

ВИКОРИСТАННЯ АДГЕЗІЙНИХ ДОМІШОК ДАД ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЗЧЕПЛЮВАНOSTI ДОРОЖНІХ В'ЯЗКИХ БІТУМІВ

Пиріг Я. І., Галкін А. В.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуто особливості впливу адгезійних домішок ДАД на властивості в'язких дорожніх бітумів. Для бітумів, модифікованих адгезійними домішками ДАД різного типу (амфотерного, катіоноактивного на основі амінів та на основі ефірів поліфосфорної кислоти) виконано визначення стандартних показників якості та адгезійних властивостей, що були оцінені різнорівневними методами (зчеплюваність на склі та зчеплюваність методом обертання пляшки).

Ключові слова: бітум, адгезійна домішка, зчеплюваність, зчеплюваність на склі, метод обертання пляшки.

Вступ

В Україні найбільш поширеним матеріалом, що використовується для влаштування покриттів автомобільних доріг, є асфальтобетон. Поширеність цього матеріалу пояснюється його перевагами перед іншими типами дорожніх покриттів: висока несуча здатність та високі пружні властивості, рівність та безшовність поверхні покриття, легкість в утриманні та ремонті, можливість повторного використання. Однак для асфальтобетонних покриттів притаманні й недоліки: суттєва залежність властивостей від температури навколишнього середовища та відносно низька довговічність. Одним із факторів, що позначається на довговічності асфальтобетонних покриттів, є низька зчеплюваність бітумних в'язких із поверхнею кам'яних матеріалів, що призводить до недостатньої водостійкості матеріалу.

Аналіз публікацій

Найбільш поширеним шляхом підвищення зчеплюваності бітумних в'язких із кам'яними матеріалами, що містяться в складі асфальтобетонних сумішей, є використання адгезійних домішок (поверхнево-активних речовин – ПАР). Початок їхнього застосування в дорожніх галузях різних країн світу припадає на 50-і рр. минулого століття [1–4]. Саме тоді в Швеції, Великобританії та Франції було започатковано використання первинних жирних амінів як домішок, що підвищували зчеплюваність бітумів із кам'яними матеріалами, дозволяли використовувати вологі матеріали (наприклад, в обробленні кам'яних матеріалів бітумом способом суміщення на дорозі) та покращували

водостійкість асфальтобетонів у дорожніх покриттях [1, 2]. Водночас були запропоновані й вимоги, яким мають відповідати адгезійні домішки [1, 5]: ефективність у використанні їх у незначних кількостях; забезпечення гарного зчеплення бітумів із поверхнею кам'яних матеріалів, здатність протистояти агресивному впливу води; відсутність небажаних побічних впливів на якість в'язучого; відносно незначна вартість. У подальшому до цього було додано ще вимогу щодо термостабільності домішок, оскільки під час тривалого витримання бітумів за технологічних температур (вище ніж 100 °С) ефективність поверхнево-активних речовин у забезпеченні зчеплюваності в'язучого з кам'яним матеріалом може знижуватись [5].

За тривалий час використання в дорожній галузі поверхнево-активних речовин встановлено декілька можливих шляхів їхнього впливу, а саме: на структуруючі процеси взаємодії бітуму з поверхнею кам'яних матеріалів; на дисперсну структуру бітумних в'язких та на процеси їхнього старіння [4]. За механізмом впливу на бітумні в'язучі ПАР поділяються на [6]: структуруючі – такі, що утворюють просторову дисперсну структуру у в'язучому, деструкуючі – такі, що змінюють характер взаємодії між компонентами в'язучого, та пластифікуючі – такі, що забезпечують зниження міцнісних та реологічних властивостей в'язких. За іонною класифікацією поверхнево-активні речовини розподіляються на іоногенні (катіоноактивні та аніоноактивні), неіоногенні та амфотерні [7].

Ураховуючи, що висока зчеплюваність бітумних в'язких із кам'яними матеріалами є одним із головних факторів забезпечення

довговічності асфальтобетонних покриттів, у різних країнах світу розроблено значну кількість різноманітних адгезійних домішок на основі різних органічних хімічних сполук (первинні жирні аміни, жирні амідні й імідазоліни, жирні діаміни, жирні кислоти, суміші жирних кислот і амінів тощо) [1, 5]. На сьогодні найбільш поширеними є адгезійні домішки – аміни та поліаміни (Wetfix, Iterlene, Addibit та ін.), перевагою яких є відносно незначна концентрація в бітумі (від 0,15 % до 1 %) та висока термостабільність [8, 9].

Вибір тієї чи іншої адгезійної домішки обумовлено її ефективністю в забезпеченні високої зчеплюваності, яка визначається характеристиками кам'яних матеріалів та бітумів [1, 4, 5]. До того ж мають ураховуватися мінералогічні особливості кам'яних матеріалів, що містяться в складі асфальтобетонних сумішей, а також структурно-реологічні особливості бітумних в'язучих, що використовуються в дорожній практиці.

У дорожній галузі України на сьогодні широко використовуються як вітчизняні (Адбіт, Карбозолін, iDOP-PH), так і імпортовані (Wetfix, Iterlene, AsheBit) адгезійні домішки [10, 11]. Окрім того, номенклатура домішок постійно оновлюється, головним чином за рахунок імпорту. 2020 р. на українському ринку дорожньо-будівельних матеріалів з'явилася серія адгезійних домішок ДАД виробництва ТОВ «Селена». Оскільки досвід

використання цих домішок в Україні замалий, актуальним є питання щодо ефективності та доцільності їхнього використання.

Мета і постановка завдання

Метою виконаної роботи було встановлення впливу адгезійних домішок ДАД на властивості бітумів, що використовуються в дорожній галузі України. Для досягнення поставленої мети в роботі встановлено стандартні та адгезійні властивості бітумів, модифікованих домішками серії ДАД згідно з вимогами ДСТУ 4044 [12] та СОУ 45.2-00018112-067 [13].

Об'єкти й методи дослідження

Як базове в'язуче, що використовувалося для перевірки впливу домішок серії ДАД, було використано бітум БНД 70/100, виготовлений на ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод». Як адгезійна домішка використовувалися ДАД-1, ДАД-К та ДАД-КТ 2, характеристики яких згідно з [14] наведені в табл. 1. Кожна домішка вводилася в бітум у мінімально та максимально рекомендованій виробником концентрації.

Уведення адгезійних домішок у вихідний бітум здійснювалося в лабораторній мішалці, що забезпечувала швидкість перемішування близько 1000 об./хв за температури 150 °С протягом 15 хв.

Таблиця 1 – Характеристики адгезійних домішок

Характеристики	Значення для адгезійних домішок		
	ДАД-1	ДАД-К	ДАД-КТ 2
Тип	амфотерна	катионного типу на основі амінів	катионного типу на основі ефірів поліфосфорної кислоти
Зовнішній вигляд та колір	в'язко-текуча маса коричневого або темно-коричневого кольору	однорідна в'язко-текуча рідина від світло-жовтого до темно-коричневого кольору	рідина від світло-жовтого до світло-коричневого кольору
Умовна в'язкість за ВЗ-5 за 60 °С, сек	≤ 50	≤ 35	≤ 35
Масова частка води і легколетких речовин, %	≤ 2,0	≤ 0,5	≤ 5,0
Кислотне число, мг КОН/г	-	≤ 25	≥ 200
Температура втрати текучості, °С	-	не вище ніж -2 °С	-
Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	≥ 232	≥ 232	≥ 224
Термічна стабільність	72 год за 163 °С	72 год за 163 °С	7–10 діб за 163 °С
Особливості домішки	екологічна домішка, що підвищує зчеплюваність бітумів із матеріалами кислих та основних порід	підвищує зчеплюваність бітумів із кам'яними матеріалами кислих порід	термостабільна домішка, що підвищує зчеплюваність бітумів із кам'яними матеріалами кислих та основних порід

Таблиця 2 – Показники якості бітумних в'язучих

Властивості	Вихідний бітум	Бітуми з адгезійними домішками						Норми згідно з [12] та [13]	
		ДАД-1		ДАД-К		ДАД-КТ 2			
Маркування в'язучого	M0	M1	M2	M3	M4	M5	M6	БНДА 70/100	
Вміст домішки, %	-	0,3	0,8	0,15	0,5	0,2	0,6	-	
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	80	81	79	78	82	82	80	71...100	
Температура розм'якшеності (Т _p), °С	49,3	47,2	46,8	47,0	47,4	48,5	48,7	45...51	
Температура крихкості, °С	-20,0	-20,5	-19,5	-20,0	-20,5	-21,0	-19,0	≤ -13	
Дуктильність за 25 °С, см	113,9	103,8	102,5	83,0	100	103,6	73,4	≥ 60	
Зчеплюваність зі склом за 85 °С, %	13,9	31,3	83,8	15,9	79,8	42,2	86,9	≥ 18* / ≥ 75**	
Індекс пенетрації, розрахований за температурою Т _p (ІП _{Т_p})	-0,19	-0,75	-0,93	-0,91	-0,66	-0,34	-0,36	- 2,0...1,0	
Температура, за якої пенетрація становить 800×0,1 мм (Т ₈₀₀), °С	47,0	48,0	47,5	48,0	46,5	48,0	47,0	45...51	
Індекс пенетрації, розрахований за температурою Т ₈₀₀ (ІП _{Т₈₀₀})	-0,84	-0,52	-0,73	-0,63	-0,92	-0,49	-0,84	- 2,0...1,0	
Старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [15]	Залишкова пенетрація, %	82,5	86,4	86,1	78,2	76,8	75,6	72,5	≥ 59
	Зміна Т _p , °С	3,2	4,7	4,1	4,9	4,6	4,0	4,2	≤ 6,0
	Зміна маси, %	-0,11	-0,09	-0,03	-0,04	-0,24	-0,12	-0,32	≤ 0,9
	Температура крихкості, °С	-18,5	-19,5	-19,5	-19,0	-19,0	-21,0	-18,0	-
	Дуктильність за 25 °С, см	73,3	51,7	67,7	39,0	52,0	58,2	50,2	-
Старіння за методом RTFOT, наведеним у ДСТУ Б EN 126607-1 [16]	Зчеплюваність за 85 °С, %	12,6	16,1	57,5	7,1	19,4	94,1	98,2	≥ 65 **
	Залишкова пенетрація, %	70,0	75,3	78,5	76,9	79,3	70,7	71,3	-
	Зміна Т _p , °С	1,9	3,8	3,1	3,9	2,4	3,0	3,9	-
	Зміна маси, %	-0,03	-0,24	-0,13	0,03	-0,21	0,1	-0,33	-
	Температура крихкості, °С	-17	-20	-19,5	-19,5	-19	-20	-19	-
ДСТУ Б EN 126607-1 [16]	Дуктильність за 25 °С, см	66,2	70,1	70,1	58,4	87,6	52,5	73,3	-
	Зчеплюваність за 85 °С, %	12,6	10,7	15,8	7,0	15,0	93,3	99,1	≥ 60 **

Примітка: * - норми згідно з ДСТУ 4044, ** - норми відповідно до СОУ 45.2-00018112-067.

Експериментально визначені значення стандартних показників якості бітумів, модифікованих адгезійними домішками ДАД, та їхня оцінка відповідно до вимог чинних національних стандартів ДСТУ 4044 [12] та СОУ 45.2-00018112-067 [13], наведені в табл. 2.

Стандартні показники якості бітумів з адгезійними домішками

Відповідно до отриманих даних (табл. 2), введення у вихідний бітум прийнятих у роботі адгезійних домішок, незалежно від їхньої концентрації, практично не позначається на основних стандартних показниках якості – пенетрації, температурах розм'якшеності та крихкості. Значення пенетрації за 25 °С та температури крихкості змінюються в межах похибки – відповідно $\pm 2 \times 0,1$ мм та ± 1 °С. Температура розм'якшеності для всіх в'язучих з адгезійними домішками є меншою, порівняно з вихідним бітумом, на 0,6–2,5 °С, що дещо перевищує допустиму похибку визначення. Зниження температури розм'якшеності може відбуватися за рахунок незначного пластифікуючого ефекту від домішок.

Уведення у вихідний бітум прийнятих у роботі адгезійних домішок призводить до зниження значень дуктильності, визначених за температури 25 °С. Це зниження становить у середньому 9,4 % за умови використання домішки ДАД-1, 19,7 % у разі введення у вихідний бітум домішки ДАД-К та 22,3 % у разі застосування домішки ДАД-КТ 2 (водночас у процесі збільшення концентрації домішки в бітумі до 0,6 % дуктильність зменшується на 35,6 %). Імовірно, отримані результати можуть бути пояснені впливом адгезійних домішок на дисперсну структуру бітуму, можливість чого ілюструється даними, наведеними в [4]. Підтвердженням цього є незначна зміна структурно-реологічного типу в'язучих, що виражається в зменшенні значень індексів пенетрації, визначених за температурою, відповідно до якої пенетрація становить $800 \times 0,1$ мм.

Оцінка зміни бітумних в'язучих після старіння виконана згідно з методом, наведеним у ГОСТ 18180 [15], що є близьким до TFOT, та методом RTFOT, відповідно до вимог ДСТУ Б EN 12607-1 [16].

Відомо, що поверхнево-активні речовини можуть уповільнювати процеси старіння бі-

тумів [4]. Згідно з отриманими даними результати впливу старіння на якість бітуму залежать від прийнятих методів старіння.

Під час старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, лише домішка ДАД-1 демонструє інгібуєчий ефект, що виражається в збільшенні значень залишкової пенетрації з 82,5 % у вихідного бітуму до 83,3 % та 86,1 % у бітумів відповідно до 0,3 % та 0,8 % домішки. Інші домішки призводять до зменшення залишкової пенетрації на 4,3 % і 5,7 % для бітумів, модифікованих відповідно 0,15 % та 0,5 % домішки ДАД-К та на 6,9 % і 10 % для в'язучих, до складу яких введено відповідно 0,2 % та 0,6 % домішки ДАД-КТ 2. До того ж для всіх в'язучих, незалежно від типу та кількості адгезійної домішки, зістарених за методом, наведеним у ГОСТ 18180, спостерігається збільшення показника «зміна температури розм'якшеності» порівняно з вихідним бітумом. Ще однією особливістю зістарених за методом, наведеним в ГОСТ 18180, в'язучих є значне зниження розтяжності, визначеної за температури 25 °С.

Зміна властивостей бітумів, модифікованих домішками серії ДАД, після старіння за методом RTFOT, має іншу динаміку. Для всіх в'язучих, порівняно з вихідним бітумом, спостерігається зменшення старіння за залишковою пенетрацією, значення якої зростають на 0,7–5,3 %. Водночас для всіх в'язучих зростає різниця в значеннях температури розм'якшеності до та після старіння за методом RTFOT. Ще однією відмінністю від старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, є зростання розтяжності в'язучих із домішками серії ДАД, порівняно з вихідним бітумом, та розширення їхнього інтервалу пластичності (до 3,4 °С).

Отже, у процесі старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 та методом RTFOT, спостерігаються різні тенденції зміни властивостей бітумів, модифікованих адгезійними домішками серії ДАД. Це обумовлено різними умовами старіння (тривалий час витримування в процесі старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, та інтенсивний повітрообмін і постійне оновлювання поверхні контакту в'язучого з повітрям за умови старіння за методом RTFOT) та, імовірно, різними процесами, що протікають під час старіння за цими методами. Підтвердженням цього є різні тенденції зміни індексів пенетрації в'язучих, що розраховані за температурою, за умови якої пенетрація дорівнює

800 × 0,1 мм. У процесі старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, структурно-реологічні типи в'язучих змінюються в бік типу «гель», а у випадку старіння за методом RTFOT – у бік типу «золь» (табл. 3).

Таблиця 3 – Зміна структурно-реологічного типу в'язучих після старіння за різними методами

Домішка	Кількість домішки, %	Значення індексу пенетрації за температурою T_{800}		
		до старіння	після старіння за методом	
			ГОСТ 18180	RTFOT
вихідний	-	-0,84	-0,53	-0,82
ДАД-1	0,3	-0,52	0,74	-0,73
	0,8	-0,73	0,18	-0,44
ДАД-К	0,15	-0,63	-0,11	-0,40
	0,5	-0,92	0,09	-0,19
ДАД-КТ 2	0,2	-0,49	-0,07	-0,61
	0,6	-0,84	0,0	-0,28

Адгезійні властивості бітумних в'язучих

Основним призначенням використання адгезійних домішок є покращення зчеплюваності бітумів із поверхнею кам'яних матеріалів. Вплив домішок серії ДАД на адгезійні властивості бітумів оцінювався за двома методами: шляхом установлення зчеплюваності з поверхнею скла, відповідно до вдосконаленого методу, наведеного в чинному стандарті ДСТУ Б.В.2.7-81 [17] та за методом обертання пляшки (Rolling bottle method) згідно з ДСТУ EN 12697-11 [18].

Визначення зчеплюваності з поверхнею скла виконувалося на предметних медичних стеклах розміром 76 × 25 мм завтовшки 1 мм. Після підготовки стекол (поверхні були вимиті господарським милом та промиті водопровідною водою; прокип'ячені у вертикальному положенні в дистильованій воді впродовж 30 хв; висушені у вертикальному положенні в сушильній шафі за температури 105 °С упродовж 30 хв) на робочу поверхню було нанесено наважку бітуму масою 0,35 г та рівномірно розподілено по всій поверхні скла. Скляні пластини з в'язучим (по 5 шт. на кожне випробування) витримувалися в дистильованій воді за температури 85 °С упродовж 50 хв. За значення зчеплюваності приймалася площа у відсотках, що залишилася вкритою в'язучим після випробування.

За рахунок того, що комплект випробувального обладнання було оснащено вебкамою, можна було відстежити динаміку зміни зчеплюваності в'язучого з поверхнею скла впродовж часу випробування. Згідно з отри-

маними результатами (рис. 1) зчеплюваність усіх в'язучих, модифікованих мінімальною кількістю розглянутих у роботі домішок, є замалою та не відповідає вимогам СОУ 45.2-00018112-067 [13], згідно з якими зчеплюваність бітумів з адгезійними домішками не має бути меншою ніж 75 %. Водночас у процесі введення у вихідний бітум домішок серії ДАД у максимально рекомендованій виробником концентрації зчеплюваність перевищує 80 %.

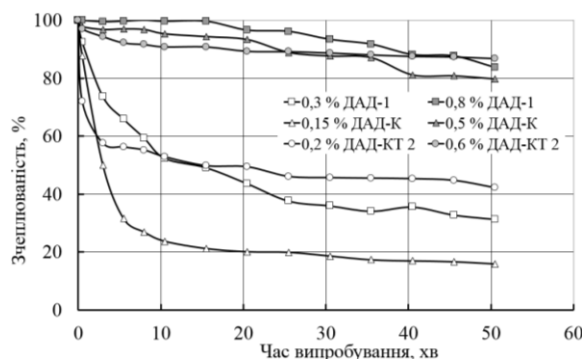


Рис. 1. Зміна з часом випробування зчеплюваності бітумів із різною концентрацією домішок серії ДАД

Важливим фактором в оцінюванні якості адгезійних домішок є їхня термостабільність, оскільки дорожній бітум під час приготування асфальтобетонних сумішей тривалий час витримується за високих технологічних температур. У роботі досліджено зчеплюваність бітумів, модифікованих домішками серії ДАД після старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 та RTFOT. Отримані результати (рис. 2–4) свідчать про те, що зчеплюваність зі склом бітумів, модифікованих адгезійними домішками ДАД-1 та ДАД-К, після старіння суттєво знижується. Особливо це стосується бітумів із домішкою ДАД-К, зчеплюваність яких після старіння знижується до рівня зчеплюваності вихідного бітуму (рис. 3). Це ж стосується й зістареного бітуму з мінімальною концентрацією домішки ДАД-1. У цьому разі за умови збільшення в бітумі адгезійної домішки ДАД-1 до максимально рекомендованої виробником концентрації в 0,8 % характер зміни зчеплюваності визначається прийнятим методом старіння в'язучого. Після старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, зчеплюваність зменшується з 83,8 % до 57,5 %, а після старіння за методом RTFOT зчеплюваність модифікованого в'язучого знижується майже до рівня вихідного бітуму (15,8 % та 12,6 % відповідно).

Отже, переважним фактором, що призводить до втрати стабільності властивостей адгезійної домішки ДАД-1 після старіння, є взаємодія з повітрям, а не високі температури. Ураховуючи це, можна рекомендувати вводити домішку ДАД-1 не в робочу ємність бітуму на стадії його попередньої підготовки, а безпосередньо в бітумопровід лінії подачі в'язучого в асфальтозмішувач.

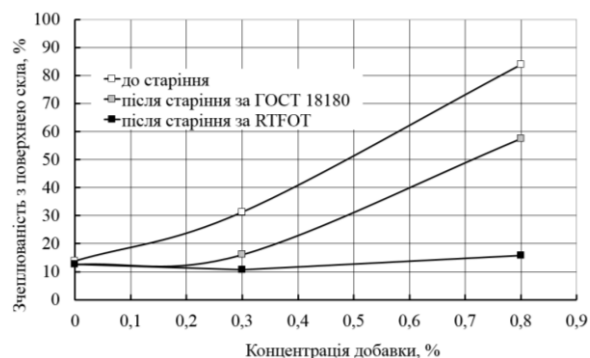


Рис. 2. Зміна зчеплюваності бітумів, модифікованих домішкою ДАД-1 після старіння

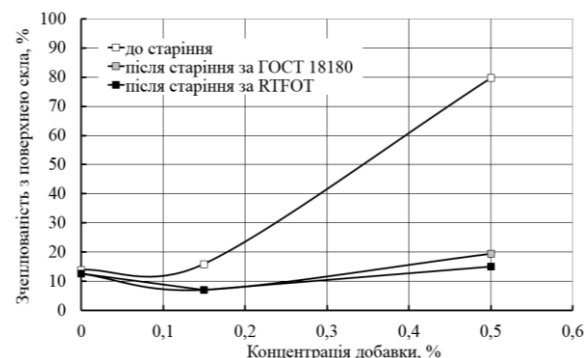


Рис. 3. Зміна зчеплюваності бітумів, модифікованих домішкою ДАД-К після старіння

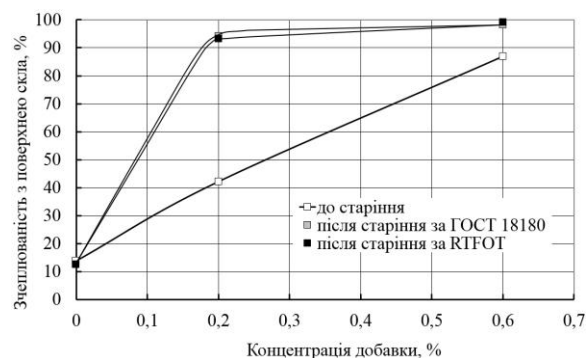


Рис. 4. Зміна зчеплюваності бітумів, модифікованих домішкою ДАД-КТ 2 після старіння

Адгезійна домішка ДАД-КТ 2 повністю відповідає інформації виробника щодо термостабільності. Після старіння за обома прийнятими в роботі методами зчеплюваність

бітумів, модифікованих домішкою ДАД-КТ 2, не тільки не зменшилася, а навіть збільшилася, особливо за умови модифікації бітуму мінімально рекомендованою виробником концентрацією домішки. Це свідчить про доцільність зниження максимально рекомендованою виробником кількості домішки.

В оцінюванні зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними домішками серії ДАД, методом обертання пляшки використовувалася Bottle rolling machine, що виготовлено компанією RadialTec (рис. 5).



Рис. 5. Зовнішній вигляд Bottle rolling machine

Кам'яними матеріалами для оцінювання зчеплюваності за методом обертання пляшки використовувався гранітний щебінь фракції 5–10 мм Мокрянського кар'єру, сірий граніт фракції 5–10 мм Редутського гранітного кар'єру та щебінь з кварциту фракції 5–10 мм (рис. 6). Вибір граніту Мокрянського кар'єру обумовлено вимогою СОУ 45.2-00018112-067 [13] використовувати цей матеріал як

еталонний у порівняльних випробуваннях адгезійних домішок, як такий, що забезпечує мінімальну зчеплюваність із бітумним в'язучим. Граніт Редутського кар'єру та кварцит були прийняті як, відповідно, полімінеральні та мономінеральні кам'яні матеріали.



Рис. 6. Зовнішній вигляд кам'яних матеріалів

Визначення за методом обертання пляшки зчеплюваності бітумних в'язучих, модифікованих максимально рекомендованою виробником концентрацією домішок ДАД-1 (0,8 %), ДАД-К (0,5 %) та ДАД-КТ 2 (0,6 %), виконувалося шляхом механічного перемішування у воді зерен кам'яного матеріалу, оброблених в'язучим, упродовж 6 год. Зовнішній вигляд кам'яних матеріалів після випробування методом обертання пляшки наведено в табл. 4.

Таблиця 4 – Зовнішній вигляд матеріалів, оброблених бітумними в'язучими з адгезійними домішками серії ДАД після випробування за методом обертання пляшки впродовж 6 год

Кам'яні матеріали	Адгезійні домішки (концентрація домішки в бітумі, %)			
	без добавки	ДАД-1 (0,8 %)	ДАД-К (0,5 %)	ДАД-КТ 2 (0,6 %)
граніт Мокрянського кар'єру				
граніт Редутського кар'єру				
кварцит				

Оцінювання площі поверхні кам'яних матеріалів, вкритих бітумним в'язучим, виконувалося програмним методом, використовуючи вільно поширюваний реєстровий графічний редактор Gimp.

Згідно з отриманими результатами найбільшу зчеплюваність бітуму з прийнятими кам'яними матеріалами забезпечує використання адгезійної домішки ДАД-К – 42 % на гранітному щебені Мокрянського кар'єру, 39 % на гранітному щебені Редутського кар'єру та 54 % на кварциті (рис. 7, табл. 4). Дві інші домішки незначно підвищили зчеплюваність бітуму з прийнятими в роботі кам'яними матеріалами. Але, урахувавши, що зчеплюваність на склі бітуму з домішкою ДАД-КТ 2 після старіння підвищилася, можна припустити, що зчеплюваність бітуму, модифікованого домішкою ДАД-КТ 2 після приготування асфальтобетонних сумішей буде значно вищою.

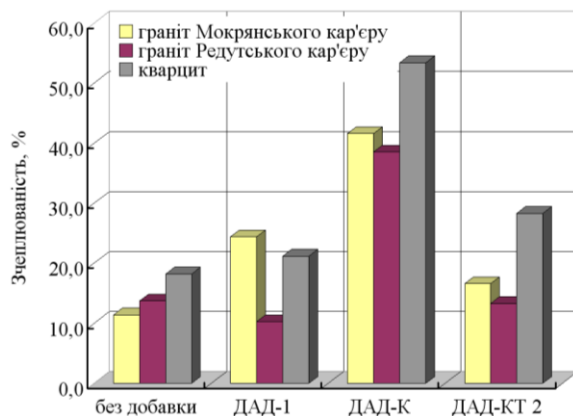


Рис. 7. Вплив адгезійних домішок серії ДАД на зчеплюваність бітуму з кам'яними матеріалами, визначену методом обертання пляшки

Наведені в роботі дані отримані на бітумі лише одного виробника, тому однією з причин низького впливу розглянутих адгезійних домішок на зчеплюваність може бути несумісність їхнього хімічного складу як із груповим складом бітуму, так і з мінералогічним складом кам'яних матеріалів. Ураховуючи це, виробник домішок виконує роботи щодо підбору оптимальних адгезійних домішок (різного хімічного складу та різної концентрації) для наданих матеріалів (бітумне в'язуче, кам'яні матеріали).

Вплив адгезійних домішок на технологічні температури приготування та укладання асфальтобетонних сумішей

Крім впливу на зчеплюваність бітумних в'язучих із поверхнею кам'яних матеріалів,

поверхнево-активні речовини мають значний вплив на процеси змочування в'язучими зерен кам'яних матеріалів у процесі операцій їхнього перемішування під час приготування асфальтобетонних сумішей на заводі. Бітумне в'язуче має рівномірно розподілятися по поверхні кам'яних матеріалів, у цьому випадку ефективним вважається таке розподілення в'язучого, коли воно покриває більше ніж 95 % поверхні зерен кам'яних матеріалів асфальтобетонної суміші [4]. Впливати на розтікання в'язучого по поверхні кам'яних матеріалів можливо шляхом зменшення в'язкості бітуму, або підвищуючи його температуру, або шляхом зменшення крайового кута змочування в'язучим кам'яного матеріалу. Отже, урахувавши, що адгезійні домішки здатні зменшувати поверхневий натяг (крайовий кут змочування) на границі між поверхнею кам'яних матеріалів, бітумом та повітрям, їхнє використання може дозволити знизити температури нагрівання складників асфальтобетонних сумішей.

У роботі було визначено значення крайових кутів змочування бітумів, модифікованих адгезійними домішками серії ДАД, методом стоячої краплі. Як підкладка приймалося медичне предметне скло, поверхня якого перед випробуванням ретельно очищувалася. На підготовлену охолоджену поверхню скла наносилися по три краплі одного бітумного в'язучого (використовувалися бітуми, модифіковані максимальною за даними виробника концентрацією домішок серії ДАД), температура якого перевищувала на 80–90 °С температуру розм'якшуваності. Після остигання крапель бітуму предметне скло з в'язучим розміщувалося в сушильній шафі з установленою температурою (90 °С, 110 °С, 130 °С, 150 °С) на 30 хв. Після розтікання крапель бітуму, скло з краплями бітуму виймалося з сушильної шафи, охолоджувалося за кімнатної температури та використовувалося для визначення кута змочування.

За експериментально отриманим значенням крайових кутів змочування були побудовані температурні залежності крайових кутів змочування (рис. 8) та графічно визначені значення температур, що відповідають крайовому куту в 15 °. Раніше експериментально встановлено, що саме ця температура відповідає в'язкості в'язучого 0,5 Па·с, за якою призначають температури перемішування складників асфальтобетонних сумішей.

Згідно з отриманими результатами (рис. 8), у процесі введення у вихідний бітум

адгезійних домішок серії ДАД значення крайових кутів змочування модифікованих в'язучих на прийнятному температурному діапазоні є меншими, ніж у вихідного бітуму.

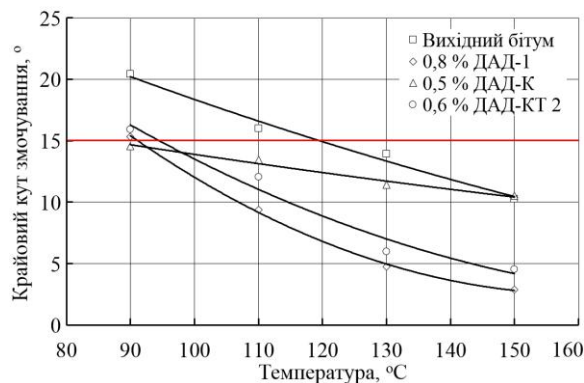


Рис. 8. Температурна залежність крайових кутів змочування бітумів, модифікованих адгезійними домішками серії ДАД

Отже, у застосуванні адгезійних домішок серії ДАД за рахунок менших значень крайових кутів змочування та кращого розтікання в'язучих по поверхні кам'яних матеріалів можливе зниження технологічних температур приготування асфальтобетонних сумішей.

Висновки

На основі виконаних досліджень та отриманих експериментальних даних можна зробити конкретні висновки.

1. Адгезійні домішки серії ДАД практично не впливають на основні стандартні показники якості дорожніх в'язких бітумів – пенетрацію, температури розм'якшеності та крихкості. Водночас домішки дещо знижують значення дуктильності, визначені за температури 25 °C.

2. Домішки серії ДАД у процесі введення їх у бітум у максимально рекомендованій виробником концентрації суттєво підвищують зчеплюваність бітумів із поверхнею скла (більше ніж 80 %). Поверхня зерен прийнятих у роботі кам'яних матеріалів, оброблених бітумом, модифікованим домішкою ДАД-КТ 2, після випробування методом обертання пляшки впродовж 6 год залишаються більше ніж на 40 % вкритими в'язучим.

3. У процесі старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, та методом RTFOT спостерігаються різні тенденції зміни властивостей бітумів, модифікованих адгезійними домішками серії ДАД, що обумовлено різними умовами старіння та процесами, що протіка-

ють у в'язучому. Виходячи з отриманих результатів зчеплюваність бітуму, модифікованого домішкою ДАД-1, після старіння знижується. До того ж встановлено, що переважним фактором, який призводить до втрати зчеплюваності після старіння, є взаємодія з повітрям, а не високі температури. Адгезійна міцність бітуму, модифікованого домішкою ДАД-КТ 2, значно підвищується після старіння, що підтверджує термостабільність цієї домішки.

4. За рахунок використання адгезійних домішок серії ДАД можливе зниження технологічних температур приготування асфальтобетонних сумішей.

Література

- Zvenjniaks A. Progress with adhesion-improving bitumen additives. *Highway Research Board Bulletin*. 1958. No. 192. P. 26–33.
- Zvejnieks A. Fett-och hartsaminer som tillsatser till bituminösa bindemedel. Stockholm: *Statens Väginstytut*, 1956. 51.
- Лысихина А.И. Поверхностно-активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. Москва: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
- Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.
- State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
- Горельшева Л.А. Теоретические аспекты систематизации добавок, улучшающих свойства битумного вяжущего и асфальтобетонной смеси. *Дороги и мосты*. № 42. С. 203–236.
- Петров Н.А., Измухамбетов Б.С., Агзамов Ф.А., Ногаев Н.А. Катионоактивные ПАВ-эффективные ингибиторы в технологических процессах нефтегазовой промышленности. Санкт-Петербург: Недра, 2004. 408 с.
- Oliviero Rossi C., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. *Applied Sciences*. 2017. Т. 7. No. 5. 524. 10 p.
- Valentin J., Vavricka J., Valentova T. Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields*. 2013. P. 735–744.
- Золотарьов В.О., Агеева О.М., Пиріг Я.І., Єфремов С.В. Вплив адгезійної добавки Wetfix BE на властивості бітуму та асфальтобетону. *Автошляховик України*. 2002. №. 1. С. 29–31.
- Жданюк В.К., Шурупова А.А. Порівняльні дослідження впливу поверхнево-активних речовин на показник зчеплення бітумів з

- мінеральною поверхнею. *Наукові нотатки*. 2014. №. 45. С. 188–192.
12. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний з 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 12 с.
 13. СОУ 45.2-00018112-067:2011. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. [Чинний з 2011-09-01]. Київ: ДП ДерждорНДІ, 2011. 17 с.
 14. СТО 22320188-001-2014. Добавка адгезионная дорожная. Препарат ДАД-1. Технические условия. [Введен в действие с 2009-08-18]. Шебекино: Селена, 2014. 21 с.
 15. ГОСТ 18180-72 (СТ СЭВ 4543-84). Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева [Не действует]. Москва: Межгосударственный Совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1972. 4 с.
 16. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2016. 23 с.
 17. ДСТУ Б.В.2.7-81-98. Будівельні матеріали. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Метод визначення показника зчеплення з поверхнею скла та кам'яних матеріалів [Чинний з 1999-03-01]. Вид. офіц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1999. 5 с.
 18. ДСТУ EN 12697-11:2018 (EN 12697-11:2012, IDT). Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 11. Визначення зчеплюваності між заповнювачем і бітумом. [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 41 с.
- References**
1. Zvenjnieks, A. (1958). Progress with adhesion-improving bitumen additives. *Highway Research Board Bulletin*, № 192. 26–33.
 2. Zvejnieks, A. (1956). *Fett-och hartsamner som tillsatser till bituminösa bindemedel*. Statens Väginstytut. 51.
 3. Lysikhina, A.I. (1959). *Poverkhnostno-aktivnye dobavki dlia povysheniia vodoustoichivosti dorozhnykh pokrytii s primeneniem bitumov i degtei* [Surface-active additives to improve the water resistance of road surfaces using bitumen and tar]. Москва: Avtotransizdat [in Russian].
 4. Kolbanovskaja, A.S., & Mihajlov, V.V. (1973). *Dorozhnye bitumy* [Road bitumen]. Moscow: Transport, 198–199 [in Russian].
 5. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures*. Special report 98. 8.
 6. Gorelysheva L.A. Teoreticheskie aspekty sistematizacii dobavok, uluchshajushhiih svojstva bitumnogo vjazhushhego i asfal'tobetonnoj smesi [Theoretical aspects of the systematization of additives that improve the properties of bituminous binder and asphalt concrete mixture]. *Dorogi i mosty*. No. 42. S. 203–236 [in Russian].
 7. Petrov N.A., Izmuhambetov B.S., Agzamov F.A., Nogaev N.A. *Kationoaktivnye PAV-jeffektivnye ingibitory v tehnologicheskikh processah neftegazovoj promyshlennosti* [Cationic Surfactants-Effective Inhibitors in Technological Processes of the Oil and Gas Industry]. SPb: Nedra, 2004. 408 s. [in Russian].
 8. Oliviero Rossi, C., Teltayev, B., & Angelico, R. (2017). Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. *Applied Sciences*, 7(5), 524. 10 p.
 9. Valentin, J., Vavricka, J., & Valentova, T. (2013). Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. In *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields*. P. 735–744.
 10. Zolotarov, V.O., Agejeva, O.M., Pyrig, Ja.I., & Jefremov, S.V. (2002). Vplyv adgezijnoi dobavky Wetfix BE na vlastyvoli bitumu ta asfal'tobetonu [Influence of Wetfix BE adhesive additive on the properties of bitumen and asphalt concrete]. *Avtoshlahovyk Ukrainy*, (1), 29–31 [in Ukrainian].
 11. Zhdanjuk, V.K., & Shurupova, A.A. (2014). Porivnjalni doslidzhennja vplyvu poverhnevo-aktivnih rechovin na pokaznik zcheplennja bitumiv z mineralnoju poverhneju [Comparative studies of the effect of surfactants on the rate of adhesion of bitumen to the mineral surface.]. *Naukovi notatki*, (45), 188–192 [in Ukrainian].
 12. Bitumy naftovi dorozhni viazki. Tekhnichni umovy [Viscous petroleum road bitumens. Specification]. (2020). *DSTU 4044:2019 from 1st May 2020*. Kyiv: SE “UkrNDNC”. 12 p. [in Ukrainian].
 13. Bitumy dorozhni viazki, modyfikovani dobavkamy adheziinymy. Tekhnichni umovy [Road bitumen, modified with adhesive additives. Specifications]. *SOU 45.2-00018112-067:2011 from 1st July 2011*. Kyiv: M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise. 2011. 17 p. [in Ukrainian].
 14. Dobavka adgezionnaja dorozhnaja. Preparat DAD-1. Tehnicheskie uslovija. [Adhesive road additive. The drug DAD-1. Technical conditions]. *СТО 22320188-001-2014 from 18th August 2009*. Shebekino: Sелena. 21 p. [in Russian].
 15. ГОСТ 18180-72 (СТ SJeV 4543-84) Битумы нефтяные. Метод определения изменения массы после прогрева [Petroleum bitumens. Method for determination of mass change after heating]. Not valid. Moscow: Mezhgosudarstvennyj Sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. 1972. 4 p. [in Russian].
 16. Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT [Bitumen and bitumi-

- nous binders – Deterioration of the resistance to hardening under influence of heat and air - Part 1: RTFOT method]. (2016). DSTU B EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT) from 1st July 2016. Kyiv: Minregion Ukrainy. 23 p. [in Ukrainian].
17. Budivel'ni materialy. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zchepлення z poverkhnєiu skla ta kam'ianikh materialiv [Building materials. Viscous road oil bitumens. The method to determine the index of engagement with the surface of glass and rock materials]. (1999). DSTU B V.2.7-98:98 from 1st March 1999. Kyiv: Derzhavnii komitet budivnitstva, arkhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini. 5 p. [in Ukrainian].
18. Bitumomineral'ni sumishi. Metodi viprobuvannia gariachikh asfal'tobetonikh sumishei. Chastina 11. Viznachennia zchepliuvanosti mizh zapovniuvachem i bitumom [Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen]. DSTU EN 12697-11:2018 from 1st January 2020. Kyiv: SE "UkrNDNC". 41 p. [in Ukrainian].

Пиріг Ян Іванович, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com

Галкін Андрій Володимирович, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38067-799-64-32, e-mail: a.galkin0906@gmail.com

Increasing pavement bitumen adhesion with DAD adhesive additives

Abstract. Problem. *An important factor that largely determines the water resistance and durability of asphalt pavements is the adhesion of bituminous binders to the surface of stone materials. The most common method of increasing the adhesion of binders is the use of adhesive additives. Given that the range of adhesives used in the road industry is constantly updated, and their effectiveness is determined by the characteristics of binders and stone materials, issues related to the assessment of the impact of additives on the properties and, in particular, the adhe-*

sion of bituminous binders, are relevant. Goal. *The aim of the study was to evaluate the effects of adhesive additives of the DAD series on the properties of bitumen used in the road industry of Ukraine. Methodology.* *For bitumen modified with DAD-1, DAD-K and DAD-KT 2 additives, standard quality indicators have been determined in accordance with the norms of national standards DSTU 4044 and SOU 45.2-00018112-067. Particular attention was paid to determining the adhesive properties of binders, which were evaluated by the method of adhesion to the glass surface and the method of rotation of the bottle, and the thermal stability of additives is evaluated by changes in adhesion after aging of binders by TFOT and RTFOT. Based on the obtained experimental data, it was found that the adhesion additives of DAD have practically no effect on the basic standard quality indicators of road viscous bitumen. When modifying bitumen with the maximum concentrations recommended by the manufacturer, the additives significantly increase the adhesion of bitumen to the glass surface. The surface of the grains of the accepted stone materials treated with bitumen modified with the additive DAD-KT 2, after the test by the method of rotation of the bottle for 6 hours showed 40% of them remain covered with binder. Novelty.* *The thermal stability of DAD adhesive additives significantly depends on the accepted method of aging. The main factor that reduces the adhesive properties of the DAD-1 additive is the intense interaction with air. The adhesion properties of bitumen modified with the addition of DAD-CT 2 is significantly increased after aging. Practical value.* *The expediency and efficiency of the use of additives of the DAD series in the production of asphalt concrete mixtures should be established based on the characteristics of the bitumen and stone materials used.*

Key words: *bitumen, adhesive additive, adhesion, adhesion to the glass surface, the method of bottle rotation.*

Pyrig Yan, S. Researcher, Ph.D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com

Galkin Andrey, S. Researcher, Ph.D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38 067-799-64-32, a.galkin0906@gmail.com