнього та нижнього асфальтобетонних шарів покриття (варіант 2) та ортотропної плити відповідно (варіант 1, 2); $h_{a\bar{b}}$, $h_{a\bar{b} i=1}$ та $h_{a\bar{b} i=2}$ – товщина асфальтобетонного покриття (варіант 1), верхнього та нижнього шарів асфальтобетонного покриття відповідно (варіант 2); $R_{a\bar{b}}(t, T)$, $R_{a\bar{b} i=1}(t, T)$ та $R_{a\bar{b} i=2}(t, T)$ – функція релаксації асфальтобетонного покриття (варіант 1), верхнього та нижнього шарів асфальтобетонного покриття відповідно (варіант 2); $\alpha_{a\bar{b}}$, $\alpha_{a\bar{b} i=1}$ та $\alpha_{a\bar{b} i=2}$ – коефіцієнти лінійного температурного розширення асфальтобетонного покриття (варіант 1) та відповідно верхнього і нижнього шарів асфальтобетонного покриття (варіант 2); $\alpha_{орт.пл.}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення ортотропної плити (варіант 1, 2); $l_1(T_1 a\bar{b})$, $l_2(T_1 орт.пл.)$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та ортотропної плити до початку температурного скорочення ($l_1(T_1 a\bar{b})=l_2(T_1 орт.пл.)$); $l_1(T_2 a\bar{b})$, $l_2(T_2 орт.пл.)$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та ортотропної плити після температурного скорочення, ($l_1(T_2 a\bar{b})=l_2(T_2 орт.пл.)$); $l_1'(T_2 a\bar{b})$ – довжина асфальтобетонного покриття, яка була б при вільному температурному скороченні; $\delta_{i1} \cdot l_n^T$, $\delta_{i2} \cdot l_n^T$ – довжина на яку скорочується асфальтобетонне покриття.

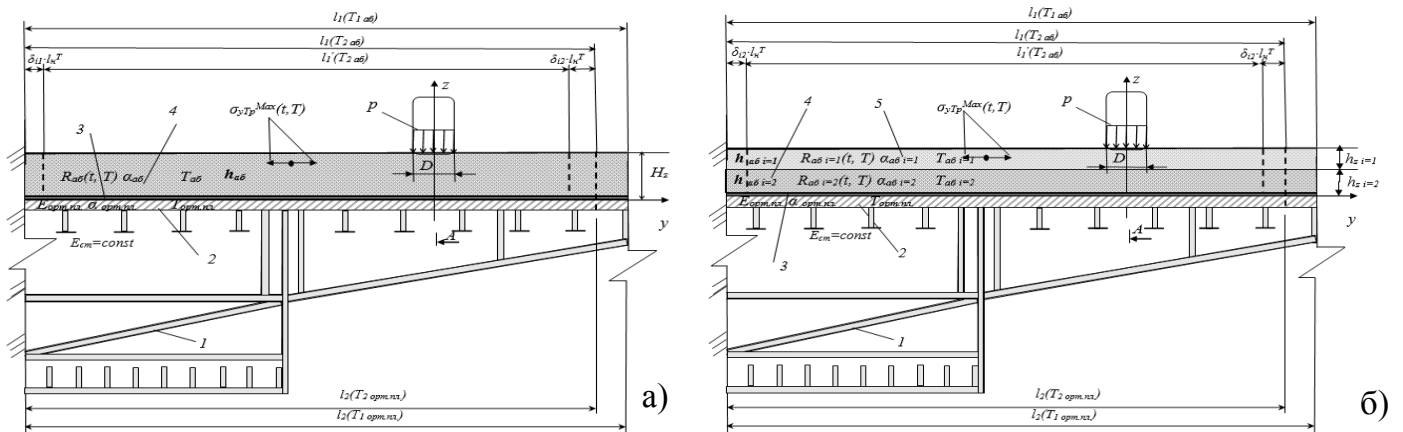


Рисунок 1 – Розрахункові схеми роботи одношарового (а – варіант 1) та двошарового (б – варіант 2) асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів

Відповідно до розроблених розрахункових схем (рис. 1), запропоновано аналітичні залежності для визначення горизонтальних напружень з урахуванням спільного впливу зміни температури та термов'язкопружних властивостей, які описували функцією релаксації $R_{a\bar{b}}(t, T)$ та функцією температурно-часового зміщення, параметри яких визначали експериментально за залежностями (1, 2):

- варіант 1:

$$\sigma^{a\bar{b}}_{r.(Tem)}(t, T) = (\alpha_{a\bar{b}} - \alpha_{орт.пл.}) \cdot k \cdot R_{a\bar{b}}(t, T) \quad (1)$$

- варіант 2:

$$\sigma^{a\bar{b}}_{r.(Tem)}(t, T) = \left(\frac{(\alpha_{a\bar{b}i=1} + \alpha_{a\bar{b}i=2})}{2} - \alpha_{орт.пл.} \right) \cdot k \cdot \bar{R}_{a\bar{b}}(t, T), \quad (2)$$

де $\alpha_{a\bar{o}}$, $\alpha_{a\bar{o}i=1}$, $\alpha_{a\bar{o}i=2}$, $\alpha_{opt.n.l.}$ – коефіцієнти лінійного температурного розширення одношарового асфальтобетонного покриття, верхнього і нижнього шарів асфальтобетонного покриття та ортотропної плити відповідно; k – швидкість охолодження; $\bar{R}_{a\bar{o}}(t, T)$ – середньо-інтегральне значення функції релаксації визначається за залежністю:

$$\bar{R}_{a\bar{o}}(t, T) = \left(\sum_{i=1}^n R_{a\bar{o}i}(t, T) \times h_{a\bar{o}i} \right) \div \sum_{i=1}^n h_{a\bar{o}i}, \quad (3)$$

де $R_{a\bar{o}i}(t, T)$ – функція релаксації i -го шару асфальтобетонного покриття; n – кількість шарів асфальтобетонного покриття ($n=2$); $h_{a\bar{o}i}$ – товщина i -го шару асфальтобетонного покриття ($i=2$), мм;

Для максимальних розтягуючих напружень $\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)$ в асфальтобетонному покритті металевих транспортних споруд від дії пневматичних коліс транспортних засобів запропоновано визначати за залежністю (4):

$$\sigma_{yTp}^{Max}(t, T) = \sigma_y(t, T) \cdot p \cdot K_{\bar{o}}, \quad (4)$$

де $\sigma_y(t, T)$ – розтягуючі напруження за поліноміальною моделлю з урахуванням 4-змінних факторів визначається за залежністю (5), МПа; $K_{\bar{o}}$ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами; p – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

$$\sigma_y(t, T) = A(t, T) - B_i(t, T) \cdot x_i + C_j(t, T) \cdot x_j - D_k(t, T) \cdot x_k + E_\gamma(t, T)x_\gamma + B_i(t, T) \cdot x_i^2 - C_j(t, T) \cdot x_j^2 - D_k(t, T) \cdot x_k^2 + E_\gamma(t, T)x_\gamma^2, \quad (5)$$

де $A(t, T)$, $B_i(t, T)$, $C_j(t, T)$, $D_k(t, T)$, $E_\gamma(t, T)$, – параметри, що залежать від часу дії навантаження та температури, а саме: діаметру, тиску в пневматичному колесі автомобіля, модуля пружності, товщини покриття; x – фактори: x_i – товщина, мм, x_j – тиск, МПа, x_k – модуль пружності, МПа, x_γ – діаметр, мм.

Для оцінки довговічності з позиції тріщиностійкості асфальтобетонного покриття металеві транспортні споруди, яка базується на отриманні аналітичних залежностей (1, 2, 4), обґрунтовано критерій граничного стану асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, у вигляді:

$$M_p(t, T) = (M_{Tp}(t, T) + M_{Tem}(t, T)) \cdot K_{\bar{o}} \leq C, \quad (6)$$

де $M_p(t, T)$ – сумарна міра пошкодженості асфальтобетонного покриття;

$$M_{Tp}(t, T) = \sum N_p \cdot \int_0^{t_H} \frac{\sigma_{yTp}^{Max}(t, T)^{b(t, T)}}{B_i(t, T)} dt$$

– міра пошкодженості асфальтобетонного покриття від пневматичних коліс транспортних засобів при максимальних розтягуючих напруженнях;

$$M_{T_{EM}}(t, T) = n_i \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{r,(T_{EM})}^{a,b}(t, T)^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt - \text{міра пошкодженості асфальтобетонного покриття}$$

від зміни температури відповідного сезону (n_i);

K_g – коефіцієнт відновлення асфальтобетонного покриття;

$C = [M] \cdot K_y$ – гранично допустиме значення показника міри пошкодженості асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах;

$[M]$ – гранично допустиме значення міри пошкодженості, що приймається рівним 1;

K_y – коефіцієнт умов роботи, що відображає матеріаломісткість, експлуатаційні та конструктивні фактори, що дорівнює 0,98;

$\sigma_{r,(T_{EM})}^{a,b}(t, T)$ – сумарні річні та добові температурні напруження, які складаються із літніх (σ_l), осінньо-весняних ($\sigma_{o,e}$) і зимових (σ_z), МПа;

n_i – період сезону;

$B_t(t, T)$, $b(t, T)$ – параметри функції довговічності;

t_p – час до руйнування, с;

$\sum N_p$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття;

$\sigma_{Yp}^{Max}(t, T)$ – максимальні верхні розтягуючі напруження від дії коліс транспортних засобів, МПа;

t_H – час дії навантаження, с.

З метою моделювання, для визначення горизонтальних розтягуючих напружень (5), в асфальтобетонному покритті прийнята розрахункова схема (рис. 1, а). Числове моделювання обумовлюється тим, що схема навантаження досить складна і потребує просторового вирішення задачі, з метою покращення проектування покриття металевих транспортних споруд. Тривимірне моделювання має за основну мету усунення недоліків дослідження силового навантаження та міцнісних характеристик покриття під навантаженням від дії пневматичних коліс транспортних засобів у плоскій постановці. Це дає можливість більш об'єктивно оцінити ефективність взаємодії дії пневматичних коліс транспортних засобів із покриттям. Наведено розрахункову модель дії зовнішніх навантажень на покриття та розподіл полів деформацій у частині металевій транспортної споруди при дії пневматичних коліс транспортних засобів (рис. 2 та рис. 3).

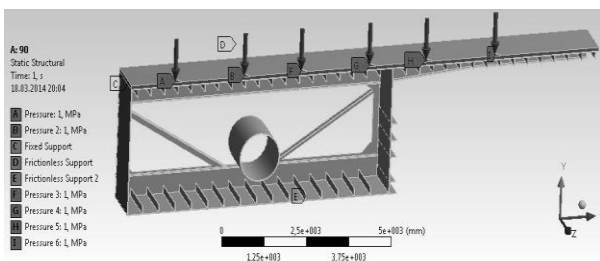


Рисунок 2 – Модель дії навантажень покриття металевій транспортній споруди від дії коліс пневматичних транспортних засобів

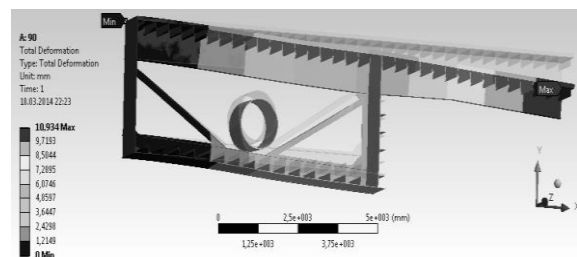


Рисунок 3 – Поля повних деформацій металевій транспортній споруди від дії пневматичних коліс транспортних засобів

Розрахунковий (очікуваний) строк служби $T_{РОЗ}$ (в роках) асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах базується на отриманих аналітичних

залежностях (1 – 6), а саме: строк служби $T_{роз}$ – це співвідношення гранично допустимого значення показника міри пошкодженості C до сумарної міри пошкодженості асфальтобетонного покриття $M_p(t, T)$, що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд $[T_H]$, що становить 15 років.

Отримані вирази (1 – 6) дозволили розраховувати строк служби асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд за температурною тріщиностійкістю, з урахуванням спільного впливу сезонних добових та річних коливань температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також запропонувати послідовність розрахунку довговічності такого покриття.

Третій розділ присвячений: експериментальним випробуванням деформацій горизонтального листа ортотропної плити металевих транспортних споруд під його експлуатаційним навантаженням, визначенню межі міцності на розтяг при згині, з урахуванням різного часу дії навантаження, вивченню в'язкопружної поведінки, міцнісних характеристик, накопиченню залишкових деформацій у вигляді колії та довговічності асфальтобетонів на основі бітуму модифікованого полімерами з впливом на нього різних факторів, а також міцності зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві. Основними задачами цих досліджень було встановити термореологічні характеристики досліджуваних асфальтобетонів з використанням полімерів типу стирол-бутадієн-стрирол (SBS), стирол-бутадієн-радикал (SBR), етилен-глицидил-акрилат (EVA), комплексного полімер-бітумного в'язучого (CPBA), а також зіставлення отриманих експериментальних даних з теоретичними результатами.

Результати експериментальних досліджень розповсюджуються на водонепроникні та високодеформативні асфальтобетонні покриття (литі та щебенево-мастикові суміші) на основі бітуму модифікованому полімерами (далі – БМП) типу SBS, SBR, EVA та CPBA, що використовуються для влаштування асфальтобетонного покриття на таких спорудах.

У даному розділі проведені випробування та наведені методики, що дозволяють встановити механічні, фізичні, деформаційні та міцнісні характеристики матеріалів покриття, що є складовою методу проектування асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Експериментальні дослідження проводили на асфальтобетонних зразках типу ЛА-10, ЛА-15, ЩМА-10, ЩМА-15 та ЩМА-20 (далі – досліджувані асфальтобетони) на основі звичайного бітуму марки БНД 60/90, а також на основі БМП (бітум модифікований полімерами) з полімером SBS із різною його кількістю (1 %, 3 % і 5 %), SBR з кількістю 2 %, 4 % і 6 %, EVA з кількістю 1 %, 1,5 % і 2 % від маси бітуму та комплексного полімер-бітумного в'язучого CPBA.

У роботі отримано результати коефіцієнта запасу міцності по розрахунковому граничному напруженні при зсуві між асфальтобетоном литим ЛА-15, гідроізоляцією та металевою основою (рис. 4). Отримані результати показали, що коефіцієнти запасу міцності за розрахунковим граничним напруженням при зсуві, для розрахункових автомобілів групи А1, складають від 1,31 (1,30), а для розрахункових автомобілів групи А2 – від 1,47 (1,54), що відповідає випробуванням при екстремному та повільному гальмуванні.

Також, досліджено стійкість асфальтобетонів до утворення залишкових деформацій у вигляді колії. Результати визначення колії для ЩМА-10 при температурі + 50 °С, навантаженні 700 Н та 4000 проходів колеса по одному сліду показали, що при 3 % полімеру SBS в БМП колія зменшилася у 1,84 рази, при 4 % полімеру SBR у 1,48 рази, при

1,5 % полімеру EVA у 1,59 рази, на комплексному полімер-бітумному в'язучому СРВА у 3,07 рази відповідно, порівняно з ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90.

Для ЛА-10 при 3 % полімеру SBS в БМП колія зменшилася у 1,94 рази, при 4 % полімеру SBR у 1,62 рази, при 1,5 % полімеру EVA у 1,73 рази, при випробуванні на комплексному полімер-бітумному в'язучому СРВА у 2,53 рази відповідно, порівняно з ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90 (рис. 5).



Рисунок 4 – Гістограма розрахункових граничних напружень між асфальтобетоном та основою при зсуві

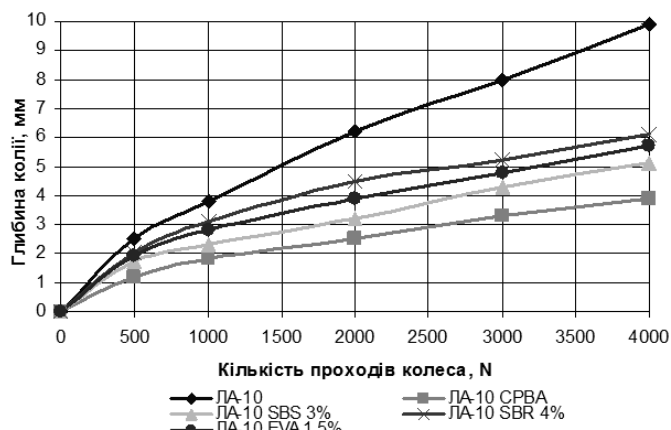


Рисунок 5 – Закономірності зміни утворення залишкових деформацій у вигляді колії асфальтобетону литого ЛА-10

Отримані результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості досліджуваних асфальтобетонів, які наведені в таблиці 1. Встановлено, що умові критерію граничного стану, який становить 0,75, відповідають усі досліджувані асфальтобетони при використанні БМП із полімером SBS у кількості 3 %, SBR – 4 %, EVA – 1,5 %, а також на комплексному полімер-бітумному в'язучому СРВА.

Таблиця 1 – Результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості

Вид та кількість полімеру	ЩМА-10	ЩМА-15	ЩМА-20	ЛА-10	ЛА-15
БНД 60/90	0,735	0,757	0,785	0,875	0,907
ПБВ СРВА	0,941	0,972	0,985	0,981	0,996
БНД 60/90 + 3 % SBS	0,915	0,941	0,963	0,957	0,984
БНД 60/90 + 4 % SBR	0,895	0,932	0,950	0,908	0,953
БНД 60/90 + 1,5 % EVA	0,907	0,938	0,958	0,935	0,976

За результатами отриманих експериментальних даних по модулях пружності для досліджуваних асфальтобетонів побудовані розрахункові криві функції релаксації за виразом $R(t) = 1 / P(t)$. Розбіжність отриманих результатів не перевищує 12 %. Для прикладу наведено криві функції релаксації для ЛА-10 (рис. 6).

Дніпропетровським відділом ДП «ДерждорНДІ» проводились натурні дослідження коливальних ортотропної плити Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві під його експлуатаційним навантаженням. На рис. 7 наведено схему закладання датчиків та максимальні переміщення горизонтального листа при проїзді п'ятивісної вантажівки. Результати показали, що мінімальне переміщення при проїзді п'ятивісної вантажівки в зоні

закладання датчиків (Д 1 – Д 2) становить 0,05 мм, а максимальне переміщення в зоні закладання датчиків (Д 2 – Д 3) між ребром жорсткості датчик (Д 5) становить 2,55 мм, що призводить до суттєвого руйнування асфальтобетонного покриття. Це підтверджується натурними дослідженнями. У подальшому дані дослідження використані при моделюванні методом скінченних елементів.

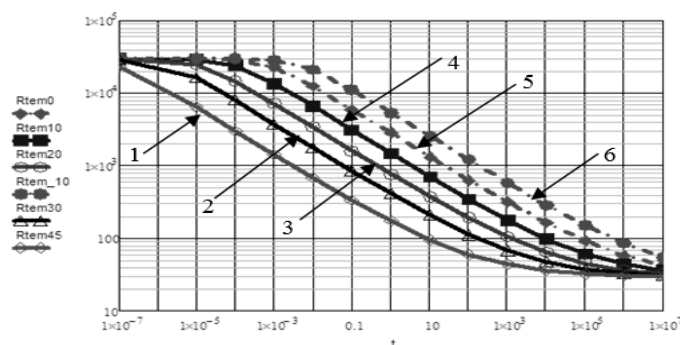


Рисунок 6 – Типові Криві функції релаксації ЛА-10 на в'язучому СРВА: 3, 5 – експериментальні точки, 1, 2, 4, 6 – отримані методом температурно-часового зміщення; криві функції релаксації при температурі: 1 – при $T = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$; 2 – при $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$; 3 – при $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$; 4 – при $T = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$; 5 – при $T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 6 – при $T = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$

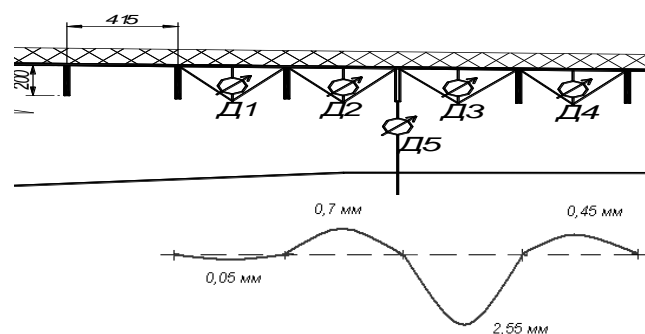


Рисунок 7 – Графік прогинів ортотропної плити при проїзді п'ятивісної вантажівки

Отримано результати визначення параметрів функції довговічності при постійному збільшенні навантаження досліджуваних асфальтобетонів. Випробування проводились при температурі зразків-балочок $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Результати визначення параметрів функції довговічності та межі міцності на розтяг при згині наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати визначення параметрів функції довговічності та межі міцності на розтяг при згині на прикладі асфальтобетонів типу ЛА-10 та ЦМА-10

Шифр асфальтобетону	Межа міцності на розтяг при згині R_p , МПа		Параметри функції довговічності при різних температурах					
			$T = +20\text{ }^{\circ}\text{C}$			$T = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$		
	$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$0\text{ }^{\circ}\text{C}$	$b\tau$	$lgB\tau$, с·МПа	m	$b\tau$	$lgB\tau$, с·МПа	m
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	5,05	13,87	3,10	4,306	0,323	6,30	11,45	0,159
ЛА-10 (ПБВ СРВА – 8,1 %)	7,42	15,99	4,91	5,273	0,204	8,19	14,06	0,122
ЛА-10 (БНД 60/90 + 3 % SBS – 8,2 %)	6,51	15,01	4,14	4,952	0,242	7,32	13,30	0,137
ЛА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % EVA 4170– 8,1 %)	6,19	14,91	4,25	5,009	0,235	7,17	13,12	0,139
ЦМА-10 (БНД 60/90 – 6,5 %)	4,21	8,73	2,67	3,75	0,358	5,84	9,35	0,176
ЦМА-10 (ПБВ СРВА – 6,4 %)	7,15	12,54	4,03	5,07	0,244	7,60	11,48	0,125

Дані результати свідчать про підвищену довговічність при експлуатації влаштованих литих та щебенево-мастикових асфальтобетонних покриттів на основі бітуму модифікованого полімерами. Це в свою чергу віддає литим асфальтобетонам перевагу у порівнянні з щебенево-мастиковими асфальтобетонами при влаштуванні покриттів на металевих транспортних спорудах.

Окрім того, в роботі отримані результати на циклічну втому досліджуваних асфальтобетонів. Вони свідчать про те, що із збільшенням кількості введеного полімеру в бітумне в'язуче, спостерігається збільшення кількості циклів навантаження на зразки-балочки до їх руйнування.

З урахуванням отриманих в роботі теоретичних рішень та експериментальних досліджень, проведено перевірку адекватності теоретичних рішень, результати якої наведено в таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати співставлення експериментальних та теоретичних даних визначення кількості циклів навантаження до руйнування зразків-балочок на прикладі асфальтобетонів типу ЛА-10 та ЩМА-10

Шифр асфальтобетону	Кількість циклів до руйнування N , при температурі $^{\circ}\text{C}$ (теоретична)	Кількість циклів до руйнування N , при температурі $^{\circ}\text{C}$ (експериментальна)	Δ , %
	+ 20 $^{\circ}\text{C}$	+ 20 $^{\circ}\text{C}$	
ЛА-10 (БНД 60/90 – 7,9 %)	9 424	10 834	15,0
ЛА-10 (ПБВ СРВА – 8,1 %)	170 739	199 424	16,8
ЛА-10 (БНД 60/90+ 3 % SBS – 8,2 %)	40 624	45 905	13,0
ЛА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % EVA – 8,1 %)	32 213	39 619	15,8
ЩМА-10 (БНД 60/90 – 6,5 %)	2 200	1 841	16,3
ЩМА-10 (ПБВ СРВА – 6,4 %)	92 056	80 467	12,6
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 3 % SBS – 6,6 %)	31 761	25 440	19,9
ЩМА-10 (БНД 60/90 + 1,5 % EVA – 6,1 %)	25 752	21 444	16,7

Отримані результати свідчать про те, що теоретичні розрахунки задовільно узгоджуються з експериментальними даними. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9 % до 19 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95. Це вказує на можливість практичного застосування подібних залежностей, які отримані та наведені у розділі 2 дисертаційної роботи, з метою забезпечення або прогнозування необхідної довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах автомобільних доріг, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

За результатами виконаних числових досліджень (рис. 8 та рис. 9) наведено графічні залежності зміни нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h ; наведена залежність нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h , тиску на покриття 0,8 МПа та діаметрі контакту 300 мм.

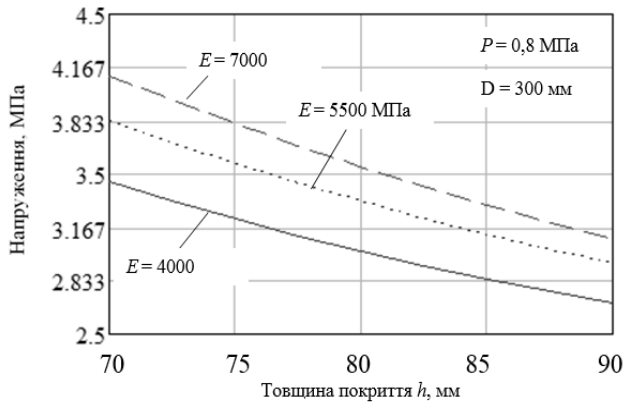


Рисунок 8 – Зміна нормальних розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h

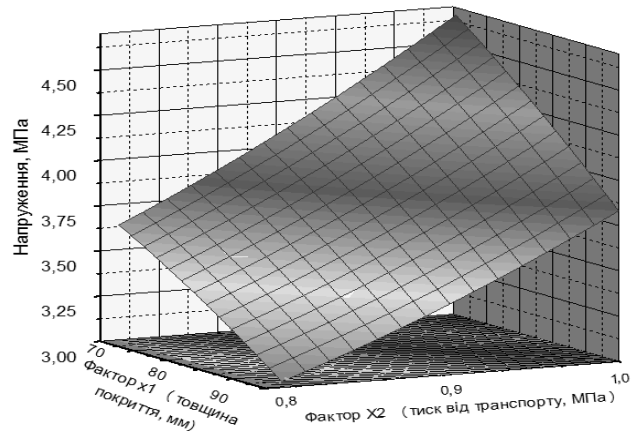


Рисунок 9 – Зміна розтягуючих напружень в покритті при зміні товщини шару h від статичного тиску в колесі транспортного засобу на поверхню

У роботі проведено числовий аналіз закономірностей дії впливових факторів на міру пошкоженості асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд. Для прикладу використано конструкцію дорожнього одягу, яка влаштована на ортотропній плиті даної споруди при виконанні робіт з капітального ремонту Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві у 2015 році. Для аналізу прийнято конструкцію за рис. 1 (б – варіант 2). Розрахунок міри пошкоженості асфальтобетонного покриття реалізований за допомогою програми MathCAD.

Результати визначення міри пошкоженості (M_P) та розрахункового строку (T_{PO3}) служби на прикладі асфальтобетону типу ЛА-15 від різної в'язкості бітуму модифікованого полімерами та товщини покриття, наведено на рис. 10 та рис. 11.

За результатами числового аналізу асфальтобетонного покриття, що влаштоване на металевих транспортних спорудах, залежно від товщини та максимального навантаження 115 кН, зроблено висновок про те, що розрахунковий строк служби литого асфальтобетону на прикладі типу ЛА-15 при товщині 7,0 см становить 16 років, при товщині 8,0 см – 18,9 років, а при товщині 9,0 см – 21,4 роки. Це свідчить, що розрахунковий строк служби асфальтобетонного покриття збільшується із збільшенням його товщини.

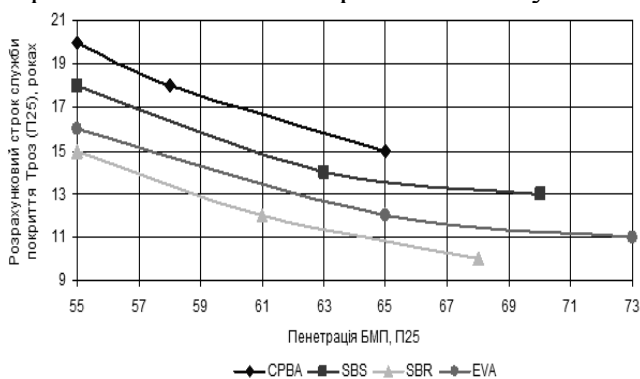


Рисунок 10 – Залежність розрахункового строку служби покриття з литого асфальтобетону ЛА-15 від в'язкості бітуму модифікованого полімером

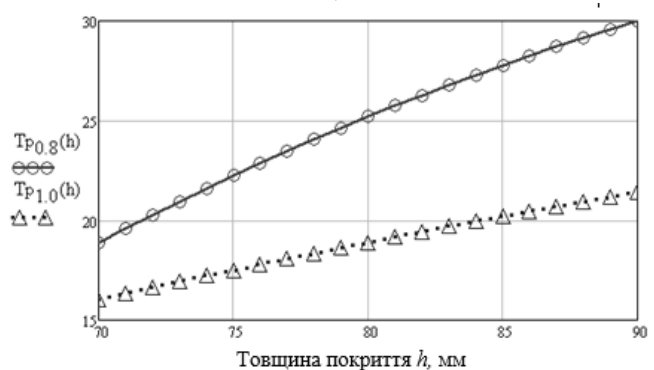


Рисунок 11 – Залежність строку служби асфальтобетонного покриття з литого асфальтобетону на металевих транспортних спорудах від товщини покриття

У четвертому розділі дисертаційної роботи отримано методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Для підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з метою практичного застосування, запропоновано умову граничного стану (7) за тріщиностійкістю, з урахуванням різного часу дії навантаження (t, t_i) на розтяг при згині. Напруження, що виникають при прогині покриття під дією повторних короточасних навантажень транспортних засобів не повинні викликати порушення структури асфальтобетону й призводити до утворення тріщин.

$$K_{мц} \leq \frac{R_{зг}^t}{\sigma_r^t}, \quad (7)$$

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

$R_{зг}^t$ – гранично допустиме напруження асфальтобетону, з урахуванням втоми при відповідному часі (t) дії навантаження (0,1 с, 1,0 с, 10,0 с), МПа;

σ_r^t – розрахункове розтягуюче напруження в асфальтобетонному покритті при відповідному часі дії навантаження, МПа, з урахуванням залежності (4) за номограмою.

Міцність асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд на розтяг при згині визначають за залежністю (8):

$$R_{зг}^t = R_{лаб}^t \cdot k_1^{t+t_i} \cdot k_2 \cdot (1 - \nu_R \cdot t_s), \quad (8)$$

де $R_{лаб}^t$ – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині асфальтобетону в залежності від різного часу дії навантаження, МПа;

k_1 – коефіцієнт, що враховує втрату міцності при впливі різних процесів на втому при багаторазовому часі дії навантаження;

k_2 – коефіцієнт температурної тріщиностійкості матеріалу;

ν_R – коефіцієнт варіації міцності на розтяг при згині;

t_s – коефіцієнт нормативного відхилення;

t_i – інший час дії навантаження, с.

Коефіцієнт k_1 , що відображає вплив на міцність різних процесів втоми і визначається за залежністю (9):

$$k_1^{t+t_i} = \frac{\alpha}{\sqrt[m]{\sum N_p^{t+t_i}}}, \quad (9)$$

де m – показник ступеня, що залежить від властивостей матеріалу розрахункового шару асфальтобетонного покриття;

$\sum N_p^{t+t_i}$ – розрахункова еквівалентна сумарна кількість прикладань розрахункового навантаження, при часі дії навантаження t та t_i , протягом строку служби, що визначається за залежністю (10):

$$\sum N_p^{t+t_i} = \delta_{t_i} \cdot \sum N_p \cdot \beta_{t+t_i} + (1 - \delta_{t_i}) \cdot \sum N_p, \quad (10)$$

де $\sum N_p$ – розрахункова сумарна кількість прикладання розрахункового навантаження за строк служби асфальтобетонного покриття;

δ_{t_i} – частка від загальної кількості автомобілів в потоці (визначається на основі техніко-економічних обґрунтувань при визначенні інтенсивності складу руху);

$\beta_{t \rightarrow t_i}$ – коефіцієнт, що запропонований проф. В.В. Мозговим, який відображає вплив на втому руйнування розрахункового навантаження з часом дії t_i , визначається за залежністю (11):

$$\beta_{t \rightarrow t_i} = \left(\frac{R_{\text{лаб}}^t \cdot \sigma_r^{t_i}}{R_{\text{лаб}}^{t_i} \cdot \sigma_r^t} \right)^{-\frac{1}{m}}, \quad (11)$$

де $R_{\text{лаб}}^{t_i}$ – нормативне значення граничного опору розтягу при згині при розрахунковій температурі та при часі дії навантаження t_i , МПа.

Окрім того, в даному розділі наведено:

- підвищені вимоги до литих асфальтобетонних сумішей та асфальтобетону;
- технічні вимоги щодо застосування та влаштування гідроізоляції на металевих транспортних спорудах;
- запропоновано типові конструкції асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності, з урахуванням різної інтенсивності руху транспортних засобів;
- технологічні особливості при влаштуванні асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах.

Матеріали досліджень були впроваджені в Державному агентстві автомобільних доріг України, при розробленні таких Стандартів організації України, як: СОУ 42.1–37641918–99:2013 «Метод визначення розрахункового опору розтягу при згині монолітних дорожньо-будівельних матеріалів», СОУ 42.1–37641918–100:2013 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації», та альбому А. Д.2–4 37641918–003:2015 «Альбом типових конструкцій дорожнього одягу мостового полотна».

Дані розробки знайшли практичне застосування на таких транспортних спорудах: Південному та Московському мостових переходах через р. Дніпро у м. Києві. Від впровадження наукових результатів досліджень отримано економічну ефективність, яка дозволяє покращити властивості асфальтобетону за рахунок використання полімерів та збільшити в 1,5 – 2,0 рази розрахунковий строк служби таких покриттів, а також в 1,15 рази зменшити витрати на їх поточні ремонти та експлуатаційне утримання.

ВИСНОВКИ

Основний науковий результат дисертаційних досліджень полягає у розвитку теоретичних та практичних положень, а саме: методі розрахунку, який дозволяє проектувати асфальтобетонне покриття на металевих транспортних спорудах підвищеної довговічності.

Наведені у дисертаційній роботі результати дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. З аналізу умов роботи асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах встановлено, що покриття перебуває у складних умовах експлуатації, що з часом призводить до руйнування покриття та гідроізоляції, що в свою чергу негативно впливає на міцність і довговічність несних елементів споруд. Враховуючи те, що проведені раніше

дослідження роботи асфальтобетонного покриття на таких спорудах носять розрізнений характер і не враховують спільний вплив температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів, постала необхідність в удосконаленні методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

2. Розроблені розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття на ортотропній плиті металевих транспортних спорудах та аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті від коливання сезонних річних і добових температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів, а також обґрунтовано вибір умови довговічності та критерію граничного стану для оцінки тріщиностійкості асфальтобетонного покриття.

3. На основі проведених лабораторних випробувань досліджуваних литого та щербенево-мастикового асфальтобетонів встановлено: оптимальну кількість полімеру та час приготування бітуму модифікованого полімерами; фізико-механічні властивості; міцність на розтяг при згині з урахуванням різного часу дії навантаження; розрахункові параметри та термореологічні показники (коефіцієнт температурної тріщиностійкості, модуль пружності, параметри функції релаксації та параметри функції довговічності, циклічна втома); міцність зчеплення між асфальтобетоном та основою при зсуві.

4. На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що ЩМА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому більш стійкий до утворення колії у 3,07 рази відповідно до ЩМА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90, а асфальтобетон литий ЛА-10 на комплексному полімер-бітумному в'язучому у 2,53 рази більш стійкий до утворення колії у порівнянні з асфальтобетоном литим ЛА-10 на чистому бітумі марки БНД 60/90. Підтверджена адекватність теоретичних рішень з експериментальними даними при визначенні кількості циклів навантаження до руйнування зразків-балочок на прикладі асфальтобетонів типу ЛА-10 та ЩМА-10. Розбіжність результатів знаходиться в межах від 9 % до 19 %, при рівні довірчої вірогідності 0,95.

5. На основі проведених випробувань при натурних дослідженнях фактичних деформацій горизонтального листа ортотропної плити під експлуатаційним навантаженням та методу скінченних елементів, отримані результати числового моделювання розподілу полів деформацій та напружень у ортотропної плити металеві транспортної споруди.

6. За результатами числового аналізу асфальтобетонного покриття металевих транспортних споруд, залежно від товщини та максимального розрахункового навантаження, зроблено висновок про те, що розрахунковий строк служби литого асфальтобетону на комплексному полімер-бітумному в'язучому на прикладі типу ЛА-15 при товщині 7,0 см становить 16 років, при товщині 8,0 см – 18,9 років, а при товщині 9,0 см – 21,4 роки. Це свідчить про те, що розрахунковий строк служби збільшується із збільшенням товщини асфальтобетонного покриття.

7. Розроблено методику розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, яка дозволяє проектувати асфальтобетонне покриття з урахуванням різного часу дії навантаження, різною товщиною покриття, інтенсивності руху, коефіцієнта температурної тріщиностійкості.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

- Монографії:

1. Аксьонов С.Ю. Теоретичні та експериментальні дослідження конструкції Південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві: монографія // А.М. Онищенко, М.П. Кузьмінець, В.П. Редченко, Д.Й. Тарнопольський, С.Ю. Аксьонов. – К. : НТУ, 2014. – 341 с.

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

2. Аксенов С.Ю. Опыт применения битумного вяжущего «Polygum» для автомобильных дорог в условиях Украины // Новые дороги России – Саратов – 2011. – С. 3 – 10.
3. Aksenov S. Analysis of modified bitumen difference polymers / Onischenko A., Kuzminets M., Aksenov S. // An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery. Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture. – Lublin – Rzeszow – 2014. – № 8. – P. 101 – 106.

- Статті у фахових виданнях:

4. Аксенов С.Ю. Применение новых полимерных материалов в качестве битумного вяжущего «Полигум» / Мозговой В.В., Онищенко А.Н., Невингловский В.Ф., Гаркуша Н.В., Аксенов С.Ю., Карабин Я.Р. // Вісник одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2011. – Вип. 43 – С. 211 – 217.
5. Аксьонов С.Ю. Дослідження колійності асфальтобетонів різних типів та видів на бітумному в'язучому Полігум / Онищенко А.М., Аксьонов С.Ю. // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2012. – Вип. 46. – С. 272 – 278.
6. Аксьонов С.Ю. Технологія виробництва та апробація бітумного в'язучого «Полігум» в умовах України / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Резнік Ю.Л., Аксьонов С.Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2012. – Вип. 86. – С. 60 – 65.
7. Аксьонов С.Ю. 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.
8. Аксьонов С.Ю. Методика визначення показника втоми монолітних дорожньо-будівельних матеріалів / Мозговий В.В., Онищенко А.М., Куцман О.М., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В., Аксьонов С.Ю. // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка. – 2012. – Вип. 43. – С. 201 – 205.
9. Aksenov S.Y. Quality assurance during asphalt concrete mixture testing to determine its grading and bitumen contents / Mozgovyy V.V., Onyshchenko A.M., Baran S.A., Aksenov S.Yu., Kutsman O.M., Olkhovyy V.Yu. // Управління проектами, системний аналіз і логістика – 2013. – Вип. 11. – С. 69 – 76.
10. Аксьонов С.Ю. Теоретичні аспекти проектування асфальтобетонних шарів дорожнього одягу заданої довговічності / Аксьонов С.Ю., Гаркуша М.В. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2013. – Вип. 90. – С. 57 – 65.
11. Аксьонов С.Ю. 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.
12. Аксьонов С.Ю. Обґрунтування конструкції дорожнього одягу з асфальтобетону литого Гусасфальт підвищеної тріщиностійкості та колієстійкості для металеві прогонувої будови південного мостового переходу через р. Дніпро в м. Києві / Онищенко А.М., Кузьмінець М.П., Прикладовський В.С., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Міжвузівський збірник. – 2014 – Вип. 45 – С. 396 – 406.
 13. Аксьонов С.Ю. Методика та результати визначення коефіцієнта температурної тріщиностійкості асфальтобетону / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – Вип. 91. – С. 84 – 88.
 14. Аксьонов С.Ю. Методика та результати визначення лінійного температурного деформування асфальтобетону / Онищенко А.М., Невінгловський В.Ф., Різніченко О.С., Аксьонов С.Ю. // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – 2014. – Вип. 92. – С. 56 – 62.
- **Опубліковані праці апробаційного характеру:**
15. Aksenov S., Method of preparation and test results of bitumen modified with polymers using laboratory blade mixer / Onischenko A., Aksenov S., Nevynhlovskyy V., Garkusha M., Riznichenko O. // Proceeding of the 17th Conference for Junior Researchers “Science – Future of Lithuania” Transport engineering and management, 8 May 2014, Vilnius, Lithuania. – 2014. –P. 41 – 44.
 16. Аксенов С.Ю. Экспериментальные исследования Южного мостового перехода через реку Днепр в городе Киев // Аксенов С.Ю., Онищенко А.Н. // Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (с международным участием). Экология и научно-технический прогресс. Урбанистика. Пермь. – 2015. – С. 223 – 231.

АНОТАЦІЯ

Аксьонов С.Ю. Метод розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Національний транспортний університет, Київ, 2016.

У дисертаційній роботі проведено аналіз умов роботи і стану асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах від впливу різних факторів, на основі якого розроблено розрахункові схеми та встановлено аналітичну залежність для удосконалення методу розрахунку довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах за тріщиностійкістю, з урахуванням термореологічної поведінки асфальтобетону від спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Обґрунтовано вибір умови довговічності та критерію граничного стану для оцінки тріщиностійкості асфальтобетонного покриття, з урахуванням спільного впливу зміни температури (сезонні річні та добові температури) та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Розроблено методика розрахунку асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах та послідовність його проектування. Отримані результати свідчать про те, що теоретичні розрахунки задовільно узгоджуються з експериментальними даними.

Розроблені практичні рекомендації щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття на металевих транспортних спорудах, здійснене практичне

застосування дисертаційних досліджень при проектуванні асфальтобетонних покриттів на металевих транспортних спорудах, що дозволило підвищити їх строк служби та отримати економічний ефект.

Ключові слова: автомобільна дорога, металева транспортна споруда, ортотропна плита, довговічність, тріщиностійкість, асфальтобетонне покриття, бітуми модифіковані полімерами, комплексне полімер-бітумне в'язуче.

АННОТАЦІЯ

Аксенов С.Ю. Метод расчета долговечности асфальтобетонного покрытия на металлических транспортных сооружениях. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Национальный транспортный университет, Киев, 2016.

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. Установлено, что существующие методы и модели оценки долговечности с позиции трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на металлических транспортных сооружениях носят разрозненный характер, необходимо разработать комплексный метод расчета долговечности асфальтобетонного покрытия на металлических транспортных сооружениях с учетом совместного воздействия изменения температуры (сезонных годовых и суточных температур) и действия пневматических колес транспортных средств.

В разделе 2. Приведены общие положения определения долговечности с позиции трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите металлических транспортных сооружений. Разработаны основные расчетные схемы работы и аналитические зависимости для расчета горизонтальных напряжений, возникающих в асфальтобетонном покрытии металлических транспортных сооружений при совместном действии изменения температур, а также действия пневматических колес транспортных средств. Также в работе обоснован выбор условия долговечности и критерия предельного состояния для оценки трещиностойкости асфальтобетонного покрытия на металлических транспортных сооружениях от совместного воздействия изменения температуры и действия пневматических колес транспортных средств. Разработан метод расчета долговечности асфальтобетонного покрытия и последовательность его проектирования.

В разделе 3. Получены экспериментальные испытания деформаций горизонтального листа ортотропной плиты металлических транспортных сооружений под его эксплуатационной нагрузкой, расчетные термореологические характеристики исследуемых асфальтобетонов, а именно: коэффициент температурной трещиностойкости, параметры функции релаксации, параметры функции долговечности асфальтобетонов на основе битума модифицированного, циклическая усталость, остаточные деформации в виде колеи, предел прочности на растяжение при изгибе с учетом разного времени действия нагрузки, а также прочность сцепления между асфальтобетоном и основой при сдвиге

Раздел 4. Разработаны методика расчета асфальтобетонного покрытия, конструкции дорожной одежды повышенной долговечности на металлических транспортных сооружениях, технические требования к гидроизоляции и асфальтобетонной смеси. Осуществлено практическое применение диссертационных исследований при

проектировании асфальтобетонных покрытий с повышенной долговечностью, что позволило повысить их срок службы и получить экономический эффект.

В выводах обобщены полученные в работе новые научные результаты теоретических, экспериментальных и практических исследований, а именно: метод расчета, который позволяет проектировать асфальтобетонное покрытие на металлических транспортных сооружениях повышенной долговечности.

Приложение А содержит результаты обследования асфальтобетонного покрытия на ортотропной части металлических транспортных сооружений на примере Южного и Московского мостовых переходов в г. Киеве.

В приложении Б представлен подбор зерновых составов различных типов асфальтобетонных смесей и их физико-механические свойства.

Приложение В содержит результаты натурных исследований фактических деформаций горизонтального листа ортотропной плиты металлических транспортных сооружений на примере Южного мостового перехода через р. Днепр в г. Киеве.

В приложении Г представлены закономерности действия факторов и численный анализ асфальтобетонного покрытия на ортотропной плите металлических транспортных сооружений.

В приложении Г представлена технология укладки асфальтобетонного литого покрытия на ортотропной плите металлических транспортных сооружений.

В приложении Д представлен расчет экономической эффективности применения диссертационных исследований.

Приложение Ж содержит справки о внедрении результатов разработок.

Ключевые слова: автомобильная дорога, металлическое транспортное сооружение, ортотропная плита, долговечность, трещиностойкость, асфальтобетонное покрытие, битумы модифицированные полимерами, комплексное полимер-битумное вяжущее.

SUMMARY

Aksenov S.Y. The method of calculating durability of asphalt pavement on metal structures. – Manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.22.11 – roads and airports. – National Transport University, Kyiv, 2016.

The thesis analyzes dependence of conditions of asphalt pavement on metal structures from various factors and develops analytical models and analytical dependence for developing a method of calculating durability of asphalt pavement on metal structures for crack resistance considering performance of asphalt with joint action of temperature changes and wheels of vehicles.

The thesis proves choice of durability conditions and limit criteria for assessing crack resistance of asphalt pavement considering joint action of temperature and transport (seasonal annual and diurnal temperature). Engineering method of calculation asphalt pavement on metal structures and sequence of its design has been developed. The results indicate that the theoretical calculations are in satisfactory agreement with experimental data.

We have developed practical recommendations for improving durability of asphalt pavement on metal structures and practical application of thesis research data in the design of asphalt concrete pavements on metal structures thus improving their lifetime and receive economic effect.

Key words: road, metal structure, orthotropic slab, durability, crack resistance, asphalt pavement, polymer modified bitumen, complex polymer-bitumen binder.