https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.26.172

УДК 625.745.1:691

Онищенко А. М. [1], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Зеленовський В. А. [2], *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*

[1] *Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*
[2] *Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

ОЦІНКА ЕПОКСИДНО-БІТУМНОГО КОМПОЗИТУ ДЛЯ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ В АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ТОНКОШАРОВИХ ПОКРИТТЯХ НА АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ

Анотація

Вступ. У цьому огляді епоксидні складові, зокрема епоксидну смолу та її затверджувач (термореактивні полімерні добавки), визначено у якості основного компоненту епоксидно-бітумного композиту (далі — ЕБК), який входить до складу асфальтобетонної суміші. Стаття спрямована на висвітлення отриманих результатів досліджень, що проведені з метою визначення фізико-механічних властивостей тонкошарового асфальтобетонного покриття із застосуванням ЕБК з метою його використання на автодорожніх мостах.

За результатами лабораторних випробувань епоксиасфальтобетон (далі — ЕАБ) можна вважати одним з кращих виборів для наступного покоління довговічних матеріалів для влаштування тонкошарових покриттів на автодорожніх мостах, враховуючи його механічні властивості і термічну стабільність [1], а також економічну життєздатність, відсутність потреби у гідроізоляції мостового полотна, надмірних витрат на технічне обслуговування та відновлення і довготривалий строк експлуатації.

Проблематика. Одним із основних механізмів руйнування асфальтобетонних покриттів на автодорожніх мостах, особливо з ортотропною плитою, є постійна їх динаміка від зовнішніх впливів, що викликає значні деформації, які нещадно впливають на довговічність всієї мостової конструкції.

Ураховуючи термореактивну природу епоксидних складових ідея застосування їх у якості модифікатора бітуму виникала з метою мінімізації деформацій асфальтобетонного покриття на мостах, зниження навантаження від маси мостового полотна на прогонові будови, а також підвищення стійкості покриття до впливу агресивних середовищ [2].

Дослідження фізико-механічних характеристик ЕАБ були здійснені за методологією Superpave.

Мета роботи. Метою статті є представлення фізико-механічних характеристик ЕАБ порівняно з традиційним асфальтобетоном на полімерному бітумі для якісної оцінки застосування ЕБК під час виготовлення епоксиасфальтобетонних сумішей (далі — ЕАБС) та визначенні дійсної можливості і рівня ефективності використання таких сумішей для влаштування мостового покриття на автомобільних дорогах, ураховуючи основну ціль — підвищення його довговічності при різних частотах навантажень за рахунок покращення показників міцності, тріщиностійкості та колієстійкості.

Для досягнення зазначеної мети проведено комплекс експериментальних досліджень, із порівнянням характеристик ЕАБ та ряду протоколів Superpave досліджених асфальтобетонів на полімерних бітумах, таких як:

– границя міцності на стиск за температури 50 °C, 20 °C та 0 °C;
– густина та водонасичення;

– границя міцності на розтяг при розколюванні;
– стійкість, умовна пластичність та показник умовної жорсткості за методом Маршалла;
– стійкість до утворення колії.

Звернено особливу увагу на визначення стійкості ЕАБ до утворення колії, оскільки під час виконання окремих етапів досліджень було виявлено, що при отримані позитивних результатів випробувань за іншими показниками, зокрема за показниками міцності, далеко не факт, що матеріал здатен пройти випробування на колієстійкість.

Після завершення відповідного комплексного натурного випробування мостового покриття з ЕАБ планується кількісна оцінка ефективності його використання порівняно з аналогічними типами покриттів, призначених для збільшення їх строку служби (від 30 до 40 років).

Матеріали і методи. Тонкошарове асфальтобетонне покриття на модифікованому термореактивними полімерними добавками бітумі для його застосування на ортотропній або залізобетонній плиті проїзної частини автодорожнього мосту.

Результати. Проведено оцінку фізико-механічних властивостей ЕБК, визначено рівень ефективності та можливість його застосування в асфальтобетонних тонкошарових покриттях на автодорожніх мостах для покращення їхньої якості та підвищення довговічності. Проведено комплекс лабораторних досліджень з метою порівняння властивостей ЕАБ та традиційних асфальтобетонів на полімерному бітумі.

Висновки. Після детального вивчення компонентів ЕАБ та проведеного огляду системи і механізму затвердівання було вивчено його фізико-механічні властивості. Проведені випробування показали, що ЕАБ є жорсткішим матеріалом порівняно із традиційним асфальтобетоном на полімерному бітумі і продемонстрував значно вищу міцність на стиск, набагато кращу стійкість до утворення колії, а також кращі властивості міцності на розтяг при розколюванні, стійкості, умовної пластичності, умовної жорсткості та водонепроникності. Показники при низькотемпературних випробуваннях ЕБК були значно вищими, ніж полімерних бітумів, а результати на міцність при розтягу показали, що він є більш стійким до розтріскування при низькій температурі [2]. Тому можна зробити висновок, що ЕАБ має впевнену перспективу для застосування в якості покриття на ортотропній або залізобетонній плиті проїзної частини автомобільного мосту. Однак, його використання потребує особливої уваги при встановленні тривалості і температури затвердівання ЕБК, а також під час підбору оптимального складу суміші та технології приготування, адже недотримання зазначеного може значно впливати на його фізико-механічні властивості.

Ключові слова: бітум, довговічність, епоксидно-бітумний композит, епокси-асфальтобетон, епоксиасфальтобетонна суміш, епоксидна смола, залізобетонна плита, колієстійкість, міст, мостове покриття, ортотропна плита, покриття.

Вступ

На теперішній час на автомобільних дорогах в Україні більшість мостів мають асфальтобетонне покриття. Основна причина застосування саме асфальтобетону полягає у необхідності додаткового гідроізоляційного захисту мостових конструкцій [3].

Зважаючи на те, що основним механізмом руйнування асфальтобетонних покриттів на мостах є постійна динаміка від зовнішніх впливів, яка викликає значні деформації та ураховуючи, що за останні роки у зв’язку із зростанням параметрів транспортних навантажень, в умовах високоінтенсивного вантажонапруженого транспортного потоку, традиційні асфальтобетони не здатні забезпечити необхідні фізико-механічні властивості мостових покриттів, вони досить швидко втрачають несну здатність, що згубно впливає на загальний стан всієї мостової конструкції та звісно скорочуються міжремонтні строки.

Тому дійсно, існує інтерес щодо вирішення проблеми попередження утворенню дефектів на покриттях автодорожніх мостів та подовження строків їх експлуатації, що спонукає до проведення ґрунтовних досліджень щодо можливості застосування так званих ЕАБ.

До того ж, дорожні роботи, пов'язані з обслуговуванням та відновленням мостового покриття, можуть спричинити значні економічні втрати [4]. Довговічність таких покриттів значно зменшить потребу в таких заходах, а також пов'язані з цим незручності та витрати користувачів. Мости з інтенсивним рухом в промислових регіонах є найкращими кандидатами на використання такого типу матеріалів як ЕАБ в якості покриття [4, 5].

Основна частина

За умови правильного приготування ЕАБ може мати масу переваг порівняно із традиційним асфальтобетоном, але важливою науково-технічною задачею є чітке визначення його фізико-механічних властивостей [5]. Саме тому, для вирішення цієї задачі перш за все було визначено оптимальний склад матеріалів для виготовлення ЕАБС. Наступним етапом — було встановлення впливу кількості епоксискладових, а також температури затвердівання, на властивості в'яжучих. Маючи такі данні далі було встановлено вплив вмісту епоксидних складових, тривалості і температури затвердівання на властивості ЕАБ. По завершенню зазначених етапів було проведено ряд випробувань за методологією Superpave з метою визначення його фізико-механічних властивостей (**рис. 1**).

Рисунок 1 — Проведення випробувань з визначення фізико-механічних властивостей ЕАБ

Одним з найголовніших показників, який визначає можливість використання епоксидних складових при виготовлені асфальтобетонів — це життєздатність епоксидного в'яжучого. Як можна побачити на графіку (**рис. 2**), з додаванням більшого відсотку епоксискладової в бітумне в'яжуче, скорочується час його затвердівання.

Під час приготування асфальтобетону з певним відсотком епоксидної складової у складі в'яжучого було визначено життєздатність такої суміші (**рис. 3**). Тому, ураховуючи час на її транспортування, укладання і ущільнення, оптимальним відсотком епоксидної складової у складі бітумного в'яжучого є — від 5 % до 20 %. Тобто, у разі збільшення вмісту епоксидної складової більше ніж 20 % у складі ЕАБС таку суміш можна не встигнути влаштувати до моменту її затвердівання, а у разі зменшення вмісту нижче ніж 5 % модифікація бітуму епоксидними складовими втрачає сенс [3].

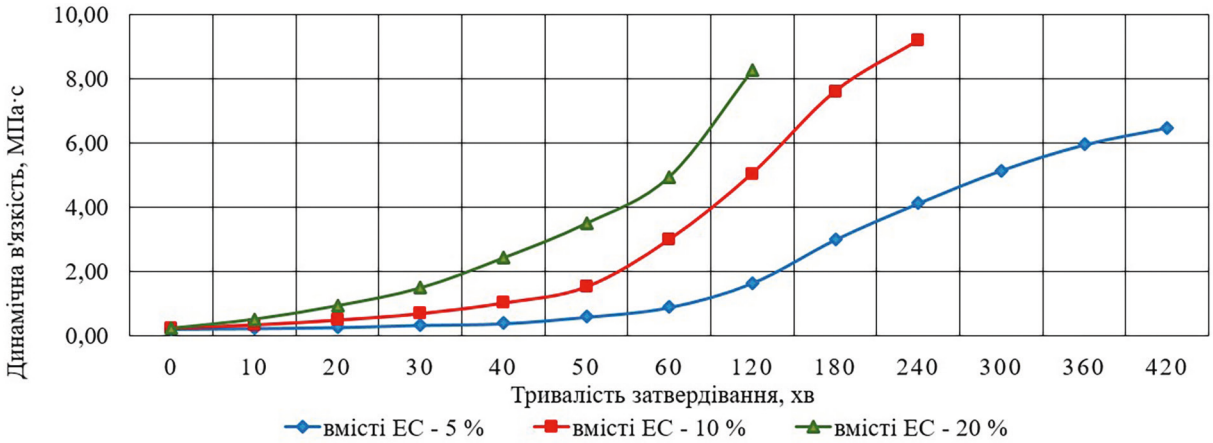


Рисунок 2 — Життєздатність ЕБК залежно від вмісту епоксискладової

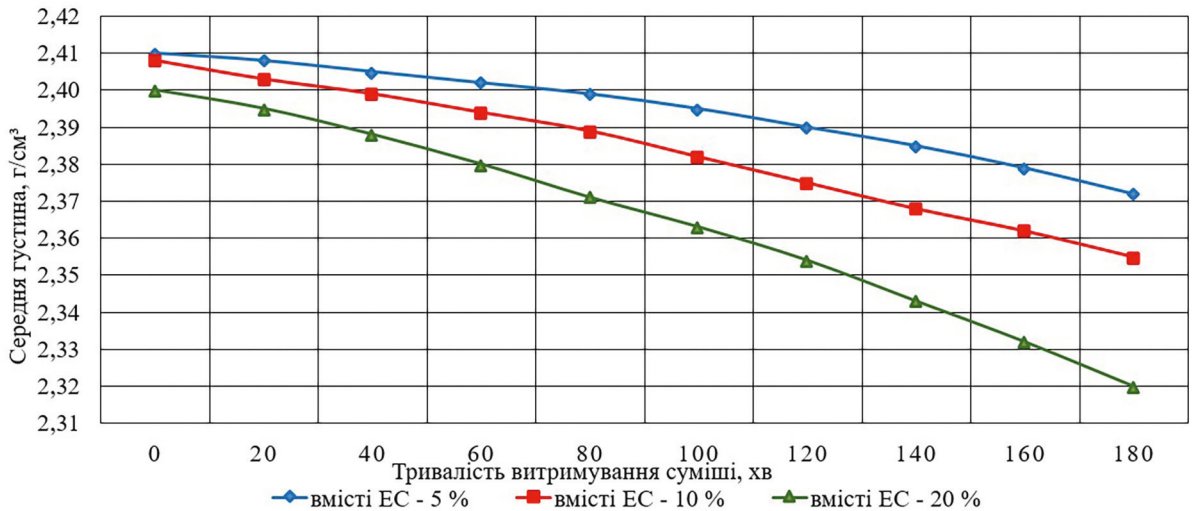
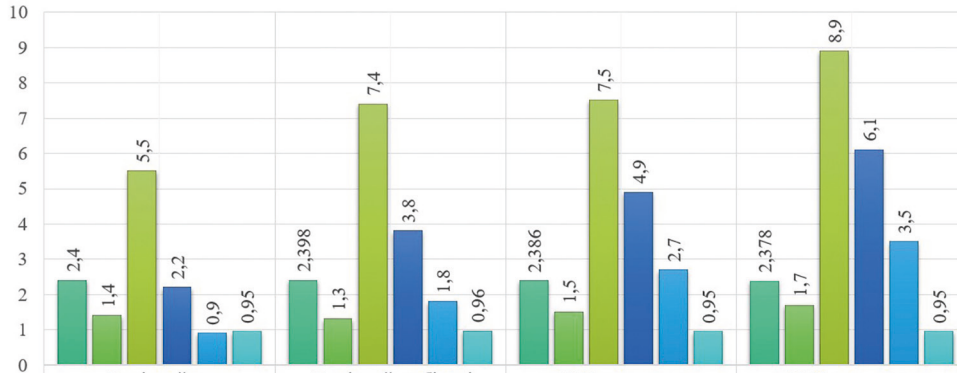


Рисунок 3 — Життєздатність ЕАБС залежно від вмісту епоксискладової

Порівнявши асфальтобетони з в'яжучим різного складу ЕБК за їх фізико-механічними властивостями на **рис. 4** можна побачити, що при використанні ЕАБ у якості покриттів на мостах ми можемо забезпечити підвищену стійкість до утворення дефектів таких покриттів, тим самим досягти серйозного збільшення строків експлуатації загалом всієї мостової конструкції.

Одна з визначених основних переваг ЕАБ — його мала вага. Тонкошарове асфальтобетонне покриття на основі ЕБК легше за типову конструкцію з литого асфальтобетону майже в 6,5 разів, а стандартного мостового покриття з асфальтобетону, який підлягає ущільненню — у 8,0 (**табл. 1**). Використання цього матеріалу дозволяє значно знизити навантаження від маси мостового полотна на прогонові будови, чим пояснюється його ефективне застосування на легких металевих прогонових будовах [4].

Ще однією перевагою цього матеріалу є висока адгезія до різних видів основи (метал, бетон). Інша його особливість — підвищена стійкість до впливу таких агресивних середовищ, як атмосфера промислових районів, вихлопні гази від автотранспорту, агресивні опади, протиожеледні реагенти тощо [4, 7]. ЕАБ покриття також має високу водонепроникність, тому може одночасно використовуватись і як гідроізоляція, і як дорожній одяг для мостів [7].



	Вихідний на розрідженому бітумі	Вихідний на бітумі БНД 70/100	з 10 % епоксидних складових	з 20 % епоксидних складових
Середня густина, г/см³	2,4	2,398	2,386	2,378
Водонасичення, %	1,4	1,3	1,5	1,7
Міцність при 0 °С, МПа	5,5	7,4	7,5	8,9
Міцність при 20 °С, МПа	2,2	3,8	4,9	6,1
Міцність при 50 °С, МПа	0,9	1,8	2,7	3,5
Коефіцієнт водостійкості	0,95	0,96	0,95	0,95

Рисунок 4 — Фізико-механічні властивості ЕАБ з в'яжучим різного складу ЕБК

Таблиця 1

Маса конструкції мостового покриття залежно від його виду

Вид мостового покриття	Товщина, мм	Вага 1 м², кг
Тонкошарове ЕАБ покриття	від 15 до 20	від 30 до 45
Литий асфальтобетон	від 90 до 110	від 225 до 275
Традиційний АБ на полімерному бітумі	від 100	більше ніж 270

Підхід у проведенні досліджень полягав у визначені оптимальних фізико-механічних характеристик ЕАБ та їх порівняні із показниками «еталонного» асфальтобетону, що має велику історію досліджень, тестувань або оцінки, який в загальній мірі використовується в якості покриття на автодорожніх мостах.

Контрольною сумішшю була асфальтобетонна суміш приготовлена на основі модифікованого полімерами бітуму БМПА 70/100-55 згідно з [8] (полімер Kraton D 1101 — 3,8 %, ПАВ Адбіт — 0,5 %) з оптимальним вмістом в'яжучого — 6,5 % від загальної маси, із щебеневим заповнювачем фракції (5–10) мм номінального максимального розміру зерна 9,6 мм загальним об'ємом 66,0 %, відсівом фракції (0–5) мм загальним об'ємом 20,0 %, мінеральним порошком у складі 11,0 % та пилом — 3,0 %.

ЕАБС була приготовлена на основі ЕБК із 10 % вмістом епоксискладових у бітумі БНД 70/100 з оптимальним вмістом в'яжучого — 6,5 % від загальної маси, із щебеневим заповнювачем фракції (5–10) мм номінального максимального розміру зерна 9,6 мм загальним об'ємом 66,0 %, відсівом фракції (0–5) мм загальним об'ємом 21,0 %, мінеральним порошком у складі 13,0 % та пилом — 3,0 %.

За вже підібраним вмістом термореактивних модифікаторів і параметрів їх суміщення з бітумом під час приготування ЕАБС було приділено особливу увагу процесу модифікації бітуму, який включав наступні технологічні операції:

– нагрівання бітуму до робочої температури та його завантаження у дві змішувальні установки у рівних частинах;

– дозування та введення при постійному механічному перемішуванні потрібної кількості затверджувача до частини нагрітого бітуму в першу змішувальну установку, епоксидної смоли — до іншої частини нагрітого бітуму, завантаженої в другу змішувальну установку;

– суміщення при постійному перемішуванні частини бітуму із затверджувачем і частини бітуму з епоксидною смолою за температури модифікації.

Термореактивні модифікатори вводили у бітум поступово та рівномірно зі швидкістю, що не перевищувала більше ніж 10 кг/хв з урахуванням, що під час їхнього введення температура бітуму знижується на (10–15) °С та перемішували протягом 45 хв, що забезпечило стабілізацію значень пенетрації за температури 25 °С відповідно до [9].

Таким чином було отримано дві частини в'яжучого матеріалу (перша частина — суміш бітуму та затверджувача, друга частина — суміш бітуму та епоксидної смоли). Приготування ЕАБС виконували за таких технологічних операцій [6]:

– нагрівання щебеневого матеріалу, відсіву, мінерального порошку і пилу до температури від 110 °С до 120 °С та їх дозування;

– подача у змішувальну установку нагрітих матеріалів та перемішування протягом 60 с;

– нагрівання двох частин в'яжучого матеріалу до температури від 70 °С до 80 °С, послідовна їх подача у змішувальну установку та перемішування із сумішшю мінеральних матеріалів протягом 15 с;

– вивантаження готової ЕАБС та переміщенні її у термошафу для постійного підтримування сталої температури, у межах від 75 °С до 85 °С, під час виготовлення зразків для подальших випробувань.

Під час приготування ЕАБС було зроблено висновок, що для отримання якісного матеріалу потрібно чітко дотримуватись температурного режиму нагрівання мінеральних матеріалів та в'яжучого. Перевищення температур призводить до швидкого протікання реакції між епоксискладовими і, як наслідок, передчасного затвердівання суміші та втрати нею пластичних властивостей. Після вимушеного розрихлення суміші епоксидні зв'язки руйнуються й ефект модифікації може бути втрачений.

Висновок

Протягом досить тривалого часу асфальтобетон широко використовується як міцний, надійний, гідроізолюючий та водночас еластичний і сприйнятливий до впливу високих і низьких температур будівельний матеріал для влаштування покриття на мостах [10]. Однак постійно зростаючі показники інтенсивності руху та навантаження від транспортних засобів вимагають нового високоякісного покриття, особливо на ортотропній сталевій мостовій плиті. Порівняно із влаштованим асфальтобетонним покриттям на залізобетонній плиті, асфальтобетон на сталевому мостовому полотні повинен дуже добре синхронно деформуватися із ортотропною плитою і мати кращу термостійкість [4]. Таким чином, властивості звичайної асфальтобетонної суміші не можна вважати задовільними.

Використання модифікованого полімерами асфальтобетону для досягнення кращих властивостей покриття спостерігається протягом багатьох років [11], проте такий матеріал є занадто термопластичним за підвищених температур [12] і не може задовольнити екстремальні вимоги до сталевих ортотропних плит автодорожніх мостів через їхню термопластичну природу.

Проведені дослідження підтвердили, що характеристики асфальтобетону можуть бути значно покращені за допомогою застосування термореактивних модифікаторів, зокрема епоксидної смоли та її затверджувача, у поєднанні із високоякісними традиційними заповнювачами. Вони можуть утворити вологонепроникний міцний полімерасфальобетон з покращеними фізико-механічними

властивостями, значно зменшити його термічну сприйнятливість і остаточну деформацію, підвищити стійкість до втоми та стійкість до розтріскування при низьких температурах, забезпечити зчеплення з основою та забезпечити міцність більше ніж у 2 рази порівняно із традиційним модифікованим полімерами асфальтобетоном.

ЕАБ — відмінний дорожній матеріал. Хороша сумісність між епоксидною смолою та асфальтом відповідає основним вимогам для досягнення поставленої мети покращення характеристик асфальттобетону.

Отже, ЕАБ має певні переваги порівняно із традиційним асфальтобетоном, водночас за своєю природою — це звичайна гаряча асфальтобетонна суміш, яка може виготовлятися на звичайному асфальтобетонному заводі, але до складу якої входять епоксидні складові у якості модифікатора в'яжучого. У результаті ми отримуємо більш міцну та гнучку поверхню, що ідеально підходить для покриттів на ортотропних або залізобетонних плитах проїзної частини мосту. Незважаючи на можливу підвищену вартість, тривалий строк експлуатації покриттів на його основі, повинен забезпечити високу рентабельність використання цього матеріалу.

ЕАБ успішно використовується в якості покриттів на мостах у таких країнах як США, Німетчина, Канада, Японія, Китай тощо [13], однак потрібно зауважити, що цей матеріал потребує особливої уваги до технології приготування та укладання у зв'язку з обмеженим часом схоплювання, а також додаткового вивчення питання щодо пластичності, і зважаючи на досвід зазначених країн та виявленої відмінності у діелектричній проникності бітуму і епоксидних складових, додаткових випробувань з метою вирішення питання щодо їх сумісності.

Список літератури

1. Онищенко А. М. Наукові основи підвищення стійкості асфальтобетонного покриття до утворення колії на автодорожніх мостах: дис. … док. тех. наук. Київ, 2017. 37 с. URL: https://u.to/C785GQ (дата звернення: 06.07.2021).

2. Liu, X. W. and Zhang, X. N. Application of Japanese TAF Epoxy Asphalt Concrete in Deck Pavement (Дослідження застосування японського епоксидного асфальтобетону TAF на мостовому покритті Deck). Journal of Bridge and Tunnel Machinery and Construction Technology. Hong Kong. 2010. № 1. P. 69–71. URL: https://u.to/YBk6HA (дата звернення: 14.07.2022).

3. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Звіт про науково-дослідну роботу «Провести дослідження та розробити енерго та ресурсозберігаючі технології влаштування довговічних дорожніх покриттів з використанням термореактивних модифікаторів асфальтобетону з епоксискладовою». Київ, 2018. 122 с. (Інформація та документація).

4. Chen, L., Qian, Z. D., and Luo, S. Experimental Study on Dynamic Modulus of Thermosetting Epoxy Asphalt Mixture for Steel Deck Pavement (Експериментальне дослідження динамічного модуля термореактивної епоксидної асфальтобетонної суміші для сталевих настилів). *Journal of Southeast University (English Edition)*. Hong Kong. 2010. Vol. 26, № 1. P. 112–116. URL: https://cutt.ly/2LSVj70 (дата звернення: 14.07.2022).

5. Jianming Wei, Yuzhen Zhang. Study on the Curing Process of Epoxy Asphalt (Дослідження процесу затвердіння епоксидного асфальту). *Journal of Testing and Evaluation*. Beijing. 2012. Vol. 40, No. 7. P. 1–8. URL: https://u.to/HMv5Gg (дата звернення: 12.07.2022).

6. Р В.2.7-37641918-893:2018 Рекомендації з приготування та застосування епоксиасфальтобетонних сумішей. Київ, 2018. 24 с. (Інформація та документація).

7. Qian, Z.D., Luo, S., and Wang, J.W. Laboratory Evaluation of Epoxy Resin Modified Asphalt Mixtures (Лабораторна оцінка асфальтобетонних сумішей, модифікованих епоксидною смолою). *Journal of Southeast University (English Edition).* Hong Kong. 2007. Vol. 23, № 1. P. 117–121. URL: https://u.to/6xg6HA (дата звернення: 16.07.2022).

8. ДСТУ 9116:2021 Бітум та бітумні в'яжучі. Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови. Київ, 2021. 12 с. (Інформація та документація).

9. СОУ 42.1-37641918-100:2013 Будівельні матеріали. Бітуми дорожні модифіковані з використанням лабораторної лопатевої мішалки. Методи контролю процесу модифікації. Київ, 2013. 14 с. (Інформація та документація).

10. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів: автореферат дис. … канд. тех. наук. Київ, 2008. 21 с. URL: https://u.to/xEIhFg (дата звернення: 08.07.2022).

11. Yang, J., Lu, H.Z., Yuan, D.Q. (2007). Evaluation of Modification Effects of Epoxy Resin Based on Performance of Asphalt Mixtures (Оцінка модифікаційних ефектів епоксидної смоли на основі характеристик асфальтобетонних сумішей). *Journal of Southeast University (English Edition).* Hong Kong. 2007. Vol. 23, № 1. P. 122–126. URL: https://cutt.ly/nLSVumH (дата звернення: 17.07.2022).

12. Yildirim, Y. Polymer Modified Asphalt Binders (Полімермодифіковані асфальтобетонні в'яжучі). *Journal of Construction and Building Materials*, Netherlands. 2007. Vol. 21, Issue 1. P. 66–72. URL: https://u.to/lhg6HA (дата звернення: 15.07.2022).

13. Кожушко В.П., Бильченко А.В., Кислов А.Г., Бережная Е.В., Безбабичева О.И, Бугаевский С.А., Краснов С.Н., Краснова Е.С. Монография «Повышение долговечности автодорожных мостов (Підвищення довговічності автодорожніх мостів)». Харьков, 2016. 236 с. (Інформація та документація).

14. ДСТУ 4044:2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2019. 11 с. (Інформація та документація).

15. ДСТУ 8959:2019 Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови. Київ, 2019. 14 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 59 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація).

References

1. Onyshchenko A. M. (2017). Scientific basis for improving the stability of asphalt concrete pavement to the formation of a track on road bridges (Doctoral dissertation). Proquest Dissertations and Theses. Ph.D (Ing.) Kyiv. URL: https://u.to/C785GQ (Last accessed: 06.07.2021) [in Ukrainian].

2. Liu, X. W. and Zhang, X. N. Application of Japanese TAF Epoxy Asphalt Concrete in Deck Pavement. Journal of Bridge and Tunnel Machinery and Construction Technology. Hong Kong. 2010. № 1. P. 69–71. URL: https://u.to/YBk6HA (Last accessed: 14.07.2022) [in Chinese].

3. Kishchinsky S. V., Kopinets I. V. (2018). Provesty doslidzhennya ta rozrobyty enerho ta resursozberihayuchi tekhnolohiyi vlashtuvannya dovhovichnykh dorozhnikh pokryttiv z vykorystannyam termoreaktyvnykh modyfikatoriv asfaltobetonu z epoksyskladovoyu. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu. Kyiv [in Ukrainian].

4. Chen, L., Qian, Z. D., and Luo, S. Experimental Study on Dynamic Modulus of Thermosetting Epoxy Asphalt Mixture for Steel Deck Pavement. *Journal of Southeast University (English Edition)*. Hong Kong. 2010. Vol. 26, № 1. P. 112–116. URL: https://cutt.ly/2LSVj70 (Last accessed: 14.07.2022) [in Chinese].

5. Jianming Wei, Yuzhen Zhang. Study on the Curing Process of Epoxy Asphalt. *Journal of Testing and Evaluation*. Beijing. 2012. Vol. 40, No. 7. P. 1–8. URL: https://u.to/HMv5Gg (Last accessed: 12.07.2022) [in Chinese].

6. R B.2.7-37641918-893:2018 Rekomendatsii z pryhotuvannia ta zastosuvannia epoksyasfaltobetonnykh sumishei [Recommendations of Ukraine (R B.2.7-37641918-893:2018) Recommendations for the preparation and use of epoxy-asphalt concrete mixtures]. Kyiv, 2018. 24 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. Onyshchenko A. N. Increase of longevity of asphalt - concrete's layers for an account the use of polymeric latexes: dissertation for a scientific degree Candidate Engineering Sciences. Kyiv, 2008. 21 p. URL: https://u.to/xEIhFg (Last accessed: 08.07.2022) [in Ukrainian].

8. State Standard of Ukraine (DSTU 9116:2021) Bitum ta bitumni v″yazhuchi. Bitumy dorozhni, modyfikovani polimeramy. Tekhnichni umovy (Bitumen and bituminous binders. Road bitumens modified with polymers. Specifications). Kyiv, 2021. 12 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. SOU 42.1-37641918-100:2013 Budivelni materialy. Bitumy dorozhni modyfikovani z vykorystannyam laboratornoyi lopatevoyi mishalky. Metody kontrolyu protsesu modyfikatsiyi [Standard of organization of Ukraine (SOU 42.1-37641918-100:2013) Building materials. Road bitumens are modified using a laboratory paddle mixer. Methods of control of the modification process]. Kyiv, 2013. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. Yildirim, Y. Polymer Modified Asphalt Binders. Journal of Construction and Building Materials, Netherlands. 2007. Vol. 21, Issue 1. P. 66–72. URL: https://u.to/lhg6HA (Last accessed: 15.07.2022) [in English].

11. Yang, J., Lu, H.Z., Yuan, D.Q. (2007). Evaluation of Modification Effects of Epoxy Resin Based on Performance of Asphalt Mixtures. *Journal of Southeast University (English Edition).* Hong Kong. 2007. Vol. 23, № 1. P. 122–126. URL: https://cutt.ly/nLSVumH (Last accessed: 17.07.2022) [in Chinese].

12. Qian, Z.D., Luo, S., and Wang, J.W. Laboratory Evaluation of Epoxy Resin Modified Asphalt Mixtures. *Journal of Southeast University (English Edition).* Hong Kong. 2007. Vol. 23, № 1. P. 117–121. URL: https://u.to/6xg6HA (Last accessed: 16.07.2022) [in Chinese].

13. Kozhushko V.P., Bylchenko A.V., Kyslov A.H., Berezhnaya E.V., Bezbabycheva O.Y, Buhaevskyy S.A., Krasnov S.N., Krasnova E.S. Monohrafyya. Povyshenye dolhovechnosty avtodorozhnykh mostov [Increasing the durability of road bridges]. Kharkiv, 2016. 236 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

14. DSTU 4044:2019 Bitumy naftovi dorozhni vyazki. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2019) Bitumens are oil road bindings. Specifications]. Kyiv, 2019. 11 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

15. DSTU 8959:2019 Asfaltobetonni sumishi ta asfaltobeton dorozhni na osnovi bitumiv, modyfikovanykh polimeramy. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU 8959:2019) Asphalt concrete mixes and road asphalt concrete based on polymer-modified bitumen. Specifications. Kyiv, 2019. 14 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

16. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnyy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Tekhnichni umovy (Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Specifications]. Kyiv, 2012. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvan [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods]. Kyiv, 2016. 64 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Arthur Onyshchenko[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0002-1040-4530*
Volodymyr Zelenovskyi[2], *https://orcid.org/0000-0001-5834-5456*

[1]*National Transport University, Kyiv, Ukraine*
[2] *M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

EVALUATION OF EPOXY-BITUMEN COMPOSITE FOR ITS APPLICATION IN ASPHALT CONCRETE THIN-LAYER COATINGS ON HIGHWAY BRIDGES

Abstract

Introduction. In this review, epoxy components, in particular epoxy resin and its hardener (thermoactive polymer additives), are defined as the main component of epoxy-bitumen composite (hereinafter — EBC), which is part of the asphalt concrete mixture. The article is aimed at highlighting the results of research conducted to determine the physical and mechanical properties of thin-layer asphalt concrete pavement with the use of EBC for its use on highway bridges.

According to the results of laboratory tests, epoxy asphalt concrete (hereinafter — EAB) can be considered one of the best choices for the next generation of durable materials for the installation of thin-layer coatings on highway bridges due to their excellent mechanical properties and thermal stability, as well as economic viability, taking into account the absence of the need for waterproofing of the bridge deck, excessive maintenance and repair costs and a long service life.

Problem statement. One of the main mechanisms of destruction of asphalt concrete coatings on highway bridges, especially with orthotropic slabs, is its constant dynamics from external influences, which causes significant deformations that mercilessly affect the durability of the entire bridge structure.

Taking into account the thermoreactive nature of epoxy components, the idea of using them as a bitumen modifier arose in order to minimize deformations of the asphalt concrete coating on bridges, reduce the load from the weight of the bridge deck on span structures, and also increase the resistance of the coating to the influence of aggressive environments.

In order to obtain high-quality research results for the further possibility of ensuring the installation of coatings on bridges with the best operational characteristics and the most efficient use of labor and resources, studies of the physical and mechanical characteristics of EAB were carried out according to the Superpave methodology.

Objective. The purpose of this article is to present the physical and mechanical characteristics of EAB in comparison with other ordinary asphalt concrete on polymer bitumen for the qualitative assessment of the use of EBC during the manufacture of epoxy-asphalt concrete mixtures (hereinafter — EABS) and to determine the real possibility and level of efficiency of using such mixtures for the installation of bridge pavements on automobile roads roads, taking into account the main goal — to increase its durability at various load frequencies due to the improvement of strength, crack resistance and, of course, rut resistance.

To achieve the specified goal, a set of experimental studies was conducted, with a comparison of the characteristics of EAB and a number of Superpave protocols of the tested asphalt concretes on polymer bitumen, such as:

– limit of compressive strength at temperatures of 50 °C, 20 °C and 0 °C;
– density and water saturation;
– limit of tensile strength at splitting;
– stability, conditional plasticity and index of conditional stiffness according to the Marshall method;
– resistance to rutting.

Particular attention was paid to determining the resistance of EAB to the formation of rutting, because during the implementation of certain stages of research it was found that when positive test results

were obtained for other indicators, in particular for strength indicators, it is far from a fact that the material is able to pass the rutting resistance test.

After the completion of the corresponding comprehensive field test of the bridge covering with EAB, a quantitative assessment of the effectiveness of its use in comparison with similar types of coverings designed to increase the service life (from 30 to 40 years) is planned.

Materials and methods. A thin-layer asphalt concrete coating on bitumen modified with thermoreactive polymer additives for its use on an orthotropic or reinforced concrete slab of the carriageway of a road bridge.

Results. The physical and mechanical properties of EBC were evaluated, the level of efficiency and the possibility of its use in asphalt concrete thin-layer coatings on highway bridges were determined to improve quality and increase durability. A set of laboratory studies was conducted to compare the properties of EAB and traditional asphalt concrete on polymer bitumen.

Conclusions. After a detailed study of EAB components and a review of the system and hardening mechanism, its physical and mechanical properties were studied. Tests have shown that EAB is a stiffer material compared to conventional asphalt on polymer bitumen and has demonstrated significantly higher compressive strength, much better rutting resistance, as well as excellent properties of splitting tensile strength, stability, conditional plasticity, conditional stiffness and waterproof. The low temperature test performance of EBC was significantly higher than polymer bitumen, and the tensile strength results showed that it is more resistant to cracking at low temperature. Therefore, it can be concluded that EAB has a certain perspective for use as a coating on an orthotropic or reinforced concrete slab of the carriageway of a road bridge. However, its use requires special attention when determining the duration and temperature of EBC hardening, as well as when selecting the optimal composition and preparation technology, because non-compliance with the specified can significantly affect its physical and mechanical properties.

Keywords: bitumen, durability, epoxy-bitumen composite, epoxy-asphalt concrete, epoxy-asphalt concrete mixture, composition of epoxy-asphalt concrete mixtures, epoxy resin, reinforced concrete roadway slab, bridge, orthotropic plate, bridge pavement.