

Визначення впливу добавок термопластів до асфальтобетонних сумішей на властивості асфальтобетонів різних типів та видів

В. К. Жданюк, О. О. Воловик, Д. Ю. Костін, С. В. Лісовін

Виконані дослідження впливу модифікації асфальтобетонних сумішей різної гранулометрії термопластичними полімерами «Ric-Polycell» (Україна) та «Duroflex®-SMA» (Німеччина), які додавали безпосередньо у асфальтозмішувач під час їх приготування, на властивості асфальтобетонів. Підтверджено, що більш доцільно на автомобільних дорогах з високою інтенсивністю руху великовагових транспортних засобів, використовувати щебенево-мастикові асфальтобетони з більшою крупністю мінеральних зерен щебеню, оскільки вони є більш колієстійкі, порівняно з асфальтобетонами з меншим розміром та вмістом зерен щебеню.

Досліджено вплив температури приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей модифікованих досліджуваними термопластами на показник границі міцності при стиску асфальтобетонів за температури 50 °С, які були виготовлені з досліджуваних сумішей. Встановлено, що за максимально можливих температур приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей відбувається більш повна їх модифікація.

Досліджено вплив вмісту термопластичних полімерів у складі асфальтобетонних сумішей на властивості та колієстійкість дрібнозернистого асфальтобетону, а також щебенево-мастикових асфальтобетонів. Встановлено, що додавання полімеру «Ric-Polycell» у кількості 1,5 % та 3 % від маси бітуму до складу досліджених асфальтобетонних сумішей у асфальтозмішувач, під час їх приготування, дозволяє підвищити колієстійкість отриманих асфальтобетонів за досліджених умов від 2,52 до 3,86 разів. Модифікація асфальтобетонних сумішей добавкою «Duroflex®-SMA» у кількості 0,3 % та 0,6 % від маси мінеральної частини за аналогічною технологією, також дозволяє підвищити колієстійкість отриманих асфальтобетонів від 1,86 до 3,16 разів. Використання зазначених модифікаторів в подальшому позитивно впливатиме на збільшення терміну експлуатації усієї конструкції дорожнього одягу.

Ключові слова: дрібнозернистий асфальтобетон, щебенево-мастиковий асфальтобетон, бітум, асфальтобетонна суміш, термопластичний полімер, асфальтозмішувач, пластичні деформації, колієстійкість.

1. Вступ

Збільшення строку експлуатації конструкцій дорожніх одягів під впливом великовагових транспортних засобів, інтенсивність руху яких значно збільшилась в останнє десятиліття, можливо досягти використанням дорожньо-будівельних матеріалів підвищеної довговічності та інноваційних технологій будівництва. В якості матеріалу для влаштування покриття нежорстких дорож-

ніх одягів використовують асфальтобетонні суміші різних типів та видів. Одним з найбільш розповсюджених способів покращення властивостей асфальтобетонного покриття є приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів, модифікованих полімерами.

Для модифікації нафтових дорожніх бітумів використовують наступні найбільш поширені класи полімерів: еластомери (каучуки); різні латекси (дивінілстирольні, дивінілнитрилні); терморективні полімери (епоксидні і фенолформальдегідні смоли); термопласти (поліетилен, етилен-вініл-ацетат); термоеластоласти (стирол-бутадієн-стирол). Всі вони призначені для покращення фізико-механічних властивостей бітумів та асфальтобетонів на їх основі. Найбільш широкого розповсюдження в дорожньому будівництві отримали полімери класу термоеластоластів та термоластів.

Покращення властивостей асфальтобетонів є актуальною практичною задачею, вирішення якої впливатиме на підвищення довговічності асфальтобетонних покриттів дорожніх одягів автомобільних доріг.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Підвищення довговічності асфальтобетонів зазвичай здійснюють шляхом покращення властивостей нафтового дорожнього бітуму, як основного складника асфальтобетону, введенням до його складу поверхнево-активних речовин, полімерів та інших модифікаторів.

В роботі [1] розглядаються досягнення та проблеми в області модифікації бітумів полімерами для дорожнього будівництва за останні 40 років. Показано, що полімери покращують певні властивості бітуму, проте є обмеження щодо майбутнього такої технології. Стримуючими чинниками застосування бітумів, модифікованих полімерами, є висока вартість, низька стійкість до старіння і погана стабільність при зберіганні бітумів модифікованих полімерами. В роботі [2] досліджена спільна модифікація бітумів сіркою та полімерами типу SBS. Встановлено, що хоча дана композиція дозволяє отримати більш стабільне при зберіганні в'язуче, значно погіршуються його властивості після старіння через суттєву деградацію полімеру SBS та нівелюванню модифікуючого ефекту, в результаті чого подальші дослідження в даному напрямку є недоцільними.

В дослідженні [3] запропоновано новий тип бітуму модифікованого полімером, в якому розглядається використання термопластичного поліуретану в якості альтернативи полімерам типу стирол-бутадієн-стирол (SBS). Авторами встановлено, що дана добавка має погану сумісність з бітумом. За дослідженнями фізико-механічними властивостями отриманих в'язучих, оптимальний вміст даного полімеру складає 13 %. Очевидно, це зависока концентрація полімеру, в порівнянні з полімерами класу SBS, які вводяться до складу бітуму у кількості від 3 до 3,5 %. Це негативно позначиться на вартості модифікованого бітуму і стримуватиме його використання у якості модифікатора бітумів, призначених для приготування асфальтобетонних сумішей.

Також, в якості модифікаторів, можуть використовуватись природні бітуми. Результати досліджень [4] показують, що модифікованим асфальтобетонам добавкою Gilsonite властиві підвищені модуль пружності, коєстійкість та

зсувостійкість. Але дана добавка негативно впливає на гнучкість, що в свою чергу погіршує низькотемпературні властивості асфальтобетонів.

З метою зменшення впливу відходів життєдіяльності суспільства на екологічний стан навколишнього середовища, актуальними є технології створення та повторного використання в дорожньому будівництві модифікуючих добавок до бітумів або асфальтобетонних сумішей, отриманих переробкою виробів з полімерів. Актуальним також є використання комплексу модифікуючих добавок до бітуму, або безпосередньо у асфальтобетонну суміш, які складаються з кондиційних полімерів і повторно виготовлених з полімерних виробів, які відпрацювали свій життєвий цикл. В роботі [5] досліджено вплив поліетилентерефталату (ПЕТ) на властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів. Автори роботи відмічають, що додавання ПЕТ в суміш позитивно впливає на властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів і сприяє повторному використанню відходів промисловості. Однак використання таких модифікаторів погіршує низькотемпературні властивості асфальтобетонів, що може в подальшому негативно вплинути на довговічність покриття з такого матеріалу в експлуатаційних умовах. В дослідженні [6], встановлено, що модифікація бітуму шліфованою гумовою крихтою, відпрацьованим ПЕТ та адгезійними добавками також позитивно впливає на властивості бітумів та щебенево-мастикових асфальтобетонів. Але варто звернути увагу, що гумова крихта та відпрацьований ПЕТ відносяться до вторинної сировини, яка виробляється в різних країнах Світу, різними виробниками та за різними технологіями, що не може гарантувати стабільність властивостей зазначених компонентів та відповідно якість модифікації зазначеною композицією. В роботі [7] встановлено, що спільна робота полімеру типу SBS та гумової крихти в модифікованому бітумі, забезпечує покращення властивостей вихідного бітуму. Також дослідженням в'язучим властива хороша стабільність при зберіганні. Зазначено, що в даній комбінації суттєвий вплив оказує гумова крихта, яка може бути отримана з нестабільної сировини в результаті чого ефект від модифікації не може бути стабільним в умовах промислового виробництва. Також на сьогодні відсутні результати комплексних досліджень впливу запропонованого в'язучого на властивості асфальтобетонів.

Дослідженням [8] встановлено, що модифікація бітумів сіркою та поліетиленовим воском дозволяє покращити властивості бітумів і асфальтобетонів на їх основі. За запропонованим варіантом можливо досягти достатньо якісної модифікації бітумів та покращити його теплостійкість, однак в роботі не представлено інформації стосовно низькотемпературних характеристик досліджуваних в'язучих. Також на даний момент відсутні результати експериментальних досліджень впливу комбінації даних добавок на властивості асфальтобетонів, що може мати негативний ефект та вплинути на довговічність конструкції дорожнього одягу.

Як відомо, в якості модифікаторів бітумів, що можуть вводитись безпосередньо в асфальтозмішувач, використовуються як термопласти так і термоеластопласти [9]. Приготування сумішей за даною технологією має як певні переваги, так і недоліки у відмінності від класичної технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів модифікованих полімерами. Основним

недоліком даної технології є достатньо невеликий проміжок часу за який відбувається взаємодія бітуму з полімером, в результаті чого можливо отримати не повний ефект від впливу модифікатора. Однак головною перевагою є те, що можливо приготування асфальтобетонних сумішей без використання додаткового технологічного обладнання. В роботі [10] розглянута модифікація піщаних асфальтобетонних сумішей полімерами класу SBS шляхом введення в асфальтозмішувач на етапі приготування. Встановлено, що за умови дозрівання полімеру не менше двох годин, можливо досягти найбільшого ефекту від модифікації та отримати асфальтобетони з властивостями, наближеними до асфальтобетонів, приготовлених безпосередньо на бітумах модифікованих цим типом полімеру. В даній роботі розглянута модифікація лише піщаних асфальтобетонних сумішей, які, як правило, використовуються в якості шару покриття тротуару, а також відсутні дослідження модифікації за даною технологією полімерами інших класів.

Вплив модифікації дорожніх бітумів полімерами класу термоеластопластів на властивості та колієстійкість асфальтобетонів різних типів та видів висвітлено в раніше опублікованих роботах [11, 12]. В даних роботах відсутні дослідження стосовно використання полімерів класу термопластів, а також розглядається лише вплив від модифікації бітумів за класичною технологією приготування модифікованих бітумів.

Дослідивши роботи [1–12], встановлено, що модифікація бітумів як відомими, так і новими модифікаторами та їх композиціями, дозволяють змінити властивості в'язких. Однак варто зазначити, що сьогодні оптимальним варіантом модифікації в'язких дорожніх бітумів залишаються полімери класів термоеластопластів та термопластів, які вже давно зарекомендували себе на світових ринках модифікаторів дорожніх бітумів.

Зазвичай модифікація бітумів відбувається за класичною технологією, тобто в спеціальному обладнанні, після чого вони використовуються для приготування асфальтобетонних сумішей. У зв'язку з тим, що технологія модифікації бітумів полімерами класу термопластів шляхом їх введення безпосередньо у асфальтозмішувач (на етапі приготування гарячої асфальтобетонної суміші) не набула широкого використання, дані асфальтобетони сьогодні залишаються менш дослідженими. Все це дає підстави стверджувати, що доцільним є проведення дослідження впливу модифікації гарячих асфальтобетонних сумішей полімерами класу термопластів на етапі їх приготування на фізико-механічні властивості та колієстійкість асфальтобетонів.

3. Мета і завдання дослідження

Метою є визначення впливу модифікації гарячих асфальтобетонних сумішей полімерами класу термопластів на етапі їх приготування на властивості асфальтобетонів. Це дасть можливість отримувати за спрощеною технологією модифіковані асфальтобетони з покращеними властивостями, які призначені для влаштування конструктивних шарів дорожніх одягів.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

– дослідити вплив температури приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей на показник границі міцності при стиску за температури 50 °С;

– виконати дослідження фізико-механічних властивостей та колієстійкості щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А, а також щебенево-мастикових асфальтобетонах видів ЩМА-10 та ЩМА-20 з полімерними добавками «Ric-Polycell» та «Duroflex®-SMA».

4. Матеріали та методи досліджень

4.1. Матеріали прийняті для виконання досліджень впливу добавок термопластів на властивості асфальтобетонів

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей використовували гранітний щебінь кубовидної форми і відсів подрібнення виробництва ТОВ «Гайворонський гранітний кар'єр» (Україна), вапняковий мінеральний порошок, стабілізуючу волокнисту домішку «TOPCEL» (Німеччина) і нафтовий дорожній бітум марки БНД 70/100.

В якості модифікаторів використовували термопластичні полімери «Ric-Polycell» українського виробництва та «Duroflex®-SMA» виробництва Німеччини. Прийняті для досліджень добавки термопластів за рекомендацією виробників додаються безпосередньо в асфальтозмішувач під час виготовлення асфальтобетонних сумішей. Добавка «Ric-Polycell» може використовуватись як для модифікації дрібнозернистих асфальтобетонних сумішей, так і щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей, за умови додавання стабілізуючої волокнистої домішки. Добавка «Duroflex®-SMA» призначена для модифікації щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей без додаткового додавання стабілізуючої волокнистої домішки.

Прийняті для досліджень гранулометричні склади щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-10 наведений на рис. 1, щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-20 на рис. 2, а склад гарячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А на рис. 3.

Прийнятий для досліджень нафтовий дорожній бітум відповідав вимогам національного стандарту та відноситься до марки БНД 70/100. Результати досліджень властивостей бітуму за показниками глибини проникнення голки, при температурі 25 °С, температури розм'якшення за кільцем і кулею, та розтяжності за температури 25 °С наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 70/100, прийнятого для приготування асфальтобетонних сумішей

| Назва показників властивостей | Бітум БНД 70/100 |
|---|------------------|
| Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , при температурі 25 °С | 78 |
| Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С | 49 |
| Розтяжність (дуктильність) за температури 25 °С, см | >100 |

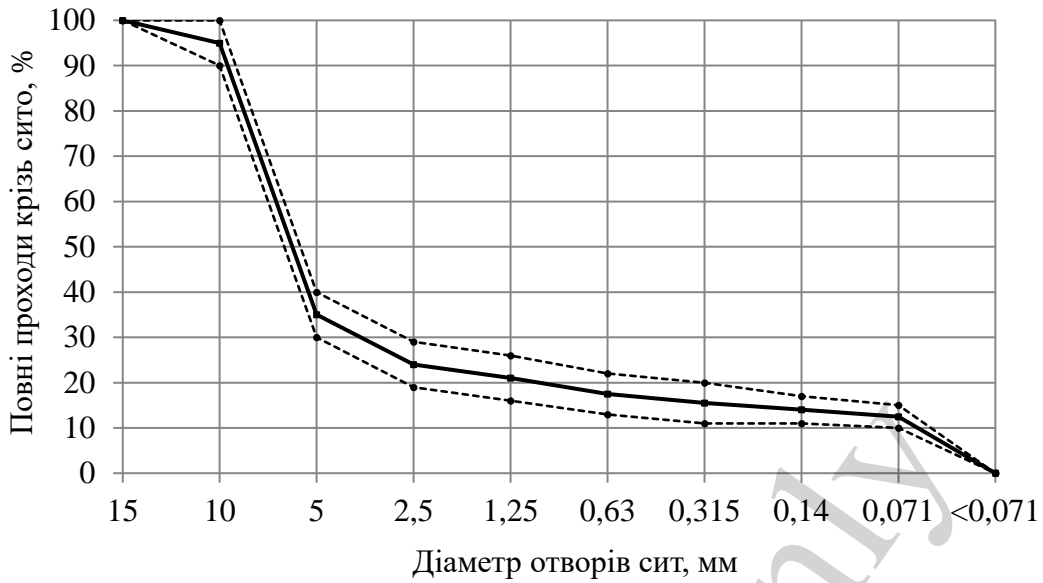


Рис. 1. Гранулометричний склад щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЦМА-10

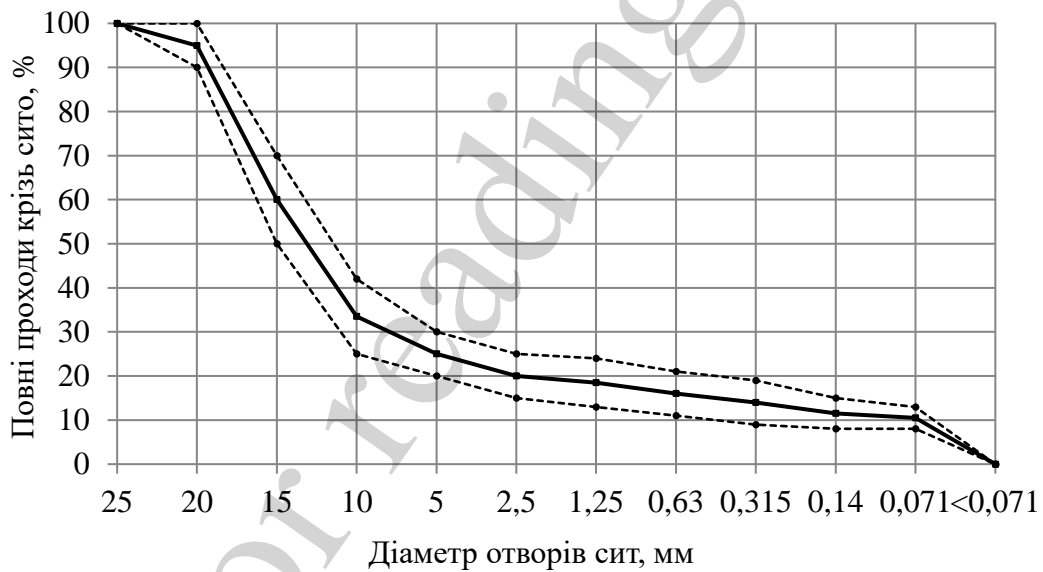


Рис. 2. Гранулометричний склад щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЦМА-20

Результати підбору гранулометричних складів та властивості вихідних матеріалів вказують на те, що вихідні матеріали відповідають вимогам національних стандартів. Також вони можуть бути використані для приготування асфальтобетонних сумішей та досліджень властивостей асфальтобетонів на їх основі.

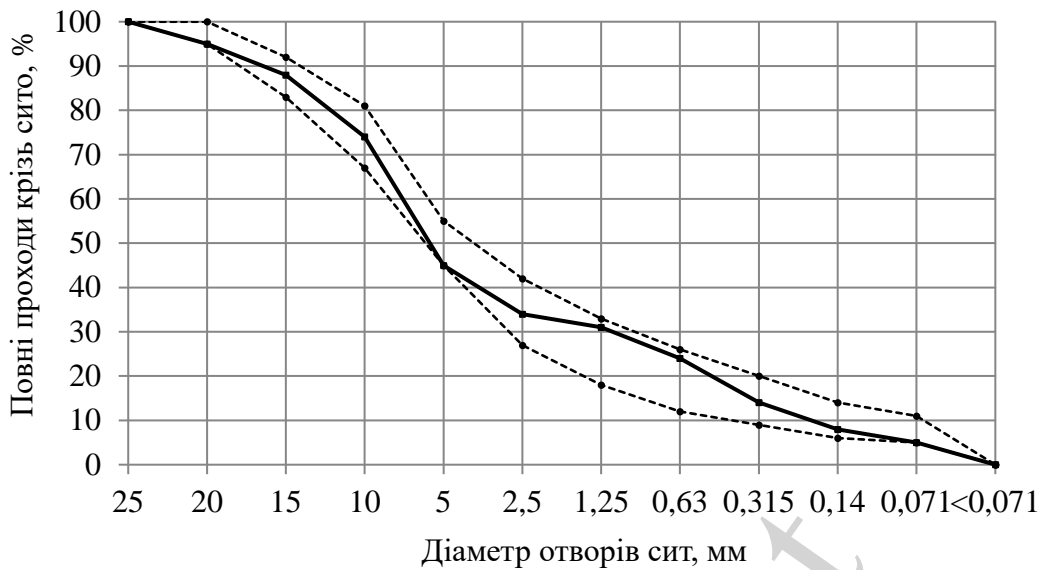


Рис. 3. Гранулометричний склад щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу А

4. 2. Методи і обладнання, прийняті для дослідження

Для вирішення поставлених задач було використано стандартні в Україні методи та прилади щодо визначення фізико-механічних властивостей асфальтобетонів в лабораторних умовах. Результати представлені як середнє арифметичне випробувань трьох асфальтобетонних зразків за кожним наведеним показником. Для дослідження стійкості асфальтобетону до утворення колії, використовували створений в дослідницькій лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (Україна) випробувальний стенд рис. 4 [13].

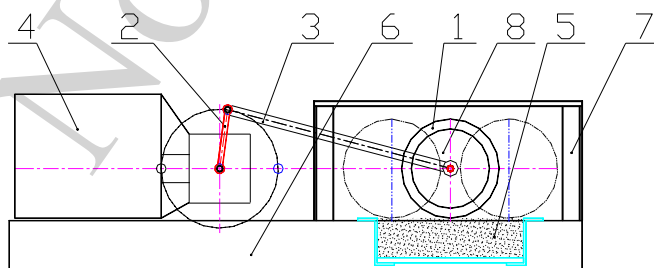


Рис. 4. Схема випробувального стенду [13]: 1 – резина; 2 – водила; 3 – шатун; 4 – мотор-редуктор; 5 – асфальтобетонний зразок; 6 – рама; 7 – кожух; 8 – металевий диск

Стенд призначений для оцінювання стійкості асфальтобетонів до накопичення залишкових деформацій у вигляді колії при різних температурах та рівнях навантаження на колесо, яке рухається по поверхні зразка. Температура випробування контролюється та підтримується за допомогою терморегулятора і під час

проведення досліджень становила 65 °С. Тиск від колеса на зразок становив 0,8 МПа. Випробовуванню піддавали заформовані у лабораторних умовах зразки-призми розмірами: 300 мм у довжину, 150 мм у ширину та 70 мм заввишки.

Випробування виконували шляхом циклічного прокочування навантаженого колеса по поверхні підготовлених асфальтобетонних зразків при заданій температурі з періодичним вимірюванням глибини колії – як критерію стійкості асфальтобетону до накопичення залишкових пластичних деформацій. Для досліджень коліестійкості одного типу або виду асфальтобетону виконувалась серія випробувань з трьох зразків, після чого розраховували середньоарифметичне значення глибини колії при відповідній кількості проходів колеса випробувального стенду, середньоквадратичне відхилення та довірчий інтервал.

4. 3. Технологія приготування асфальтобетонних сумішей

Для дослідження впливу температури приготування та термостатування суміші виконували на асфальтобетонних сумішах типу А модифікованих полімером «Ric-Polycell» в кількості 3 % від маси бітуму та сумішах модифікованих полімером «Duroflex®-SMA» в кількості 0,6 % від маси кам'яного матеріалу. Приготування та термостатування сумішей в лабораторних умовах виконували за наступною методикою:

- нагрівання кам'яних матеріалів до температури 150–155 °С, 160–165 °С, 170–175 °С, 180–185 °С;
- введення полімера в мінеральну частину асфальтобетонної суміші в заданій кількості;
- перемішування мінеральної частини з полімером;
- введення мінерального порошку та бітуму в суміш;
- перемішування асфальтобетонної суміші до однорідного стану;
- термостатування асфальтобетонної суміші в термошафі за температур: 155 °С, 165 °С, 175 °С та 185 °С протягом 30 хвилин. Термостатуванням суміші перед формуванням асфальтобетонних зразків моделювали певну тривалість транспортування суміші на об'єкт.

Після цього виконували формування циліндричних лабораторних зразків.

Для дослідження властивостей асфальтобетонів із сумішей модифікованих полімерною добавкою «Ric-Polycell», модифікатор вводили до нагрітої мінеральної частини асфальтобетонних сумішей (температура 180–185 °С) у кількості, що становила 1,5 % та 3 % від маси бітуму. Під час приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей до їх складу додатково вводили стабілізуючу волокнисту домішку «TOPCEL» у кількості 0,4 % від маси мінеральної частини (до початку введення полімеру). Після чого асфальтобетонну суміш перемішували (сухе перемішування) до рівномірного розподілення компонентів та вводили оптимальну кількість бітуму. Бітум вводили з розрахунку 5,5 % для дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А, 5,3 % для щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-20, 6,1 % для щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші виду ЩМАС-10 від маси кам'яних матеріалів. Після цього продовжували перемішування до отримання однорідних сумішей. Готові асфальтобетонні суміші термостатували 30 хвилин в сушильній шафі за температури 185 °С. Пі-

сля завершення термостатування із асфальтобетонних сумішей формували лабораторні зразки, які надалі піддавали випробуванням.

Для дослідження властивостей асфальтобетонів із сумішей модифікованих полімерною добавкою «Duroflex®-SMA» модифікатор вводили до нагрітої мінеральної частини асфальтобетонних сумішей (температура 180–185 °С) у кількості, що становила 0,3 % та 0,6 % від маси кам'яного матеріалу. Далі приготування асфальтобетонних сумішей виконували за аналогічною процедурою, що й під час використання добавки «Ric-Polycell».

5. Результати експериментальних досліджень впливу добавок термопластів до асфальтобетонних сумішей на властивості асфальтобетонів

5.1. Дослідження впливу температурних режимів приготування модифікованих асфальтобетонних сумішей на властивості асфальтобетонів

Вплив температурних режимів приготування модифікованих асфальтобетонних сумішей виконували за дослідженням показника границі міцності при стиску за температури 50 °С, так як він є більш чутливим з нормованих показників до впливу від модифікації. Результати досліджень границі міцності при стиску за температури 50 °С наведені на рис. 5.

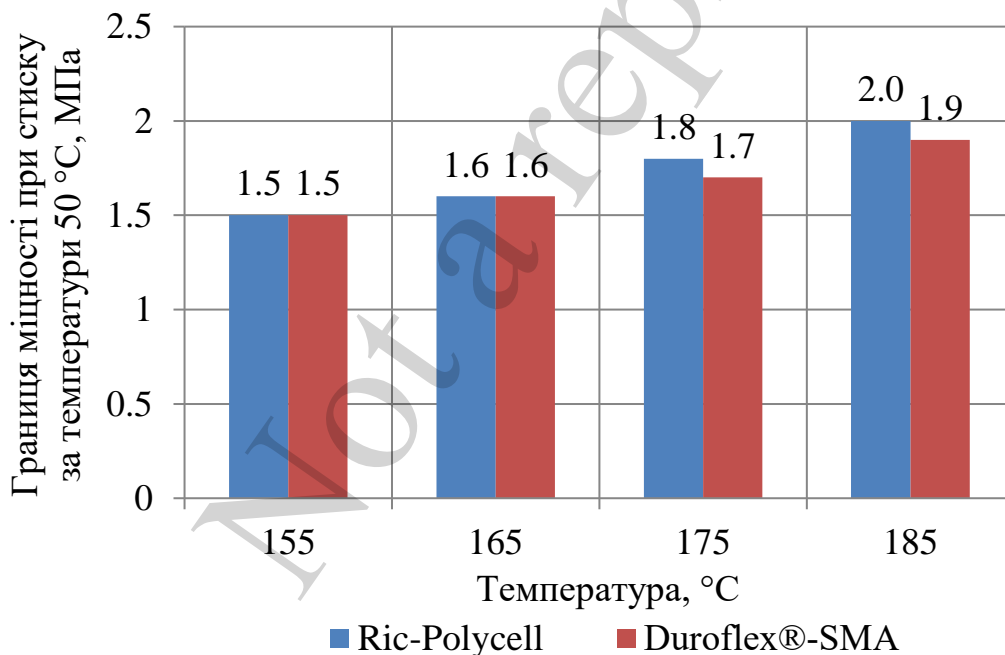


Рис. 5. Залежність границі міцності при стиску за температури 50 °С від температури термостатування суміші

Результати досліджень показують, що збільшення температури приготування та термостатування асфальтобетонних сумішей призводить до зростання показника границі міцності при стиску. Це свідчить про зростання модифікуючого ефекту досліджуваних полімерів при збільшенні можливих температур приготування сумішей.

5. 2. Дослідження властивостей асфальтобетонів із сумішшю модифікованих полімерною добавкою «Ric-Polycell»

Отримані результати досліджень фізико-механічних властивостей дрібнозернистого щільного асфальтобетону типу А наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості дрібнозернистого асфальтобетону типу А модифікованого полімерною добавкою «Ric-Polycell»

| Назва показника | Тип А БНД 70/100 | Тип А БНД 70/100+1,5 % Ric-Polycell | Тип А БНД 70/100+3,0 % Ric-Polycell |
|---|------------------------|---|---|
| Пористість мінеральної частини, % за об'ємом | 15,7 | 15,7 | 15,7 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2404 | 2403 | 2410 |
| Залишкова пористість, % за об'ємом | 3,3 | 3,8 | 3,7 |
| Водонасичення, % за об'ємом | 2,6 | 2,6 | 2,7 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури: | | | |
| 0 °С | 6,7 | 8,0 | 8,1 |
| 20 °С | 3,2 | 4,0 | 4,3 |
| 50 °С | 1,3 | 1,8 | 2,0 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,88 | 0,91 | 0,92 |

Аналіз результатів досліджень вказує на те, що введення до складу суміші полімеру «Ric-Polycell» підвищує показники границі міцності при стиску асфальтобетону типу А за всіх досліджуваних температур. Введення добавки «Ric-Polycell» у кількості 1,5 % та 3,0 % від маси бітуму до складу суміші, порівняно з асфальтобетоном без добавки сприяє збільшенню міцнісних показників. Так, показник границі міцності при стиску за температури 50 °С збільшився на 38,5 % та 53,8 % відповідно, за температури 20 °С на 25 % та 34,3 %, а за температури 0 °С на 19,4 % та 20,8 %. Водостійкість при довготривалому водонасиченні досліджуваних асфальтобетонів збільшується на 3,4 % та 4,5 %.

Результати досліджень колієстійкості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А отримані за температури випробування 65 °С, після 30000 проходів колеса випробувального стенду.

За отриманими результатами експериментальних досліджень (рис. 6) встановлено, що колієстійкість досліджуваних асфальтобетонів при збільшенні вмісту полімерної добавки «Ric-Polycell» підвищується. Після 30000 проходів колеса по сліду за температури випробування 65 °С глибина колії зменшується від 2,55 та 3,86 рази при збільшенні вмісту полімерної добавки від 1,5 % до 3 % за масою.

Результати досліджень впливу добавки «Ric-Polycell» на фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів видів ЩМА-10 та ЩМА-20 наведені в табл. 3, 4.

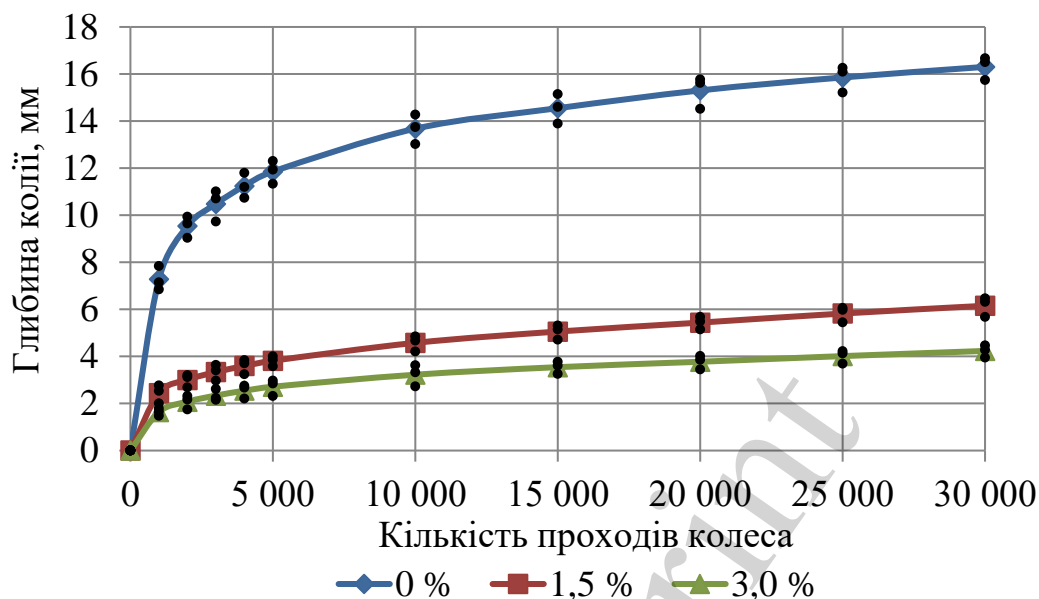


Рис. 6. Залежності глибини колії в дрібнозернистих асфальтобетонах типу А з добавкою «Ric-Polycell» від кількості проходів колеса за температури 65 °С

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-10 з полімерною добавкою «Ric-Polycell»

| Назва показника | ЩМА-10 БНД 70/100 | ЩМА-10 БНД 70/100+1,5 % Ric-Polycell | ЩМА-10 БНД 70/100+3 % Ric-Polycell |
|--|-------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Водонасичення, % за об'ємом | 1,6 | 1,3 | 1,2 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2395 | 2393 | 2392 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури: | | | |
| 20 °С | 3,5 | 4,5 | 5,0 |
| 50 °С | 1,0 | 1,3 | 1,5 |
| Коефіцієнт внутрішнього тертя | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,92 | 0,94 | 0,94 |
| Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа, | 0,17 | 0,20 | 0,22 |
| Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0 °С, МПа | 4,8 | 5,5 | 5,8 |
| Вміст в'язучого, % | 6,1 | 6,1 | 6,1 |

Таблиця 4

Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-20 з полімерною добавкою «Ric-Polycell»

| Назва показника | ЩМА-20 БНД 70/100 | ЩМА-20 БНД 70/100+1,5 % Ric-Polycell | ЩМА-20 БНД 70/100+3 % Ric- Polycell |
|--|----------------------|--|---|
| Водонасичення, % за об'ємом | 2,4 | 2,3 | 2,2 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2424 | 2413 | 2412 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за темпера- тури: | | | |
| 20 °С | 2,4 | 3,0 | 3,5 |
| 50 °С | 0,7 | 1,1 | 1,5 |
| Коефіцієнт внутрішнього тертя | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| Водостійкість при довго- тривалому водонасиченні | 0,91 | 0,95 | 0,95 |
| Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа, | 0,16 | 0,19 | 0,20 |
| Границя міцності на роз- тяг при розколюванні за температури 0 °С, МПа | 4,2 | 5,4 | 5,7 |
| Вміст в'язучого, % | 5,3 | 5,3 | 5,3 |

Аналогічно, як і у випадку модифікації дрібнозернистих асфальтобетонів типу А, введення добавки «Ric-Polycell» у кількості 1,5 % та 3 % сприяє підвищенню міцнісних характеристик досліджених щебенево-мастикових асфальтобетонів.

Результати досліджень властивостей наведених в табл. 3 свідчать, що в щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-10 добавка «Ric-Polycell» сприяє підвищенню границі міцності при стиску за температури 50 °С на 30 % та 50 %, за температури 20 °С на 27,5 % та 42,9 %. Також відбувається зростання показника зчеплення при зсуві за температури 50 °С на 0,03 МПа та 0,05 МПа, підвищення границі міцності при розколі за температури 0 °С на 14,6 % та 20,8 %. При цьому зростання коефіцієнту водостійкості при довготривалому водонасиченні відбувається досить помірно – всього на 2,2 %.

В щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-20 (табл. 4) зростання показника границі міцності при стиску за температури 50 °С відбувається в 1,57 та 2,14 рази, за температури 20 °С в 1,25 та 1,46 рази. Зчеплення при зсуві збільшується на 0,03 МПа та 0,04 МПа. Границя міцності при розколі за температури 0 °С збільшується на 28,6 % та 35,7 %. Коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні підвищується на 4,4 %.

Результати досліджень впливу полімерної добавки «Ric-Polycell» на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії в щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-10 наведено на рис. 7.

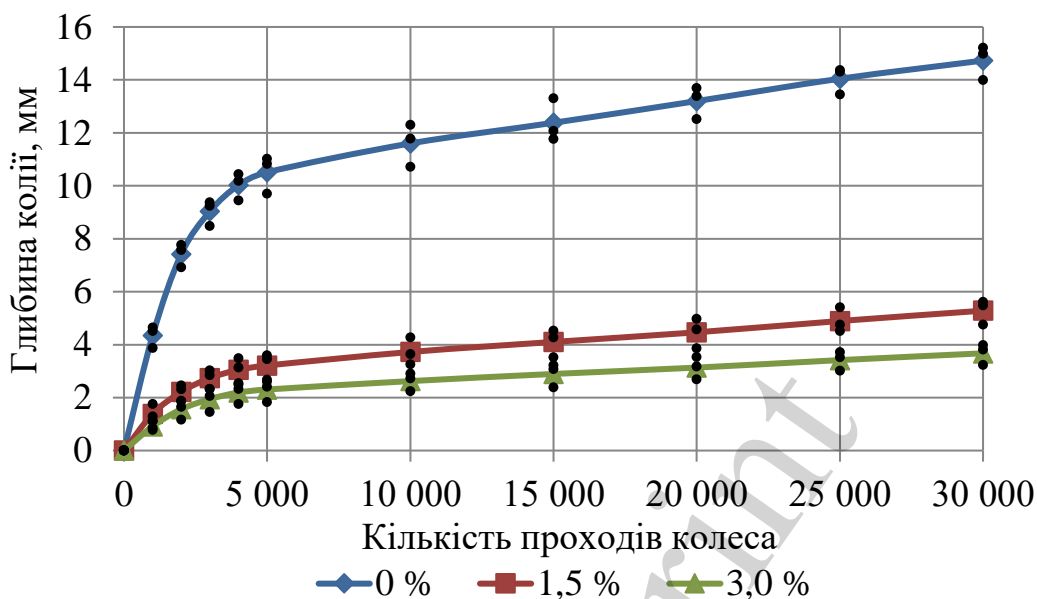


Рис. 7. Залежності глибини колії від кількості проходів колеса в щебенево-мастиковому асфальтобетоні виду ЩМА-10 з добавкою «Ric-Polycell» за температури 65 °C

За отриманими результатами досліджень можна зробити висновок, що добавка «Ric-Polycell» підвищує стійкість асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії. При її вмісті в суміші в кількості 1,5 % від маси бітуму, глибина колії в ЩМА-10 після 30000 проходів колеса знижується в 2,79 рази порівняно з щебенево-мастиковим асфальтобетоном на основі вихідного бітуму марки БНД 70/100. При вмісті добавки 3 % від маси бітуму глибина колії зменшується в 3,86 рази, що свідчить про достатньо високу ефективність досліджуваної полімерної добавки.

Результати досліджень впливу полімерної добавки «Ric-Polycell» на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії в щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-20 наведено на рис. 8.

В щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-20 при модифікації суміші добавкою «Ric-Polycell» у кількості 1,5 % від маси бітуму стійкість до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії зростає в 2,52 рази. При збільшенні кількості модифікуючої добавки вдвічі, в 3,55 рази.

Результати отриманих досліджень фізико-механічних властивостей дрібнозернистих асфальтобетонів типу А модифікованих добавкою «Duroflex®-SMA» наведено в табл. 5.

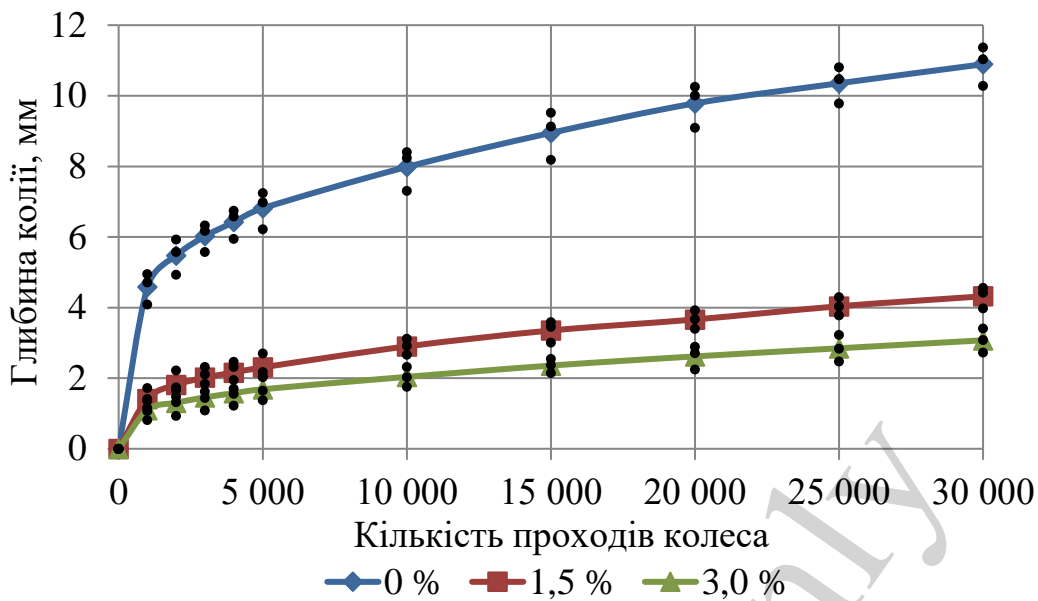


Рис. 8. Залежності глибини колії від кількості проходів колеса в щебенево-мастиковому асфальтобетоні виду ЩМА-20 з добавкою «Ric-Polycell» за температури 65 °С

Таблиця 5

Фізико-механічні властивості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А з полімерною добавкою «Duroflex®-SMA»

| Назва показника | Тип А БНД 70/10 0 | Тип А БНД 70/100+ 0,3 % Duroflex®- SMA | Тип А БНД 70/100+0 ,6 % Duroflex®- SMA |
|---|----------------------------|--|--|
| Пористість мінеральної частини, % за об'ємом | 15,7 | 15,7 | 15,7 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2404 | 2412 | 2414 |
| Залишкова пористість, % за об'ємом | 3,3 | 3,6 | 3,9 |
| Водонасичення, % за об'ємом | 2,6 | 2,5 | 2,8 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури: | | | |
| 0 °С | 6,7 | 8,2 | 8,3 |
| 20 °С | 3,2 | 3,9 | 4,2 |
| 50 °С | 1,3 | 1,6 | 1,9 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,88 | 0,91 | 0,93 |

Результати досліджень вказують на те, що введення полімеру «Duroflex®-SMA» в склад дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу А суттєво підвищує показники границі міцності при стиску асфальтобетону за всіх досліджуваних температур, як і в попередньому випадку. Введення до складу суміші доба-

вки «Duroflex®-SMA» у кількості 0,3 % та 0,6 % від маси бітуму, порівняно з сумішшю без добавки, призводить до зростання показника границі міцності асфальтобетону за температури 50 °С на 23,1 % та 46,2 % відповідно. За температури 20 °С на 25 % та 34,3 %, а за температури 0 °С на 19,4 % та 20,8 %. Водостійкість при довготривалому водонасиченні досліджуваних асфальтобетонів збільшується на 3,4 % та 4,5 %.

Результати досліджень колістійкості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А отримані за температури випробування 65 °С, після 30000 проходів колеса випробувального стенду наведені на рис. 9.

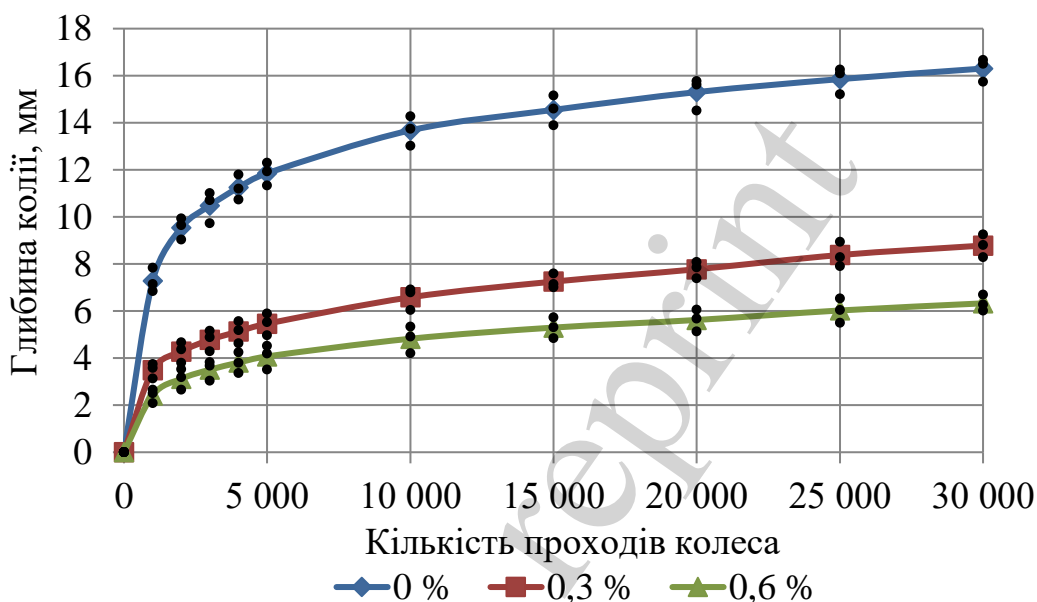


Рис. 9. Залежності глибини колії в дрібнозернистих асфальтобетонах типу А з добавкою «Duroflex®-SMA» від кількості проходів колеса за температури 65 °С

Як і при використанні модифікатора «Ric-Polycell» збільшення вмісту «Duroflex®-SMA» у складі асфальтобетону призводить до підвищення його колістійкості. За температури випробування 65 °С після 30000 проходів колеса по сліду при вмісті добавки у кількості 0,3 % та 0,6 % від маси кам'яного матеріалу, глибина колії зменшується відповідно в 1,86 та 2,56 рази відповідно.

Результати досліджень впливу добавки «Duroflex®-SMA» на фізико-механічні властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів видів ЩМА-10 та ЩМА-20 наведена в табл. 6, 7.

Введення «Duroflex®-SMA» у склад щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-10 (табл. 6) сприяє підвищенню границі міцності при стиску за температури 50 °С на 20 % та 50 %, за температури 20 °С на 22,9 % та 40 %. Для досліджуваного асфальтобетону спостерігається зростання зчеплення при зсуві за температури 50 °С на 0,02 МПа та 0,04 МПа, підвищенню границі міцності при розколі за температури 0 °С на 12,5 % та 20,8 %, зростанню коефіцієнту водостійкості при довготривалому водонасиченні на 3,2 %.

Таблиця 6

Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-10 з полімерною добавкою «Duroflex®-SMA»

| Назва показника | ЩМА-10 БНД 70/100 | ЩМА-10 БНД 70/100+0,3 % Duroflex®-SMA | ЩМА-10 БНД 70/100+0,6 % Duroflex®-SMA |
|--|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Водонасичення, % за об'ємом | 1,6 | 1,7 | 1,7 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2395 | 2390 | 2388 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури: | | | |
| 20 °С | 3,5 | 4,3 | 4,9 |
| 50 °С | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| Коефіцієнт внутрішнього тертя | 0,91 | 0,91 | 0,91 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,92 | 0,95 | 0,95 |
| Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа, | 0,17 | 0,19 | 0,21 |
| Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0 °С, МПа | 4,8 | 5,4 | 5,8 |
| Вміст в'язучого, % | 6,1 | 6,1 | 6,1 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,92 | 0,95 | 0,95 |

Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-20 (табл. 7), показали, що наявність у їх складі добавки «Duroflex®-SMA» сприяє зростанню показників границі міцності при стиску за температури 50 °С на 42,9 % та 100 %, за температури 20 °С на 20,8 % та 37,5 %. Зчеплення при зсуві збільшується на 0,02 МПа та 0,04 МПа, границя міцності при розколі за температури 0 °С збільшується на 23,8 % та 33,3 %, коефіцієнт водостійкості при довготривалому водонасиченні практично не змінюється.

Результати досліджень впливу полімера «Duroflex®-SMA» на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії в щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-10 наведено на рис. 10.

Результати досліджень колієстійкості показують, що добавка «Duroflex®-SMA» підвищує стійкість щебенево-мастикових асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії. При її вмісті в складі щебенево-мастикового асфальтобетону в кількості 0,3 % від маси мінеральної частини, глибина колії в ЩМА-10 після 30000 проходів колеса знижується в 2,2 рази в порівнянні з щебенево-мастиковим асфальтобетоном на основі вихідного бітуму марки БНД 70/100. За вмісту домішки у кількості 0,6 % глибина колії зменшується в 3,16 рази, що також свідчить про достатньо високу ефективність досліджуваної домішки.

Таблиця 7

Фізико-механічні властивості щебенево-мастикового асфальтобетону ЦМА-20 з полімерною добавкою «Duroflex®-SMA»

| Назва показника | ЩМА-20 БНД 70/100 | ЩМА-20 БНД 70/100+0,3 % Duroflex®-SMA | ЩМА-20 БНД 70/100+0,6 % Duroflex®-SMA |
|--|-------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Водонасичення, % за об'ємом | 2,4 | 2,3 | 2,2 |
| Середня щільність, кг/м ³ | 2424 | 2413 | 2412 |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури: | | | |
| 20 °С | 2,4 | 2,9 | 3,3 |
| 50 °С | 0,7 | 1,0 | 1,4 |
| Коефіцієнт внутрішнього тертя | 0,93 | 0,93 | 0,93 |
| Водостійкість при довготривалому водонасиченні | 0,91 | 0,93 | 0,93 |
| Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа, | 0,16 | 0,18 | 0,20 |
| Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0 °С, МПа | 4,2 | 5,2 | 5,6 |
| Вміст в'язучого, % | 5,3 | 5,3 | 5,3 |

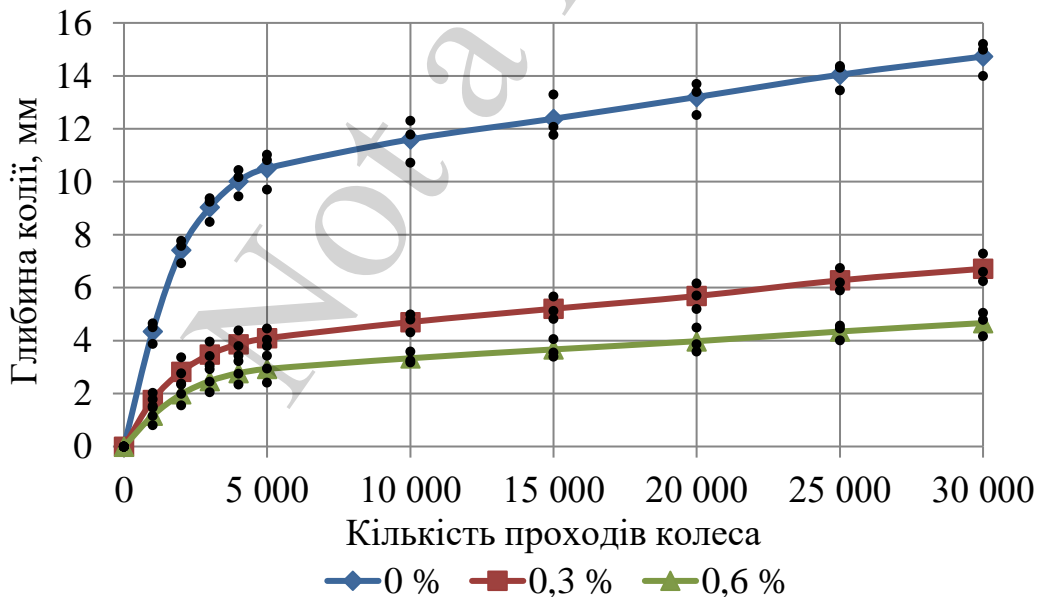


Рис. 10. Залежності глибини колії від кількості проходів колеса в щебенево-мастиковому асфальтобетоні виду ЦМА-10 з добавкою «Duroflex®-SMA» за температури 65 °С

Результати досліджень впливу полімера «Duroflex®-SMA» на стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій у вигляді колії в щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-20 наведено на рис. 11.

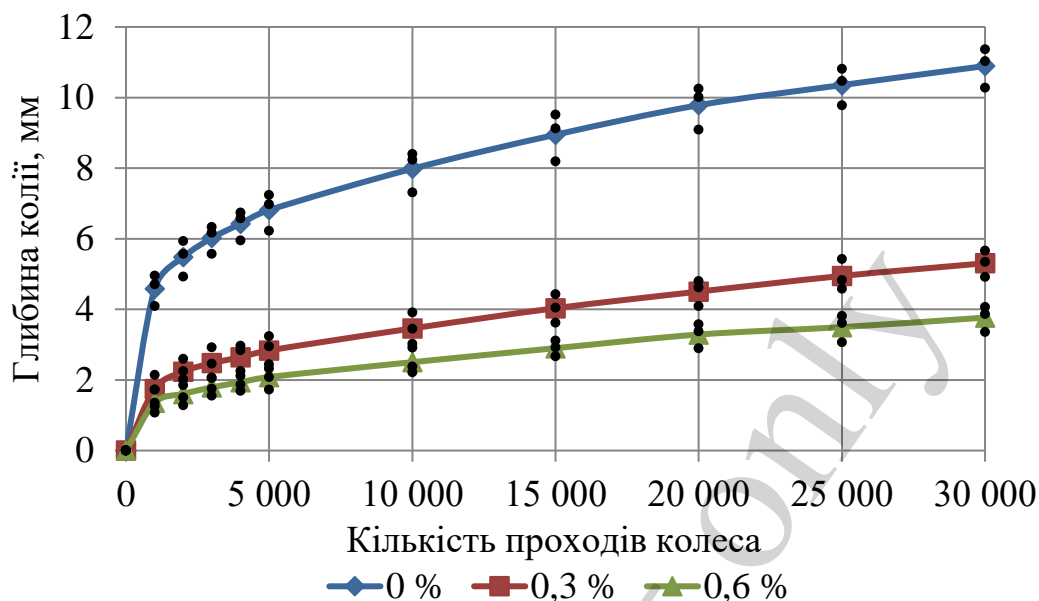


Рис. 11. Залежності глибини колії від кількості проходів колеса в щебенево-мастиковому асфальтобетоні виду ЩМА-20 з добавкою «Duroflex®-SMA» за температури 65 °C

В щебенево-мастикових асфальтобетонах виду ЩМА-20 при модифікації суміші добавкою «Duroflex®-SMA» у кількості 0,3 % від маси мінеральної частини, глибина колії зменшується в 2,05 рази, а при збільшенні кількості модифікатора до 0,6 % в 2,89 рази.

7. Обговорення результатів експериментальних досліджень впливу полімерів «Ric-Polycell» та «Duroflex®-SMA» на властивості асфальтобетонів

Порівняльний аналіз результатів експериментальних досліджень показує, що зі збільшенням вмісту досліджуваних полімерів «Ric-Polycell» та «Duroflex®-SMA» у складі, як дрібнозернистих асфальтобетонних сумішей, так і щебенево-мастикових, міцність асфальтобетонів з них суттєво зростає (табл. 2–7). Очевидно, що це пов'язано з модифікуючим впливом досліджених полімерів на бітум. Завдяки розчиненню розплаву полімеру в бітумі, бітумним плівкам на мінеральних зернах стає притаманна більш висока теплостійкість, в результаті чого зростає опір асфальтобетонного зовнішнім навантаженням.

Температура приготування асфальтобетонних сумішей є чинником, який теж впливає на показники властивостей асфальтобетонів. Для досягнення вагового ефекту від використання досліджуваних полімерних добавок під час приготування асфальтобетонних сумішей, кам'яні матеріали необхідно нагрівати до температури 180–185 °C, температура бітуму повинна становити 165–175 °C, температура готової суміші на виході з асфальтозмішувача повинна бути в межах 175–185 °C. Вказаний температурний режим приготування асфальтобетон-

них сумішей забезпечує на початковій стадії (цикл сухого перемішування) процес розм'якшення термопластичних полімерів. В процесі подальшого перемішування (мокрый цикл) відбувається поступовий перехід термопласту в стан розплаву і розчинення в бітумі шляхом взаємної дифузії молекул.

Серед досліджених асфальтобетонів найбільша колієстійкість властива щебенево-мастиковому асфальтобетону виду ЩМА-20, а найменша щільному дрібнозернистому асфальтобетону типу А (рис. 6–11). Ці результати є підтвердженням того, що асфальтобетонам з високим вмістом зерен щебеню властивий більший коефіцієнт внутрішнього тертя і, відповідно, стійкість каркасної структури до накопичення пластичних деформацій у вигляді колії.

Модифікація асфальтобетонних сумішей термопластами на етапі їх приготування у змішувачі достатньо суттєво підвищує колієстійкість асфальтобетонів, виготовлених з них. Досліджені концентрації термопластичних полімерів забезпечують підвищення колієстійкості, як дрібнозернистого, так і щебенево-мастикових асфальтобетонів, майже у два рази. При цьому асфальтобетонам з полімерною добавкою «Ric-Polycell» притаманна дещо більша колієстійкість, порівняно з асфальтобетонами з полімерною добавкою «Duroflex®-SMA» (рис. 6–11).

Отримані результати досліджень дозволяють на етапі конструювання і розрахунку нежорстких конструкцій дорожніх одягів обґрунтовано призначати для влаштування шарів покриття асфальтобетонні суміші, модифіковані термопластами у асфальтозмішувачах під час їх приготування. Очевидно, що на автомобільних дорогах з високою інтенсивністю руху великовагових транспортних засобів, виходячи з отриманих результатів досліджень, більш доцільно використовувати щебенево-мастикові асфальтобетони з більшою крупністю мінеральних зерен щебеню. Оскільки вони є більш колієстійкі, порівняно з асфальтобетонами з меншим розміром та вмістом зерен щебеню.

За умови реалізації технології модифікації асфальтобетонних сумішей термопластами безпосередньо у асфальтозмішувачі обмежувальними чинниками є граничні значення вказаних температур. Перевищення їх значень може призвести до часткової або повної деструкції полімерів та знівелювати їх модифікуючий вплив, а також прискорити старіння бітуму. За такої технології завжди необхідно враховувати масштабний фактор (одноразовий об'єм змішуваної суміші) при використанні різних асфальтозмішувачів, шляхом уточнення тривалості сухого та мокрого циклів перемішування. Важливим етапом подальших досліджень є встановлення критерію, за яким можливо було б з високою ймовірністю, прогнозувати повноту і однорідність розчинення полімеру у бітумі під час приготування асфальтобетонних сумішей в асфальтозмішувачі.

8. Висновки

1. За результатами виконаних досліджень встановлено, що температура приготування асфальтобетонних сумішей, модифікованих полімерними добавками «Ric-Polycell» та «Duroflex®-SMA» безпосередньо у змішувачі, суттєво впливає на міцнісні характеристики асфальтобетонів. Ефективність модифікації асфальтобетонних сумішей термопластичними полімерами зростає з підвищен-

ням температури нагрівання її складників. Достатньо помітна ефективність досліджених полімерних добавок проявляється при їх введенні у асфальтозмішувач (перед подаванням бітуму) з мінеральними матеріалами, що мають температуру 180–185 °С. Температура бітуму, перед подаванням у змішувач, може бути рекомендована в межах від 165 °С до 175 °С.

2. Встановлено, що підвищення вмісту досліджених полімерних термопластичних добавок «Ric-Polycell» або «Duroflex®-SMA» у складі асфальтобетонних сумішей викликає зростання показників границі міцності при стиску асфальтобетонів за різних температур їх визначення. Найбільше зростання міцності асфальтобетонів при стиску спостерігається за температури 50 °С, що свідчить про підвищення теплостійкості асфальтобетонів з вказаними полімерами. Зі зниженням температури визначення цього показника, інтенсивність приросту значень границі міцності при стиску зменшується, але за абсолютною величиною залишається достатньо суттєвою. Зі збільшенням вмісту досліджених полімерних у складі щебенево-мастикових асфальтобетонів їм також властиве зростання показника границі міцності при розколі за температури 0 °С та показника зчеплення при зсуві за температури 50 °С.-Результати досліджень стійкості асфальтобетонів до утворення колії вказують на те, що серед досліджених асфальтобетонів на бітумі без модифікуючих добавок найбільший опір колієутворенню чинить щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЦМА-20. Найменша колієстійкість властива щільному дрібнозернистому асфальтобетону типу А на чистому бітумі без будь-яких добавок. У цьому випадку найбільша колієстійкість щебенево-мастикового асфальтобетону забезпечується каркасною структурою мінеральної частини, яку створює велика кількість зерен щебеню у його складі. Ці результати добре узгоджуються з відомими даними про те, що асфальтобетонам з високим вмістом зерен щебеню властивий більший коефіцієнт внутрішнього тертя і, відповідно, стійкість каркасної структури до колієутворення, порівняно з малощебеновими асфальтобетонами. Модифікація асфальтобетонних сумішей мінімальним вмістом полімерної добавки «Ric-Polycell» або «Duroflex®-SMA» в дослідженому діапазоні їх концентрації призводить до підвищення колієстійкості асфальтобетонів майже вдвічі. З підвищенням вмісту полімерних добавок колієстійкість асфальтобетонів теж підвищується. Із двох досліджених полімерних добавок дещо більшу колієстійкість асфальтобетонам забезпечує «Ric-Polycell».

Література

1. Zhu, J., Birgisson, B., Kringos, N. (2014). Polymer modification of bitumen: Advances and challenges. *European Polymer Journal*, 54, 18–38. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2014.02.005>
2. Zhang, F., Yu, J., Han, J. (2011). Effects of thermal oxidative ageing on dynamic viscosity, TG/DTG, DTA and FTIR of SBS- and SBS/sulfur-modified asphalts. *Construction and Building Materials*, 25 (1), 129–137. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.06.048>
3. Gallu, R., Méchin, F., Dalmas, F., Gérard, J.-F., Perrin, R., Loup, F. (2020). Rheology-morphology relationships of new polymer-modified bitumen based on

thermoplastic polyurethanes (TPU). *Construction and Building Materials*, 259, 120404. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120404>

4. Jahanian, H. R., Shafabakhsh, G., Divandari, H. (2017). Performance evaluation of Hot Mix Asphalt (HMA) containing bitumen modified with Gilsonite. *Construction and Building Materials*, 131, 156–164. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.11.069>

5. Ahmadinia, E., Zargar, M., Karim, M. R., Abdelaziz, M., Shafigh, P. (2011). Using waste plastic bottles as additive for stone mastic asphalt. *Materials & Design*, 32 (10), 4844–4849. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2011.06.016>

6. Ameli, A., Maher, J., Mosavi, A., Nabipour, N., Babagoli, R., Norouzi, N. (2020). Performance evaluation of binders and Stone Matrix Asphalt (SMA) mixtures modified by Ground Tire Rubber (GTR), waste Polyethylene Terephthalate (PET) and Anti Stripping Agents (ASAs). *Construction and Building Materials*, 251, 118932. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118932>

7. Qian, C., Fan, W. (2020). Evaluation and characterization of properties of crumb rubber/SBS modified asphalt. *Materials Chemistry and Physics*, 253, 123319. doi: <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123319>

8. Parvez, M. A., Al-Abdul Wahhab, H. I., Hussein, I. A., Al-Mehthel, M. (2015). Thermorheology of Polyethylene Wax Modified Sulfur Asphalt. *International Polymer Processing*, 30 (2), 202–209. doi: <https://doi.org/10.3139/217.2977>

9. Золотарев, В. А., Братчун, В. И. (Ред.) (2003). Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. *PIARC-AIPCR*, 229.

10. Пыриг, Я. И., Галкин, А. В., Золотарев, В. А. (2015). Модификация асфальтобетонов путем прямого введения полимера сбс в минеральную смесь. *Дороги і мости*, 15, 19–26.

11. Жданюк, В. К., Костин, Д. Ю., Аринушкіна, О. О. (2012). Дослідження властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів різних видів на модифікованих бітумах. *Автошляховик України*, 6, 25–29.

12. Жданюк, В. К., Макарьчев, О. А., Шрестха, Р. Б., Костин, Д. Ю., Воловик, А. А. (2012). Исследование влияния модифицирующих добавок в битум на физико-механические свойства и колееустойчивость мелкозернистого асфальтобетона. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*, 58, 130–133.

13. Жданюк, В. К., Масюк, Ю. А., Чугуенко, С. А., Плигун, В. И. (2007). Об оценке устойчивости асфальтобетонных покрытий к образованию пластических деформаций в виде колеи. *Строительство, реконструкция и восстановление зданий городского хозяйства: II междунар. науч.-техн. интернет-конф.* Харьков: ХНАГХ, 168–171.