

АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ



УДК 665.775

- © В. К. Вирожемський, канд. тех. наук, перший заступ. директора з наук. роботи;
© С. В. Кіщинський, нач. центра;
© І. В. Копинець, зав. відділу;
© О. Б. Соколова, молод. наук. співробітник;
© І. В. Гудима, молод. наук. співробітник;
© А. Л. Юнак, молод. наук. співробітник (ДП «ДерждорНД»)

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТЕМПЕРАТУР НА ЗЧЕПЛЮВАНІСТЬ БІТУМІВ, МОДИФІКОВАНИХ АДГЕЗІЙНИМИ ДОБАВКАМИ, З МІНЕРАЛЬНИМ МАТЕРІАЛОМ

Анотація. Наведено результати досліджень з визначення впливу технологічних температур на зчеплюваність бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом. Встановлено, що під впливом технологічних температур в результаті недостатньої термостабільності адгезійних добавок знижується зчеплюваність бітумів, модифікованих цими добавками, з мінеральним матеріалом.

Ключові слова: адгезійна добавка, асфальтобетон, бітум, водостійкість, зчеплюваність, термостабільність.

Аннотация. Приведены результаты исследований по определению влияния технологических температур на сцепление битумов, модифицированных адгезионными добавками, с минеральным материалом. Установлено, что под влиянием технологических температур в результате недостаточной термостабильности адгезионных добавок снижается сцепление битумов, модифицированных этими добавками, с минеральным материалом.

Ключевые слова: адгезионная добавка, асфальтобетон, битум, водостойкость, сцепление, термостабильность.

Abstract. The results of the research for determination of the impact of technological temperatures on the adhesion of bitumen modified with adhesive additives with aggregate are presented in the article. It was established that under the influence of technological temperatures as a result of insufficient thermal stability of adhesive additives, the adhesion of bitumen modified by these additives with aggregate is reduced.

Keywords: adhesive additive, asphalt concrete, bitumen, water resistance, adhesivity, thermal stability.

Вступ

Практика експлуатації асфальтобетонних покриттів свідчить, що однією з основних причин

утворення на них вибоїн є втрата зв'язку (контакту) між органічним і мінеральними матеріалами. Це відбувається внаслідок недостатньої адгезії (зче-



плення) плівки бітуму до мінерального матеріалу, що призводить до її відшарування від поверхні кам'яного матеріалу під дією води та транспортних навантажень. Незв'язний мінеральний матеріал виноситься за колесами автомобіля, внаслідок чого відбувається лущення асфальтобетонного покриття та утворення на ньому вибоїн. Слабке зчеплення також є однією з головних причин передчасного руйнування поверхневих обробок.

Зчеплення бітуму з поверхнею мінерального матеріалу визначається характером процесів, що відбуваються на поверхні розділу двох фаз «бітум – мінеральний матеріал», і залежить від природи обох компонентів та умов контакту.

Необхідною передумовою зчеплення є змочування бітумом поверхні мінерального матеріалу або формування міжфазного контакту, яке визначається площею контакту двох фаз.

У зоні контакту бітуму з мінеральною поверхнею спостерігається електростатична взаємодія [1] та процеси адсорбції – здатності поверхні твердого або рідкого тіла зв'язувати молекули рідкої або газоподібної речовини, що з нею контактує.

Розрізняють фізичну та хімічну адсорбцію або хемосорбцію.

Фізична адсорбція обумовлена ван-дер-ваальсовими силами та силами міжмолекулярного тяжіння і є оборотним процесом. На неї значно впливає геометрія (шорсткість) поверхні розподілу. Фізична адсорбція, призводить до утворення на поверхні мінеральних матеріалів орієнтованих шарів бітуму. При цьому жодних хімічних змін в адсорбованому бітумі не відбувається [2].

Під час протікання на межі розділу хімічних реакцій обміну або приєднання має місце хімічна адсорбція або хемосорбція, з утворенням водостійких хемосорбційних сполук. Характерною рисою такої адсорбції є необоротність процесу. Поверхні, на яких не відбуваються процеси хемосорбційної взаємодії, а лише процеси фізичної адсорбції бітуму, можна умовно віднести до категорії інактивних поверхонь (граніт, кварц).

Більшість мінеральних матеріалів, які використовують для виробництва асфальтобетонних сумішей в Україні, є інактивними, тобто під час взаємодії бітуму з мінеральним матеріалом має місце тільки фізична адсорбція. Для забезпечення хемосорбційної взаємодії бітуму з мінеральним матеріалом необхідно змінити властивості одного з матеріалів. Вирішити це завдання можна завдяки модифікації бітумів адгезійними добавками – катіонними поверхнево-активними речовинами (далі – ПАР).

При введенні в бітум молекули ПАР адсорбуються на поверхні розділу фаз і орієнтуються неполярною частиною в бітум, а полярною – навоні. Катіонні ПАР утворюють на поверхні бітуму позитивно заряджений адсорбційний шар. Завдяки поляризації поверхні бітуму поліпшуються процеси змочування, ПАР витісняють воду і сприяють рівномірному розподілу в'язучого по поверхні мінерального матеріалу [3]. Навіть на мокрій мінеральній поверхні бітум в присутності ПАР розподіляється у вигляді плівки, тоді як без ПАР він збирається в краплі.

При контакті бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів молекули ПАР притягуються та адсорбуються протилежно зарядженими активними центрами мінералів і вступають з ними в хімічну реакцію з утворенням водонерозчинних сполук (хемосорбційних сполук типу миль). Завдяки цьому забезпечується міцний зв'язок між бітумом і мінеральним матеріалом. Однак під впливом високих технологічних температур цей зв'язок може послаблюватися.

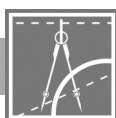
Основна частина

В Державному підприємстві «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ») були проведені дослідження з встановлення впливу технологічних температур на зчеплюваність бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом.

Під час досліджень використовували бітум марки БНД 60/90, виробництва ПАТ «Укртатнафта», адгезійні добавки АДБІТ-Р та УДОМ-4. Модифікацію бітуму адгезійними добавками виконували за температури 150 °С шляхом перемішування механічною мішалкою впродовж 60 хв. Вміст добавок у бітумі становив від 0,2 % до 0,4 %.

Результати випробувань показали, що адгезійні добавки практично не впливають на penetрацію, температуру розм'якшеності, розтяжність та температуру крижкості бітуму. Водночас вони суттєво впливають на зчеплюваність бітуму з мінеральним матеріалом, його стійкість до старіння та динамічну в'язкість (табл. 1).

Так, при модифікації бітуму 0,2 % адгезійної добавки АДБІТ-Р та УДОМ-4 має місце підвищення зчеплюваності бітуму зі щебенем з 2 балів до 4 балів, зчеплюваності з поверхнею скла – з 22 % до 57 % та 77 %, відповідно, а динамічна в'язкість зростає з 320 Па·с до 370 Па·с та 360 Па·с. Зі збільшенням вмісту адгезійних добавок до (0,3 – 0,4) % ці показники продовжують підвищуватися і при вмісті 0,4 % адгезійної добавки АДБІТ-Р становлять 5 балів, 100 % та 400 Па·с, а при такому ж



вмісті адгезійної добавки УДОМ-4 – 5 балів, 100 % та 390 Па·с, відповідно.

Особливої уваги заслуговує зміна властивостей бітумів після їх прогріття, яке виконувалось за методами випробувань згідно з ГОСТ 18180 [4] та ДСТУ Б EN 12607-1 [5] (технологічне старіння). Залишкова penetрація вихідного бітуму після прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] становить 75 %, зміна температури розм'якшеності – 3,5 °С, а індекс старіння – 2,8. Водночас після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5] залишкова penetрація є нижчою (62 %), а зміна температури розм'якшеності – більшою (5,0 °С), як і індекс старіння (3,5). Зазначені результати підтверджують те, що зміна бітуму після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5] є більшою ніж після прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4], що пов'язано з постійним оновленням плівки бітуму під час випробування згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5] та її контактом з повітрям [6]. Також це вказує на те, що прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] менш адекватно характеризує зміну властивостей бітуму під час його змішування з мінеральним матеріалом при виробництві асфальтобетонних сумішей.

Введення адгезійних добавок АДБІТ-Р та УДОМ-4 призводить до підвищення стійкості бітуму до старіння, що проявляється в зростанні за-

лишкової penetрації, зменшенні зміни температури розм'якшеності та зниженні індексу старіння. При цьому, чим більшим є вміст адгезійних добавок, тим більш стійким до старіння є модифікований бітум. Це не є прерогативою саме цих добавок, а характерна риса усіх адгезивів, що належать до катіонних ПАР.

Високі технологічні температури, вплив яких моделюється прогріттям бітумів згідно з ГОСТ 18180 [4] та ДСТУ Б EN 12607-1 [5], негативно впливають на зчеплюваність модифікованого бітуму зі щебенем та з поверхнею скла.

Якщо введення в бітум 0,2 % адгезійної добавки АДБІТ-Р призводить до підвищення його зчеплюваності зі щебенем з 2 балів до 4 балів, а з поверхнею скла – з 22 % до 57 %, то після його прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] та ДСТУ Б EN 12607-1 [5] має місце різке зниження зчеплюваності бітуму зі щебенем до вихідних 2 балів, а зчеплюваності з поверхнею скла – до 36 % та 32 %, відповідно. Схожа тенденція має місце і при випробуванні бітуму, модифікованого 0,2 % адгезійної добавки УДОМ-4. В даному випадку після прогріття бітуму згідно з ГОСТ 18180 [4], його зчеплюваність зі щебенем знижується з 4 балів до 3 балів, як при прогрітті згідно з ГОСТ 18180 [4], так і при прогрітті згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5], а зчеплюваність з по-

Таблиця 1

Результати випробувань бітумів

Показник	Результати випробувань бітуму						
	вихідного	модифікованого адгезійною добавкою АДБІТ-Р, %			модифікованого адгезійною добавкою УДОМ-4, %		
		0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	71	70	72	75	72	73	73
Температура розм'якшеності, °С	48	48	48	47,5	48	48	48
Розтяжність за температури 25 °С	95	90	90	88	88	85	84
Розтяжність за температури 0 °С	1,5	1,6	1,6	1,7	1,5	1,7	1,8
Температура крихкості, °С	-20	-20	-21	-20	-20	-20	-20
Зчеплюваність зі щебенем, бал	2	4	5	5	4	5	5
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	22	57	85	97	77	95	98
Динамічна в'язкість за температури 60 °С, Па·с	320	370	380	400	360	380	390
Властивості після прогріття згідно з ГОСТ 18180:							
- залишкова penetрація, %	75	80	82	86	83	86	88
- зміна температури розм'якшеності, °С	3,5	3,0	3,0	2,5	2,5	2,5	2,0
- індекс старіння	2,8	2,4	2,4	2,2	2,5	2,1	2,0
- зчеплюваність зі щебенем, бал	-	2	4	5	3	5	5
- зчеплюваність з поверхнею скла, %	-	36	65	90	65	80	95



Продовження таблиці 1

Властивості після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1:							
- залишкова пенетрація, %	62	75	80	84	80	81	83
- зміна температури розм'якшеності, °C	5,0	4,0	3,5	3,2	4,0	3,0	3,0
- індекс старіння	3,5	2,5	2,6	2,3	2,5	2,3	2,2
- зчеплюваність зі щебенем, бал	-	2	3	5	3	4	5
- зчеплюваність з поверхнею скла, %	-	32	48	80	45	75	85

верхню скла знижується з 77 % до 65 % та 45 %, відповідно.

Із підвищенням вмісту в бітумі адгезійної добавки АДБІТ-Р до 0,3 % зберігається тенденція зниження зчеплюваності бітуму з мінеральним матеріалом після впливу технологічних температур. Зчеплюваність бітуму зі щебенем знижується з 5 балів до 4 балів та 3 балів, відповідно, а з поверхнею скла – з 85 % до 65 % та 48 %, відповідно.

Зчеплюваність бітуму, модифікованого 0,3 % адгезійної добавки УДОМ-4, зі щебенем після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5] знижується з 5 балів до 4 балів, після прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] – не змінюється, а зчеплюваність з поверхнею скла знижується після прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] з 95 % до 80 %, після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 [5] – до 75 %.

Таким чином, результати випробувань свідчать, що термостабільність адгезійної добавки УДОМ-4 є більшою ніж АДБІТ-Р.

У випадку модифікації бітуму 0,4 % досліджуваних добавок, вплив технологічних температур на зчеплюваність бітуму зі щебенем та з поверхнею скла є мінімальним. Тобто при перевищенні певно-

го вмісту добавки технологічна температура значно менше впливає на їх ефективність.

Зниження зчеплюваності бітуму зі щебенем та з поверхнею скла після його прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] та ДСТУ Б EN 12607-1 [5] пов'язане із зниженням адгезійної активності внаслідок часткової деструкції добавок під дією високої температури, тобто з недостатньою термостабільністю адгезивів. Однак, потрібно враховувати, що зниження зчеплюваності бітуму з мінеральним матеріалом можливе не тільки під час його змішування з мінеральним матеріалом, але і під час зберігання модифікованого бітуму в ємностях за високих технологічних температур впродовж тривалого часу.

Таким чином оцінка зчеплюваності бітуму, модифікованого адгезійною добавкою, з мінеральним матеріалом після впливу технологічних температур є надзвичайно важливою для отримання водостійких та довговічних асфальтобетонів. Саме це спонукало до встановлення в СОУ 42.1-37641918-067 [7] вимог до зчеплюваності бітуму з мінеральним матеріалом після впливу технологічних температур (табл. 2).

Таблиця 2

Вимоги до зчеплюваності бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом

Назва показника	Значення показника, не менше	Методи випробувань
1 Зчеплюваність БА з поверхнею щебеню, бал	5,0	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-89
2 Зчеплюваність БА з поверхнею скла, %	75	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-81 з доповненням згідно з 8.6 ДСТУ 4044
3 Зчеплюваність БА після прогріття згідно з ГОСТ 18180 з поверхнею щебеню, бал	4,5	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-89
4 Зчеплюваність БА після прогріття згідно з ГОСТ 18180 з поверхнею скла, %	65	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-81 з доповненням згідно з 8.6 ДСТУ 4044
5 Зчеплюваність БА після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 з поверхнею щебеню, бал	4,0	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-89
6 Зчеплюваність БА після прогріття згідно з ДСТУ Б EN 12607-1 з поверхнею скла, %	60	Згідно з ДСТУ Б В.2.7-81 з доповненням згідно з 8.6 ДСТУ 4044



Примітка 1. Випробування за показником 1 виконують при виборі та підборі потрібного вмісту адгезійної добавки у БА, що застосовується в технологіях на основі розливу в'язучого (підґрунтовці, поверхневій обробці, ліквідації вибоїн тощо).

Примітка 2. Випробування за показниками 3 та/або 5 виконують при виборі та підборі потрібного вмісту адгезійної добавки у БА, що застосовується для приготування гарячих асфальтобетонних та бітумо-мінеральних сумішей.

Примітка 3. При виборі та підборі потрібного вмісту адгезійної добавки в БА випробування за показниками 1, 3, та 5 виконують з використанням щебеню та бітуму, що застосовуються на виробництві.

Примітка 4. Порівняльні та сертифікаційні випробування адгезійних добавок та/або БА виконують за показниками 1, 2, а також 3 та/або 5, 4 та/або 6. При проведенні порівняльних та сертифікаційних випробувань за пунктами 1, 3 та 5 використовують щебінь Мокрянського кар'єру.

Таблиця 3

Результати випробувань асфальтобетонів

Назва показника	Результати випробувань асфальтобетонів на бітумі						
	вихідному	Модифікованому адгезійною добавкою АДБІТ-Р, %			Модифікованому адгезійною добавкою УДОМ-4, %		
		0,2	0,3	0,4	0,2	0,3	0,4
Середня густина, г/см ³	2,35	2,37	2,38	2,40	2,38	2,40	2,41
Водонасичення, % за об'ємом	3,3	2,7	2,4	1,8	2,3	1,8	1,6
Коефіцієнт тривалої водостійкості (14 днів)	0,91	0,92	0,94	1,00	0,94	0,98	1,00
Коефіцієнт довготривалої водостійкості (28 днів)	0,78	0,82	0,85	0,97	0,88	0,95	0,98

Були виконані дослідження з установлення впливу адгезійної добавки на водостійкість асфальтобетонів як кінцевого продукту, на якість якого впливають властивості бітуму. Для приготування асфальтобетонних сумішей використовували щебінь гранітний фракції 5–10 мм, пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції 0–5 мм, вапняковий мінеральний порошок, бітум нафтовий дорожній в'язкий марки БНД 60/90, виробництва ПАТ «Укртатнафта» та цей бітум, модифікований адгезійною добавкою АДБІТ-Р та УДОМ-4.

Гранулометричний склад мінеральної частини гарячого дрібнозернистого асфальтобетону типу Б відповідав вимогам ДСТУ Б В.2.7-119. Вміст адгезійної добавки у бітумі становив від 0,2 % до 0,4 %. Вміст в'язучого в сумішах на вихідному бітумі та модифікованих бітумах складав 6,0 %. Приготування зразків асфальтобетонів виконували з дотриманням стандартної послідовності технологічних операцій згідно з ДСТУ Б В.2.7-319.

Температури нагрівання матеріалів при приготуванні асфальтобетонних сумішей на вихідному та модифікованих бітумах в лабораторних умовах становили: для щебеню та піску – (170–175) °С, бітуму – (140–145) °С. Суміш ущільнювали за температури (150–155) °С.

Результати випробувань вихідного асфальтобетону та асфальтобетонів на модифікованих бітумах наведені в **табл. 3**.

Результати випробувань свідчать про те, що асфальтобетони з досліджуваними адгезійними добавками мають більшу середню густину ніж асфальтобетон на вихідному бітумі. При введенні 0,2 % адгезійної добавки АДБІТ-Р середня густина асфальтобетону зростає з 2,35 г/см³ до 2,37 г/см³, а при введенні 0,2 % адгезійної добавки УДОМ-4 – до 2,38 г/см³. При збільшенні вмісту добавок має місце подальше зростання середньої густини асфальтобетону. Зростання середньої густини асфальтобетону пов'язано зі зниженням поверхневого натягу бітуму при його модифікації адгезійною добавкою. Як наслідок, бітум легше розподіляється на поверхні мінеральних матеріалів, а асфальтобетонна суміш є більш рухомою та легше ущільнюється. Разом з підвищенням середньої густини асфальтобетонів відбувається зниження їх водонасичення. Чим більшим є вміст адгезійної добавки, тим нижчим є водонасичення. При однаковому вмісті добавок підвищення середньої густини асфальтобетону на бітумі, модифікованому адгезійною добавкою УДОМ-4, та зниження його водонасичення є завжди більшими ніж для асфальтобетону на бітумі, модифікованому адгезійною добавкою УДОМ-4. Це



може бути свідченням саме більшої термостабільності добавки УДОМ-4.

Водостійкість модифікованого асфальтобетону є вищою ніж водостійкість вихідного асфальтобетону. За однакового вмісту досліджуваних добавок коефіцієнт тривалої водостійкості та коефіцієнт довготривалої водостійкості асфальтобетону на бітумі, модифікованому адгезійною добавкою УДОМ-4, завжди є вищим ніж асфальтобетону на бітумі, модифікованому адгезійною добавкою АДБІТ-Р.

При цьому потрібно зазначити, що зниження водостійкості асфальтобетону на бітумі, модифікованому 0,2 % і 0,3 % адгезійної добавки АДБІТ-Р є значно більшим ніж для асфальтобетону на бітумі, модифікованому 0,4 % адгезійної добавки АДБІТ-Р, та асфальтобетонів на бітумі, модифікованому 0,2 % і 0,3 % адгезійної добавки УДОМ-4. Такі результати можуть бути підтвердженням важливості визначення впливу технологічних температур на зчеплюваність бітуму, модифікованого адгезійною добавкою, з мінеральним матеріалом.

Висновки

1. Високі технологічні температури змішування бітуму, що вміщує адгезійну добавку, з мінеральним матеріалом, призводять до зниження міцності його зчеплюваності з мінеральним матеріалом. При виборі та підборі вмісту адгезійної добавки обов'язково необхідно виконувати перевірку зчеплюваності модифікованого бітуму з мінеральним матеріалом після прогріття згідно з ГОСТ 18180 [4] та ДСТУ Б EN 12607-1 [5], що й передбачено вимогами СОУ 42.1-37641918-067 [7].

2. Адгезійні добавки практично не впливають на penetрацію бітумів за температури 25 °С, температуру розм'якшеності, температуру крихкості, розтяжність за температури 25 °С та 0 °С. За рахунок адсорбції на асфальтенах поверхнево-активних речовин, що входять до складу адгезійної добавки, відбувається підвищення стійкості бітумів до старіння, що проявляється у зростанні залишкової penetрації, меншій зміні температури розм'якшеності, та зниженні індексу старіння.

3. Адгезійні добавки знижують поверхневий натяг бітуму, що призводить до зростання густини та зниження водонасичення асфальтобетону.

Більш термостабільні добавки забезпечують вищу водостійкість асфальтобетону. Це вказує на доцільність використання при приготуванні гарячих асфальтобетонних сумішей адгезійних добавок з підвищеною термостабільністю (наприклад, УДОМ-4).

4. Добавки, що суттєво знижують свою активність при нагріванні доцільно використовувати в «холодних» технологіях (наприклад, бітумно-емульсійних) або технологіях розливу (влаштуванні поверхневої обробки, просочення, підґрунтовка тощо), де бітуми не зазнають сильного термічного удару.

5. Використання бітумів, модифікованих підібраним вмістом адгезійної добавки, (з урахуванням впливу технологічних температур) дасть змогу забезпечити стійкість асфальтобетонного покриття до утворення руйнувань у вигляді вибоїн, викришувань та ям і таким чином збільшити міжремонтні строки. Це своєю чергою дасть змогу зекономити значну кількість коштів та матеріальних ресурсів і тим самим обумовить економічну ефективність застосування вказаних модифікаторів.

6. Подальші дослідження необхідно спрямувати на встановлення зміни зчеплюваності бітуму, модифікованого адгезійною добавкою, з мінеральним матеріалом, при його витримуванні в технологічних ємностях за високих температур.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Вирожемський В. К., Кіщинський С. В., Кириченко Л. Ф.** / Вплив адгезійних добавок на властивості бітуму та асфальтобетону / Дороги і мости. Київ 2003.

2. **Колбановская А. С., Михайлов В. В.** Дорожные битумы. – М.: Транспорт, 1973. – 264 с.

3. **Кучма М. И.** Поверхностно-активные вещества в дорожном строительстве. – М.: Транспорт, 1980.

4. **Бітуми нафтові.** Метод визначення зміни маси після прогріву (СТ СЭВ 4543-84) : ГОСТ 18180-72*. – [Чинний від 1974–01–01]. – Київ : Держстандарт України, 2017.

5. **Бітум та бітумні в'язучі.** Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT (EN 12607-1:2014, IDT) : ДСТУ Б EN 12607-1:2015. – [Чинний від 2016–07–01]. – Київ : Держстандарт України, 2015.

6. **Золотарьов В. О., Копинець І. В.** / Оцінка старіння окислених та дистиляційних бітумів методами стаціонарної та перетікаючої плівки // Дорожня галузь України. – № 3. –2016.

7. **Будівельні матеріали.** Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови : СОУ 42.1-37641918-067:2011. – [Чинний від 2017–06–01]. – Київ : Стандарт організації України, 2017.