

УДК 625.855

АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНИ, ВИГОТОВЛЕНІ ШЛЯХОМ ВВЕДЕННЯ ПОЛІМЕРУ БЕЗПОСЕРЕДНЬО В СУМІШ

Я.І. Пиріг, с.т.с., к.т.н., А.В. Галкін, н.с., к.т.н., М.А. Свинар'ов, н.с., к.т.н.,
В.П. Корюк, м.н.с., Я.В. Ільїн, аспірант, В.О. Золотар'ов, проф., д.т.н.,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Розглянуто можливість виготовлення асфальтополімербетонів шляхом введення полімеру типу СБС безпосередньо в суміш кам'яних матеріалів. Показано вплив технологічних факторів виготовлення асфальтополімербетонних сумішей на фізико-механічні показники якості асфальтополімербетонів.

Ключові слова: бітум, полімер, асфальтобетонна суміш, асфальтобетон, міцність.

АСФАЛЬТОПОЛИМЕРБЕТОНЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ ПУТЕМ ВВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРА НЕПОСРЕДСТВЕННО В СМЕСЬ

Я.И. Пыриг, с.н.с., к.т.н., А.В. Галкин, н.с., к.т.н., М.А. Свинар'ев, н.с., к.т.н.,
В.П. Корюк, м.н.с., Я.В. Ильин, аспирант, В.А. Золотарев, проф., д.т.н.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Рассмотрена возможность изготовления асфальтополимербетонов путем введения полимера типа СБС непосредственно в смесь каменных материалов. Показано влияние технологических факторов изготовления асфальтополимербетонных смесей на физико-механические показатели качества асфальтополимербетонов.

Ключевые слова: битум, полимер, асфальтобетонная смесь, асфальтобетон, прочность.

ASPHALTPOLYMERCONCRETE MADE BY ADDING POLYMER DIRECTLY IN A MIXTURE

Y. Pyrig, Ph.D. (Eng.), A. Galkin, Ph.D. (Eng.), M. Svyndarov, Ph.D. (Eng.),
V. Koriuk, J. Researcher, Y. Ilyin, P.G., V. Zolotar'ov, Prof., D.Sc. (Eng.)
Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. The possibility of asphaltpolymerconcrete manufacturing by directly adding of SBS type polymer into a mixture of stone materials is considered. The influence of technological factors of asphaltpolymerconcrete mixtures manufacture on physical and mechanical quality parameters of asphaltpolymerconcrete is shown.

Key words: bitumen, polymer, asphalt mix, asphalt concrete, strength.

Вступ

Асфальтобетонне покриття повинно забезпечувати впродовж всього терміну служби максимальну нормовану міцність та зручність, чинити опір втомним руйнуванням, бути стійким до впливу добових і сезонних температурних циклів. Сьогодні одним з найбільш перспективних напрямів, що до-

зволяє підвищити якість асфальтобетонних сумішей під час їх виробництва та зберігати фізико-механічні властивості асфальтобетонів незмінними впродовж терміну служби, є застосування бітумів, модифікованих полімерами.

Технології виготовлення бітумополімерних в'язучих широко застосовуються як у зару-

біжній, так і у вітчизняній дорожній практиці. Для цих технологій розроблено технологічні регламенти, встановлено потрібні температури та час суміщення бітуму з полімерами.

Особливістю технології виготовлення асфальтополімербетонів на бітумах, модифікованих полімерами, є необхідність дообладнання асфальтобетонного заводу додатковим обладнанням і забезпечення спеціальних умов зберігання та транспортування бітумополімерного в'язучого, яке може розшаруватися.

За неможливості або недоцільності дообладнання асфальтобетонних заводів спеціальним обладнанням для приготування та зберігання в'язучого, модифікованого полімером, можливе використання прямого введення полімерних добавок в асфальтобетонну суміш, що дозволяє скоротити вартість модифікованого асфальтобетону і спростити технологію його виробництва.

Сучасний ринок будівельних матеріалів пропонує широкий вибір полімерів, що використовуються для модифікування асфальтобетонних сумішей. Практично всі пропонувані виробниками полімери використовуються для модифікування в'язучих, але при цьому виробники не заперечують можливості прямого введення полімерів безпосередньо в асфальтобетонну суміш, хоча і попереджають про меншу міру ефективності модифікування.

Технологія введення полімерів безпосередньо в асфальтобетонну суміш має ряд істотних переваг: відсутність необхідності у використанні додаткового змішувального обладнання для приготування бітумополімерного в'язучого; відсутність необхідності використання додаткових ємностей для зберігання бітумополімерного в'язучого; усунення розшарування в'язучого у процесі тривалого зберігання полімербітумного в'язучого, особливо такого, що містить велику кількість полімеру (більше 6 % від маси бітуму); зниження енергоресурсів на приготування асфальтополімербетонних сумішей за рахунок усунення додаткових операцій із приготування бітумополімерних в'язучих та зниження температурних режимів їх ущільнення.

Аналіз публікацій

Полімерні добавки, що вводяться безпосередньо в асфальтобетонну суміш, можна умовно поділити на дві групи – сумісні з бітумом та мало сумісні з бітумом.

До першої групи належать полімери, що добре модифікують в'язуче; в той же час вони можуть використовуватися і для безпосереднього введення в асфальтобетонну суміш. Згідно [1] при використанні таких полімерів для модифікування асфальтобетонних сумішей часу прямого контакту добавки з в'язучим замало для забезпечення повного розподілу полімеру в бітумі, набухання полімеру в мальтенах бітуму та створення розвиненої просторової сітки у в'язучому. Саме через це ефективність модифікації значно менша, ніж при прямому введенні полімеру в бітум.

Друга група – це добавки на основі подрібненої гумової крихти та поліолефіни.

За останні декілька років на теренах колишнього СРСР було створено декілька полімерних добавок на основі гумової крихти, що вводяться безпосередньо в асфальтобетонну суміш – КМА, Унірем, РТЭП [2–4].

КМА – комплексний модифікатор асфальтобетону, що виготовляється на основі гумового порошку, прискорювача набухання гуми, зшиваючого агента й адгезійної добавки. Добавка КМА вводиться безпосередньо в асфальтобетонну змішувальну установку в кількості 0,5–2,0 % від маси мінеральної частини суміші. При застосуванні цього модифікатора виробник вимагає витримувати суміш перед укладанням не менше 30 хвилин. Унірем – універсальний модифікатор асфальтобетону, основою якого є девулканізована гума, яку отримують із несорттованих відпрацьованих автопокришок методом високотемпературного зсувового подрібнення. Модифікатор РТЭП складається з гумополімерного матеріалу, бітумного в'язучого, антиоксиданту.

У роботах [2, 3] наведено порівняльні дослідження впливу вищевказаних добавок, що вводилися безпосередньо в асфальтозмішувач через окремий дозатор або по лінії подачі і через дозатор мінерального порошку, на властивості щебенево-мастикових асфальто-

бетонів та гарячих дрібнозернистих асфальтобетонів типу А. Експериментальні дані, наведені в [2, 3], свідчать про збільшення інтервалу працездатності асфальтобетонів за рахунок підвищення деформативної жорсткості влітку і втомної витривалості за помірних температур.

У роботі [4] наведено дані порівняльного дослідження впливу на властивості асфальтополімербетонів полімеру РТЄП при його безпосередньому введенні в асфальтобетонну суміш та полімерів Кратон Д-1101 і каучуку типу СКС при введенні їх у бітум. Згідно з наведеними даними полімерний модифікатор РТЄП значно підвищує міцнісні показники якості асфальтобетонів, але негативно впливає на його водостійкість.

Поліолефіни застосовуються, головним чином, шляхом введення безпосередньо в асфальтобетонну суміш із використанням технологічної лінії подачі стабілізуючих добавок. Це пояснюється важкістю їх диспергування в бітумі, низькою розчинністю в ньому. При введенні в бітум поліолефінів утворюється дуже нестабільна дисперсія, яка швидко розшарується. Значною перевагою цього виду полімерів є відсутність подвійних зв'язків, що забезпечує високу стійкість до старіння асфальтобетонів. При введенні в асфальтобетонну суміш полімери цієї групи не взаємодіють або дуже слабо взаємодіють із деякими фракціями бітуму. Вони рекристалізуються у процесі охолодження й утворюють більш або менш розвинену однорідну сіткоподібну дисперсію [1].

Поліолефіни у вигляді гранул вводяться в асфальтобетонну суміш в кількості 4–8 % від маси бітуму на гарячі кам'яні матеріали перед введенням бітуму.

Поліолефіни використовуються переважно в щербеново-мастикових сумішах для запобігання стіканню та міграції в'язучого, а також в нижніх шарах дорожнього одягу. З недавнього часу ці полімери стали використовуватися для модифікування асфальтобетонних сумішей, для верхніх шарів одягу з метою підвищення їх зсувостійкості [1].

До полімерів, що використовуються в Україні для модифікування асфальтобетонів шляхом безпосереднього введення в асфальтобе-

тонну суміш, належать Butonal NS 104, Butonal NS 198, Superplast, Полідом.

Найбільш широко для модифікування асфальтобетонів шляхом прямого введення полімерів безпосередньо в суміш застосовуються латекси Butonal NS 104 та Butonal NS 198. Вони являють собою відповідно аніонний та катіонний полімерні латекси.

Властивості в'язучих та асфальтобетонів, модифікованих за допомогою латексів Butonal, в Україні широко досліджувалися в минулі роки. Це лягло в основу розробки ТР 218-03450778-374:2006 «Типовий технологічний регламент на застосування латексів Butonal NS 104 і Butonal NS 198 для модифікації бітумів, бітумних емульсій та асфальтобетонів», в якому також наведено технологію та технологічні параметри модифікування асфальтобетонів латексами серії Butonal шляхом безпосереднього введення в асфальтобетонну суміш [5].

Дещо збільшена кількість латексу при введенні його безпосередньо в асфальтобетонну суміш (2,3–2,8 % твердого полімеру замість 1,8–2,3 % твердого полімеру для БМП) пояснюється необхідністю рівномірного розподілу полімеру по всій суміші, що у випадку використання в'язучого, модифікованого полімером, досягається краще за рахунок покриття кам'яних матеріалів тонкою плівкою в'язучого [6].

Полімерна добавка Superplast, що виробляється італійською компанією ITERNIMICA, являє собою аморфний поліолефін – суміш перероблених із вторинної сировини полімерів етилену. Рекомендоване дозування добавки становить 4,0–8,0 % від маси бітуму [7, 8].

Введення добавки Superplast в щербеново-мастиковий асфальтобетон призводить до збільшення значень границі міцності при стиску (в 1,13 раза для міцності на стиск при 20 °С та в 1,33 раза для міцності на стиск при 50 °С), границь міцності на розтяг при згині (в 1,26 раза при 0 °С та в 1,42 раза при 20 °С) та при розколі при 0 °С (в 1,74 раза) [8].

Вітчизняний полімер «Полідом», створений в ДерждорНДІ, використовується як для модифікування в'язучих, так і безпосередньо асфальтобетонних сумішей. Розробником добавки [9] наведено порівняльні дані щодо

модифікування дрібнозернистого асфальтобетону типу В шляхом введення «Полідому» в бітум та безпосередньо в асфальтобетонну суміш (в кількості 3 % від маси бітуму). Отримані результати випробувань свідчать, що фізико-механічні показники якості полімерасфальтобетону, виготовленого шляхом безпосереднього введення Полідому в суміш, близькі до показників асфальтобетону на модифікованому бітумі.

Таким чином, використання полімерів Butonal NS 104, Butonal NS 198, Superplast, «Полідом» для модифікування асфальтобетонів шляхом введення безпосередньо на кам'яні матеріали суміші досліджено у значному об'ємі. У той же час полімер стирол-бутадиєн-стирол (СБС), який випускається під різними торговельними марками та вже багато років широко використовується в дорожній галузі для модифікації в'язучих, як добавка для безпосереднього введення в мінеральну суміш під час приготування асфальтополімербетонних сумішей в Україні не застосовується.

Згідно з інформацією, наданою компанією KRATON®, полімер СБС зараз використовується за технологією безпосереднього введення в асфальтобетонну суміш в США, Японії (на цей момент – близько 10 % об'єму асфальтополімербетонних сумішей, що виготовляються взагалі, а ще 10 років тому – майже 33 % об'єму), Польщі (на сьогодні близько 5 % об'єму асфальтополімербетонів, що виготовляються, а ще декілька років назад – майже всі асфальтополімербетони виготовлялися шляхом введення полімеру безпосередньо в асфальтозмішувач) та інших країнах. І хоча виробник не забороняє застосовувати такий метод використання полімеру і допускає його у разі відсутності змішувального обладнання на АБЗ чи під час будівництва невеликих ділянок доріг, він наголошує на дещо меншій ефективності від модифікації.

Мета і постановка завдання

Метою проведеної роботи було визначення можливості модифікування асфальтобетонних сумішей полімером типу СБС шляхом його прямого введення в суміш мінеральних матеріалів та встановлення впливу технологічних факторів виготовлення сумішей на фізико-механічні показники якості асфальтополімербетонів.

Експериментальні дані

Однією з головних проблем при виготовленні асфальтополімербетонної суміші є введення полімеру в асфальтобетонну суміш та його рівномірний розподіл у ній. У ході виконання роботи було проведено дослідження впливу порядку введення полімеру в асфальтобетонну суміш на рівномірність його розподілу в суміші (використовуючи люмінесцентний метод) та на фізико-механічні показники якості асфальтополімербетонів. Перевірка виконувалась на асфальтополімербетонах типу Г, для виготовлення яких використовували гранітний відсів, вапняковий мінеральний порошок та бітум БНД 60/90 (пенетрація при 25 °С – 58 × 0,1 мм, температура розм'якшення – 49,7 °С, температура крихкості – мінус 19 °С). Полімер СБС 1101 вводився в суміш у кількості 6 % від вмісту бітуму. Виготовлено чотири партії асфальтобетонних зразків із сумішей одного складу, що відрізнялися порядком введення полімеру (табл. 1).

Таблиця 1 Порядок введення полімеру в асфальтобетонну суміш

№ суміші	Порядок введення компонентів суміші та час їх змішування			
1	2 хв		3 хв	
	В	+ МП	+ Б	
2	1 хв		1 хв	3 хв
	В	+ П	+ МП	+ Б
3	1 хв		1 хв	3 хв
	В	+ МП	+ П	+ Б
4	2 хв		3 хв	
	В	+ (МП+П)	+ Б	

Примітка: В – відсів, МП – мінеральний порошок, П – полімер, Б – бітум.

Змішування компонентів асфальтополімербетонних сумішей виконувалося в лабораторній мішалці. Нагрітий до температури 180 °С відсів об'єднувався з холодним мінеральним порошком та полімером. В кінці змішування до мінеральних матеріалів додавався нагрітий до 160 °С бітум. Час сухого змішування компонентів суміші при кожному порядку введення полімеру становив 2 хвилини. Загальний час змішування всієї суміші становив 5 хвилин. Після змішування

температура суміші становила 160–165 °С. Ущільнювання сумішей виконувалося секторним пресом [10].

Асфальтобетонні зразки випробували відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-89-99 з визначенням середньої густини (ρ_m), водонасичення (W), міцності на стиск при 20 °С сухих (R_{20}) та водонасичених ($R_{20}^{вод}$) зразків та міцності на стиск при 50 °С (R_{50}), коефіцієнта короткострокової водостійкості (K_v) (табл. 2).

Таблиця 2 Вплив порядку введення полімеру в асфальтобетонну суміш на показники якості асфальтополімербетону

№ суміші	ρ_m , кг/м ³	W , %	Міцність при стиску, МПа			K_v
			R_{20}	$R_{20}^{вод}$	R_{50}	
1	2240	3,9	4,21	3,99	1,55	0,95
2	2230	3,7	4,38	4,16	1,58	0,95
3	2230	3,7	4,56	4,51	1,66	0,99
4	2270	1,4	4,67	4,72	1,81	1,00

Порядок введення полімеру в мінеральні складові відбивається на властивостях асфальтополімербетону. Будь-який з узятих порядків введення полімеру в суміш супроводжується підвищенням міцнісних показників якості – від 1,04 до 1,11 раза для показника міцності при стиску при 20 °С та від 1,04 до 1,18 раза для показника міцності при стиску при 20 °С водонасичених зразків. Таке зростання знаходиться на рівні зростання показників якості при модифікуванні асфальтобетонів бітумополімерами в кількості 3 % [11, 12].

Найбільше зростання показників якості спостерігається при введенні полімеру в кам'яні матеріали одночасно з мінеральним порошком (схема 4), а найменше – при безпосередньому введенні полімеру на гарячий відсів (схема 2). При другій схемі введення полімеру в асфальтобетонну суміш ймовірна деградація полімеру при об'єднанні його з гарячим кам'яним матеріалом, за рахунок приклеювання частинок до зерен відсіву, що, у свою чергу, призводить до нерівномірного розподілу полімеру в об'ємі суміші.

Більш сприятливі умови розподілу полімеру – у холодному порошку з більш рівномірним розподілом частинок полімеру в суміші за рахунок усунення їх налипання на зерна відсіву. При цьому може мати місце конкуренція

за поглинання масел бітуму між частинками порошку та полімеру. При цьому варіанті введення полімеру (схема 4) спостерігається збільшення показника міцності при стиску при 20 °С в 1,11 раза, показника міцності при 20 °С у водонасиченому стані – в 1,18 раза, показника міцності при стиску при 50 °С – в 1,17 раза та найбільша водостійкість.

Проте п'яти хвилин перемішування полімеру з мінеральними матеріалами та бітумом недостатньо, щоб забезпечити набухання та пластифікацію полімеру бітумними маслами. У зв'язку з цим було змодельовано ситуацію, коли виготовлена асфальтобетонна суміш ще протягом певного часу зберігається в бункері готової суміші асфальтобетонної установки, а потім транспортується на місце її укладання. Було виявлено, що цей час може змінюватися від 0,5 до 2 год.

Асфальтополімербетонні суміші, виготовлені за схемою введення в нагрітий кам'яний матеріал попередньо змішаної суміші мінерального порошку та полімеру (схема 4), були витримані перед ущільненням у термошафі за температури 160 °С впродовж 0,5 год, 1 год та 3 год. Подальше ущільнення виконували на секторному пресі при 130–135 °С.

Отримані дані (табл. 3) свідчать про те, що час термостатування асфальтополімербетонних сумішей, виготовлених шляхом введення полімеру безпосередньо на кам'яні матеріали, суттєво впливає на їх міцнісні показники якості. Збільшення часу витримання сумішей до 2 годин веде до збільшення показника міцності при стиску при 20 °С в 1,22 раза, при стиску при 20 °С водонасичених зразків – в 1,31 раза, а при стиску при 50 °С – в 1,54 раза. Відносно асфальтобетону без вмісту полімеру це зростання відповідно становить – 1,38 раза для R_{20} , 1,57 раза для $R_{20}^{вод}$ та 1,7 раза для R_{50} . Найбільш інтенсивно показники якості бітумополімерів змінюються впродовж першої години витримання сумішей за температури 160 °С. Так, міцність при стиску при 20 °С за 0,5 години витримання зростає в 1,09 раза, за другу півгодину – ще в 1,09 раза, а за другу годину витримання – майже не змінилась. Подібна динаміка характерна і для показників міцності при стиску при 50 °С та при 20 °С для водонасичених зразків.

Таблиця 3 Вплив часу витримання асфальтополімербетонної суміші за температури 160 °С на показники якості асфальтополімербетону

№ суміші	Час витримання, год	ρ , г/см ²	W, %	Міцність при стиску, МПа			K _в
				R ₂₀	R ₂₀ ^{вод}	R ₅₀	
1	–	2240	3,9	4,21	3,99	1,55	0,95
	2	2270	2,4	5,8	6,28	2,64	1,08
4	–	2270	1,4	4,67	4,72	1,81	1,00
	0,5	2270	1,2	5,07	4,80	2,01	0,95
	1	2280	1,0	5,52	5,32	2,33	0,96
	2	2290	1,0	5,72	6,17	2,78	1,00

Менший ступінь збільшення міцності асфальтополімербетонів, виготовлених шляхом введення полімеру безпосередньо на кам'яні матеріали, порівняно з асфальтобетоном на бітумі, після витримання суміші за температури виготовлення пояснюється інгібуючою дією полімеру та поглинанням ним бітумних масел. Це погоджується з результатами раніше виконаних досліджень [13], за якими penetрація та температура розм'якшення бітумополімерних в'язучих після 8 годин змішування за температури 180 °С залишилась майже на тому ж рівні, що й після 0,5 год змішування. Значення температури розм'якшення та penetрації при 25 °С бітумів, витриманих в таких же умовах, змінились на 5 °С та 53 % відповідно.

Для асфальтополімербетонів, виготовлених із сумішей, які витримувалися впродовж 2 год в термошафі, спостерігається незначне зменшення показника водонасичення та підвищення щільності. Це може бути пов'язано з тим, що зміна в'язкості бітуму за рахунок його взаємодії з полімером запобігає розущільнюванню шару суміші при укочуванні.

Для вивчення впливу температури виготовлення асфальтополімербетонних сумішей з полімером, введеним безпосередньо в кам'яні матеріали, на показники якості асфальтополімербетонів їх виготовлення здійснювали за різних температур. Випробування було виконано на суміші № 4 (табл. 4).

Отримані дані свідчать про загальновідому тенденцію до підвищення щільності асфальтобетону з підвищенням температури його ущільнення.

Таблиця 4 Вплив температурних режимів виготовлення асфальтополімербетонної суміші на показники їх якості (за схемою 4)

Температура, °С	витримання	ущільнення	ρ , г/см ²	W, %	Міцність при стиску, МПа			K _в
					R ₂₀	R ₂₀ ^{вод}	R ₅₀	
160	140	140	2290	1,0	5,60	5,59	2,66	1,00
140	120	120	2270	1,5	5,07	5,23	2,09	1,00
120	100	100	2240	2,3	4,80	4,67	1,86	0,97

Висновки

Модифікування асфальтобетонних сумішей шляхом введення полімеру типу СБС безпосередньо на кам'яні матеріали веде до поліпшення фізико-механічних показників якості асфальтобетонів. Найбільший вплив полімеру типу СБС на властивості асфальтобетонів, модифікованих полімером, досягається за технологічної схеми, коли полімер вводиться в гарячі кам'яні матеріали в суміші з ненагрітим мінеральним порошком. Під час застосування цієї технології забезпечується найбільш рівномірний розподіл полімеру в суміші, ніж при інших схемах.

Підвищення ефективності впливу полімеру на якість асфальтобетону досягається за рахунок витримання суміші за температури її виготовлення близько двох годин. На виробництві цього можна досягти витриманням виготовленої асфальтополімербетонної суміші в бункері агрегата накопичення готової суміші асфальтозмішувача (за його наявності) впродовж такого часу, щоб початок укладання суміші на місці проведення робіт був не раніше 1–2 годин з моменту виготовлення суміші.

Література

1. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. PIARC-AIPCR / пер. с франц. В.А. Золотарёва; П.А. Беспаловой; под общ. ред. В.А. Золотарёва, В.И. Братчуна. – Х.: ХНАДУ, 2003. – 228 с.
2. Илиополов С.К. Эффективный модификатор-стабилизатор / С.К. Илиополов, И.В. Мардиросова // Автомобильные дороги. – 2006. – № 7. – С. 28–34.
3. Чернов С.А. Влияние полимерно-битумного вяжущего на процессы колеобразования

- зования в верхних слоях покрытий автомобильных дорог / С.А. Чернов, Д.В. Чирва, Е.В. Леконцев // *Науковедение*. – 2012. – № 4. – С. 1–9.
4. Тюков Е.Б. Повышение долговечности шероховатых поверхностных обработок дорожных покрытий / Е.Б. Тюков, Ю.И. Калгин // *Строительные материалы*. – 2009. – № 5. – С. 11–13.
5. TP 218-03450778-374:200 Типовий технологічний регламент на застосування латексів Butonal NS 104 і Butonal NS 198 для модифікації бітумів, бітумних емульсій та асфальтобетонів. ДерждорНДІ. – 2006. – 22 с.
6. Веренько В.А. Регулирование свойств асфальтобетона модифицирующими добавками, вводимыми в смесь / В.А. Веренько, В.В. Занкович, П.П. Яцевич // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* – 2008. – Вып. 40. – С. 51–56.
7. Жданюк В.К. Дослідження впливу термопласту на властивості щебенево-мастикового асфальтобетону / В.К. Жданюк, Д.Ю. Костін, О.О. Макарьев // *Применение пластмасс в строительстве и городском хозяйстве: XI Междунар. научно-техническая интернет-конференция 25.11.13–25.12.13*, Харьков. – 2013. – С. 18–25.
8. Соломенцев А.Б. Сравнительная оценка некоторых свойств дорожного битума с различными полимерными добавками и асфальтовяжущего на его основе / А.Б. Соломенцев, А.В. Куликова, С.В. Бухтияров // *Строительство и реконструкция*. – 2014. – № 3. – С. 54–63.
9. Кищинский С.В. Модификация битумов и асфальтобетонов комплексной добавкой на основе вторичного полиэтилена / С.В. Кищинский // *Baltic road association: материалы 27-й конф. 24–26 августа 2009*. – Рига, Латвия. – С. 1–12.
10. Будівельні матеріали. Асфальтобетон дорожній. Метод випробування на стійкість до накопичення залишкових деформацій: СОУ 45.02-00018112-020:2009. – [Чинний від 2009–01–03]. – К.: Укравтодор. – 2009. – 15 с.
11. Золотарев В.А. Водоустойчивость битумополимерных вяжущих и асфальтополимербетонов на их основе / В.А. Золотарев, С.В. Кудрявцева, Е.Н. Агеева // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* – 2006. – Вып. 34–35. – С. 35–40.
12. Золотарев В.А. Влияние совместного введения полимеров и адгезионных добавок на свойства битумов / В.А. Золотарев, С.В. Кудрявцева, С.В. Ефремов // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* – 2008. – Вып. 40. – С. 26–33.
13. Галкин А.В. Влияние параметров совмещения на свойства битумов, модифицированных стирол-бутадиен-стиролом / А.В. Галкин, Я.И. Пыриг // *Вестник ХНАДУ: сб. науч. тр.* – 2014. – Вып. 64. – С. 115–120.

Рецензент: В.К. Жданюк, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 27 березня 2015 р.