

БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 665.775+539.612

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.95.0.201

ВПЛИВ АДГЕЗІЙНОЇ ДОБАВКИ iDOP-PH НА ПІДВИЩЕННЯ
ЗЧЕПЛЮВАНOSTІ ДОРОЖНІХ В'ЯЗКИХ БІТУМІВПиріг Я. І.¹, Галкін А. В.¹, Роман П. С.²¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет²Державне підприємство «Дорожній науково-технічний центр»

Анотація. У статті представлено дані щодо впливу адгезійної добавки iDOP-PH на стандартні та адгезійні властивості нафтового дорожнього в'язкого бітуму. Особливу увагу в роботі приділено встановленню зміни зчеплюваності бітуму після технологічного старіння, яке моделювалось згідно широко розповсюдженого у вітчизняній дорожній практиці методу, представленого в ГОСТ 18180, та методу RTFOT, що використовується в американській та європейській системах оцінки якості бітумів.

Ключові слова: адгезійна добавка, дорожній бітум, зчеплюваність із поверхнею скла, метод обертання пляшки, старіння.

Вступ

Асфальтобетонне покриття автомобільних доріг постійно знаходиться під впливом різноманітних кліматичних умов і транспортного навантаження. За рахунок цього через певний період експлуатації дорожнього покриття на його поверхні з'являються різноманітні дефекти – лущення, викришування, вибоїни, тріщини. Однією з причин виникнення цих дефектів є низька водостійкість асфальтобетонів, що зумовлена відповідно низькою зчеплюваністю бітумних в'язких із поверхнею кам'яних матеріалів, що є складовими асфальтобетону [1, 2]. Виходячи з цього, питання підвищення адгезійної здатності бітумних в'язких є актуальним.

Аналіз публікацій

Історія досліджень, спрямованих на підвищення водостійкості асфальтобетонних покриттів, бере початок ще з 30-х років минулого століття [2, 3]. Саме тоді були розпочаті роботи щодо створення перших методів визначення зчеплюваності бітумів із поверхнею кам'яних матеріалів та розроблені перші теорії, які описують механізм взаємодії бітумних в'язких із поверхнею кам'яних матеріалів. На цей час у світі відомо більше 150 різноманітних методів оцінювання зчеплюваності бітумних в'язких із кам'яними матеріалами [4, 5] та набуло поширення шість теорій зчеплюваності (адсорбційна, дифузійна, електрична, електронна, механічна, хімічна), деякі з яких суперечать одна одній [6]. Однак і досі не створено єдиного методу, що

дозволяв би об'єктивно, кількісно, з високою відтворюваністю результатів і чутливістю до різноманітних факторів оцінювати зчеплюваність, та не розроблено теорії, що охоплювала би всі аспекти взаємодії бітуму з поверхнею кам'яних матеріалів.

На початку минулого століття розглядалось два напрями підвищення зчеплюваності [2, 7]: шляхом обробки / активації поверхні кам'яних матеріалів або шляхом введення поверхнево-активних речовин (ПАР) у бітум. Обидва методи дозволяють зменшити поверхневий натяг на межі кам'яний матеріал / в'язке та змінити електричний заряд на межі контакту таким чином, щоб в'язке та поверхня кам'яних матеріалів, що контактують, були різнополярними. В подальшому було запропоновано ще й варіант активації бітумного в'язкого (ультразвукова обробка, гідродинамічна кавітація, радіаційний вплив, електромагнітний вплив тощо) [7].

Перший варіант на той час не знайшов розповсюдження через його складність та значну економічну вартість, але в подальшому цей напрям здобув певне поширення й було запропоновано різноманітні технології як обробки кам'яних матеріалів певними хімічними речовинами (розчини органічних кислот; мідний або залізний купорос; хлорне залізо і соляна кислота та ін.), так і активації (подрібнення) зерен кам'яного матеріалу [7, 8].

Найбільш поширеним засобом підвищення зчеплюваності бітумних в'язких із поверхнею зерен кам'яних матеріалів, що входять

до складу асфальтобетонних сумішей, є застосування адгезійних добавок, до складу яких входять різноманітні поверхнево-активні речовини. Використання цих добавок дозволяє зменшити поверхневий натяг, підвищити змочуваність поверхні кам'яних матеріалів бітумом, посилити адсорбційні та хемосорбційні процеси на границі розділу фаз, що, у свою чергу, приводить до покращення адгезійної здатності в'язучих.

В сучасному дорожньому будівництві застосовуються адгезійні добавки на основі іоногенних (катіонних та аніонних), неіоногенних та амфотерних поверхнево-активних речовин, але найбільш поширеними є катіонні ПАР, виготовлені на основі хімічних сполук, що містять азот, – аміни, амідоміни, імідазоліни тощо.

На сучасному національному ринку будівельних матеріалів представлено широку номенклатуру імпортованих та вітчизняних адгезійних добавок. Ефективність застосування тієї чи іншої добавки залежить від ряду факторів, до яких відносяться: мінералогічний склад кам'яних матеріалів; структурні та хімічні особливості бітумних в'язучих; технологічні режими приготування асфальтобетонних сумішей; кліматичні особливості експлуатації асфальтобетонного покриття тощо. Виходячи з цього, задача вибору адгезійної добавки, що забезпечить ефективне покращення зчеплюваності бітумів із кам'яними матеріалами, є відповідальною та складною, а її вирішення потребує проведення експериментальних досліджень із використанням конкретних матеріалів, що будуть застосовані для приготування асфальтобетонних сумішей.

Мета і постановка завдання

Метою даної роботи було встановлення впливу вітчизняної адгезійної добавки iDOP-PH на стандартні та адгезійні властивості бітуму. Для досягнення поставленої мети було: визначено вплив адгезійної добавки iDOP на стандартні показники якості бітуму згідно вимог діючих стандартів ДСТУ 4044 [9] і СОУ 45.2-00018112-067 [10]; оцінено вплив адгезійної добавки на зчеплюваність бітуму з поверхнею скла (за методом ДСТУ Б.В.2.7-81 [11]) та з поверхнею кам'яних матеріалів за методом обертання пляшки за ДСТУ EN 12697-11 [12]; перевірено термостабільність добавки iDOP-PH шляхом імітування технологічного старіння бітуму за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [13], та методом RTFOT [14].

Об'єкти і методи дослідження

Оцінювання впливу адгезійної добавки на властивості в'язучих виконано на бітумі марки БНД 70/100 виробництва ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод» (Республіка Білорусь). Стандартні показники якості вихідного бітуму наведені в табл. 1.

Адгезійна добавка iDOP-PH виготовляється українською компанією «IPT Group» та, за даними виробника, має наступні характеристики якості:

- зовнішній вигляд – рідина;
- колір – від світлого до темно-коричневого;
- густина – $0,9 \dots 1,0 \text{ г/см}^3$;
- в'язкість за 25°C – $30 \dots 70 \text{ с}$;
- температура кипіння – $> 200^\circ\text{C}$;
- температура спалаху – $> 150^\circ\text{C}$;
- розчинність – розчиняється в органічних розчинниках;
- коефіцієнт ефективності – $> 1,5$.

Добавка iDOP-PH вводилась у вихідний бітум у рекомендованих виробником концентраціях – $0,1\%$ та $0,3\%$, що є, відповідно, мінімальною та максимальною рекомендованою концентраціями. Модифікування бітуму здійснювалось шляхом перемішування його з добавкою в лабораторній мішалці протягом $10 \dots 15 \text{ хв}$ за температури $150 \pm 5^\circ\text{C}$, що було достатнім для рівномірного розподілення добавки по всьому об'єму бітуму та замалю для зміни властивостей бітуму за рахунок його старіння.

Якість вихідного і модифікованого в'язучих оцінювалась за допомогою стандартних показників якості, наведених відповідно в ДСТУ 4044 [9] і СОУ 45.2-00018112-067 [10], результати визначення яких представлено в табл. 1.

Вплив добавки iDOP-PH на адгезійні властивості бітуму оцінювався за модифікованим методом зчеплюваності з поверхнею скла за ДСТУ Б.В.2.7-81 та за методом обертання пляшки, згідно з ДСТУ EN 12697-11. Відповідно до модифікованого методу визначення зчеплюваності з поверхнею скла в якості підкладки використовувалось медичне предметне скло, що мало розмір $76 \pm 1 \text{ мм} \times 25 \pm 1 \text{ мм}$. На одне випробування було підготовлено по 5 пластин. На поверхню попередньо очищеного скла (вимите господарчим милом, промите під проточною водою, прокип'ячене протягом 30 хв у дистильованій воді та висушене в сушильній шафі за температури $105 \pm 5^\circ\text{C}$ упродовж 30 хв) наносилась наважка бітуму в кількості $0,35 \pm 0,01 \text{ г}$ та рівномірно розподілялась по всій поверхні

скла, після чого прогрівалась 5 хв. за температури $T_p + 85^\circ\text{C}$. Підготовлені таким чином зразки витримувались у водяній бані за температури 85°C упродовж 50 хв. Зчеплюва-

ність оцінювали у відсотках по відношенню площі скла, вкритої бітумом, після випробування до площі скла, вкритої бітумом до випробування.

Таблиця 1 – Показники якості бітумних в'язучих

Властивості		Вихідний бітум	Бітуми з добавкою iDOP, %		Норми згідно [9] та [10]
Вміст добавки, %		-	0,1	0,3	-
Пенетрація за 25°C , 0,1 мм		78	84	83	71...100
Температура розм'якшеності (T_p), $^\circ\text{C}$		48,2	48,1	47,4	45...51
Температура крихкості, $^\circ\text{C}$		-18,5	-17,0	-20,0	≤ -13
Дуктильність за 25°C , см		78,1	78,5	73,3	≥ 60
Зчеплюваність зі склом за 85°C , %		22,6	32,5	65,5	$\geq 18^* / \geq 75^{**}$
Індекс пенетрації, розрахований за температурою T_p (IP_{T_p})		-0,57	-0,39	-0,62	- 2,0...1,0
Температура, за якої пенетрація становить $800 \times 0,1$ мм (T_{800}), $^\circ\text{C}$		45,5	45,0	48,5	45...51
Індекс пенетрації, розрахований за температурою T_{800} ($IP_{T_{800}}$)		-1,35	-1,31	-0,31	- 2,0...1,0
Старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [13]	Залишкова пенетрація, %	84,6	83,3	86,7	≥ 59
	Зміна T_p , $^\circ\text{C}$	3,0	4,2	4,1	$\leq 6,0$
	Зміна маси, %	0,16	-0,04	0,43	$\leq 0,9$
	Температура крихкості, $^\circ\text{C}$	-18,5	-17,5	-18,0	-
	Дуктильність за 25°C , см	64,5	68,2	58,5	-
	Зчеплюваність за 85°C , %	10,4	23,2	41,3	$\geq 65^{**}$
Старіння за методом RTFOT, наведеним у ДСТУ Б EN 126607-1 [14]	Залишкова пенетрація, %	80,8	81,0	84,3	-
	Зміна T_p , $^\circ\text{C}$	4,0	3,3	3,7	-
	Зміна маси, %	0	0,04	0,45	-
	Температура крихкості, $^\circ\text{C}$	-17,5	-18,0	-17,5	-
	Дуктильність за 25°C , см	54,2	68,9	66,7	-
	Зчеплюваність за 85°C , %	14,3	27,1	61,3	$\geq 60^{**}$

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

Визначення зчеплюваності з поверхнею скла здійснювалось із використанням водяної бані з регульованою з точністю до $\pm 1^\circ\text{C}$ температурою нагріву води, виготовленою компанією «RadialTec». Крім цього, до складу обладнання входила веб-камера, за допомогою якої було можливо з певним проміжком часу фіксувати динаміку зменшення площі зразків, вкритих в'язучим (рис. 1).

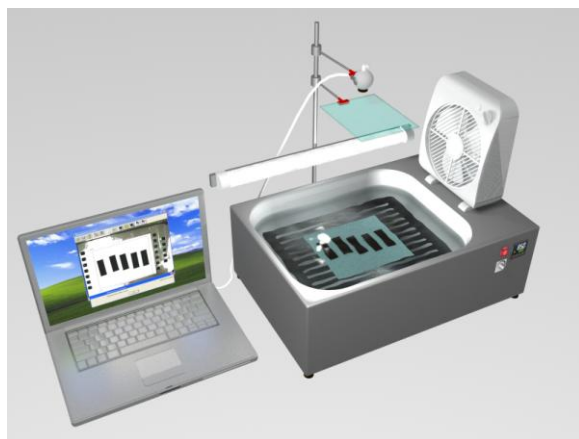


Рис. 1. Зовнішній вигляд обладнання для визначення зчеплюваності з поверхнею скла

Визначення зчеплюваності в'язучих із поверхнею кам'яних матеріалів за методом обертання пляшки виконувалось на обладнанні, розробленому компанією «RadialTec» (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд обладнання для визначення зчеплюваності за методом обертання пляшки

Для випробування зчеплюваності методом обертання пляшки використовували щебінь фракції 5 ... 10 мм. Зерна кам'яного матеріалу вагою 510 г були очищені від пилу і висушені до постійної маси за температури 105°C , після чого нагріті до технологічної температури приготування асфальтобетон-

них сумішей (150 °C) та об'єднані з в'язким у кількості 16 г. Виготовлену бітумомінеральну суміш розподіляли по поверхні пергаментного паперу і витримували протягом 12 год за температури навколишнього середовища. Перед випробуванням у скляну пляшку ємністю 500 мл поміщали 150 г бітумомінеральної суміші і доливали дистильовану воду з температурою 5 °C. Для запобігання агрегуванню частинок мінерального матеріалу в пляшку вставляли скляний стрижень діаметром 6 мм. Випробування здійснювали шляхом обертання скляних пляшок із бітумомінеральними сумішами зі швидкістю 60 хв^{-1} за кімнатної температури $20 \pm 5 \text{ °C}$ упродовж 6 год.

Значення зчеплюваності за методом обертання пляшки визначається у відсотках по відношенню до поверхні частинок заповнювача, яка залишилась укритою в'язким після дії води, до площі поверхні частинок заповнювача, оброблених бітумом, до початку випробування. Для підвищення об'єктивності оцінки у виконаній роботі оцінювання площі поверхні зерен кам'яних матеріалів, що були вкриті бітумом, здійснювалось за допомогою графічного редактора Gimp.

Зчеплюваність методом обертання пляшки здійснювалось на трьох видах кам'яних матеріалів: на гранітному щебеню Мокрянського кар'єру (це є вимогою СОУ 45.2-00018112-067 [10]); на кварциті (як мономінеральній породі) та граніті Редутського кар'єру (як полімінеральній породі).

Вплив адгезійної добавки iDOP-PH на властивості бітуму

Відповідно до наведених у табл. 1 даних адгезійна добавка iDOP-PH незначним чином впливає на значення стандартних показників якості бітуму – пенетрація підвищується на $5...6 \times 0,1 \text{ мм}$, що знаходиться майже на рівні значення збіжності методу визначення пенетрації; значення температури розм'якшення не змінюються; зміна значень температури крихкості також знаходиться в межах нормованих значень збіжності методу Фрааса; дещо знижується (на 4,8 см) значення розтяжності бітуму з 0,3 % добавки, що, у принципі, також перебуває в межах збіжності ($\pm 10 \%$) методу.

В той же час добавка iDOP-PH дещо змінює температурну чутливість бітумного в'язкого. За збільшення концентрації адгезійної добавки в бітумі зменшується його температурна чутливість, що проявляється у

зменшенні кута нахилу температурно-пенетраційної залежності, наведеної на рис. 3, та, відповідно до цього, збільшуються значення індексу пенетрації, визначеного за температури, що відповідає пенетрації $800 \times 0,1 \text{ мм}$ (табл. 1) з мінус 1,35 у вихідного бітуму до мінус 1,31 та мінус 0,31 відповідно у бітумів з 0,1 % та 0,3 % добавки iDOP-PH. Таким чином, зі збільшенням концентрації добавки в'язке за структурно-реологічним типом змінюється в бік типу «гель».

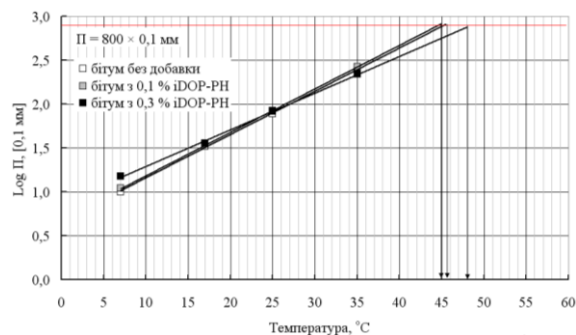


Рис. 3. Вплив різної концентрації добавки iDOP-PH на температурну чутливість бітуму

У випадку старіння бітуму проявляється незначний інгібуючий ефект від добавки iDOP-PH. Після старіння за методом RTFOT з підвищенням вмісту добавки в бітумі збільшується залишкова пенетрація – з 80,8 % у вихідного бітуму до 84,3 % у бітуму з 0,3 % добавки (рис. 4). Також спостерігається збереження дуктильності в'язкого – у вихідного бітуму після старіння за RTFOT вона становить 54,2 см, а у бітумів з 0,1 % та 0,3 % добавки – відповідно 68,9 см та 66,7 см. При цьому нелогічним є збільшення зміни маси в'язкого після старіння до 0,45 % у бітуму з 0,3 % добавки.

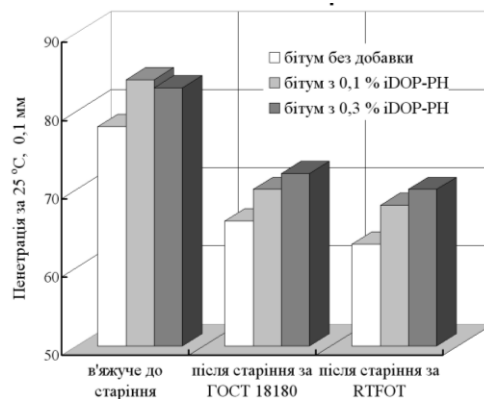


Рис. 4. Вплив різної концентрації добавки iDOP-PH на пенетрацію, визначену за 25 °C після старіння за різними методами

Після старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [13], інгібуючого ефекту від дії добавки на бітум не спостерігається – значення залишкової пенетрації знаходяться на рівні бітуму без добавки; дещо збільшується показник «зміна температури розм'якшеності» зі збільшенням концентрації добавки та очікувано знижується значення показника дуктильності.

Отримані дані щодо старіння бітумів свідчать про те, що добавка має відносно низьку термостабільність; при цьому головним фактором, що впливає на зниження термостабільності, є тривалий час витримування в'язучого за високої температури, в той час як примусовий вплив кисню повітря є фактором, що сприяє інгібуючому ефекту. Таким чином, на виробництві слід утримуватись від тривалого зберігання, особливо за високої температури, бітумів, модифікованих добавкою iDOP-PH.

Головним призначенням застосування добавки iDOP-PH є підвищення адгезійної здатності бітумів. При введенні добавки iDOP-PH в концентрації 0,1 % та 0,3 % у вихідний бітум спостерігається підвищення зчеплюваності з поверхнею скла відповідно до 32,5 % та 65,5 %; при цьому суттєво знижується інтенсивність зменшення зчеплюваності з часом витримування зразків у дистильованій воді (рис. 5). Це, у свою чергу, може свідчити про більшу водостійкість асфальтобетонних покриттів, виготовлених на бітумах з адгезійною добавкою iDOP-PH.

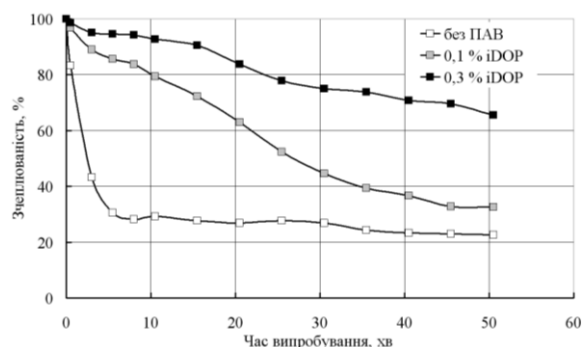


Рис. 5. Зміна зчеплюваності бітумів із різною концентрацією добавки iDOP-PH з часом випробування

Відповідно до експериментально отриманих значень зчеплюваності бітумів із поверхнею скла встановлено, що для прийнятого в роботі бітуму рекомендовані виробником концентрації добавки є замалими. При введенні в бітум добавки iDOP-PH у максима-

льно рекомендованій виробником концентрації в 0,3 % значення зчеплюваності зі склом збільшилось лише до 65,5 %, в той час як нижньою межею зчеплюваності, регламентованою нормами і СОУ 45.2-00018112-067 [10], є значення в 75 %. Тому, ймовірно, доцільним є підвищення значення максимально рекомендованої концентрації добавки в бітумі до 0,5 %, а враховуючи зниження зчеплюваності за рахунок втрати термостабільності добавки, слід підвищити концентрацію навіть до 0,6 % (рис. 6). Саме в такому випадку будуть виконуватись вимоги, встановлені в СОУ 45.2-00018112-067 щодо мінімально нормованих значень зчеплюваності з поверхнею скла.

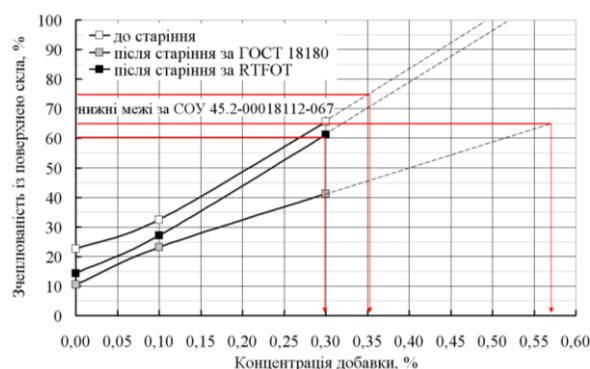


Рис. 6. Вплив різної концентрації добавки iDOP-PH на зчеплюваність бітуму із поверхнею скла

Найбільша втрата термостабільності добавки iDOP-PH спостерігається під час старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [13]. За концентрації добавки в бітуму в 0,3 % зчеплюваність зі склом після витримування в'язучого за температури 163 °C упродовж 5 год знизилась у 1,59 разу (з 65,5 % до 41,3 %), в той час як після старіння за методом RTFOT зчеплюваність знизилась лише в 1,07 разу (з 65,5 % до 61,3 %). Це додатково підтверджує висловлене раніше припущення про необхідність запобігання витримуванню в'язучого з добавкою iDOP-PH тривалий час за високих температур.

Визначення зчеплюваності методом обертання пляшки на кам'яних матеріалах різних гірських порід підтвердили тенденцію щодо підвищення адгезійної здатності в'язучих із підвищенням концентрації добавки iDOP-PH у в'язучому (рис. 7). Введення в бітум 0,3 % адгезійної добавки призводить до підвищення зчеплюваності із зернами граніту Мокрянського кар'єру з 15 % у бітуму без добавки

до 55 % з добавкою, зернами кварциту відповідно з 25 % до 65 % та із зернами граніту Редутського кар'єру відповідно з 20 % до 85 %. При цьому отримані дані також свідчать про те, що прийнята максимальна концентрація добавки не дозволяє підвищити зчеплюваність із поверхнею зерен кам'яних матеріалів різних гірських порід до 100 %, тобто доцільно підвищити максимальну рекомендовану виробником концентрацію до 0,5–0,6 %. В цьому випадку можна очікувати забезпечення 100 % зчеплюваності в'язучого навіть із поверхнею зерен граніту Мокрянського кар'єру.

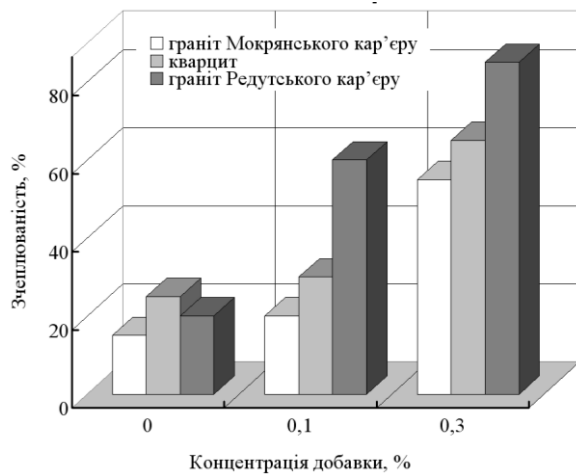


Рис. 7. Вплив концентрації добавки iDOP-PH на зчеплюваність із різними кам'яними матеріалами, визначену методом обертання пляшки після 6 год випробування

Висновки

На основі отриманих експериментальних даних встановлено наступне.

1. Адгезійна добавка iDOP-PH не справляє впливу на стандартні показники якості бітуму – пенетрацію за 25 °С, температуру розм'якшення та крихкості, дуктильність за 25 °С.

2. Під час старіння за методом RTFOT спостерігається незначний інгібуючий ефект від дії добавки, що проявляється у зростанні залишкової пенетрації та дуктильності, порівняно з бітумом без добавки. В той же час під час старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, інгібуючий ефект не спостерігається.

3. Добавка iDOP-PH підвищує адгезійну здатність бітуму, що підтверджується даними зчеплюваності, визначеними за модифікованим методом, наведеним у ДСТУ Б.В.2.7-81, та за методом обертання

пляшки. В той же час рекомендовані виробником максимальні значення концентрації добавки є замалими для забезпечення нормативних значень зчеплюваності згідно норм СОУ 45.2-00018112-067. Є доцільним збільшити рекомендовані концентрації добавки до 0,3–0,6 %.

4. Добавка iDOP-PH має відносно низьку термостабільність; при цьому головним фактором, що впливає на зниження термостабільності, є тривалий час витримання в'язучого за високої температури. За умови підвищення рекомендованих концентрацій добавки в бітумі до 0,3–0,6 % може бути забезпечена нормована відповідними документами термостабільність iDOP-PH.

Література

1. Watson, D., Moore, J. R., Taylor, A. J., & Wu, P. (2013). Effectiveness of antistrip agents in asphalt mixtures. *Transportation research record*, 2370(1), 128–136.
2. State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
3. Valentin J., Vavricka J., Valentova T. Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. *Proceedings Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*. 2013. Vol. 2. P. 1–10.
4. Grönniger J., Wistuba M.P. Adhesion in Bitumen-Aggregate-Systems. *Road Materials and Pavement Design*. 2010. № 11(4). P. 881–898.
5. Airey G.D., Choi Y.K. State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *Road Materials and Pavement Design*. 2002. Т. 3. №. 4. P. 355–372.
6. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Методи оцінки адгезії та когезії бітумних в'язучих. Харків: ХНАДУ, 2019. 224 с.
7. Емельянычева Е. А., Абдуллин А. И. Способы улучшения адгезионных свойств дорожных битумов к минеральным материалам. *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т.16. №.3. С. 198–204.
8. Гезенцевей Л.Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов. М.: Стройиздат, 1971. 255 с.
9. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний з 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ, ДП «УкрНДНЦ». 2020. 12 с.
10. 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.
11. 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.

12. 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.
13. 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.
14. 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.

References

1. Watson, D., Moore, J. R., Taylor, A. J., & Wu, P. (2013). Effectiveness of antistrip agents in asphalt mixtures. *Transportation research record*, 2370(1), 128–136.
2. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures*. Special report 98. 8.
3. Valentin J., Vavricka J., Valentova T. Influence of Various Adhesion Promoters on Asphalt Behavior by Assessment of Water Sensitivity. *Proceedings Ninth International Conference on the Bearing Capacity of Roads, Railways and Airfields*. 2013. Vol. 2. P. 1–10.
4. Grönniger J., Wistuba M.P. Adhesion in Bitumen-Aggregate-Systems. *Road Materials and Pavement Design*. 2010. № 11(4). P. 881–898.
5. Airey, G. D., & Choi, Y. K. (2002). State of the art report on moisture sensitivity test methods for bituminous pavement materials. *Road Materials and Pavement Design*, 3(4), 355–372.
6. Pyrig, Ja.I., & Galkin, A.V. (2019). *Metody ocinky adhezii' ta kogezi' bitumnyh v'jazhuchykh [Methods for assessing the adhesion and cohesion of bituminous binders]*. Harkiv: HNADU. 224 [in Ukrainian].
7. Emeljanycheva, E.A. & Abdullin, A.I. (2013). *Sposoby uluchsheniya adgezionnykh svoystv dorozhnykh bitumov k mineral'nykh materialam [Methods for improving the adhesion properties of road bitumen to mineral materials]*. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. T.16. №.3. S. 198–204. [in Russian].
8. Gezencvej, L.B. (1971). *Asfal'tovyj beton iz aktivirovannykh mineral'nykh materialov [Asphalt concrete from activated mineral materials]*. M.: Strojizdat. 255 s. [in Russian].
9. 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].
10. Bitumy dorozhni viazki, modifykovani 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].
11. Budivel'ni materialy. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zchepлення z poverkheiu 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].
12. Bitumomіneral'ni sumishi. Metodi viprobuvannia gariachikh asfal'tobetonnykh sumishei. Chastina 11. Viznachennia zcheplyvanosti 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].
13. 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: Mezghosudarstvennyj Sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. 1972. 4 p. [in Russian].
14. Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Vyznachennja oporu do tverdinnja pid vplyvom teploty ta povit'ra. Chastyna 1. Metod RTFOT [Bitumen and bituminous binders - Determination 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].

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

Роман Павло Сергійович, завідувач сектору органічних в'язучих лабораторії випробувань, ДП «Дорожній науково-технічний центр», Україна, м. Київ, 02160, вул.Каунаська,3, тел. +38 066-073-48-20, e-mail: parcel.roman17@gmail.com

Effectiveness of the iDOP-PH adhesion promoter in relation to adhesion of the pavement bitumen

Abstract. Problem. Asphalt pavement is permanently influenced by various environmental conditions and traffic load. Because of this after a certain period numerous defects may appear on the surface of the road pavement. These defects include peeling, chipping, pots, cracks etc. The low water proof resistance of the asphalt concrete (conditioned by low adhesion of the bitumen to aggregate surface) is considered to be one of the reasons for appearance of these defects. Adhesion promoters' use is the most common method to increase adhesion activity of pavement bitumen. **Goal.** The objective of the current research work is the evaluation of influence of the domestic adhesion promoter iDOP on the conventional and adhesion properties of bitumen. **Methodology.** To achieve this goal, the following was done: the effect of the adhesive promoter iDOP on the standard quality indicators of bitumen was determined according the requirements of the current standards DSTY 4044 and SOU 45.2-00018112-067; the effect of the adhesive promoter on the adhesion of bitumen to the glass surface (according to the DSTU B.V.2.7-81 method) and to the surface of aggregates with different mineralogy was evaluated by the rotating bottle method according to DSTU EN 12697-11; the thermal stability of the iDOP-PH promoter was tested by simulating the technological ageing of bitumen according to the method given in GOST 18180 and the RTFOT method. **Results.** Grounding on the experimental data obtained, it was found that the adhesive promoter iDOP-PH does not affect the standard indicators of the quality of bitumen (penetration, softening and breaking point temperatures, ductility). During hardening with the RTFOT method, a slight inhibitory effect of the promoter is observed, which appears as an increase in the values of residual penetration and

ductility compared to bitumen without promoter. The iDOP-PH promoter increases the adhesive capacity of bitumen, which is confirmed by the adhesion data determined by the improved method given in GOST B.V.2.7-81 and the rolling bottle method. **Originality.** It is shown that the iDOP-PH promoter has a relevantly low thermal stability. With this the main factor affecting the decrease in thermal stability is the long time exposing of the binder at high temperature by GOST B.V.2.7-81 method. **Practical value.** It is shown that the promoter concentrations recommended by the supplier are insufficient, and to ensure the required values of the adhesion (standardized in COY 45.2-00018112-067) it is advisable to increase the concentration of the iDOP-PH promoter in bitumen to 0.3 - 0.6%.

Key words: adhesion promoter, bitumen, adhesion, adhesion to the mineral surface, Rolling Bottle Test, ageing.

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

Roman Pavlo, head of the sector of organic testing laboratories, STATE ENTERPRISE "ROAD SCIENTIFIC AND TECHNICAL CENTER", 3, Kaunaska str., Kyiv, 02160, Ukraine, tel. +38 066-073-48-20, e-mail: parcel.roman17@gmail.com
