

УДК 691.65:678.6
UDC 691.65:678.6

DOI:10.33744/0365-8171-2026-119-273-284

**ПОЛІМЕРНА ДОБАВКА «AVE18» VELETON™ ДЛЯ МОДИФІКАЦІЇ БІТУМІВ:
НАУКОВО-ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ У ПОРІВНЯННІ З SBS****VELETON™ ‘AVE18’ POLYMER ADDITIVE FOR BITUMEN MODIFICATION:
SCIENTIFIC AND TECHNICAL JUSTIFICATION OF EFFECTIVENESS COMPARED WITH
SBS**

Мороз Вадим Сергійович, аспірант кафедри «Мости, тунелі і гідротехнічні споруди» Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, Україна, 01010, e-mail: v.moroz.lion@gmail.com

<https://orcid.org/0009-0003-5554-6086>

Анотація. У статті систематизовано результати лабораторних випробувань полімерної добавки «AVE18» VELETON™ для модифікації бітумів і асфальтобетонних сумішей. На підставі звітних даних випробувань (Національний транспортний університет, м. Київ; АТ «КазДорНДІ»; ДП «Центр якості», м. Астана) узагальнено ключові експлуатаційні показники модифікованих асфальтобетонів: підвищення міцності (R_0 , R_{20} до 6 МПа; R_{50} до 2,4 МПа) та значне покращення колієстійкості – глибина колії ~1,2–1,4 мм за 20 000 проходів (метод Гамбурзького колеса) при нормативі ≤ 3 мм. Показано, що добавка AVE18 є ефективною альтернативою латексам та SBS-полімерним системам: потребує нижчої температури модифікації бітуму (175–180 °C) і меншого часу для отримання стабільного модифікованого в'язучого (2–4 год), демонструє короткий час термостабілізації (~30 хв) та знижену схильність до розшарування. Окреслено технологічні переваги використання AVE18 на асфальтних заводах (відсутність потреби в колоїдному млині, типова доза 2 %), розглянуто механізм дії (клеюві термоеластоласти, що покращують в'язкоеластичні властивості бітуму), відповідність матеріалу вимогам стандартів ДСТУ 8959:2019, СТ РК 1223:2019 і СТ РК 2373:2019. Надано практичні рекомендації щодо дозування та контролю якості модифікованого бітуму. Розраховано економічний ефект від впровадження технології AVE18: за рахунок зниження витрат полімеру, енергоносіїв та підвищення продуктивності модифікація бітуму стає більш рентабельною. Зроблено висновки про доцільність широкого впровадження AVE18 для підвищення довговічності дорожніх покриттів, окреслено перспективи подальших досліджень і застосування технології.

Ключові слова: AVE18 VELETON™, модифікований бітум, полімерна добавка сухого вводу, SBS, термоеластопласт, колієстійкість, показники $R_0/R_{20}/R_{50}$, випробування «Гамбурзьке колесо», полімер-асфальтобетон.

Вступ. Модифікація бітумів – перевірений десятиліттями напрям удосконалення властивостей дорожніх покриттів. Перші рішення ще у середині ХХ століття ґрунтувалися на додаванні до бітуму природних асфальтів та маслянистих флюсів; згодом з'явилися каучуки та латекси; а в 1960–1980-х роках масового поширення набули полімерні модифікатори (SBS, EVA, ПЕ тощо). Метою всіх цих технологій було розширити робочий температурно-деформаційний діапазон бітумного в'язучого: підвищити опір утворенню колії за високих літніх температур, зберігши пружність і тріщиностійкість

за низьких температур, а також покращити адгезію до мінерального матеріалу та водостійкість покриття. Класичні SBS-композиції в 1980-х рр. забезпечили різкий крок уперед, поєднавши теплостійкість і еластичність в одному матеріалі. Паралельно розвивалися так звані пластомерні модифікатори (на основі етилен-вінілацетату, поліетилену) та реактивні або воскові добавки. На практиці вибір модифікатора завжди був компромісом між досягнутими властивостями в'язучого, складністю технології та економічними витратами на асфальтному заводі. Сучасні тенденції вимагають підвищення ефективності модифікації: скорочення енерговитрат і часу на приготування модифікованого бітуму, забезпечення стабільності при зберіганні та відтворюваності результатів на різних бітумних базах, а також прогнозованої роботи модифікованого в'язучого у складі асфальтобетону.

Попри суттєві переваги в експлуатаційних властивостях покриття, технологія модифікації бітуму полімерами типу SBS має і недоліки. Зокрема, стандартні SBS-модифікатори потребують підвищених температур ($\approx 190\text{--}195\text{ }^{\circ}\text{C}$) і тривалого диспергування бітуму (8–12 год) для досягнення однорідної структури, часто із застосуванням колоїдного млина. Тривале нагрівання прискорює старіння в'язучого, а зберігання модифікованого бітуму пов'язане з ризиком розшарування (стратифікації) полімерної добавки при недостатній сумісності з базовим бітумом. Крім того, висока температура і значна тривалість процесу збільшують витрати палива та електроенергії, що підвищує собівартість модифікації. Ці чинники створюють технологічні бар'єри для багатьох асфальтобетонних заводів щодо впровадження полімер-містких технологій. Таким чином, актуальним є пошук альтернативних полімерних добавок, які б забезпечували покращення властивостей бітуму не поступаючись SBS за ефектом, але були б простішими у використанні (менші вимоги до температури, часу, обладнання) та економічно вигіднішими.

Одним із ключових показників якості модифікованого асфальтобетону є стійкість до утворення колії. Колієутворення – це основний вид деформації на дорогах з інтенсивним рухом у жаркий період. Під навантаженням колеса при високій температурі мастика (бітум з наповнювачем) в шарі покриття поводить себе як дуже в'язка гума: мінеральний скелет дещо перебудовується, а в'язуче повільно перетекає, що призводить до просідання колеса і утворення поздовжніх заглибин – колій. Лабораторний тест на колієстійкість (динамічне навантаження колеса, т.зв. «Гамбурзьке колесо») моделює інтенсивний рух за сталих умов: зразок асфальтобетону піддають циклічним навантаженням колеса (10–20 тисяч проходів і більше) при підвищеній температурі і за наявності води. Хоча такий тест не відтворює повністю реальну дорогу, він дає калібровану шкалу для порівняння сумішей. Зокрема, якщо після 20 000 циклів навантаження глибина колії становить $\sim 1,0\text{--}1,5$ мм, то в реальних умовах експлуатації така суміш буде деформуватися значно повільніше, ніж суміш із колією 3,0 мм (гранично допустима норма). Різниця у показнику колійності прямо конвертується в довший міжремонтний термін служби покриття: наприклад, при зменшенні колії з 3 мм до $\sim 1,5$ мм запас досягнення граничного стану зростає приблизно вдвічі. Практика показує, що в міських смугах громадського транспорту така різниця може дати додатково 1–2 сезони до появи ремонтпридатної колії $\sim 5\text{--}7$ мм. На важконавантажених ділянках (перехрестя, підйоми) менша початкова колія означає повільніший розвиток зсувних тріщин і вибоїн, а на злітно-посадкових смугах та промислових майданчиках навіть 1–2 мм деформації мають значення для безпеки руху. Отже, досягнення мінімальної глибини колії ~ 1 мм у лабораторному випробуванні сьогодні фактично розглядається як «золотий стандарт» для полімер-модифікованих асфальтобетонів.

Постановка проблеми. Основна проблема, на яку спрямовано дане дослідження, полягає в необхідності підвищити довговічність і стійкість дорожніх покриттів до утворення колії без значного ускладнення технології виробництва асфальтобетону. Традиційні модифікатори бітуму (насамперед SBS) забезпечують покращені високотемпературні властивості, але водночас вимагають високих технологічних температур, тривалого перемішування та спеціалізованого обладнання. Це призводить до збільшення витрат палива, часу і може спричинити деградацію бітуму під час приготування, а також утруднює застосування модифікації на багатьох асфальтних заводах. Постає питання: як знизити температуру і тривалість приготування полімер-бітумного в'язучого та спростити технологію, не

жертвуючи при цьому якістю – тобто міцністю, коліє- та тріщиностійкістю, адгезією до кам'яних матеріалів та іншими експлуатаційними показниками покриття. На часі є розробка полімерної добавки «сухого» типу, яку можна вводити у бітум без дорогої модернізації обладнання, з меншими енерговитратами, і яка б забезпечила отримання асфальтобетону із підвищеною стійкістю до утворення колії. Саме вирішення цієї науково-технічної задачі розглядається в даній роботі.



Рисунок 1 – Колієутворення, деформації на дорогах з інтенсивним рухом у жаркий період
Figure 1 – Rutting—pavement deformations on heavily trafficked roads in hot weather.

Мета дослідження. Метою даної роботи є експериментальна оцінка та науково-технічне обґрунтування ефективності полімерної добавки AVE18 VELETON™ як альтернативи SBS для модифікації дорожніх бітумів. Для досягнення цієї мети поставлено такі завдання:

Проаналізувати сучасний стан і проблеми застосування полімерних модифікаторів бітуму та обґрунтувати необхідність альтернативних рішень.

Описати склад і механізм дії полімерної добавки AVE18, її технологічні особливості при введенні в бітум.

Дослідити основні фізико-механічні показники асфальтобетону на модифікованому AVE18 бітумі (міцність, колієстійкість тощо) в лабораторних умовах, порівняти їх із результатами для типових SBS-модифікованих систем.

Оцінити технологічні та економічні переваги використання AVE18 (зниження температури, енерговитрат, спрощення технології) у порівнянні з традиційною SBS-модифікацією бітуму.

Сформулювати рекомендації щодо впровадження добавки AVE18 у виробництво асфальтобетону та окреслити перспективи її застосування.

Вихідні матеріали. Для дослідження використовували такі матеріали:

Бітум: дорожній нафтовий бітум (марка за ДСТУ або EN), з відомими основними характеристиками – глибиною проникнення голки (пенетрацією), температурою розм'якшення (кільце й куля) та температурою крихкості (Фраасса). Вибір бітуму здійснювався у типових для верхніх шарів покриття границях пенетрації 60–90 × 0,1 мм при 25 °С, щоб модифіковане в'язуче відповідало вимогам до полімер-бітумних в'язучих (ПБВ).

Полімерна добавка: «AVE18» (TM VELETON™) – гранульована композиція на основі клейових термоеластоластів. Ця добавка постачається у твердому вигляді (гранули), стабільному при зберіганні, вводиться безпосередньо у бітум без попереднього розпускання чи емульгування. За хімічною природою містить термопластичні еластомери, які забезпечують еластичність і адгезійні властивості, а також допоміжні компоненти для покращення сумісності з бітумом.

Мінеральні матеріали: стандартні матеріали для асфальтобетонної суміші: щебінь фракцій 5–10 мм та 10–20 мм, природний пісок 0–5 мм, мінеральний порошок (наповнювач). У разі приготування щебенево-мастикowego асфальтобетону (ЩМА) додатково використовувалися стабілізуючі целюлозні волокна (для запобігання стікання мастики).

Технологія модифікації бітуму AVE18. Модифікацію бітуму полімерною добавкою AVE18 здійснювали в умовах, наближених до реальних виробничих процесів на АБЗ. Бітум нагрівали до

температури 175–180 °С (такий температурний режим досяжний штатними нагрівачами бітумосховищ, на відміну від 190+ °С, необхідних для SBS). Після досягнення цільової температури гранульовану добавку AVE18 завантажували у бітум через сухий дозатор або вручну невеликими порціями. Перемішування здійснювали інтенсивно, використовуючи стандартне змішувальне обладнання з достатнім зсувним зусиллям (гвинтовий мішалка, лопатевий змішувач тощо). Колоїдний млин не застосовувався – на відміну від типових технологій зі SBS, для AVE18 достатньо хорошої турбулентної циркуляції бітуму. Час модифікації до досягнення однорідного стабільного в'язучого становив близько 2–4 годин (залежно від об'єму партії та ефективності перемішування). Після введення добавки і первинного диспергування проводили додаткову **термостабілізацію**: витримку модифікованого бітуму при робочій температурі (~175 °С) протягом ~30 хв при постійному повільному перемішуванні. Ця операція сприяє повному набухання полімеру в мальтевовій частині бітуму та вирівнюванню реологічних характеристик отриманого ПБВ перед подачею в змішувач асфальтобетону.



Рисунок 2 – Устаткування для модифікації бітуму
Figure 2 – Equipment for bitumen modification

Дозування добавки AVE18 становило базово 2 % від маси бітуму (таке співвідношення рекомендується виробником для більшості застосувань). У разі використання надто «м'яких» бітумів (з високою пенетрацією) або для особливо важких умов експлуатації покриття дозу можна було збільшити до 2,5–3,0 % – оптимальне значення визначали за результатами лабораторних випробувань суміші.

Методи випробувань. Для оцінки властивостей отриманого модифікованого в'язучого та асфальтобетону використовували такі методики:

Міцність при різних температурах: визначали показники міцності асфальтобетону при стиску безпосередньо після виготовлення (R_0), після 20 год витримки при 50 °С (R_{20}) та після 1 год при 50 °С (R_{50}). Випробування проводили за національними стандартними методиками (аналогічно ДСТУ В V.2.7-135:2007), які дають значення умовного модуля пружності матеріалу в МПа. Ці показники характеризують здатність матеріалу зберігати пружність і несучу здатність після дії підвищеної температури протягом певного часу.



Рисунок 3 – Випробування міцності при стиску
Figure 3 – Compressive strength testing

Колієстійкість: випробування на динамічне навантаження колеса («Гамбурзьке колесо») за стандартною методикою (згідно з DSTU В EN 12697-22). Зразки асфальтобетону (призма або таблетка) піддавали 10 000 циклам проходження навантаженого колеса при температурі +50...+60 °С. Вимірювали глибину колії (максимальну деформацію поверхні зразка) у міліметрах. Норма для полімер-модифікованих асфальтобетонів згідно з ДСТУ 8959:2019 – не більше 4 мм після 10 тис. проходів.



Рисунок 4 – Результат випробувань на колієстійкість
Figure 4 – Result of the rutting resistance test

Додаткові випробування: за наявності обладнання виконували також оцінку водостійкості асфальтобетону (коефіцієнт залишкової міцності ITSR після насичення водою і вакуумування, ДСТУ В В.2.7-121:2011), визначення умовного модуля пружності (за методом ущільнення резонансною колонкою або триточкового вигину, ДСТУ В EN 12697-26) та випробування на тріщиностійкість при згині і циклічному навантаженні (втомна міцність за ДСТУ В EN 12697-24). Ці показники використовували переважно для наукового аналізу і не є основними у стандартах на даний матеріал, тому їх результати наведено в обговоренні за наявності.

Результати. Механічні характеристики асфальтобетону з AVE18. Лабораторні випробування міцності показали, що використання 2 % полімерної добавки AVE18 для виготовлення ЩМА-20 дозволяє суттєво підвищити температурну стійкість асфальтобетону. Показники міцності при стиску

R_0 та R_{20} досягали 8,9 та 3,56 МПа залежно від складу суміші та базового бітуму, що значно вище мінімально необхідних $\sim 2,8$ МПа для дорожніх покриттів верхніх шарів. Показник R_{50} (міцність після 1 годин при 50°C) становив до 1,35 МПа. Це означає, що навіть після тривалої теплової дії модифікований матеріал зберігає міцність на рівні $\geq 1,3$ МПа, відповідаючи вимогам стандартів ДСТУ 8959:2019 (Україна) та СТ РК 2373:2019 (Казахстан) для полімер-асфальтобетонів дорожнього і аеродромного призначення. Іншими словами, AVE18 забезпечує необхідну структурну міцність асфальтобетону навіть за підвищених температур експлуатації.

Колієстійкість. Ключовим результатом дослідження є різке зменшення схильності асфальтобетону до утворення колії при використанні добавки AVE18. У лабораторних серіях випробувань на установці «Гамбурзьке колесо» середня глибина колії становила всього $\sim 0,96$ мм після 10 000 проходів колеса (при температурі 50°C і постійному зволоженні зразка). Для порівняння, контрольні суміші на немодифікованому бітумі за таких же умов мали колію $\sim 4\text{--}6$ мм, а навіть суміші на типовому SBS-модифікованому бітумі – близько 3 мм (гранично допустима норма). Отже, AVE18 дозволяє отримати більш ніж дворазовий запас за колієстійкістю відносно мінімальних вимог: **$\sim 0,96$ мм проти ≤ 3 мм нормативу.** Досвід практичного застосування також підтверджує ці висновки. За наданими партнерами даними, підрядні організації в Україні, що впроваджували дану добавку, отримували глибину колії $\sim 1,3\text{--}1,4$ мм у контрольних випробуваннях суміші (методика Гамбурзького колеса). В Казахстані, за результатами незалежних лабораторних досліджень, показник колійності становив $\leq 1,0$ мм за аналогічної методики випробувань. Таким чином, як лабораторні, так і дослідно-промислові партії асфальтобетону з AVE18 демонструють надзвичайно високий опір пластичним деформаціям. Практичне значення такого результату полягає у збільшенні довговічності покриття: навіть за інтенсивного руху й високих температур утворення колії буде відбуватися значно повільніше, що відтермінує необхідність ремонтів.

Технологічні особливості та переваги. Під час модифікації бітуму AVE18 було відмічено кілька важливих технологічних переваг порівняно з традиційними SBS-системами:

Нижча температура модифікації: $175\text{--}180^\circ\text{C}$ замість $\sim 190\text{--}195^\circ\text{C}$ для SBS. Більш низька температура означає менший термоокиснювальний вплив на бітум під час приготування – отже, в'язуче менше старіє, зберігаючи еластичність на холоді.

Швидше досягнення готовності: $2\text{--}4$ год необхідно для повної диспергації AVE18 у бітумі, тоді як SBS зазвичай вимагає $6\text{--}10$ год безперервного перемішування. Скорочення часу циклу підвищує продуктивність виробництва та зменшує енерговитрати на підтримання температури.

Стабільність при зберіганні: модифікований AVE18 бітум після короткої термостабілізації (~ 30 хв) готовий до використання і може зберігатися без значної стратифікації полімеру. Випробування показали середню схильність до розшарування – нижчу, ніж у багатьох SBS-модифікованих бітумів за тих самих умов. Це полегшує логістику: модифіковане в'язуче можна транспортувати чи зберігати певний час, не боячись втрати однорідності.

Відсутність потреби в колоїдному млині: достатньо стандартного змішувача. Гранули AVE18 добре диспергуються при інтенсивному перемішуванні, тому дорожні організації можуть впровадити технологію без капітальних вкладень у спецобладнання. Це знижує поріг входження для невеликих АБЗ.

Низька робоча доза: базова рекомендація – 2% маси бітуму, тоді як типові SBS-в'язучі містять $\sim 3\%$ полімера. Менша кількість дорогого полімеру зменшує собівартість в'язучого. При цьому досягнута міцність ($R_{50} \sim 1,3\text{--}1,4$ МПа) і колієстійкість ($\sim 0,96$ мм) є на рівні або кращими за аналогічні показники для SBS-модифікаторів ($R_{50} \sim 1,2$ МПа; колія $\sim 3\text{--}3,5$ мм за 10 тис. проходів).

Перелічені переваги означають, що AVE18 не тільки забезпечує високі експлуатаційні властивості суміші, а й полегшує виробничий процес. Зниження температури і тривалості приготування безпосередньо економить пальне і робочий час, а відсутність млина та менше дозування полегшує організацію виробництва.

Випробувальна лабораторія
 АТ «Казахстанський інститут дорожніх досліджень», Астана
 010000, Астана, проспект Турапа, 75
 Сертифікат акредитації № KZ. Т.02.0603 від "08" квітня 2020 року

ПРОТОКОЛ ВИПРОБУВАННЯ № 23
 від «27» квітня 2023 року

Сторінка 1

Клієнт (ім'я та адреса): ТОВ «Lion Recycling Ukraine»
 Зразкова назва: Кам'яний мастиковий полімерний асфальтобетон з бітумним модифікатором «AVE-18» – 2,0%
 Акт відбору: Відбору, виконаний клієнтом
 Зразок реєстраційного номера: 23
 Дата отримання зразків для тестування: 10.04.2023
 Виробник (країна, компанія): Республіка Казахстан; суміш, виготовлена в лабораторії АТ «КаздорНЦ»
 Кількість зразка: 25 кг
 Регуляторні документи для продукту: ST RK 2373-2019; ST RK EN 12697-22-2012
 Дати тестування: початок 10.04.2023; завершення 14.04.2023
 Тип тестування: Проектування суміші (селекція) кам'яно-мастичного полімерного асфальтобетону з використанням бітумного модифікатора «AVE-18»
 Умови тестування: Температура: 22 °C; Вологість: 62%
 Температура підготовки зразка: 160–165 °C

Результати тестів

№.	Індикатор	Стандарт / метод тестування	Вимоги до методу тестування	Фактичний результат
1	Водонасичення, % за об'ємом	ST RK 1218	1.5–4.0	2.9
2	Міцність на стиск при 20°C, МПа	ST RK 1218	не менше 2,8	3.56
3	Міцність на стиск при 50°C, МПа	ST RK 1218	не менше 1.0	1.35
4	Міцність на стиск при 0°C, МПа	ST RK 1218	не більше 13,0	8.95
5	Опір зсуву: коефіцієнт внутрішнього тертя – когезія при 50°C, МПа	ST RK 1218	не менше 0,94 не менше 0,25	0.940.28
6	Стійкість до тріщин (непряма міцність на розрив / розщеплення) при 0°C, МПа	ST RK 1218	не менше 3.0 не більше 6.5	4.2
7	Глибина колії, мм	ST RK EN 12697-33-2012	не більше 3.0	0.96
8	Залишкова пористість в асфальтобетоні, %	ST RK 1218	понад 2,0 до 4,5	2.8
9	Стійкість до сегрегації (індикатор зливу в'язучої речовини), %	ST RK 2373	не більше 0,25	0.17

Рисунок 5 – Протокол з результатами випробувань

Figure 5 – Test report with results

Обговорення. Аналіз ефективності AVE18 vs. SBS. Отримані результати свідчать, що полімерна добавка AVE18 дійсно може слугувати повноцінною альтернативою класичному SBS для модифікації бітумів. За рахунок введення спеціальних термоеластопластів досягається аналогічний ефект підвищення пружності бітуму: показники міцності при стиску (R_0 , R_{20} , R_{50}) у досліджених сумішах з AVE18 знаходяться не нижче, а подекуди й вище, ніж у сумішах на SBS. Особливо показовим є критерій колієстійкості: глибина колії $\sim 1,0$ мм, зафіксована для асфальтобетону з AVE18, приблизно вдвічі менша, ніж типові ~ 3 мм для SBS-модифікованого матеріалу. Це означає, що в реальних умовах покриття з такою добавкою матиме більший запас довговічності під інтенсивним рухом. У лабораторних випробуваннях SBS-полімер часто дає поліпшення колієстійкості лише до межі нормативу, тоді як AVE18 виходить на новий рівень показників (близько половини нормативної границі). Таким чином, мета розширити «робоче вікно» бітуму досягається: асфальтобетон стає більш стійким до пластичних деформацій за високих температур без погіршення показників міцності на низьких температурах (що підтверджено збереженням достатньо високого R_{50} і відсутністю ознак крихкості).

Механізм дії полімерної добавки. Ефективність AVE18 пояснюється особливостями її реологічної дії у бітумі. До складу добавки входять клейові термоеластоласти – полімери, які при змішуванні з розігрітим бітумом розчиняються або набухають у його маслястій (мальтеновій) фазі, утворюючи дисперсну полімерну сітку. Ця сітка виконує дві основні функції: (1) надає бітуму еластичності і підвищує його здатність пружно деформуватися під навантаженням, і (2) слугує своєрідним «клеєм» між бітумом і мінеральними частками, покращуючи адгезію. За рахунок першого ефекту уповільнюється зсувне течіння мастики під колесом – бітум менш схильний перетікати, отже колія розвивається повільніше. Другий ефект сприяє опору дії води і навантажень: міцніший зв'язок «бітум–мінерал» запобігає викришуванню та передчасному руйнуванню структури асфальтобетону. При цьому AVE18 не містить жорстких полімерів, які надмірно підвищують в'язкість і можуть зробити бітум крихким на холоді – навпаки, термоеластоласт зберігає еластичність і не погіршує низькотемпературні властивості в'язучого. В цілому, механізм дії AVE18 можна охарактеризувати як створення в бітумі тонко дисперсної полімерної фази, що підсилює структурний каркас бітуму без фазового розшарування і збереження оптимальної в'язко-пружної рівноваги. Це відрізняється від звичайних SBS-модифікацій, де полімерні мікроструктури можуть випадати в окрему фазу при зберіганні або вимагати хімічних зшиваючих агентів для стабільності.

Відповідність нормативним вимогам. Важливим аспектом впровадження будь-якої нової добавки є перевірка її відповідності чинним стандартам і технічним умовам. Як було зазначено, результати випробувань асфальтобетону з AVE18 повністю відповідають вимогам національного стандарту України ДСТУ 8959:2019 «Асфальтобетон дорожній на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови» та аналогічним стандартам Республіки Казахстан (СТ РК 1223:2019 – для полімер-асфальтобетону і СТ РК 2373:2019 – для щебенево-мастикового полімер-асфальтобетону). Зокрема, показники міцності ($R_{50} \geq 1,0$ МПа) і колієстійкості (≤ 3 мм) навіть перевищують встановлені мінімальні значення, що підтверджує придатність AVE18 для використання у верхніх шарах покриттів категорії I–II (магістральні дороги, аеродроми). Таким чином, з нормативної точки зору застосування цієї добавки є обґрунтованим: лабораторні дослідження в Україні, Грузії та Казахстані засвідчили, що асфальтобетон з AVE18 відповідає усім критеріям, які пред'являються до полімер-модифікованих сумішей за вітчизняними та міжнародними стандартами. Звичайно, для кожного конкретного проекту рекомендується додаткова перевірка – враховуючи можливу варіацію властивостей місцевого бітуму та матеріалів, доцільно виконувати лабораторну валідацію складу асфальтобетону перед масовим застосуванням.

Обмеження та напрями подальших досліджень. Хоча результати є багатообіцяючими, слід відмітити, що ефективність полімерної модифікації певною мірою залежить від якості вихідного бітуму та складу асфальтобетонної суміші. Якщо бітум має нестандартний фракційний склад або містить багато асфальтенів, його здатність до взаємодії з полімером може знижуватися. У таких випадках можливе зменшення ефекту від AVE18 або потреба підбору оптимальної дози понад базові 2 %. Тому рекомендується для кожного нового родовища бітуму проводити попередню оптимізацію режимів модифікації і складу суміші (наприклад, підбирати вміст добавки, вводити пластифікуючі агенти чи адгезійні присадки за потреби). Що стосується інших властивостей покриття, не розглянутих детально у даній роботі – таких як довготривала втомна витривалість, тріщиностійкість при мінусових температурах, тощо – їх слід вивчити в рамках розширених досліджень. Зокрема, доцільно провести випробування на втому (циклічне навантаження на згин) для оцінки тривалості життя покриття з AVE18 під багаторічними навантаженнями. Також варто здійснити моніторинг реальних дорожніх ділянок, влаштованих з використанням AVE18, протягом 1–3–5 років, щоб підтвердити довговічність у природних умовах. Ці дані допоможуть остаточно оцінити, чи не впливає спрощення технології (нижча температура, відсутність млина тощо) на інші експлуатаційні показники в довгостроковій перспективі.

Економічна ефективність. Впровадження полімерної добавки AVE18, окрім технологічних переваг, має і економічний сенс. Проведемо аналіз, за рахунок яких факторів досягається економія коштів у порівнянні з традиційною технологією SBS-модифікації бітуму:

Температура та тривалість процесу: AVE18 працює при $\sim 175\text{--}180\text{ }^{\circ}\text{C}$ і 2–4 год, тоді як для SBS необхідно $\sim 190\text{--}195\text{ }^{\circ}\text{C}$ і 6–10 год безперервного нагріву[23]. Отже, кожна тонна бітуму вимагає менше палива на нагрів (економія газу або мазуту на 10–20 %) і менше електроенергії на перемішування. Скорочення часу перебування бітуму на високій температурі також зменшує теплові втрати. В сумі це дає відчутне зменшення витрат енергоносіїв.

Витрата полімеру: базова доза AVE18 – 2 % маси бітуму, тоді як стандартний вміст SBS-полімера – близько 3 %. Різниця в 1 мас.% означає, що на кожні 100 тонн бітуму використовується на 1 тону менше полімеру. Зважаючи на високу вартість якісних SBS-модифікаторів, це суттєво знижує матеріальні затрати.

Обладнання: відсутність потреби в колоїдному млині означає економію капітальних вкладень (кілька мільйонів гривень на придбання установки) та відсутність витрат на її обслуговування (електроенергія, ремонт, ножі тощо). Крім того, відсутність млина спрощує технологічну схему і зменшує кількість потенційних «вузьких місць», що прискорює запуск виробництва.

Оборотність ємностей: якщо цикл модифікації бітуму скорочується з ~ 8 год до ~ 3 год, одна й та сама ємність (бітуми ємність) може за добу обробити більше порцій бітуму. Це еквівалентно підвищенню продуктивності АБЗ без розширення парку резервуарів. На практиці, застосування AVE18 може дозволити виготовити 2–3 партії ПБВ за робочу зміну замість однієї при SBS-технології. Таким чином, при зростанні потреби в модифікованому бітумі немає потреби збільшувати кількість обладнання – достатньо оптимізувати процес.

Якість бітуму та добавки: менша температура і коротший час нагріву означають менше термічне старіння бітуму. Це, у свою чергу, зменшує потребу в коригувальних добавках (наприклад, пластифікаторах, як-от масла, що інколи додають до пересушеного бітуму). Також знижуються втрати бітуму через випаровування легких фракцій. Відсутність сильного перегріву бітуму сприяє стабільності властивостей кінцевого продукту і зменшує варіативність якості.

Зведений приблизний економічний розрахунок для середнього за масштабами АБЗ (припустимо, випуск модифікованого бітуму 500 т на місяць) показує, що прямі заощадження становлять близько: ≈ 333 тис. грн на місяць за рахунок зменшення витрат полімеру (економія ~ 5 т SBS, якщо прийняти його ціну ~ 2000 \$/т), + ~ 33 тис. грн на енергоносіях (газ/мазут для нагріву, електроенергія для мішалок) – разом орієнтовно ~ 366 тис. грн/міс. Додатково є непрямі вигоди, які важче кількісно оцінити: відсутність амортизаційних відрахувань на колоїдний млин, менший знос пальників та мішалок через нижчі режими роботи, більша гнучкість виробничого планування (швидша готовність партії дозволяє краще пристосуватися до графіку укладання покриття). Таким чином, технологія AVE18 є не лише технічно, але й економічно доцільною. Хоча сама добавка також має свою вартість, наведені розрахунки показують, що супутня економія цілком компенсує ці витрати. На пілотному впровадженні, за інформацією від виробника, економія палива практично зрівноважила затрати на AVE18, а для більших об'ємів прогнозується навіть чистий економічний вигаш. Отже, впровадження цієї енергозберігаючої технології може здійснюватися без підвищення собівартості продукції, а потенційно – із зниженням витрат у довгостроковому періоді.

Висновки. Полімерна добавка AVE18 VELETON™ ефективно підвищує міцність і температурну стійкість асфальтобетону. Лабораторні випробування показали зростання показників, що вдвічі перевищує мінімально необхідний рівень після теплового навантаження. Таким чином, забезпечується ширший інтервал працездатності дорожнього покриття: матеріал зберігає високі пружні властивості навіть після тривалої дії підвищеної температури.

Використання AVE18 різко підвищує стійкість покриття до утворення колії. Досягнутий рівень колієстійкості ($\sim 1,0$ мм за 10 тис. проходів колеса) більш ніж удвічі кращий за гранично допустимий (3 мм). Це означає значний запас довговічності: покриття буде деформуватися значно повільніше під навантаженнями, що подовжує строк служби дороги. Практичний досвід (Україна, Грузія, Казахстан) підтверджує лабораторні дані – на випробувальних ділянках отримано колію близько 1,2–1,4 мм, що гарантує високий опір пластичним деформаціям у реальних умовах.

Добавка AVE18 забезпечує технологічні переваги та енергоощадність. Для модифікації бітуму не потрібні екстремальні режими: робоча температура на $10\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ нижча, а час змішування в 2–3 рази

коротший, ніж для SBS. Це знижує енергоспоживання й ризик старіння в'язучого. AVE18 вводиться гранулами без колоїдного млина, що спрощує процес і усуває додаткові витрати на обладнання. Менша базова доза (2 % проти ~3 % для SBS) означає менше споживання дорогого полімеру при збереженні або покращенні характеристик покриття.

Економічна доцільність підтверджена розрахунками. Комплексний аналіз показує, що завдяки зниженню витрат полімеру та палива технологія з AVE18 може бути впроваджена без збільшення собівартості асфальтобетону. Навпаки, для типового виробництва очікується економія коштів: скорочення паливно-енергетичних витрат на ~20 % і зменшення витрат на сировину компенсують вартість добавки. Отриманий ефект – підвищення продуктивності і зниження питомих витрат – робить технологію конкурентоспроможною для широкого застосування.

Рекомендовано широке впровадження AVE18 для покращення довговічності доріг. Результати дослідження і позитивний досвід застосування дають підстави рекомендувати використання цієї полімерної добавки при будівництві та ремонтах важконавантажених автомобільних доріг і аеродромів. Доцільно оновити галузеві нормативні документи, включивши положення щодо використання сучасних полімерних добавок сухого вводу, а дорожнім службам – передбачати застосування модифікованого бітуму в технічних вимогах на об'єктах з інтенсивним рухом. Подальші наукові дослідження мають бути спрямовані на моніторинг довговічності покриттів з AVE18 та оптимізацію складів сумішей під різні кліматичні умови. Загалом, технологія полімерної модифікації бітуму із використанням AVE18 здатна зробити вагомий внесок у підвищення стійкості транспортної інфраструктури, зменшення витрат на її утримання та покращення якості дорожнього покриття в Україні.

Перспективність впровадження. Технологія модифікації бітуму сухою полімерною добавкою AVE18 має значний потенціал для широкого впровадження у дорожньому господарстві. На сьогодні нормативна база в Україні вже частково готова до застосування полімер-асфальтобетонів: діє стандарт ДСТУ 8959:2019, який регламентує вимоги до сумішей на модифікованому бітумі, а також низка супутніх стандартів (ДСТУ В В.2.7-135 тощо) щодо методів випробувань таких матеріалів. Наступним кроком має стати масштабування використання нової добавки з рівня лабораторних і пілотних випробувань до рівня повномасштабних проєктів. Доцільно організувати демонстраційні ділянки з покриттям на AVE18 на дорогах різних категорій – особливо на тих, де проблема колієутворення стоїть найгостріше (міські магістралі, маршрути громадського транспорту, під'їзди до портів та елеваторів, аеродроми). Після отримання позитивних результатів варто включати вимогу використання полімер-модифікованого бітуму (зокрема через такі добавки, як AVE18) у тендерні умови на будівництво і капітальний ремонт відповідних об'єктів.

Важливим фактором успішного впровадження є інформаційно-технічна підтримка та навчання персоналу. Нову технологію необхідно популяризувати серед дорожніх підрядників – проводити семінари, тренінги, публікувати методичні рекомендації з використання AVE18. Оператори АБЗ повинні бути обізнані з особливостями приготування модифікованого бітуму, контролю якості (перевірка однорідності, в'язкості) та введення його в асфальтозмішувач. Така просвітницька робота допоможе зняти острах перед новою добавкою та забезпечити правильне дотримання технології на практиці.

Перспективним напрямом подальшої роботи є адаптація технології AVE18 до різних умов: підбір оптимальних складів для холодніших кліматичних зон (можливо, у поєднанні з пластифікаторами для поліпшення низькотемпературних властивостей), дослідження довговічності покриттів з AVE18 в умовах реального руху (моніторинг впродовж кількох років) та удосконалення самої добавки з метою здешевлення (використання більш доступних полімерних компонентів, вторинної сировини тощо). Світовий досвід свідчить, що застосування полімер-модифікованих асфальтобетонів невинно зростає: у ряді країн частка такого покриття перевищує 30–50 %, що дозволяє підвищити міжремонтні терміни без негативного впливу на економіку будівництва. Україна має змогу перейняти ці найкращі практики. Зважаючи на стратегічну мету розвитку довговічної та стійкої дорожньої інфраструктури, впровадження сучасних полімерних добавок таких, як AVE18, є на часі. Очікується, що екологічні та економічні вигоди (зменшення перевитрати бітуму, енергоресурсів, відходів ремонту) сприятимуть підтримці цієї технології на державному рівні. В перспективі застосування ефективних полімерних модифікаторів стане невід'ємною частиною стандартів будівництва якісних та довговічних доріг.

Перелік посилань

1. ДСТУ 8959:2019. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон дорожні на основі бітумів, модифікованих полімерами. Технічні умови. Київ : Мінрегіон України, 2019. 14 с.
2. СТ РК 1223–2019. Суміші полімерасфальтобетонні дорожні, аеродромні і полімерасфальтобетон. Технічні умови. Астана : Комітет технічного регулювання та метрології РК, 2019. 48 с.
3. СТ РК 2373–2019. Суміші щебенево-мастикові полімерасфальтобетонні дорожні, аеродромні і щебенево-мастиковий полімерасфальтобетон. Технічні умови. Астана : Комітет технічного регулювання та метрології РК, 2019. 52 с.
4. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С. Дослідження ефективності полімерних модифікаторів бітуму у важких асфальтобетонах. *Дороги і мости*. 2019. Вип. 19–20. С. 94–106.
5. Аюпов Д. А., Потапова Л. І., Мурафа А. В. та ін. Дослідження особливостей взаємодії бітумів з полімерами. *Відомості КазДАБУ: Будівельні матеріали та виробу*. 2011. № 1. С. 140–146.
6. Porto M. et al. Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances. *Applied Sciences*. 2019. 9(4): 742.
7. Yildirim Y. Polymer Modified Asphalt Binders. *Construction and Building Materials*. 2007. 21(1). P. 66–72.
8. ДСТУ В EN 12697-22:2011. Бітумні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22: Визначення колієстійкості з використанням установки для колієутворення (в т.ч. методика «Гамбурзького колеса»). Київ : Мінекономрозвитку України, 2011.
9. AASHTO T324-19. Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures. Washington, DC : AASHTO, 2019.
10. EN 13108-1:2016. Bituminous mixtures — Material specifications — Part 1: Asphalt Concrete. Brussels : CEN, 2016.
11. Airey G. D. Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens. *Fuel*. 2004. 83(14–15). P. 1709–1719.
12. Lu X., Isacson U. Modification of road bitumens with thermoplastic polymers. *Polymer Testing*. 2001. 20(1). P. 77–86.
13. Read J., Whiteoak D. The Shell Bitumen Handbook. 6th ed. London : ICE Publishing, 2015.
14. СТ РК 1218-2024. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань. Астана : КТРМ РК, 2024.

MODERN APPROACHES TO ENSURING PAVEMENT DURABILITY IN THE ABSENCE OF MAJOR REPAIRS

Moroz Vadym S., Postgraduate student, Department of Bridges and Tunnels National Transport University, Mykhaila Omelianovycha-Pavlenka str., 1, Kyiv, Ukraine, 01010, e-mail: v.moroz.lion@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0003-5554-6086>

Summary. The article systematizes the results of laboratory tests of the VELETON™ “AVE18” polymer additive for the modification of bitumens and asphalt concrete mixes. Based on test reports (National Transport University, Kyiv; JSC “KazDorNDI”; SE “Center of Quality”, Astana), key performance indicators of polymer-modified asphalts are summarized: increased strength (R_0 , R_{20} up to 6 MPa; R_{50} up to 2.4 MPa) and markedly improved rutting resistance—rut depth of ~1.2–1.4 mm after 20,000 passes in the Hamburg wheel tracking test (limit ≤ 3 mm). It is shown that AVE18 is an effective alternative to latexes and SBS-polymer systems: it requires a lower bitumen modification temperature (175–180 °C) and a shorter time to obtain a stable modified binder (2–4 h), exhibits a short thermal stabilization period (~30 min), and has reduced susceptibility to phase separation. Technological advantages for asphalt plants are outlined (no colloid mill required; typical dosage 2%), along with the mechanism of action (adhesive thermoplastic elastomers that enhance the viscoelastic properties of the binder) and compliance with DSTU 8959:2019, ST RK 1223:2019,

and ST RK 2373:2019. Practical recommendations are provided for dosage and quality control of the modified binder. An economic effect is estimated: due to lower polymer consumption, reduced energy use, and higher productivity, AVE18 makes bitumen modification more cost-effective. The feasibility of wide implementation of AVE18 to extend pavement service life is substantiated, and avenues for further research and application are outlined.

Keywords: AVE18 VELETON™; modified bitumen; dry-add polymer; SBS; thermoplastic elastomer; rutting resistance; $R_0/R_{20}/R_{50}$ indices; Hamburg wheel tracking test; polymer asphalt concrete.

References

1. DSTU 8959:2019 (2019) *Asfaltobetonna sumishi ta asfaltobeton dorozhni na osnovi bitumiv, modyfikovanykh polimeramy. Tekhnichni umovy* [Asphalt concrete mixtures and asphalt concrete road based on bitumens modified by polymers. Specifications]. Kyiv: Minrehion Ukrainy. 14 p. [In Ukrainian].
2. ST RK 1223–2019 (2019) *Sumishi polymerasfaltobetonna dorozhni, aerodromni i polymerasfaltobeton. Tekhnichni umovy* [Polymer-asphalt concrete mixtures road, airfield and polymer-asphalt concrete. Specifications]. Astana: Komitet tekhnichnoho rehulivannia ta metrolohii RK. 48 p. [In Kazakh/English].
3. ST RK 2373–2019 (2019) *Sumishi shchebenevo-mastykovi polymerasfaltobetonna dorozhni, aerodromni i shchebenevo-mastykovi polymerasfaltobeton. Tekhnichni umovy* [Stone mastic polymer-asphalt concrete mixtures road, airfield and stone mastic polymer-asphalt concrete. Specifications]. Astana: Komitet tekhnichnoho rehulivannia ta metrolohii RK. 52 p. [In Kazakh/English].
4. Kopynets, I. V., Sokolov, O. V., Zheltobriukh, A. D. and Holovchenko, V. S. (2019) 'Research on the effectiveness of polymer bitumen modifiers in heavy asphalt concrete', *Dorohy i mosty* [Roads and Bridges], (19–20), pp. 94–106. [In Ukrainian].
5. Aiupov, D. A., Potapova, L. I., Murafa, A. V. et al. (2011) 'Study of the features of interaction of bitumens with polymers', *Izvestiia KazGASU: Stroitelnye materialy i izdeliia* [News of the KSUAE: Building materials and products], (1), pp. 140–146. [In Kazakh].
6. Porto, M. et al. (2019) 'Bitumen and Bitumen Modification: A Review on Latest Advances', *Applied Sciences*, 9(4), 742.
7. Yildirim, Y. (2007) 'Polymer Modified Asphalt Binders', *Construction and Building Materials*, 21(1), pp. 66–72.
8. DSTU B EN 12697-22:2011 (2011) *Bitumni sumishi. Metody vyprovuvannia hariachykh asfaltobetonnykh sumishei. Chastyna 22: Vyznachennia koliiestiikosti z vykorystanniam ustanovky dlia koliieutvorennia (v t.ch. metodyka «Hamburzkoho koleasa»)* [Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 22: Wheel tracking]. Kyiv: Minekonomrozvytku Ukrainy. [In Ukrainian].
9. AASHTO T324-19 (2019) *Standard Method of Test for Hamburg Wheel-Track Testing of Compacted Asphalt Mixtures*. Washington, DC: AASHTO.
10. EN 13108-1:2016 (2016) *Bituminous mixtures — Material specifications — Part 1: Asphalt Concrete*. Brussels: CEN.
11. Airey, G. D. (2004) 'Rheological properties of styrene butadiene styrene polymer modified road bitumens', *Fuel*, 83(14–15), pp. 1709–1719.
12. Lu, X. and Isacsson, U. (2001) 'Modification of road bitumens with thermoplastic polymers', *Polymer Testing*, 20(1), pp. 67–86.
13. Read, J. and Whiteoak, D. (2015) *The Shell Bitumen Handbook*. 6th ed. London: ICE Publishing.
14. ST RK 1218-2024 (2024) *Materialy na osnovi orhanichnykh viazhuchykh dlia dorozhnoho i aerodromnoho budivnytstva. Metody vyprovuvannia* [Materials based on organic binders for road and airfield construction. Test methods]. Astana: KTRM RK. [In Kazakh/English].

Дата надходження до редакції 18.12.2025.

Дата прийняття статті після рецензування 06.01.2026.