

Міністерство освіти і науки України
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ
УНІВЕРСИТЕТ



ДОРОЖКО ЄВГЕН ВІКТОРОВИЧ

УДК 625.852

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ ТОНКИХ
АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ НА ЖОРСТКІЙ ОСНОВІ

Спеціальність 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті (ХНАДУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ряпухін Віталій Миколайович,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет, професор кафедри вишукувань та проектування доріг і аеродромів, м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Гамеляк Ігор Павлович,
Національний транспортний університет,
завідувач кафедри аеропортів.

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
Вирожемський Валерій Костянтинович,
Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»
(ДП «ДерждорНДІ»),
перший заступник директора з наукової роботи.

Захист відбудеться « 20 » жовтня 2016 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.059.01 при Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25, конференц-зал.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за адресою: 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25.

Автореферат розісланий « 14 » вересня 2016 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
доцент, кандидат технічних наук



Р.В. Смолянук

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В Україні протягом багатьох років спостерігається значне зростання інтенсивності руху та навантаження на дорожній одяг. У таких умовах доцільно збільшити обсяги будівництва доріг з використанням дорожнього одягу жорсткого типу, оскільки він має високу міцність та довговічність у порівнянні з нежорстким дорожнім одягом. Важливими є економічні аспекти будівництва бетонних покриттів. В Україні спостерігається нестача власної сировини для виробництва дорожнього бітуму, а випуск цементу практично необмежений з точки зору сировини і ресурсів.

Цементобетонні покриття відрізняються важкістю виконання ремонтних робіт, тому при їх ремонті та новому будівництві можна застосовувати влаштування тонкошарового покриття з асфальтобетонної суміші (згідно з класифікацією наведеною у ВБН В.2.3–218–532 «Влаштування тонкошарових покриттів на автомобільних дорогах державного значення» це асфальтобетонний шар товщиною до 5 см, в подальшому – тонкий асфальтобетонний шар). Таке конструктивне рішення при ремонті цементобетонних плит дозволяє покращити їх техніко-експлуатаційний стан. При новому будівництві тонкий асфальтобетонний шар виконує функцію захисного шару або шару зносу на цементобетонних плитах.

Поведінка асфальтобетонних шарів на цементобетонних плитах значно відрізняється від інших конструктивних рішень. Асфальтобетонні шари на жорсткій основі знаходяться під впливом навантаження від дії транспортних засобів та температурних напружень. Температурні напруження виникають оскільки цементобетонна плита, при умові забезпеченого зчеплення між асфальтобетонним шаром та цементобетонною плитою, обмежує вільне температурне деформування асфальтобетонного шару.

Складний напружено-деформований стан асфальтобетонного шару, що пояснюється одночасною дією напружень від транспортного навантаження та температурних напружень може призвести до досить швидкого руйнування та витрат на передчасні ремонти. В практиці дорожнього будівництва розроблені не досить досконалі методи конструювання і розрахунку міцності асфальтобетонних покриттів жорстких дорожніх одягів значної товщини (більше 14 см). Нормують лише окремі критерії міцності асфальтобетонного шару, не враховують одночасність дії температурних напружень і напружень, що викликані дією транспортних засобів, особливостей поведінки тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах та ін. Відзначене вище свідчить про те, що теоретична база з розрахунку міцності тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах розроблена недостатньо. Відсутність методики розрахунку за критеріями міцності тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах зумовлює передчасне руйнування асфальтобетонного шару і, як наслідок, зниження міжремонтного строку.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення методу розрахунку за критеріями міцності тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі з цементобетонних плит з врахуванням одночасної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційні дослідження виконано відповідно до тематики науково-дослідницьких робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету і планами робіт Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор», в рамках виконання госпдоговірних науково-дослідницьких робіт за темами № 115/37-38-09 «Провести дослідження та розробити методику розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість» (№ державної реєстрації 0109U007621), № 58/37-41-11 «Провести дослідження і розробити методику розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону» (№ державної реєстрації 0111U003855), № 66/37-50-12 «Переробити, доповнити та привести у відповідність до сучасних нормативних вимог альбом типових конструкцій дорожніх одягів нежорсткого типу під розрахункові навантаження А1, А2, Б» (№ державної реєстрації 0112U004743).

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження полягає в удосконаленні методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі шляхом врахування сумісної дії напружень від транспортного навантаження та напружень від температурного деформування. Досягнення мети забезпечується рішенням наступних завдань:

- провести аналіз конструктивних рішень і методів розрахунку асфальтобетонних шарів на жорсткій основі (цементобетонних плитах);
- обґрунтувати розрахункову схему напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару та цементобетонної плити від дії температурного деформування та розробити математичну модель напружено-деформованого стану комбінованої системи;
- обґрунтувати критерії міцності тонкого асфальтобетонного шару влаштованого на жорсткій основі;
- розробити дилатометр та експериментально визначити температурний коефіцієнт лінійного розширення (ТКЛР) асфальтобетону при нагріванні та охолодженні у діапазоні позитивних температур;
- виконати чисельне моделювання напружено-деформованого стану тонких асфальтобетонних шарів на цементобетонних плитах при комплексній дії напружень від транспортного навантаження і напружень від температурного деформування;
- розробити рекомендації з розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.

Об'єкт дослідження – процес деформування асфальтобетонного шару на жорсткій основі.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан асфальтобетонного шару на жорсткій основі від комплексного навантаження, що виникає під дією транспортного навантаження та температурного деформування.

Методи дослідження. Методичною основою дослідження є застосування методів механіки деформованого твердого тіла, методів теорії пружності та термопружності стосовно до задач оцінки напружено-деформованого стану та визначення критеріїв міцності тонких асфальтобетонних шарів на цементобетонних плитах. Застосування методу скінчених елементів для моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів покриття від дії транспортного навантаження. Температурні коефіцієнти лінійного розширення різних типів

асфальтобетону досліджуються експериментально.

Для оцінки адекватності і достовірності отриманих результатів експериментальних досліджень застосовуються методи математичної статистики і визначається необхідна кількість вимірювань, результати моделювання порівнюються з загальновизнаними, апробованими рішеннями напружено-деформованого стану шаруватих систем і пружного напівпростору.

Наукова новизна отриманих результатів:

- дістав подальшого розвитку метод розрахунку температурних напружень в асфальтобетонному шарі на цементобетонній плиті, який враховує температурні деформації цементобетонної плити та асфальтобетонного шару. Це надало змогу визначити напружений стан тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від дії температурного деформування з врахуванням часу дії деформування;

- отримано рішення задачі розрахунку напруженого стану тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті від сумісної дії температурного деформування та транспортного навантаження, яке враховує час дії транспортного навантаження та температурного деформування. Це дозволило визначити повний тензор активних напружень в асфальтобетонному шарі;

- науково обґрунтовано систему критеріїв міцності тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті, яка враховує зчеплення шарів та зсувостійкість покриття. Це надало змогу підвищити точність визначення коефіцієнтів міцності та надійності конструкції дорожнього одягу з тонким асфальтобетонним шаром на жорсткій основі на етапі проектування та обґрунтувати мінімально допустимі товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі за умови забезпечення зчеплення на контакті шарів для різних типів підґрунтовки та зсувостійкості асфальтобетонного шару.

Практичне значення отриманих результатів:

- розроблена оригінальна конструкція дилатометру для визначення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів різних типів в режимі нагріву і охолодження при плюсових температурах (патент України № 109853);

- розроблено довідкову базу температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів в діапазоні плюсових температур від 20 °С до 40 °С при нагріві та охолодженні, яку рекомендовано застосовувати при розрахунках напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів на жорсткій основі;

- розроблено практичні рекомендації з розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі за критеріями міцності з врахуванням часу дії деформування асфальтобетонного шару;

- обґрунтовано мінімально допустиму товщину асфальтобетонного шару на жорсткій основі з умови забезпечення зчеплення на контакті шарів для різних типів підґрунтовки для різних регіонів України.

Результати роботи використані при розробці «Проекту капітального ремонту автомобільної дороги державного значення Н-01 Київ – Знам'янка, км 14+740 – км 43+345 в межах Київської області» при розрахунках конструкції дорожнього одягу на ділянках км 21+700 – км 39+000.

Розроблено «Методику розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону»

(М 02071168-708:2012).

Особистий внесок здобувача. Усі результати, що наведені в дисертаційній роботі, одержані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю. В опублікованих роботах автору належать:

- аналіз роботи асфальтобетонних шарів на жорсткій основі та узагальнення існуючих методів розрахунку за критеріями міцності [4, 9, 11];
- аналіз впливу температурного режиму комбінованої плити на напружено-деформований стан тонкого асфальтобетонного шару [2, 4, 5, 7, 9, 10, 18, 19];
- розроблення рішення щодо визначення температурних напружень в асфальтобетонному шарі на цементобетонній плиті з урахуванням часу дії деформування покриття [4-7, 9-11, 18, 19];
- розроблення узагальненого рішення щодо визначення напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті від сумісної дії температурного деформування та транспортного навантаження [5, 9, 11, 19];
- наукове обґрунтування та вибір критеріїв міцності тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі [5, 8, 11-17];
- розроблення конструкції та виготовлення дилатометру для визначення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів [3, 10, 19-21];
- організація та проведення експерименту щодо визначення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів різних типів при нагріванні та охолодженні в діапазоні позитивних температур [3, 10, 18, 19];
- моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі та аналіз результатів експериментального дослідження [1, 3, 4, 6, 7, 10, 17];
- розроблення порядку розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі за критеріями міцності з урахуванням одночасної дії транспортного навантаження та температурного деформування [5, 7, 9, 11, 19].

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на: Міжнародній науковій конференції молодих вчених та студентів «Будівництво, реконструкція та дизайн сучасного містобудування» (Луцьк, 7-9 квітня 2011 р.); 7th International Scientific Conference TRANSBALICA 2011 (Вільнюс, 5-6 травня 2011 р.); всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием «Современные научные исследования в дорожном и строительном производстве» (Перм, 19 – 20 травня 2011 р.); 15th International Conference TRANSPORT MEANS – 2011 (Каунас, 20 жовтня 2011 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи проектування, будівництва та експлуатації систем водовідводу на автомобільних дорогах» (Київ, 1-2 березня 2012 р.); международная научно-практическая конференция с участием студентов и молодых ученых «Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов» (Харків, 1-4 листопада 2012 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні методи і технології проектування, будівництва та експлуатації інженерних споруд на автомобільних дорогах» (Київ, 4-5 квітня 2013 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху» (Харків, 16-17 квітня 2013 р.); 8th International Scientific

Conference TRANSBALTICA 2013 (Вільнюс, 9-10 травня, 2013 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» (Харків, 14-16 листопада 2013 р.); I міжнародному науково-практичному конгресі «Міське середовище – XXI сторіччя» «Архітектура. Будівництво. Дизайн» (Київ, 10-14 лютого 2014 р.); 17th Conference for Junior Researchers «Science – Future of Lithuania» Transport Engineering And Management (Вільнюс, 8 травня 2014 р.); III міжнародній науково-технічній конференції «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», (Луцьк, 29 травня – 1 червня 2014 р.); 9th International Scientific Conference Transbaltica 2015. (Вільнюс, 8-9 травня, 2015 р.); конференціях викладачів, аспірантів та молодих вчених ХНАДУ (2010 – 2016 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 21 наукову працю: 7 наукових статей у фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (у тому числі 1 без співавторів), 6 статей у збірниках науково-технічних конференцій, 6 статей за кордоном, 1 патенті на корисну модель, 1 патенті на винахід. В тому числі 3 статті опубліковані у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз.

Структура дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг дисертації становить 280 сторінок, у тому числі 10 додатків на 83 сторінках, 71 рисуноків та 32 таблиці. Список використаних джерел налічує 168 найменувань на 20 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета і завдання дослідження, визначено об'єкт і предмет дослідження, викладено наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів.

У першому розділі наведений аналіз деформацій та руйнувань, методів конструювання та методів розрахунку за критеріями міцності асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.

Встановлено, що до основних деформацій і руйнувань тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі відносяться втрата зчеплення між асфальтобетонним шаром та цементобетонною плитою, відображені тріщини в асфальтобетонному шарі, колійність та зсуви покриття. Перераховані деформації і руйнування виникають завдяки дії двох головних факторів: напружень від температурного деформування і напружень від транспортного навантаження. Напруження, що викликані температурним деформуванням і транспортним навантаженням, діють незалежно один від одного та можуть поєднуватись.

Для попередження відображеного тріщиноутворення в асфальтобетонному шарі пропонується влаштовувати деформаційні шви над швами цементобетонних плит. Таким чином дорожній одяг розрізається на комбіновані плити, які працюють окремо одна від одної.

Розрахунку асфальтобетонного покриття на цементобетонній основі присвячені роботи В.Ф. Бабкова, О.І. Безбабічевої, А.М. Богуславського, В.А. Веренько, В.К. Вирожемського, І.П. Гамеляка, С.К. Головка, Ф.П. Гончаренко, Л.І. Горєцького, В.К. Жданюка, О.О. Жукова, А.М. Защепіна, М.М. Іванова, О.М. Іщенко, В.І. Каськіва, О.Ю. Мерзликіна, И.А. Меднікова, В.В. Мозгового,

В.М. Нагайчука, Н.В. Невінгловського, А.М. Онищенко, О.Г. Островерхого, Д.О. Павлюка, Є.Д. Прусенко, Б.С. Радовського, В.М. Ряпухіна, В.Я. Савенко, Г.К. Сюньї, В.М. Щербаченко та ін.

Аналіз роботи асфальтобетонних шарів на жорсткій основі та досліджень різних авторів і нормативних документів з розрахунку міцності асфальтобетонного шару на цементобетонній плиті дозволив встановити, що більшість з нормативних документів і розглянутих дослідницьких робіт присвячена розрахункам асфальтобетонних шарів товщиною більш ніж 14-18 см, та майже відсутні методи розрахунку тонких асфальтобетонних шарів. Існуючі рішення недостатньо або взагалі не враховують комплексність дії транспортних навантажень та температурного деформування. Фактично більшість нормативних документів та досліджень науковців враховують окремо або дію зовнішнього навантаження, або температурні напруження. При цьому відомо, що напруження від цих двох складових можуть поєднуватися та збільшуватися. Це може призвести до руйнувань, навіть в разі забезпеченості міцності при окремому врахуванні температурних напружень та зовнішніх навантажень.

Відсутня критеріальна база з розрахунків на міцність асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, яка б була адекватною механізмам руйнування, що найбільш часто виникають. Жодним з розглянутих методів розрахунку не передбачено перевірку за критерієм міцності контакту асфальтобетонного шару та цементобетонної плити на зчеплення. Не враховується горизонтальна сила, що виникає від тягового зусилля або гальмування автомобіля. Розрахунки на температурні напруження виконуються лише для перевірки можливості виникнення температурних тріщин, тобто для діапазону від'ємних температур. Але колійність, випирання, зсуви асфальтобетонного покриття, втрата зчеплення асфальтобетонного шару з цементобетонною плитою відбуваються при високих плюсових температурах. У жодному з розглянутих методів розрахунку не відображено критеріїв, які б оцінювали міцність асфальтобетону проти зсувів, випирань та колійності.

Таким чином, аналіз конструктивних рішень з влаштування асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, деформацій і руйнувань, особливо притаманних тонким шарам, аналіз наукових досліджень і методів розрахунку асфальтобетонних шарів на жорсткій основі свідчить про необхідність удосконалення методів розрахунку та критеріїв міцності тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.

У другому розділі дисертації наведено розроблену розрахункову схему для визначення температурних напружень в асфальтобетонному шарі, визначено вплив добового коливання температури конструкції на напружено-деформований стан асфальтобетонного шару, визначено повний тензор напружень в асфальтобетонному шарі від сумісної дії зовнішнього навантаження і температурного деформування та критерії міцності тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі.

З урахуванням закономірностей розподілу транспортних засобів по ширині смуги руху і напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на цементобетонних плитах від сумісної дії транспортного навантаження і температурного деформування при навантаженні у різних місцях плит, за розрахункове прийнято навантаження розташоване по центру плити.

Температурне розширення (або стискання) асфальтобетонного шару і цементобетонної плити залежать від коефіцієнтів теплодеформативності (ТКЛР) цих матеріалів і градієнтів температур, при цьому ТКЛР асфальтобетону у декілька разів більше ніж цементобетону.

У розрахунковій схемі передбачено зчеплення асфальтобетонного шару і цементобетонної плити на контакті шарів за рахунок конструктивно-технологічних прийомів: вибір раціональної товщини асфальтобетонного шару, типу та кількості підгрунтовки. Для боротьби з відображенням тріщиноутворенням в асфальтобетонному шарі над стиками цементобетонних плит нарізаються шви. Таким чином конструкція дорожнього одягу розглядається, як окремі плити, що розрізані температурними швами із забезпеченням зчеплення на контакті шарів.

При умові забезпеченого зчепленого контакту асфальтобетонного шару і цементобетонної плити, зміна температури такої комбінованої плити, викликає однакові деформації цих шарів в зоні їх контакту. При цьому асфальтобетонний шар має меншу товщину і значно меншу жорсткість ніж цементобетонна плита, тому асфальтобетонний шар вимушений деформуватися так само як цементобетонна плита в основі. При зміні температури комбінованої плити в асфальтобетонному шарі виникають вимушені (нереалізовані) деформації та відповідні температурні напруження.

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі пропонується визначати за величиною нереалізованої температурної деформації з використанням інтегрального рівняння лінійної в'язко-пружності спадкоємного типу Больцмана-Вольтера, що наведені у роботах О.М. Іщенко, В.В. Мозгового, В.Ф. Невінгловського, А.М. Онищенко та ін:

$$\sigma_{a\phi} = \int_0^t R(t - \tau) d\varepsilon(\tau), \quad (1)$$

де $\sigma_{a\phi}$ – температурні напруження в асфальтобетонному шарі, МПа;

$R(t - \tau)$ – функція релаксації асфальтобетонного шару при температурі (t), МПа;

τ – час, який передує моменту спостереження, с;

$\varepsilon(\tau)$ – сумарна нереалізована відносна температурна деформація асфальтобетонного шару на жорсткій основі.

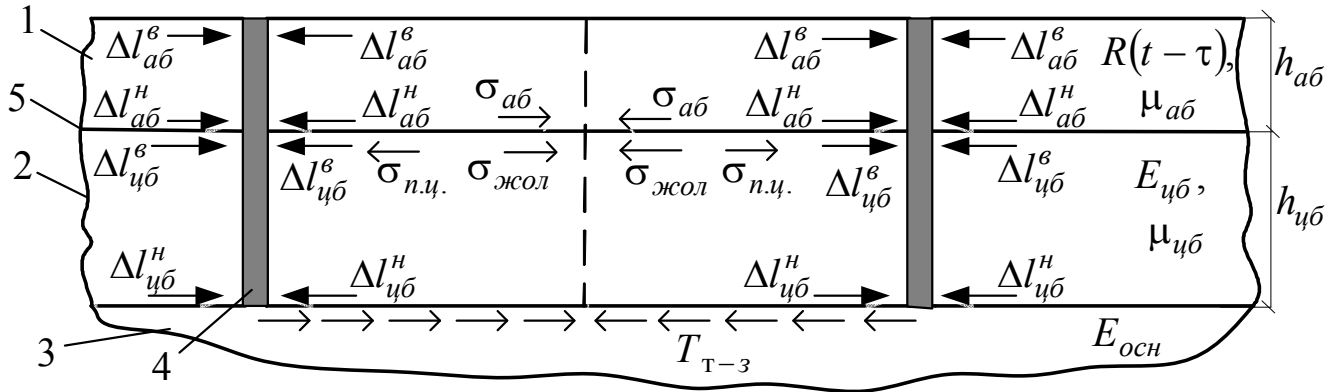
Нереалізована температурна деформація асфальтобетонного шару дорівнює різниці між деформацією при вільному подовженні $\varepsilon_{a\phi}^B(\tau)$ (вільний контакт асфальтобетонного шару та цементобетонної плити) та фактичної деформації $\varepsilon_{a\phi}^{\Phi}(\tau)$:

$$\varepsilon_{a\phi}^H(\tau) = \varepsilon_{a\phi}^B(\tau) - \varepsilon_{a\phi}^{\Phi}(\tau), \quad (2)$$

Оскільки для прийнятої умови зчепленого контакту шарів температурна деформація асфальтобетонного шару $\varepsilon_{a\phi}^{\Phi}(\tau)$ і цементобетонної плити $\varepsilon_{цб}^{\Phi}(\tau)$ будуть однакові, то визначити фактичну відносну температурну деформацію асфальтобетонного шару можна за деформацією цементобетонної плити:

$$\varepsilon_{a\phi}^{\Phi}(\tau) = \varepsilon_{цб}^{\Phi}(\tau), \quad (3)$$

Розглянуто температурне деформування комбінованої плити та виникаючі при цьому зусилля, рис. 1.



1 – асфальтобетонний шар; 2 – цементобетонна плита; 3 – пружна основа;
4 – деформаційний шов; 5 – контакт шарів з забезпеченим зчепленням;

Δl_{cb}^{ϵ} , Δl_{cb}^{η} – зміна розмірів верху та низу цементобетонної плити; $R(t - \tau)$ – функція релаксації асфальтобетону; μ_{ab} , μ_{cb} – коефіцієнт Пуассона E_{cb} – модуль пружності цементобетону; $E_{осн}$ – модуль пружності основи; h_{ab} – товщина асфальтобетонного шару; σ_{ab} – напруження в асфальтобетонному шарі від температурного деформування; $\sigma_{жол}$ – напруження в цементобетонній плиті від жолоблення; $\sigma_{н.ц.}$ – напруження в цементобетонній плиті від позакцентрового прикладення сил тертя-зчеплення; $T_{т-з}$ – сили тертя-зчеплення

Рисунок 1 – Розрахункова схема комбінованої плити при дії температурного деформування при нагріві конструкції

При переміщенні нижньої поверхні плити по основі виникає сила тертя-зчеплення, яка заважає вільному подовженню плити (вільному температурному деформуванню плити). Встановлено на скільки ця сила змінить величину вільної температурної деформації цементобетонної плити.

Від позакцентрового прикладення навантаження тертя-зчеплення на підшві плит виникає напруження розтягу або стиску у верхній площині цементобетонної плити (при підвищенні температури будуть напруження розтягу, при зниженні температури – стиску). Ці напруження збільшують величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити (при нагріві конструкції збільшують деформації розтягу, при охолодженні збільшують деформації стиску).

Перепад температури по товщині цементобетонної плити приводить до появи напружень жолоблення. Ці напруження також змінюють характер температурного деформування цементобетонної плити, оскільки на цементобетонну плиту діють додаткові об'ємні сили жолоблення плити. Дія цих об'ємних сил обумовлена температурним перепадом по товщині плити та обмеженням жолоблення плити за рахунок власної ваги. Напруження жолоблення зменшать величину вільного температурного деформування поверхні цементобетонної плити (при нагріві конструкції зменшують деформації розтягу, при охолодженні зменшують деформації стиску).

Підсумкове фактичне температурне деформування поверхні цементобетонної плити з урахуванням дії сил тертя-зчеплення по підшві плити та напружень жолоблення:

$$\varepsilon_{цб}^{\phi}(\tau) = \varepsilon_{цб}^{\text{в}}(\tau) - \varepsilon_{цб}^{\text{тр}}(\tau) + \varepsilon_{цб}^{\text{пш}}(\tau) - \varepsilon_{цб}^{\text{ж}}(\tau), \quad (4)$$

де $\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{в}}(\tau)$ – відносна вільна деформація цементобетонної плити;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{тр}}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку затримається вільна деформація за рахунок сил тертя-зчеплення на підшві плити;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{пл}}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку зміниться відносна вільна деформація поверхні цементобетонної плити від позacentрового прикладення сил тертя-зчеплення;

$\varepsilon_{\text{цб}}^{\text{ж}}(\tau)$ – величина відносної деформації цементобетонної плити, на яку зміниться відносна вільна деформація верхньої площини цементобетонної плити від дії напружень жолоблення.

Температурні напруження в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі з урахуванням вище викладеного пропонується розраховувати за наступною формулою:

$$\sigma_{\text{аб}} = \int_0^t R(t) \times \left[\left(\alpha_{\text{цб}} \times \left[\Delta T_{\text{цб}}^{\text{ср}*}(\tau) + \frac{1}{3} \left(\Delta T_{\text{цб}}^{\text{в}}(\tau) - \Delta T_{\text{цб}}^{\text{ср}*}(\tau) \right) \right] \right) - \left(\frac{(\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{\text{цб}})}{E_{\text{цб}}} \right) + \left(\frac{L \times (\rho \times f + 0,5 \times c) \times (1 - \mu_{\text{цб}})}{h_{\text{цб}} \times E_{\text{цб}}} \right) - \left(\frac{2}{3} \times \alpha_{\text{цб}} \times (T_{\text{цб}}^{\text{в}}(\tau) - T_{\text{цб}}^{\text{н}}(\tau)) \times m \right) - \alpha_{\text{аб}} \times \left(\frac{\Delta T_{\text{аб}}^{\text{в}}(\tau) + \Delta T_{\text{аб}}^{\text{н}}(\tau)}{2} \right) \right] d\tau, \quad (5)$$

де $\alpha_{\text{цб}}$ – ТКЛР цементобетонну, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

де $\Delta T_{\text{цб}}^{\text{ср}*}(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) в середині цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta T_{\text{цб}}^{\text{в}}(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) верха цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$.

де ρ – питомий тиск на підшві плити, від ваги комбінованої плити та розрахункового автомобіля, МПа;

f – коефіцієнт тертя між цементобетонною плитою та основою;

c – зчеплення цементобетонної плити та основи, МПа.

$\mu_{\text{цб}}$ – коефіцієнт Пуассона цементобетону;

$E_{\text{цб}}$ – модуль пружності цементобетону, МПа;

L – довжина цементобетонної плити, м.

$T_{\text{цб}}^{\text{в}}(\tau)$ – температура верху цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{\text{цб}}^{\text{н}}(\tau)$ – температура низу цементобетонної плити, $^{\circ}\text{C}$;

m – емпіричний коефіцієнт міри напруженості ($0 < m < 1$);

$\alpha_{\text{аб}}$ – ТКЛР асфальтобетону, $^{\circ}\text{C}^{-1}$;

$\Delta T_{\text{аб}}^{\text{в}}(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) верха асфальтобетонного шару, $^{\circ}\text{C}$;

$\Delta T_{\text{аб}}^{\text{н}}(\tau)$ – температурний градієнт (зміна температури) низу асфальтобетонного шару, $^{\circ}\text{C}$.

У напружено-деформованому стані комбінованої плити температурні напруження, які виникають завдяки нереалізованій температурній деформації асфальтобетонного шару, мають дві функції:

а) по-перше, по низу асфальтобетонного шару в зоні контакту вони є дотичними напруженнями;

б) по-друге, на нижній площині асфальтобетонного шару вони являють собою температурні горизонтальні напруження.

Для врахування одночасності дії транспортного навантаження і температурного деформування прийнято принцип суперпозиції Больцмана, згідно з яким напруження від дії різних факторів визначаються окремо з урахуванням часу дії і підсумовуються. Система рівнянь напруженого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії зовнішнього навантаження і температурного деформування дозволяє визначити повний тензор напружень:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Sigma \sigma_Z = \sigma_Z^{Q,P}; \quad \Sigma \tau_{XZ} = \tau_{XZ}^{Q,P} + \tau_{XZ}^t; \\ \Sigma \sigma_X = \sigma_X^{Q,P} + \sigma_X^t; \quad \Sigma \tau_{YZ} = \tau_{YZ}^{Q,P} + \tau_{YZ}^t; \\ \Sigma \sigma_Y = \sigma_Y^{Q,P} + \sigma_Y^t; \quad \Sigma \tau_{XY} = \tau_{XY}^{Q,P}. \end{array} \right\} \Rightarrow \sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \quad (6)$$

де $\sigma_Z^{Q,P}$, $\sigma_X^{Q,P}$, $\sigma_Y^{Q,P}$, $\tau_{XZ}^{Q,P}$, $\tau_{YZ}^{Q,P}$, $\tau_{XY}^{Q,P}$ – напруження від дії транспортного навантаження, МПа;

σ_X^t , σ_Y^t , τ_{XZ}^t , τ_{YZ}^t – напруження від температурного деформування, МПа.

При дії зовнішнього навантаження і температурного деформування можливий відрив асфальтобетонного шару від цементобетонної плити, оскільки на контакті шарів діють дотичні напруження. Розрахунок за критерієм міцності на зчеплення на контакті асфальтобетонного шару і цементобетонної плити пропонується виконувати аналогічно до методики розрахунку на довговічність асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів (М 02070915-750:2016) Розрахунок полягає у порівнянні максимальних дотичних напружень на контакті шарів (τ_a) з міцністю контакту на зсув ($\tau_{гр}$), з врахуванням коефіцієнту запасу міцності:

$$\frac{\tau_{гр}}{\tau_a} \geq K_{мц}. \quad (7)$$

У процесі експлуатації для асфальтобетонів характерні колійність, напливи, зсуви. Для контрольної оцінки зсувостійкості асфальтобетонних шарів покриття запропонована методика, аналогічна до норм Білорусі. Коефіцієнт запасу міцності, по аналогії з ТКП 45-3.03-3-2004 визначається за формулою:

$$\tau_{XZ}^{Q,P} + \tau_{XZ}^t \leq \frac{Ck + |\sigma| \times tg\varphi}{K_3}, \quad (8)$$

де k – коефіцієнт, що дорівнює 0,8;

C – внутрішнє зчеплення матеріалу, МПа;

σ – нормальні напруження, МПа;

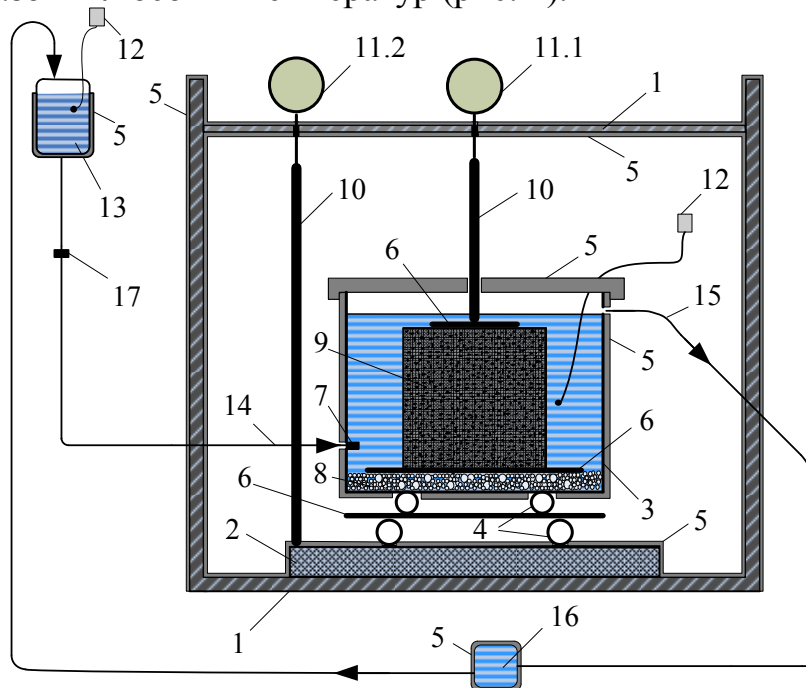
$tg\varphi$ – тангенс кута внутрішнього тертя матеріалу шару дорожньої конструкції.

При комплексній дії транспортного навантаження і температурного деформування, на відміну від порядку розрахунку наведеного у ТКП 45-3.03-3-2004 слід врахувати зміни компонентів дотичних напружень.

У третьому розділі наведено схему розробленого дилатометру, викладені експериментальні дослідження температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетону в режимі нагріву і охолодження в діапазоні позитивних температур, наведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару та встановлено вплив кожної складової температурного деформування цементобетонної плити у напружено-деформованому стані асфальтобетонного шару.

В літературних джерелах значення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетону наводиться переважно для вирішення питань температурної тріщиностійкості. Чисельні значення температурного коефіцієнту лінійного розширення визначалися в режимі охолодження, для діапазону температур від 20 °С до мінус 20 °С (мінус 30 °С). Для розрахунку температурних деформацій і напружень при температурі понад 20 °С необхідно експериментально визначити чисельне значення температурного коефіцієнту лінійного розширення для різних типів асфальтобетонів при нагріві та охолодженні в діапазоні плюсових температур.

З урахуванням вимог до визначення температурного коефіцієнту лінійного розширення твердих тіл і специфічних вимог до асфальтобетону запропонована наступна схема дилатометру, призначеного для роботи при нагріванні та охолодженні у діапазоні плюсових температур (рис. 2).



- 1 – металевий каркас установки; 2 – бетонна підставка; 3 – ємкість із кварцового скла;
 4 – трубочки із кварцового скла; 5 – теплоізолюючий матеріал (вспінений поліетилен);
 6 – пластинка із кварцового скла; 7 – пристрій для розподілення теплоносія; 8 – крихта із кварцового скла; 9 – асфальтобетонний зразок; 10 – штовхач із кварцового скла;
 11.1 – електронний індикатор для фіксації деформації зразка; 11.2 – контрольний індикатор;
 12 – термометр; 13 – терморегуляційна камера теплоносія;
 14 – трубочка для подачі теплоносія; 15 – трубочка для відводу теплоносія;
 16 – пристрій для перекачування теплоносія; 17 – регулятор швидкості руху теплоносія.

Рисунок 2 – Схема установки для визначення ТКЛР асфальтобетону

Штовхачі, пластини, трубки, крихти і ємкість виконані з кварцового скла, оскільки цей матеріал має незначну теплопровідність і дуже мале значення ТКЛР, а саме $0,6 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Значення ТКЛР кварцового скла і асфальтобетону відрізняється приблизно в 25-90 разів.

Перевірено правильність роботи обраної моделі дилатометру за зразковою мірою з відомим значенням температурного коефіцієнту лінійного розширення (сплав алюмінію АЛ 33 і прецизійний сплав марки 52 Н) та перевіркою зміщення нуля дилатометра. За результатами перевірки дилатометру встановлено, що зміщення нуля дилатометру не відбувається, а визначені значення ТКЛР відрізняються від довідкових менше ніж на 5 %.

Встановлено мінімальну кількість вимірювань температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетону в кожному діапазоні температур з забезпеченістю результатів вимірювання 0,95.

В результаті серії випробувань визначено температурний коефіцієнт лінійного розширення різних типів асфальтобетонів в режимі нагріву та охолодження, табл. 1.

Таблиця 1 – Частина підсумкової таблиці експериментально визначених значень температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів

Характеристика	Температурний інтервали, $^{\circ}\text{C}$		
	від 40 до 20	від 20 до 5	від 5 до 0
ЩМА – 5 БМП 60/90 7,2 % бітуму	$(24,7 \div 26,1) \cdot 10^{-6}$ середнє $25,4 \cdot 10^{-6}$	$(34,4 \div 36,2) \cdot 10^{-6}$ середнє $35,3 \cdot 10^{-6}$	$(39,1 \div 41,3) \cdot 10^{-6}$ середнє $40,2 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт варіації	0,02	0,02	0,02
ЩМА – 5 БМП 90/130 7,2 % бітуму	$(22,6 \div 24,0) \cdot 10^{-6}$ середнє $23,3 \cdot 10^{-6}$	$(32,9 \div 34,7) \cdot 10^{-6}$ середнє $33,8 \cdot 10^{-6}$	$(35,9 \div 37,9) \cdot 10^{-6}$ середнє $36,9 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт варіації	0,03	0,02	0,02
ЩМА – 15 БМП 60/90 6,2 % бітуму	$(22,5 \div 24,5) \cdot 10^{-6}$ середнє $23,5 \cdot 10^{-6}$	$(28,6 \div 31,0) \cdot 10^{-6}$ середнє $29,8 \cdot 10^{-6}$	$(36,4 \div 39,0) \cdot 10^{-6}$ середнє $37,7 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт варіації	0,04	0,03	0,03
ЩМА – 15 БМП 90/130 6,2 % бітуму	$(19,8 \div 21,6) \cdot 10^{-6}$ середнє $20,7 \cdot 10^{-6}$	$(25,9 \div 27,1) \cdot 10^{-6}$ середнє $26,5 \cdot 10^{-6}$	$(31,6 \div 33,2) \cdot 10^{-6}$ середнє $32,4 \cdot 10^{-6}$
Коефіцієнт варіації	0,04	0,02	0,02

Значення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетонів відрізняється для різних інтервалів температур. При розрахунках температурних деформацій і відповідних напружень варто враховувати, в якому саме температурному інтервалі працює конструкція. Встановлені температурні інтервали, де значення температурного коефіцієнту лінійного розширення асфальтобетону майже не змінюється та може вважатись постійним. Такими інтервалами є: від 0°C до 5°C , від 5°C до 20°C , від 20°C до 40°C .

Чисельне моделювання напружено-деформованого стану тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі під дією вертикального і горизонтального навантажень здійснено із залученням методу скінченних елементів.

Для визначення напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі

використано трьохшарові моделі, що складаються з асфальтобетонного шару, цементобетонної плити (з забезпеченим зчепленням на контакті асфальтобетонного шару та цементобетонної плити) і пружної основи. Кожен шар характеризується модулем пружності, коефіцієнтом Пуассона та товщиною. Значення модуля пружності та коефіцієнта Пуассона залежать від температури шару.

На поверхні моделі прикладене вертикальне (Q_v) або вертикальне та горизонтальне навантаження ($Q_v + P_r$), рис.3.

Для підтвердження правильності результатів моделювання проведено порівняння отриманих результатів з результатами, що отримано за точними аналітичними рішеннями Х.М. Вестергарда та В.П. Плевако. Різниця між напруженнями визначеними в результаті чисельного моделювання із залученням методу скінченних елементів та напруженнями визначених за відомими аналітичними рішеннями не перевищує 7 %.

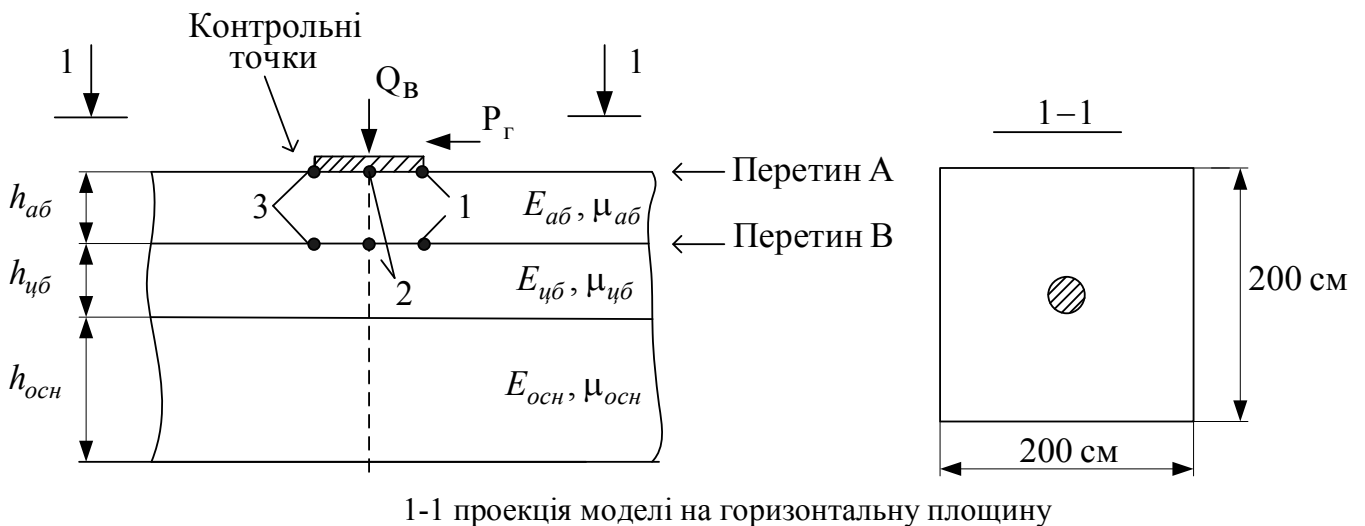


Рисунок 3 – Розрахункова модель асфальтобетонного шару на жорсткій основі

Статичне навантаження прикладається через круглий штамп, діаметр якого рівновеликий відбитку сліду колеса автомобіля, прийнято 34,5 см. Величина вертикального навантаження дорівнює 0,8 МПа, горизонтальна сила приймається в межах від 5 кН (для прямолінійних ділянок) до 45 кН (для умов екстреного гальмування).

За результатами моделювання визначено, що при зміні модуля пружності асфальтобетонного шару напруження змінюються лінійно. Перевірка наведеної залежності виконана для діапазону модулів пружності асфальтобетону від 400 МПа до 5000 МПа при величинах горизонтальної сили від 5 кН до 45 кН. Тому в подальшому можна проводити лінійну інтерполяцію напружень по модулям пружності суміжних значень.

За результатами моделювання розраховано складові напружень у декартовій системі координат, та складено розрахункові таблиці.

Виконано аналіз впливу складових відносної температурної деформації цементобетонної плити ($\varepsilon_{цб}^b(\tau)$, $\varepsilon_{цб}^{тр}(\tau)$, $\varepsilon_{цб}^{пл}(\tau)$, $\varepsilon_{цб}^ж(\tau)$) на напружено-деформований стан асфальтобетонного шару. В результаті аналізу визначено якими складовими температурного деформування цементобетонної плити для спрощення розрахунків можна знехтувати з похибкою в межах до 3 %. Це дозволило виконати спрощення формули (5) для визначення температурних напружень в асфальтобетонному шарі:

$$\sigma_{a\delta} = \int_0^t R(t) \times \left[\left(\alpha_{цб} \times \left[\Delta T_{цб}^{cp*}(\tau) + \frac{1}{3} \left(\Delta T_{цб}^B(\tau) - \Delta T_{цб}^{cp*}(\tau) \right) \right] \right) - \left(\frac{2}{3} \times \alpha_{цб} \times \left(T_{цб}^B(\tau) - T_{цб}^H(\tau) \right) \times m \right) \right) - \left(-\alpha_{a\delta} \times \left(\frac{\Delta T_{a\delta}^B(\tau) + \Delta T_{a\delta}^H(\tau)}{2} \right) \right) \right] d\tau, \quad (9)$$

У четвертому розділі наведено рекомендації з розрахунку тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі за критеріями міцності.

В результаті проведеного дослідження запропоновані рекомендації по вдосконаленню методу розрахунку тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі за критеріями міцності. Рекомендації ґрунтуються на наступних основних вихідних положеннях:

- шарувата система (тонкий асфальтобетонний шар, цементобетонна плита) знаходиться під дією комплексного навантаження від транспортних засобів і температурного деформування шарів;

- асфальтобетонний шар розрізано поперечними і поздовжніми швами на окремі плити. Шви в асфальтобетоні співпадають зі швами у цементобетонній плиті;

- розрахунково-конструктивними заходами забезпечується надійне зчеплення асфальтобетонного шару і цементобетонної плити;

- з урахуванням закономірностей розподілу транспортних засобів по ширині смуги руху і напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару і цементобетонної плити від комплексного навантаження у різних місцях плит прийнято за розрахункове навантаження по центру плити;

- навантаження від транспортних засобів враховує вертикальне (вага) навантаження і горизонтальне (гальмівні та інші сили);

- для визначення напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії навантаження транспортних засобів і температурного деформування прийнято принцип суперпозиції.

Схема розрахунку асфальтобетонного шару за критеріями міцності наведена на рис. 4 і складається з: вихідних даних, визначення параметрів конструктивних шарів, визначення напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару, розрахунку тонкого асфальтобетонного шару за критеріями міцності.

Напружено-деформований стан асфальтобетонного шару на жорсткій основі спочатку визначається окремо від дії зовнішнього навантаження і температурного деформування, з урахуванням часу дії навантажень. Потім визначені напруження від двох окремих складових підсумовуються за принципом суперпозиції.

Міцність тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі перевіряється за критеріями міцності:

- міцність зчеплення на контакті асфальтобетонного шару і жорсткої основи;

- зсувостійкість асфальтобетонного шару при розрахунковій температурі.

Якщо хоча б одна умова міцності не виконується, необхідно переглянути конструкцію дорожнього одягу.

Для забезпечення надійного зчеплення на контакті шарів для різних типів підґрунтовки та забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного шару в різних регіонах України встановлені мінімально необхідні товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі, які потрібно передбачити при конструюванні.

Результати досліджень були впроваджені при розробці М 218-02071168-681:2011 «Методика розрахунку асфальтобетонних шарів покриття на зсувостійкість» (№ державної реєстрації 0109U007621), М 02071168-708:2012

«Методика розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону» (№ державної реєстрації 0111U003855), «Альбом типових конструкцій дорожніх одягів нежорсткого типу під розрахункові навантаження А1, А2, Б» (№ державної реєстрації 0112U004743), які входять до бази нормативно-технічних документів Державного агентства автомобільних доріг України «Укравтодор».



Рисунок 4 – Структурно-логічна схема розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі за критеріями міцності

Результати роботи використані при розробці «Проекту капітального ремонту автомобільної дороги державного значення Н-01 Київ – Знам'янка, км 14+740 – км 43+345 в межах Київської області» при розрахунках конструкції дорожнього одягу на ділянках км 21+700 – км 39+000.

ВИСНОВКИ

У дисертації наведене теоретичне узагальнення і нове вирішення наукової задачі, що виявляється в розробці математичної моделі напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження і температурного деформування, що враховує час дії навантаження, показники теплодеформативності асфальтобетону і цементобетону та передачу напружень і деформацій в комбінованій плиті від цементобетонного шару в асфальтобетонний шар. Це дозволяє удосконалити метод розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.

В результаті проведеного дослідження зроблено наступні висновки:

1. За результатами аналізу конструктивних рішень, методів розрахунку, механізму деформування і руйнувань асфальтобетонних шарів на жорсткій основі обґрунтована доцільність врахування сумісної дії транспортного навантаження і температурного деформування при розрахунках тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі.

2. Обґрунтовано розрахункову схему напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі та дістало подальшого розвитку математична модель напружено-деформованого стану тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії транспортного навантаження та температурного деформування. Використання принципу суперпозиції з урахуванням часу дії навантажень і теплодеформативних властивостей матеріалу шарів конструкції дозволяє визначити повний тензор напружень в асфальтобетонному шарі на жорсткій основі.

3. Науково обґрунтовано критерії міцності тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі, які дозволяють врахувати міцність зчеплення на контакті шарів та зсувостійкість тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі.

4. За результатами визначених значень ТКЛР асфальтобетонів у діапазоні позитивних температур, за допомогою розробленого дилатометру механічного типу, встановлено закономірності зміни ТКЛР для різних типів асфальтобетонів в режимі нагріву і охолодження:

- значення ТКЛР можна вважати постійними для температурних інтервалів: від 0 °С до 5 °С, від 5 °С до 20 °С, від 20 °С до 40 °С;

- значення ТКЛР для всіх типів асфальтобетону зменшується при збільшенні температури від 0 °С до 40 °С на 20 % – 80 % (для ЩМА-5 з використанням 7,2 % БМП 60/90-52 ТКЛР зменшується від 40,2 °С⁻¹ до 25,4 °С⁻¹, для ЩМА-5 з використанням 7,2 % БМП 90/130-49 ТКЛР зменшується від 36,9 °С⁻¹ до 23,3 °С⁻¹, для ЩМА-15 з використанням 6,2 % БМП 60/90-52 ТКЛР зменшується від 37,7 °С⁻¹ до 23,5 °С⁻¹, для ЩМА-15 з використанням 6,2 % БМП 90/130-49 ТКЛР зменшується від 32,4 °С⁻¹ до 20,7 °С⁻¹).

5. За результатами математичного моделювання напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі обґрунтовано, що при оцінці міцності асфальтобетонного шару на жорсткій основі на зсувостійкість значення дотичних напружень, на відміну від відомих рішень, необхідно визначати не тільки від транспортного навантаження, а з урахуванням напружень від температурного деформування.

Визначено вагомість окремих складових температурних напружень тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі, це дозволило встановити, що для спрощення розрахунків:

- дією сили тертя-зчеплення на підшві цементобетонної плити, яка стримує температурне деформування можна знехтувати (похибка не більше 3 %);

- дію позацентрової сили тертя-зчеплення по нижній поверхні цементобетонної плити обов'язково слід враховувати в період, коли можливе примерзання цементобетонної плити до основи, при інших умовах неврахування призведе до похибки не більше 4 %;

- перепад температури по товщині цементобетонної плити (напруження жолоблення) можна не враховувати тільки при охолодженні конструкції (похибка не більше 2 %).

6. Сукупність отриманих теоретичних та експериментальних результатів дослідження становлять основу удосконалення методу розрахунку тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі. Результати дисертаційного дослідження впроваджено в «Методику розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону» (М 02071168-708:2012).

Встановлені мінімально допустимі товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі для різних регіонів України, які необхідно передбачити при конструюванні, для забезпечення надійного зчеплення на контакті шарів для різних

типів підгрунтовки:

– при використанні в якості підгрунтовки бітумної емульсії на ділянках перегону та кривих у плані необхідно передбачати товщину асфальтобетонного шару від 2 см і більше, на перехідно-швидкісних смугах та ділянках екстреного гальмування від 6 см і більше;

– при використанні розпилювальної підгрунтовки на ділянках перегону необхідно передбачати товщину асфальтобетонного шару від 6 см і більше, на кривих в плані від 7 см і більше, на перехідно-швидкісних смугах та ділянках екстреного гальмування 10 см і більше.

Очікуваний економічний ефект на капітальний ремонт від впровадження удосконаленого методу розрахунку становить 324 тис. грн/км.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях:

1. Дорожко Є.В. Вплив жорсткості суміжних шарів дорожньої конструкції на еквівалентні напруження у асфальтобетонних шарах / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник. – К., КНУБА, 2011. – Вип. 40. – Ч. 2. – С. 253-257.

2. Дорожко Є.В. Вплив температурних напружень при розрахунку тонкошарових асфальтобетонних покриттів на цементобетонній основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., НТУ, 2012. – Вип. 86. – С. 196-202.

3. Дорожко Є.В. Експериментальне визначення чисельного значення температурного коефіцієнта лінійного розширення асфальтобетону / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., НТУ, 2013. – Вип. 89. – С. 61-71.

4. Дорожко Є.В. Визначення температурних напружень в тонких асфальтобетонних шарах на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // «Наукові нотатки»: міжвузівський збірник за галузями знань «Металургія і матеріалознавство». – Луцьк, Луцький НТУ, 2014. – Вип. 46. – С. 147-153.

5. Дорожко Є.В. Врахування сумісної дії зовнішнього навантаження та температури при розрахунках тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко / Науковий вісник будівництва. – Х., ХНУБА, 2015. – Вип. 4/82. – С. 132-136.

6. Дорожко Е.В. Исследование деформирования образца из асфальтобетона на раскол с использованием тензометрической аппаратуры / Е.В. Дорожко, А.Г. Батракова, А.В. Воропай, В.Н. Ряпухин, П.А. Егоров // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Сборник научных трудов. – Х., ХНАДУ, 2015. – Вип. 71. – С. 45-49.

7. Дорожко Є.В. Аналіз впливу складових температурного деформування цементобетонної плити на напружено-деформований стан асфальтобетонного шару на жорсткій основі/ Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. – К., НТУ, 2015. – Вип. 93. – С. 172-180.

Збірники доповідей, тез конференцій і семінарів:

8. Dorozhko E. Limit states and strength criteria of thin asphaltic concrete layers on rigid base / E. Dorozhko, V. Ryapuhin // Proceedings of 15th International Conference. Transport Means. Kaunas University of Technology. – Kaunas, Lithuania: Technologija, 2011. – P. 254-257.

9. Дорожко Є.В. Рекомендації з вдосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг: матеріали міжнародної науково-технічної конференції. – Х.: ХНАДУ, 2013. – С. 36-41.

10. Дорожко Е.В. Температурные напряжения в асфальтобетонных слоях на жестком основании при нагревании и охлаждении / Е.В. Дорожко, В.Н. Ряпухин // Proceedings of the 17th Conference for Junior Researchers Science – Future of Lithuania. Transport engineering and management. – Vilnius, Lithuania: Technika, 2014. – P. 177-180.

11. Dorozhko E. Basic theoretical background for calculation of thin asphalt concrete coverings on a rigid base / E. Dorozhko, V. Ryapuhin // Transbaltica 2013. Proceedings of the 8th International Scientific Conference. – Vilnius, Lithuania: Technika, 2013. – P. 182-185.

12. Дорожко Є.В. Критерії міцності тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін, Г.О. Чепіга // Современные компьютерно-инновационные технологии проектирования, строительства, эксплуатации автомобильных дорог и аэродромов: материалы Международной научно-практической конференции с участием студентов и молодых ученых. – Х.: ХНАДУ, 2012. – С. 261-265.

13. Дорожко Є.В. Визначення найбільш небезпечних перетинів у асфальтобетонних шарах при розрахунках міцності на зсув / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін, Н.О. Нечитайло // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Х.: ХНАДУ, 2010. – С. 44-49.

14. Дорожко Є.В. Механізми руйнування асфальтобетону і вибір критерію міцності / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін, Н.О. Нечитайло // Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. – Х.: ХНАДУ, 2010. – С. 50-53.

15. Дорожко Е.В. Исследование мест концентрации напряжений от действия комплексной нагрузки в асфальтобетонных слоях при расчетах прочности на сдвиг / Е.В. Дорожко, В.Н. Ряпухин, В.В. Недоступ // Материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. – Пермь: ПГТУ, 2011. – том 1. – С. 291 – 294.

16. Dorozhko E. Calculating the most risky cross sections in asphaltic layers / E. Dorozhko, V. Ryapuhin // Transbaltica 2011. Proceedings of the 7th International Scientific Conference. – Vilnius, Lithuania: Technika, – 2011. – P. 257-260.

17. Дорожко Є.В. Забезпечення рівності і міцності тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху: матеріали III-ї міжнародної науково-практичної конференції. – Х.: ХНАДУ, 2013. – С. 184.

18. Дорожко Є.В. Визначення та порівняння температурних напружень в асфальтобетонних шарах на жорсткій основі при нагріванні та охолодженні / Є.В. Дорожко, В.М. Ряпухін // «Міське середовище – XXI сторіччя. Архітектура. Будівництво. Дизайн»: тези доповідей I-го міжнародного науково-практичного конгресу. – К.: НАУ, 2014. – С. 303-304.

19. Dorozhko E. Design procedure by strength criteria of asphalt layers on a rigid base taking into account the simultaneous action of external loads and thermal stresses / E. Dorozhko, V. Ryapuhin, R. Makovyey // Procedia Engineering. Transbaltica 2015. Proceedings of the 9th International Scientific Conference. – Vilnius, Lithuania: Technika, – 2016. – P. 101-108.

20. Патент на корисну модель 95586 Україна, (51) МПК G01N 25/16 (2006.01)

Механічний дилатометр для визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення асфальтобетону в діапазоні плюсових температур / Дорожко Є.В., Ряпухін В.М., Батракова А.Г.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № u201408292; заявл. 21.07.2014; опубл. 25.12.2014, Бюл. № 24, 2014 р.

21. Патент на винахід 109853 Україна, (51) МПК G01N 25/16 (2006.01) Механічний дилатометр для визначення температурного коефіцієнта лінійного розширення асфальтобетону в діапазоні плюсових температур / Дорожко Є.В., Ряпухін В.М., Батракова А.Г.; заявник Харківський національний автомобільно-дорожній університет. – № a201408308; заявл. 21.07.2014; опубл. 12.10.2015, Бюл. № 19, 2015 р.

АНОТАЦІЯ

Дорожко Є.В. Удосконалення методу розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми. – Харківський національний автомобільно-дорожній університет МОН України, Харків, 2016.

Розроблено математичну модель напружено-деформованого стану асфальтобетонного шару на жорсткій основі від сумісної дії температурного деформування та транспортного навантаження, яка враховує час дії транспортного навантаження та температурного деформування.

Експериментально визначений температурний коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону при нагріванні та охолодженні у діапазоні позитивних температур.

Обґрунтовано критерії міцності тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі, які дозволяють врахувати міцність зчеплення на контакті шарів та зсувостійкість тонкого асфальтобетонного шару на жорсткій основі.

Розроблено рекомендації з розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі. Встановлені мінімально допустимі товщини асфальтобетонного шару на жорсткій основі для різних регіонів України, які необхідно передбачити при конструюванні, для забезпечення надійного зчеплення на контакті шарів для різних типів підґрунтовки та забезпечення зсувостійкості асфальтобетонного шару.

Ключові слова: асфальтобетонний шар, жорстка основа, напружено-деформований стан, температурні напруження, напруження від транспортного навантаження, критерії міцності.

АННОТАЦИЯ

Дорожко Е.В. Усовершенствование метода расчета тонких асфальтобетонных слоев на жестком основании. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 – автомобильные дороги и аэродромы. – Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет МОН Украины, Харьков, 2016.

Разработана математическая модель напряженно-деформированного состояния асфальтобетонного слоя на жестком основании от совместного действия температурного деформирования и транспортной нагрузки, которая учитывает время действия транспортной нагрузки и температурного деформирования.

Экспериментально определен температурный коэффициент линейного

расширения асфальтобетона при нагревании и охлаждении в диапазоне положительных температур.

Обоснованы критерии прочности тонких асфальтобетонных слоев на жестком основании, которые позволяют учесть прочность сцепления на контакте слоев и сдвигоустойчивость тонкого асфальтобетонного слоя на жестком основании.

Разработаны рекомендации по расчету тонких асфальтобетонных слоев на жестком основании. Установлены минимально допустимые толщины асфальтобетонного слоя на жестком основании для различных регионов Украины, которые необходимо предусмотреть при конструировании, для обеспечения надежного сцепления на контакте слоев для разных типов подгрунтовки и обеспечения сдвигоустойчивости асфальтобетонного слоя.

Ключевые слова: асфальтобетонный слой, жесткое основание, напряженно-деформированное состояние, температурные напряжения, напряжения от транспортной нагрузки, критерии прочности.

ABSTRACT

Dorozhko E.V. The improvement of the method of calculation of thin asphalt concrete layers on a rigid base. – The manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences, on a specialty 05.22.11 – Roads and aerodromes. – Kharkiv National Automobile and Highway University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2016.

The analysis of the constructive solutions and calculation methods for asphalt concrete layers on a rigid base (concrete slabs) is done.

Design scheme of the stress-strain state of asphalt concrete layer and cement concrete slab from the effects of thermal deformation and the mathematical model of the stress-strain state of the combined system is proved. The solution of the problem of calculating the stress state of thin asphalt concrete layer on the plate from the joint action of temperature and deformation of the traffic load, which takes into account the duration of the traffic load and temperature deformation is received.

The stress-strain state of asphalt concrete layer on a rigid foundation is firstly determined separately from the action of traffic loads and thermal deformation, while taking into account the time of the action loads. Then certain voltage from two separate components summed according to the superposition principle.

Temperature coefficient of linear expansion of the asphalt concrete by heating and cooling in the range of positive temperatures experimentally derived. Reference base of the thermal coefficient of linear expansion of the asphalt concrete in the range of above-zero temperatures from 20 °C to 40 °C during heating and cooling was developed.

Criteria of durability of thin asphalt concrete layers on a rigid base which took into account the strength of adhesion on the contact layer and the shear resistance of thin asphalt concrete layer on a rigid base are proved.

On the basis of the conducted research the recommendations for calculation of thin asphalt concrete layers on a rigid base are given. The minimum allowable thickness of asphalt concrete layer on a rigid base for various regions of Ukraine, which must be considered when designing, to ensure a firm grip on the contact layers for different types of prime coating and the shear resistance of asphalt concrete set.

The expected economic effect for the overhaul of the introduction of the improved method of calculation is 324 thousand UAH/km.

Keywords: asphalt layer, a rigid base, the stress-strain state, thermal deformation, thermal stresses, stress from traffic loads, the strength criteria.