

ВПЛИВ ДОБАВОК ITERLENE НА ВЛАСТИВОСТІ В'ЯЗКИХ БІТУМІВ**Пиріг Я. І.¹, Галкін А. В.¹, Новаковська В. Я.¹, Роман П. С.²****¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет****²Державне підприємство «Дорожній науково-технічний центр»**

***Анотація.** У статті наведені експериментальні дані щодо впливу адгезійних добавок Iterlene на властивості в'язкого дорожнього бітуму. Розглянуто вплив добавок з різним типом хімічної будови на зчеплюваність бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів та на зміну властивостей бітуму після старіння за різними методами. Встановлено, що найбільший вплив на адгезійні властивості бітуму має силанова добавка Iterlene SL/100-Plus.*

***Ключові слова:** адгезійна добавка, бітум, зчеплюваність, термостабільність, старіння.*

Вступ

За строк експлуатації асфальтобетонні покриття автомобільних доріг постійно зазнають впливу різноманітних кліматичних факторів (екстремальні значення та різкі перепади температур навколишнього середовища, атмосферні опади, вологість повітря та інші) і перемінного транспортного навантаження. Одним з найвагоміших факторів, що впливає на якість асфальтобетону, є волога, яка сприяє відшаровуванню бітумного в'язучого від поверхні кам'яних матеріалів та призводить до виникнення таких дефектів, як лущення асфальтобетонного покриття, викришування зерен кам'яного матеріалу, утворення тріщин та вибоїн на поверхні покриття автомобільних доріг. Зазвичай утворенню таких дефектів сприяє низька зчеплюваність бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів, що містяться в складі асфальтобетону [1, 2].

Аналіз публікацій

Найбільш поширеним є підвищення зчеплюваності бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів через застосування адгезійних добавок, номенклатура та обсяги використання яких у дорожніх галузях різних країн світу, починаючи з 50-х років минулого століття, постійно збільшуються [3–5].

Зазвичай для покращення адгезійних властивостей дорожніх бітумів використовуються адгезійні добавки, що, згідно із загальноприйнятою класифікацією [6, 7], належать до катіоноактивних. У використанні добавок цього типу є можливим: покращення зчеплюваності бітумів з кам'яними матеріалами як кислих, так і основних гірських порід; покращення зчеплюваності бітуму з вологими кам'яними матеріалами; зменшення старіння бітумних в'язучих.

Згідно з [4] до катіоноактивних поверхне-

во-активних речовин (ПАР) належать групи первинного, вторинного, третинного амінів (представниками яких є солі аліфатичних та ароматичних амінів), чотиризаміщеного амонію, що містять азотовмісну групу, а також діаміни, поліаміни, імідозоліни тощо.

Засновником та провідним виробником катіоноактивних добавок амінного типу є Швеція [3]. Початок використання ПАР в Швеції впродовж 1951–1953 рр. привело до революційних змін у технології виготовлення асфальтобетонних сумішей та сприяло поширенню цього типу адгезійних добавок у країнах Європи та в подальшому в США.

В Україні на сьогодні широко використовуються катіоноактивні адгезійні добавки амінного типу, як імпортного (Wetfix BE, Wetfix AP17), так і вітчизняного (УДОМ, Карбозалін, Адбіт-Р та Адбіт-Н) виробництва, ефективність яких у дорожній галузі підтверджена багаторічним досвідом їхнього застосування [8, 9].

Безперервний розвиток хімічної промисловості у світі сприяє розробці нових адгезійних добавок, що є більш ефективними в покращенні зчеплюваності дорожніх бітумів із кам'яними матеріалами різного мінералогічного складу [10]. Так, останнім часом набувають поширення адгезійні добавки на основі поліфосфорної кислоти та органосиланів, що, на відміну від амінів, мають інші механізми хімічної взаємодії.

Згідно з [10, 11] аміни, поліаміни та амідоаміни є основними поєднаннями, а ймовірний механізм покращення зчеплюваності за використання адгезійних добавок, які містять ці хімічні речовини, полягає в утворенні неподіленої пари електронів азоту на межі контакту в'язучого з поверхнею кам'яного матеріалу, що реагують з кислими поверхнями кремнезему.

На відміну від амінів, адгезійні добавки на основі органосиланів мають полярну силанову групу, що забезпечує взаємодію з неорганічною поверхнею, і вуглеводневий ланцюг, який є спорідненим бітуму [11]. Дія добавок силанового типу складається з низки етапів – гідролізу, приєднання та конденсації [12], завдяки чому утворюється водневий зв'язок молекул силанолу з оксидами металу на поверхні заповнювача та утворюється плівкова структура на поверхні кам'яного матеріалу. Це приводить до значно більшого підвищення водостійкості бітумомінеральної суміші, ніж під час використання адгезійних добавок амінного типу [13].

Суттєвою особливістю адгезійних добавок силанового типу є їхня значно нижча ефективна концентрація, що становить порядку 0,05–0,1 % від кількості бітуму. Згідно з інформацією, наведеною в [14], під час використання добавок силанового типу зафіксовано їхній вплив на температурну чутливість бітумного в'язучого (зниження температурної чутливості бітуму за показником «індекс penetрації» та незмінність за показником PVN) та в'язкість за технологічних температур (встановлено зменшення в'язкості в разі температури 135 °C).

Використання поліфосфорних кислот для модифікування дорожніх бітумів бере початок з 70-х років минулого століття [15, 16]. За минулий час встановлено ефективність застосування поліфосфорної кислоти як для модифікації нафтового бітуму, так і для покращення властивостей бітумів, модифікованих полімерами. Крім цього, відомо про доцільність застосування поліфосфорних кислот як каталізаторів безпосередньо під час виготовлення нафтових бітумів [16]. Встановлено [15, 16], що поліфосфорна кислота як модифікатор сприяє збільшенню в'язкості (зниженню penetрації), покращенню низькотемпературних (незначне зниження температури крихкості) та високотемпературних (підвищення температури розм'якшеності) показників, зниження старіння, зміні структурно-реологічного типу бітуму (з переходом від типу «золь» до типу «гель»), а також покращенню адгезії в'язучих до поверхні мінеральних матеріалів, зокрема кислих гірських порід [17]. У процесі використання бітумів, модифікованих поліфосфорною кислотою, як в'язучих асфальтобетонних сумішей спостерігається зниження колісутворення на асфальтобетонному покритті, а також значне покращення його водостійкості.

Незважаючи на тривалий час використання поліфосфорної кислоти як модифікатора, єдина теорія щодо механізму дії на бітум відсутня. За результатами різних досліджень, кислота може вступати в хімічну реакцію з різними функціональними групами, які містяться в складі бітуму, зокрема з асфальтенами, що сприяє більш ефективному утворенню асфальтової сітки [18].

Нині на вітчизняному ринку дорожньо-будівельних матеріалів є різноманітні катіоноактивні адгезійні добавки, зокрема й добавки італійської компанії Iterchimica S.p.A., що належать до різних хімічних типів: Iterlene IN/400-L Green амінного типу, Iterlene PE-31 поліфосфорного типу та Iterlene SL/100-Plus силанового типу [19]. Адгезійна добавка Iterlene IN/400-L Green давно відома дорожникам із пострадянського простору [9, 20, 21]. Відомості про використання добавок інших двох типів обмежені, тому дослідження щодо порівняльної оцінки ефективності підвищення адгезійних властивостей нафтових бітумів у процесі використання адгезійних добавок різних хімічних типів є актуальним.

Мета та постановка завдання

Метою виконаної роботи було встановлення впливу адгезійних добавок Iterlene різного хімічного типу (амінного, поліфосфорного та силанового) на властивості дорожнього бітуму. Для досягнення поставленої мети експериментально визначені стандартні показники якості нафтового бітуму з різними концентраціями прийнятих у роботі адгезійних добавок згідно з вимогами ДСТУ 4044 [22] та СОУ 45.2-00018112-067 [23]; експериментально встановлено вплив адгезійних добавок на зчеплюваність бітуму з поверхнею скла за допомогою методу ДСТУ Б.В.2.7-81 [24] та з поверхнею кам'яних матеріалів різного мінералогічного складу методом обертання пляшки відповідно до ДСТУ EN 12697-11 [25]; оцінена термостабільність добавок Iterlene після старіння бітуму за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [26] та методом RTFOT [27].

Об'єкти й методи дослідження

Вихідним бітумом для модифікації адгезійними добавками прийнято бітум БНД 70/100 виробництва ВАТ «Мозирський нафтопереробний завод».

Модифікаторами бітуму були адгезійні добавки фірми Iterchimica S.p.A., властивості

яких наведені в табл. 1. Об'єднання бітумів з адгезійними добавками здійснювалось у лабораторній мішалці за температури 150 °С впродовж 15 хв. Прийняті в роботі адгезійні добавки вводилися в бітум у мінімальній та максимальній рекомендованій виробником концентрації, що становило для добавки Iterlene IN/400-L Green – 0,3 % та 0,6 %, для добавки Iterlene PE-31 – 0,1 % та 0,5 % та для добавки Iterlene SL/100-Plus – 0,05 % та 0,15 %.

Вплив добавок Iterlene на стандартні властивості бітуму

Стандартні властивості бітумів, модифікованих адгезійними добавками Iterlene, на-

ведені в табл. 2.

Адгезійна добавка Iterlene IN/400-L Green в мінімальній концентрації не впливає на стандартні показники якості бітуму. Зі збільшенням концентрації до 0,6 % відбувається незначна пластифікація вихідного бітуму, що полягає в збільшенні пенетрації за 25 °С на 16 × 0,1 мм, зменшенні температури розм'якшеності на 2,1 °С та підвищенні дуктильності понад 20 см.

Добавка Iterlene PE-31, незалежно від її концентрації (у прийнятих межах) у бітумі, призводить до незначного зменшення пенетрації за температури 25 °С (на 7 × 0,1 мм) та зменшення дуктильності приблизно на 20 см.

Таблиця 1 – Характеристики адгезійних добавок Iterlene

Показники якості	Значення показників для добавок		
	Iterlene IN/400-L Green	Iterlene PE-31	Iterlene SL/100-Plus
Тип	катионний на основі амінів	катионний на основі ефірів поліфосфорної кислоти	катионний на основі силанів
Зовнішній вигляд та колір	рідина жовтого або темно-коричневого кольору	в'язка рідина темно-червоного кольору	рідина з кольором від прозорого до жовтого
Щільність за 20 °С, г/см ³	0,90 ± 0,20	0,90 ± 0,10	1,07 ± 0,02
В'язкість за 20 °С, сП	200 ± 50	200 ± 100	
Температура займання, °С	≥ 140	≥ 150	≥ 120
pH	лужна	лужна	
Кислотне число, мг КОН/г			≥ 200
Рекомендована концентрація, %, від ваги бітуму	0,3–0,6	0,1–0,5	0,05–0,15

Таблиця 2 – Показники якості бітумних в'язучих

Властивості	Вихідний бітум	Бітуми з адгезійними добавками						Норми згідно з [9] та [10]	
		Iterlene IN/400-L Green	Iterlene PE-31	Iterlene SL/100-Plus	Iterlene IN/400-L Green	Iterlene PE-31	Iterlene SL/100-Plus		
Вміст домішки, %	-	0,3	0,6	0,1	0,5	0,05	0,15	-	
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	98	98	114	91	91	101	102	71...100	
Температура розм'якшеності (Тр), °С	46,9	46,3	44,8	46,7	46,3	46,3	45,8	45...51	
Температура крижкості, °С	-16	-17,5	-14	-17,5	-17	-18	-15,5	≤ -13	
Дуктильність за 25 °С, см	129	126	>150	107	111	125	99	≥ 60	
Зчеплованість зі склом за 85 °С, %	11,7	68,4	85,0	59,4	92,0	97,3	97,8	≥ 18* / ≥ 75**	
Індекс пенетрації	-0,27	-0,46	-0,44	-0,56	-0,68	-0,36	-0,48	- 2,0...1,0	
Старіння за методом, наведеним в ГОСТ 18180 [13]	Залишкова пенетрація, %	59,2	66,3	58,8	63,7	62,6	64,4	65,7	≥ 59
	Зміна Тр, °С	1,5	3,5	3,6	3,3	4	3,8	5,3	≤ 6,0
	Зміна маси, %	0,14	-0,06	0,01	-0,43	-0,04	0,04	-0,59	≤ 0,9
	Температура крижкості, °С	-16	-16	-14,5	-15	-15	-16,5	-15,5	-
	Дуктильність за 25 °С, см	104	115	>150	>150	121	127	90	-
	Зчеплованість за 85 °С, %	7,7	16,6	39,4	33,3	69,0	65,7	95,7	≥ 65 **
Старіння за методом RTFOT, наведеним в ДСТУ Б EN 126607-1 [14]	Залишкова пенетрація, %	65,3	67,3	61,4	73,6	70,3	68,3	65,7	-
	Зміна Тр, °С	2,3	2,7	4,6	2,6	3,5	3,8	3,6	-
	Зміна маси, %	0,16	-0,02	0,07	0,36	0,09	0,06	0,65	-
	Температура крижкості, °С	-15,5	-17	-16,5	-17	-18,5	-15,5	-14,5	-
	Дуктильність за 25 °С, см	97	103	>150	101	93	>150	108	-
	Зчеплованість за 85 °С, %	8,6	19,0	51,2	44,3	86,0	91,9	99,1	≥ 60 **

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

Введення добавки Iterlene SL/100-Plus не призводить до зміни penetрації в'язучого та температури розм'якшеності, значення якої відрізняються від температури розм'якшеності вихідного бітуму не більше ніж на 1,1 °С, що знаходиться в межах похибки випробування. Водночас введення у вихідний бітум максимальної концентрації добавки в кількості 0,15 % призводить до зменшення дуктильності за температури 25 °С майже на 30 см, що є найбільшим серед прийнятих добавок.

Унаслідок модифікації вихідного бітуму всіма прийнятими в роботі адгезійними добавками Iterlene спостерігається незначна зміна структурно-реологічного типу в'язучого в бік наближення до типу «золь», що підтверджується зміною значень індексу penetрації з мінус 0,27 у вихідного бітуму до мінус 0,36 ... мінус 0,68 у бітумів з адгезійними добавками.

Добавки Iterlene є певними інгібіторами старіння, підтвердженням чого є підвищення значень залишкової penetрації після старіння як за методом, наведеним у ГОСТ 18180 [26], так і за методом RTFOT [27]. Незважаючи на те, що зміна властивостей бітумних в'язучих після старіння за методами ГОСТ 18180 та RTFOT повинна бути ідентичною [28], спостерігається різниця в показниках якості бітумів, модифікованих добавками Iterlene, зістарених різними методами. Так, після старіння за методом ГОСТ 18180 для в'язучих з добавками Iterlene до 7,1 % підвищується значення залишкової penetрації, із цим спостерігається й збільшення значень температур розм'якшеності відносно в'язучих до старіння (з 1,5 °С для вихідного бітуму до 3,3 °С ... 5,3 °С для бітумів з адгезійними добавками). Після старіння за RTFOT залишкова penetрація значно підвищується лише для бітуму з добавкою Iterlene PE-31 (до 8,3 %), тоді як для інших в'язучих значення залишкової penetрації знаходиться на рівні вихідного бітуму. Зміна значень температури розм'якшеності для всіх в'язучих є суттєво меншою ніж після старіння за ГОСТ 18180 і в середньому становить 3,5 °С, що майже не відрізняється від вихідного бітуму, для якого значення зміни температури розм'якшеності становить 2,3 °С.

Вплив добавок Iterlene на адгезійні властивості бітуму

Усі використані в роботі адгезійні добавки Iterlene підвищують адгезію бітуму як до по-

верхні скла, що прийнято еталонною поверхнею, яка забезпечує найгірші умови для зчеплюваності із бітумом, так і до поверхні кам'яних матеріалів.

Зчеплюваність з поверхнею скла визначалась шляхом витримування зразків зі скла розміром 75 × 25 мм, на поверхні яких рівномірно розподілена наважка бітуму в 0,35 г шаром завтовшки 200 мкм за температури 85 °С впродовж 25 хв. Отримані результати наведені в табл. 2 та на рис. 1.

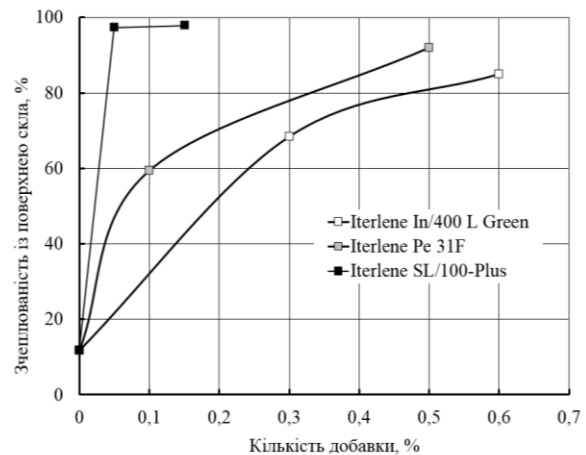


Рис. 1. Вплив адгезійних добавок Iterlene на зчеплюваність бітуму з поверхнею скла за умови температури 85 °С

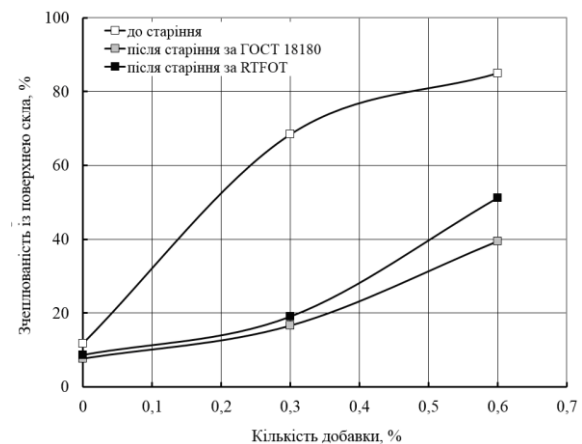


Рис. 2. Визначення термостабільності адгезійної домішки Iterlene IN/400-L Green

З прийнятих адгезійних добавок найбільш ефективною є Iterlene SL/100-Plus, введення якої в бітум в кількості лише 0,05 % підвищує зчеплюваність із поверхнею скла майже до 100 %. Інші добавки не забезпечують такої високої зчеплюваності. Так, введення добавки Iterlene PE-31 в мінімально рекомендованій виробником концентрації 0,1 % приводить до збільшення адгезії до 63,7 %, а введення цієї самої добавки в максимально ре-

комендованій виробником концентрації 0,5 % приводить до збільшення адгезії вихідного бітуму до 92 %. У разі застосування добавки Iterlene IN/400-L Green у кількості 0,3 % та 0,6 % адгезія бітуму з поверхнею скла збільшується до 66,3 % та 58,8 % відповідно. Отримані результати підтверджуються даними, наведеними в [9], згідно з якими застосування добавки Iterlene IN/400-L Green в кількості 0,3 % підвищило зчеплюваність бітуму з поверхнею скла з 17 % у вихідного бітуму до 72 % у бітуму з добавкою.

Однією з основних вимог, що висуваються до адгезійних добавок, крім підвищення адгезійної здатності в'язучих, є їхня термостабільність, яку можна оцінити через відсутність зниження зчеплюваності в'язучого після тривалого витримування за високої температури. Термостабільність адгезійних добавок Iterlene оцінювалась за зміною показника зчеплюваності з поверхнею скла після старіння в'язучого.

Згідно з отриманими результатами, наведеними на рис. 2–4, найменшою термостабільністю визначається адгезійна добавка Iterlene IN/400-L Green. Зчеплюваність бітуму з 0,3 % цієї добавки зменшується з 66,3 % до 16,6 % після старіння за методом, наведеним у ГОСТ 18180, та до 19 % після старіння за методом RTFOT, тобто майже до рівня бітуму без добавки. Отже, введення цієї добавки в бітум у мінімальній концентрації не є ефективним, оскільки після приготування асфальтобетонної суміші добавка не буде впливати на зчеплюваність бітуму з поверхнею кам'яних матеріалів.

Термостабільність бітуму з 0,6 % добавки Iterlene IN/400-L Green є дещо вищою – зчеплюваність після витримування в'язучого за температури 163 °С впродовж 5 год (метод ГОСТ 18180) зменшується з 58,8 % до 39,4 %, а після витримування в'язучого за температури 163 °С впродовж 85 хв із примусовою подачею повітря (метод RTFOT) до 51,2 %. Ці значення, хоча і є дещо вищими, але не відповідають нормам, наведеним у СОУ 45.2-00018112-067 [23]. З вищенаведених даних більш вагомим фактором, що впливає на зниження термостабільності адгезійної добавки Iterlene IN/400-L Green, є тривалий вплив високої температури, таким чином введення цієї добавки в бітум є більш доцільним безпосередньо в бітумопровід під час подачі бітуму в асфальтозмішувальну установку.

Згідно з даними, наведеними на рис. 2,

ефективність адгезійної добавки Iterlene IN/400-L Green можна підвищити шляхом збільшення рекомендованої концентрації цієї добавки в бітумі, орієнтовно до 1 %. У разі такого збільшення, ймовірно, можливо досягти 100 % зчеплюваності бітуму з поверхнею скла до старіння та 70–80 % зчеплюваності в'язучого з поверхнею скла після старіння. Доцільність такого збільшення концентрації може бути встановлена за результатами економічного розрахунку.

Добавка Iterlene PE-31 характеризується низькою термостабільністю за умови її введення в бітум в мінімальній концентрації 0,1 % (зчеплюваність знижується з 59,4 % до 33,3 % та 44,3 % відповідно після старіння за методами ГОСТ 18180 та RTFOT) та задовільною термостабільністю, яка відповідає вимогам, наведеним у СОУ 45.2-00018112-067 [23], у разі введення в бітум у максимально рекомендованій виробником концентрації 0,5 % (зчеплюваність знижується з 92 % до 69 % та 86 % відповідно після старіння за ГОСТ 18180 та RTFOT).

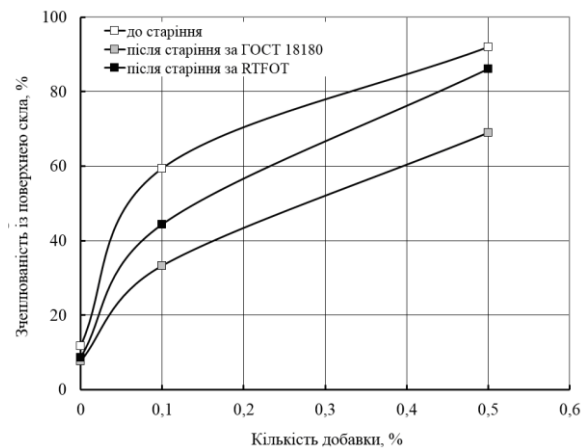


Рис. 3. Визначення термостабільності адгезійної добавки Iterlene PE-31

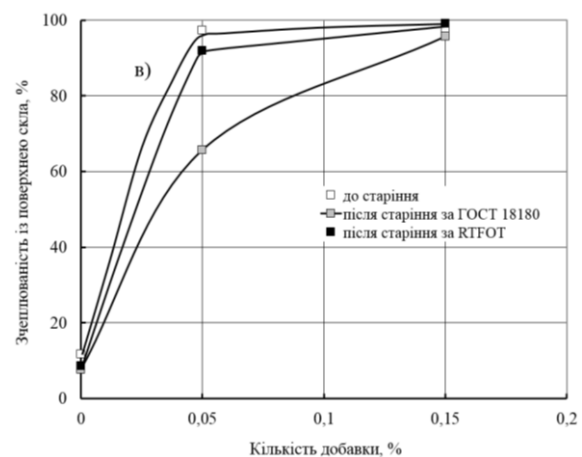


Рис. 4. Визначення термостабільності адгезійної добавки Iterlene SL/100-Plus

Найвищу термостабільність серед прийнятих у роботі адгезійних добавок має Iterlene SL/100-Plus. Введення в бітум цієї добавки як в мінімально, так і в максимально рекомендованій виробником концентрації, призводить до того, що зчеплюваність після старіння перевищує мінімально встановлені значення в СОУ 45.2-00018112-067 [23]. У цьому випадку через введення добавки в бітум у максимально рекомендованої виробником концентрації значення зчеплюваності з поверхнею скла після старіння за обома прийнятими в роботі методами залишається такою самою високою, як і в не зістареного в'язучого.

Для всіх прийнятих у роботі добавках Iterlene найбільше зменшення зчеплюваності в разі старіння відбувається за рахунок тривалого впливу високих температур, тому для підвищення ефективності використання цих добавок потрібно зменшити час витримування модифікованого бітумного в'язучого за високих температур під час приготування асфальтобетонних сумішей.

Враховуючи високу ефективність у підвищенні зчеплюваності прийнятого бітуму з поверхнею скла та високу термостабільність добавки Iterlene SL/100-Plus, додатково була оцінена зчеплюваність бітуму з максимальною концентрацією цієї добавки за допомогою методу обертання пляшки згідно з ДСТУ EN 12697-11 [25].

Як кам'яний матеріал використовувався щебінь фракції 5–10 мм, отриманий із різних кар'єрів України (мармуровий вапняк, сірий граніт Редутського гранітного кар'єру та граніт Мокрянського кар'єру) (рис. 5).



Рис. 5. Зовнішній вигляд кам'яних матеріалів

Вибір кам'яних матеріалів було обумовлено належністю їх до різних груп за генезом (граніт – вивержена магматична порода, вапняк – осадова гірська порода), наявністю різних породоутворювальних мінералів (граніт вміщує кремнезем SiO_2 , вапняк – кальцит

CaCO_3) та за призначенням в асфальтобетонній суміші (граніт – щебінь, вапняк – мінеральний порошок). Вибір граніту Мокрянського кар'єру додатково обумовлений тим, що згідно із СОУ 45.2-00018112-067 [23] саме щебінь цього кар'єру використовується як еталонний у процесі проведення порівняльних та сертифікаційних випробувань.

Оцінювання зчеплюваності бітуму з 0,15 % добавки Iterlene SL/100-Plus з поверхнею зерен кам'яних матеріалів виконувалося після 6 год, 12 год, 18 год та 24 год обертання пляшок із кам'яними матеріалами в дистильованій воді. Для об'єктивності оцінювання здійснювалось чисельним методом за допомогою вільно поширюваного реєстрового графічного редактора Gimp. Результати визначення зчеплюваності наведені на рис. 6.

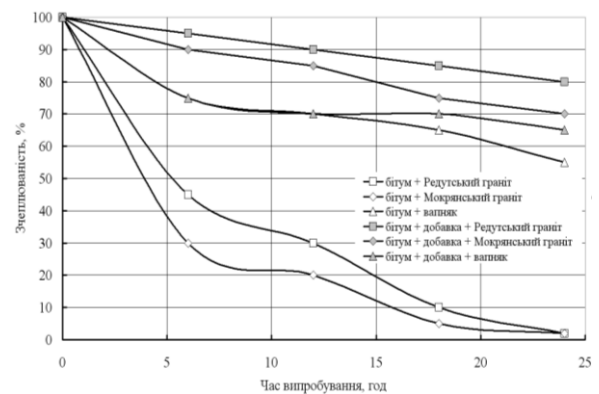


Рис. 6. Результати визначення зчеплюваності бітуму без добавки та з 0,15 % домішки Iterlene SL/100-Plus з поверхнею різних кам'яних матеріалів за методом обертання пляшки

Згідно з отриманими результатами (рис. 6), добавка Iterlene SL/100-Plus суттєво підвищує зчеплюваність бітуму з поверхнею прийнятих у випробуванні гранітів. Навіть після 24 год випробування зчеплюваність модифікованого бітумного в'язучого з поверхнею граніту з Мокрянського кар'єру становить 70 %, а з поверхнею зерен граніту з Редутського кар'єру – 80 %. Водночас добавка Iterlene SL/100-Plus майже не впливає на зчеплюваність бітуму з поверхнею зерен вапняку – після випробування впродовж 24 год лише 55 % зерен вапняку залишилися вкритими бітумом без добавки та 65 % зерен бітумом із добавкою. Тобто добавка Iterlene SL/100-Plus ймовірно не впливає на зчеплюваність бітумного в'язучого з поверхнею вапнякового мінерального порошку. Зовнішній вигляд зерен кам'яних матеріалів після випробування наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Зовнішній вигляд зерен щебню, обробленого в'язучими після випробування за методом обертання пляшки впродовж 24 год

Кам'яні матеріали	Бітум БНД 70/100	
	без добавки	з 0,15 % Iterlene SL/100-Plus
граніт Мокрянського кар'єру		
граніт Редутського кар'єру		
вапняк		

Висновки

На основі експериментально отриманих результатів встановлено:

1. Добавки Iterlene майже не впливають на стандарті показники якості вихідного бітуму. Лише в разі використання Iterlene PE-31 спостерігається незначне зменшення пенетрації, а за умови застосування добавок Iterlene PE-31 та Iterlene SL/100-Plus відповідно на 20 см і 30 см зменшується розтяжність за 25 °С. Введення у вихідний бітум прийнятих у роботі добавок Iterlene призводить до незначної зміни структурно-реологічного типу в'язучого в бік наближення до типу «золь».

2. Адгезійні добавки Iterlene по-різному впливають на зчеплюваність бітуму з поверхнею скла. Найбільше підвищення зчеплюваності прийнятого бітуму марки БНД 70/100 з поверхнею скла спостерігається в процесі використання добавки Iterlene SL/100-Plus (97 % навіть за умови мінімально рекомендованої виробником концентрації), а найменше підвищення – у разі використання добавки Iterlene IN/400-L Green (до 85 % за умови максимально рекомендованої виробником концентрації добавки).

3. Добавка Iterlene IN/400-L Green харак-

теризується найменшою термостабільністю – зчеплюваність із поверхню скла в разі мінімальної концентрації добавки зменшується після старіння в'язучого майже до значень зчеплюваності бітуму без добавки. Тоді як добавка Iterlene SL/100-Plus навіть за умови мінімально рекомендованої виробником концентрації забезпечує 97 % зчеплюваності з поверхнею скла. Для запобігання зниження термостабільності добавок Iterlene їх доцільно вводити в бітумопровід безпосередньо під час подачі бітуму в асфальтозмішувач.

4. У процесі визначення зчеплюваності методом обертання пляшки впродовж 24 год встановлено, що введення в бітум 0,15 % добавки Iterlene SL/100-Plus призводить до збільшення зчеплюваності в'язучого з поверхнею зерен граніту з 2 % до 70–80 %. Водночас ця добавка майже не впливає на зчеплюваність бітуму з поверхнею зерен вапняку.

Література

- DeCarlo C., Dave E. V., Sias J. E., Airey G., Mallick R. Comparative evaluation of moisture susceptibility test methods for routine usage in asphalt mixture design. *Journal of Testing and Evaluation*, 2020. № 48(1). P. 88–106.
- State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
- Zvenjniaks A. Progress with adhesion-improving bitumen additives. Highway Research Board Bulletin. 1958. № 192. P. 26–33.
- Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. Москва: Транспорт, 1973. 264 с.
- Лысихина А. И. Поверхностно-активные добавки для повышения водоустойчивости дорожных покрытий с применением битумов и дегтей. Москва: Автотрансиздат, 1959. 232 с.
- Горельшева Л. А. Теоретические аспекты систематизации добавок, улучшающих свойства битумного вяжущего и асфальтобетонной смеси. Дороги и мосты. 2019. № 2. С. 203–236.
- Шемонаева Д. С. Улучшение сцепления битума с минеральным материалом. *Автомобильные дороги*. 1978. № 3. С. 19–20.
- Золотарьов В. О., Агеєва О. М., Пиріг Я. І., Єфремов С. В. Вплив адгезійної добавки Wetfix VE 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.
- Oliviero Rossi C., Teltayev B., Angelico R. Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. *Applied Sciences*. 2017. Т. 7. № 5. P. 524–534.

11. Rossi C. O. et al. Effects of adhesion promoters on the contact angle of bitumen-aggregate interface. *International Journal of Adhesion and Adhesives*. 2016. Т. 70. Р. 297–303.
12. Ивкин А.С. Закономерности взаимодействия битума с минеральными материалами при температурах производства асфальтобетонных смесей: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.07 / Санкт-Петербургский горный университет. Санкт-Петербург, 2019. 112 с.
13. DiVito J.A., Morris G.R. Silane pretreatment of mineral aggregate to prevent stripping in flexible pavements. 1982. № 843. Р. 104–111.
14. Mirzababaei P., Moghadas Nejad F., Naderi K. Effect of liquid silane-based anti-stripping additives on rheological properties of asphalt binder and hot mix asphalt moisture sensitivity. *Road Materials and Pavement Design*. 2020. Т. 21. № 2. Р. 570–585.
15. Liu H., Zhang M., Wang Y., Chen Z., Hao P. Rheological properties and modification mechanism of polyphosphoric acid-modified asphalt. *Road Materials and Pavement Design*. 2020. Т. 21. № 4. Р. 1078–1095.
16. Thomas K. P., Turner T. F. Polyphosphoric-acid modification of asphalt binders: Impact on rheological and thermal properties. *Road materials and pavement design*. 2008. Т. 9. № 2. Р. 181–205.
17. Martin J. V. Asphalt chemically modified with polyphosphoric acid. North East Asphalt User / Producer Group, Portsmouth. 2004. 41 p.
18. D'Angelo J. A. Polyphosphoric Acid Modification of Asphalt Binders: A Workshop. Workshop Summary. Transportation Research Circular. 2012. № E-C160. 173 p.
19. Eskandarsefat S. Anti-stripping agents: a durable pavement formula. *Road surface technology*. 2021. № 5. Р. 4–7.
20. Соломенцев А. Б., Мосюра Л. С. Оценка эффективности и технологичности адгезионных добавок для дорожного битума и асфальтобетона. *Инновации в строительстве*. 2017. С. 137–142.
21. Никонова О. Н. Анализ эффективности адгезионных добавок на местных каменных материалах. *Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования*. 2011. С. 207–210.
22. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний з 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 12 с.
23. 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.
24. 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.
25. 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.
26. 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.
27. 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. Ч. 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2016. 23 с.
28. Davison R. R. et al. Design and Use of Superior Asphalt Binders. Diane Publishing, 1994. 214 p.

References

1. DeCarlo, C., Dave, E. V., Sias, J. E., Airey, G., & Mallick, R. (2020). Comparative evaluation of moisture susceptibility test methods for routine usage in asphalt mixture design. *Journal of Testing and Evaluation*, 48(1), 88–106.
2. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures*. Special report 98. 8.
3. Zvenjnieks, A. (1958). Progress with adhesion-improving bitumen additives. Highway Research Board Bulletin, № 192. 26–33.
4. Kolbanovskaja, A.S., & Mihajlov, V.V. (1973). Dorozhnye bitumy [Road bitumen]. Moscow: Transport. 198–199 [in Russian].
5. 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]. Moscow: Avtotransizdat [in Russian].
6. Gorelysheva L. A. (2019). Teoreticheskie aspekty sistemizatsii dobavok, uluchshajushhih 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*. 2019. № 2. Р. 203–236 [in Russian].
7. Shemonaeva, D. S. (1978). Uluchshenie sčepeniija bituma s mineral'nym materialom [Improving the adhesion of bitumen to mineral material]. *Avtomobilnye dorogi*. № 3. Р. 19–20 [in Russian].
8. Zolotar'ov, V. O., Ageeva, O. M., Pirig, Ja. I., & Ćfremov, S. V. (2002). Vpliv adgezijnoi dobavki Wetfix BE na vlastivosti bitumu ta asfal'tobetonu [Injection of the adhesive additive Wetfix BE on the power of bitum and asphalt concrete]. *Avtoshljahovik Ukraїni*, (1). Р. 29–31 [in Ukrainian].
9. Zhdanjuk, V. K., & Shurupova, A. A. (2014).

- Porivnjal'ni doslidzhennja vplyvu poverhnevo-aktivnyh rečovyn na pokaznyk zcheplennja bitumiv z mineral'noju poverhneju [Comparative studies of the effect of surfactants on the rate of adhesion of bitumen to the mineral surface]. *Naukovi notatky*, (45). P. 188–192 [in Ukrainian].
10. Oliviero Rossi, C., Teltayev, B., & Angelico, R. (2017). Adhesion promoters in bituminous road materials: A review. *Applied Sciences*, 7(5). 524 p.
 11. Rossi, C. O., Caputo, P., Baldino, N., Lupi, F. R., Miriello, D., & Angelico, R. (2016). Effects of adhesion promoters on the contact angle of bitumen-aggregate interface. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 70. P. 297–303.
 12. Ivkin, A. S. (2019). Zakonomernosti vzaimodejstvija bituma s mineral'nymi materialami pri temperaturah proizvodstva asfal'tobetonnyh smesej [Patterns of the interaction of bitumen with mineral materials at temperatures for the production of asphalt concrete mixtures] Extended abstract of candidate's thesis. Sankt-Peterburg, 112 p. [in Russian].
 13. DiVito, J. A., & Morris, G. R. (1982). Silane pretreatment of mineral aggregate to prevent stripping in flexible pavements. *Transportation Research Record*. № 843. P. 104–111.
 14. Mirzababaei, P., Moghadas Nejad, F., & Naderi, K. (2020). Effect of liquid silane-based anti-stripping additives on rheological properties of asphalt binder and hot mix asphalt moisture sensitivity. *Road Materials and Pavement Design*. T. 21. № 2. P. 570–585.
 15. Liu, H., Zhang, M., Wang, Y., Chen, Z., & Hao, P. (2020). Rheological properties and modification mechanism of polyphosphoric acid-modified asphalt. *Road Materials and Pavement Design*. T. 21. № 4. P. 1078–1095.
 16. Thomas, K. P., & Turner, T. F. (2008). Polyphosphoric-acid modification of asphalt binders: Impact on rheological and thermal properties. *Road materials and pavement design*. T. 9. № 2. P. 181–205.
 17. Martin, J. V. (2004). Asphalt chemically modified with polyphosphoric acid. North East Asphalt User / Producer Group, Portsmouth. 41 p.
 18. D'Angelo, J. A. (2012). Polyphosphoric Acid Modification of Asphalt Binders: A Workshop. Workshop Summary. *Transportation Research Circular*. № E-C160. 173 p.
 19. Eskandarsefat, S. (2021). Anti-stripping agents: a durable pavement formula. *Road surface technology*. № 5. P. 4–7.
 20. Solomencev, A. B., & Mosjura, L. S. (2017). Ocenka effektivnosti i tehnologichnosti adgezionnyh dobavok dlja dorozhnogo bituma i asfal'tobetona [Evaluation of efficiency and technology of adhesion additives for road bitumen and asphalt concrete]. In *Innovacii v stroitel'stve-2017*. P. 137–142 [in Russian].
 21. Nikonova, O. N. (2011). Analiz jeffektivnosti adgezionnyh dobavok na mestnyh kamennyh materialah [Analysis of the effectiveness of adhesive additives on local stone materials]. In *Razvitie dorozhno-transportnogo kompleksa i stroitel'noj infrastruktury na osnove racional'nogo prirodopol'zovanija*. P. 207–210 [in Russian].
 22. 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].
 23. Bitumy dorozhni viazki, modyfikovani dobavkami 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].
 24. Budivel'ni materiali. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zcheplennia z poverkhneiu 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 Ukraïni. 5 p. [in Ukrainian].
 25. Bitumomineral'ni sumishi. Metodi viprobuvannia gariachikh asfal'tobetonnikh sumishei. Chastina 11. Vznachennia zcheplivanosti 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].
 26. GOST 18180-72 (ST SJeV 4543-84) Bitumy neft-janye. Metod opredelenija izmenenija massy posle progreva [Petroleum bitumens. Method for determination of mass change after heating]. Not valid. Moscow: Mezhhgosudarstvennyj Sovet po standartizacii, metrologii i sertifikacii. 1972. 4 p. [in Russian].
 22. Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Vyznachennja oporu do tverdinnja pid vplyvom teploty ta povitrya. 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].
 27. Davison, R. R. (1994). *Design and Use of Superior Asphalt Binders*. Diane Publishing. 214 p.
- 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. +38098-44-66-268, piring2000@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, a.galkin0906@gmail.com,

Новаковська Вікторія Яківна, к.т.н., асистент кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25,

тел. +38067-996-33-75, v.y.novakovska@ukr.net,

Роман Павло Сергійович, завідувач сектору органічних в'язучих лабораторії випробувань, ДП «Дорожній науково-технічний центр», Україна, м. Київ, 02160, вул. Каунаська, 3,

тел. +38066-073-48-20, parcel.roman17@gmail.com.

Effect of Iterlene adhesion promoters on pavement bitumen properties

Abstract. Problem. Moisture is one of the most important factors of impact on asphalt quality. Water strips bitumen films from the mineral material surface. This process causes peeling on the pavement surface that leads to potholes appearing and a pavement disintegration as a result. The low adhesion between bitumen binder and mineral surface is a key factor of this process. The most common way to increase adhesion is modification of bitumen with adhesion promoters (antistripping agents) which are presented in a wide range of varieties that expands as the volume of their use in road industry grows. **Goal.** The goal of this research is to estimate the effect of the Iterlene additives of various chemical compositions (amine, polyphosphoric and silane) on pavement bitumen properties. **Methodology.** The commonly used in Ukraine's road industry bitumen BND 70/100 is used for modification with two concentrations of Iterlene IN/400-L Green, Iterlene PE-31 and Iterlene SL/100-Plus. The quality of obtained binders is estimated with actual national standard DSTU 4044 and SOU 45.2-00018112-067. **Results.** With the obtained data it is found that adhesion promoters Iterlene have almost no influence on the standard qualitative indices of bitumen. Meanwhile the chosen additives change bitumen adhesion to various degrees. The most effective in this way is the additive of silane type Iterlene SL/100-Plus. Its minimal required concentration raises adhesion value up to 97 %.

The less effective is the amine type of additive Iterlene IN/400-L Green. Its maximal required concentration leads to adhesion increasing up to 85 % only.

Originality. In this research work the evaluation is performed of the thermal stability of the Iterlene additives of various chemical types on the adhesion changing after hardening by RTFOT and TFOT methods. It was found that adhesion of bitumen with Iterlene IN/400-L Green additive after hardening by both methods returns to initial values of adhesion of non-modified bitumen. The highest thermal stability is inherited for Iterlene SL/100-Plus additive. For the bitumen with maximal required concentration of this additive the adhesion value after hardening by both TFOT and RTFOT methods does not change at all.

Practical value. By the results of the Rolling Bottle Test, it was found that 70 – 80 % of granite surface stays covered with binder modified by Iterlene SL/100-Plus after 24 hours of test time. Meanwhile this adhesion promoter does not (or almost does not) increase adhesion in the case of limestone grains in this test.

Key words: adhesion promoter, bitumen, adhesion, thermal stability, hardening.

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 Andrii, 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,

Novakovska V., Ph.D. (Eng.), assistant, The department of automobile road construction and maintenance, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +38067-996-33-75, v.y.novakovska@ukr.net,

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, parcel.roman17@gmail.com.