

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЗЧЕПЛЮВАНOSTІ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ

Пиріг Я.І.¹, Галкін А.В.¹, Золотарьов В.О.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** В статті розглянуті питання вдосконалення стандартизованого методу оцінки зчеплюваності бітумних в'язучих з поверхнею скла та кам'яних матеріалів, що діє в Україні вже більше 20-ти років. Розглянуто вплив на значення показника зчеплюваності факторів, пов'язаних з підготовкою зразків та їх випробуванням. На основі отриманих залежностей зчеплюваності від часу випробування різних бітумних в'язучих запропоновані режими проведення випробування.*

***Ключові слова:** бітум, зчеплюваність, температура, товщина зразка, метод підготовки.*

Вступ

Зчеплюваність бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів є одним з найголовніших показників, що характеризує взаємодію цих матеріалів в асфальтобетоні та визначає міцнісні і експлуатаційні характеристики покриттів автомобільних доріг. Недостатня зчеплюваність бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів та низький опір відшаровуючій дії води є причиною руйнування асфальтобетонних покриттів та їх низької довговічності.

Одним з головних шляхів покращення адгезійних характеристик бітумних в'язучих є застосування різноманітних поверхнево-активних добавок. Об'єктивне оцінювання ефективності застосування тієї чи іншої добавки, також як і оцінювання зчеплюваності бітумних в'язучих з кам'яними матеріалами, можливо лише за умови використання надійного та об'єктивного методу.

Аналіз публікацій

Перші методи визначення зчеплюваності бітумів з поверхнею кам'яних матеріалів були запропоновані ще в 20-х роках минулого століття. З того часу в світі розроблено значну кількість різноманітних методів [1 – 4], але й досі не існує єдиного стандартизованого методу, який би дозволяв об'єктивно, швидко, з використанням доступного за ціною та складністю лабораторного обладнання визначити зчеплюваність та прогнозувати адгезію бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів і опір відшаровуючій дії води асфальтобетонних покриттів впродовж їх нормативного часу експлуатації.

Асфальтобетонні суміші є багатокомпонентними системами, до складу яких входять полімінеральні кам'яні матеріали, які суттєво

відрізняються гранулометричним складом. Через це оцінювання зчеплюваності бітумних в'язучих з поверхнею кам'яних матеріалів та інтерпретація отриманих результатів є дуже складною задачею, а переважна більшість існуючих методів оцінки зчеплюваності є візуальними.

В Україні вже більше 20 років адгезійні властивості дорожніх бітумів оцінюються за допомогою методу, розробленого у 90-ті роки минулого століття на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ [5]. Метод є стандартизованим (ДСТУ Б В.2.7-81-98 [6]) та використовується як у вітчизняній дорожній практиці, так і в країнах ближнього зарубіжжя [7–9].

В основу методу покладено визначення зчеплюваності бітумів на еталонній підкладці, в якості якої прийнято скло. Вибір скла в якості еталонної підкладки обумовлений найгіршими умовами для взаємодії з в'язучим: мономінеральний матеріал, який характеризується найнижчою адгезійною здатністю до взаємодії з бітумом, що підтверджено чисельними літературними даними [9, 10]; абсолютно гладка поверхня скляної пластини. Враховуючи, що адгезія обумовлюється взаємодією контактуючих речовин, кожна з яких робить свій певний внесок, запропонований метод дозволяє визначити в адгезійній міцності поєднання матеріалів роль бітумного в'язучого. Виходячи з цього, а також враховуючи умови проведення випробування, можна стверджувати, що результати випробування будуть характеризувати найменше значення зчеплюваності, що може бути отримано при взаємодії випробуваного бітумного в'язучого з будь-яким кам'яним матеріалом, який може використовуватися для приготування асфальтобетон-

них сумішей, безвідносно його мінералогічного та гранулометричного складу.

Метод визначення зчеплюваності бітумів з поверхнею скла має суттєві переваги, до яких можна віднести перш за все чисельність оцінювання (на відміну від візуальності оцінки, що використовується в переважній більшості інших методів) та об'єктивність результатів випробування. Крім цього до переваг відноситься: можливість комп'ютерної оцінки результатів визначення зчеплюваності [11]; малий об'єм матеріалу, що потрібен для визначення зчеплюваності та відносно малий час випробування, що не перевищує 2,5 год.

За час використання методики визначення зчеплюваності бітумів з поверхнею скла та кам'яних матеріалів, що нормується в ДСТУ Б В.2.7-81-98, було доведено її переваги та актуальність. Але за роки, що минули з початку дії цього стандарту, з'явилося декілька факторів, які обумовлюють необхідність перегляду методики та внесення до неї змін:

- сфера застосування ДСТУ Б В.2.7-81-98 поширюється лише на бітумі нафтові в'язкі дорожні та на бітуми з добавками поверхнево-активних речовин, в той час як зараз більшість в'язучих, що використовується в дорожній галузі країни, є модифікованими різноманітними добавками (полімерами, восками, комплексами добавок, тощо);

- температурні режими методики визначення показника зчеплення (75 °С для бітумів та 85 °С для бітумів з поверхнево-активними речовинами) не дозволяють об'єктивно визначити показник зчеплення для багатьох модифікованих бітумних в'язучих, оскільки температури розм'якшеності цих в'язучих перевищують температурні режими, прийняті в методиці;

- виробник скла (Костянтинівський завод «Будскло»), продукція якого прийнята в якості еталону, припинив свою діяльність;

- вплив на точність результатів випробування поверхні скла (листова скло різних виробників може мати відмінності хімічного складу в певних межах, а також розрізнятися зчеплюваністю, визначеною на різних поверхнях скла – «повітряній» на «олов'яній»);

- розчинник (ацетон), що використовувався для обробки поверхні скляних пластин під час їх підготовки до випробування, в даний час внесено в перелік речовин прекурсорів, робота з якими вимагає відповідного ліцензування.

В зв'язку з вищевикладеним вдосконалення методики визначення зчеплення бітумних в'язучих є актуальним.

Мета і постановка завдання

Метою виконаної роботи було вдосконалення методики визначення зчеплюваності бітумних в'язучих з поверхнею скла та кам'яних матеріалів. Для цього були виконані експериментальні дослідження, спрямовані на: вибір еталонного скла; вдосконалення методики підготовки поверхні підкладки для випробування; встановлення температурних та часових режимів випробування.

Об'єкти і методи дослідження

В якості об'єктів дослідження було прийнято скло різних виробників. Всі випробування проводили на бітумі БНД 60/90 Мозирського НПЗ, який мав наступні показники якості: penetрація за 25 °С – 79 × 0,1 мм, температура розм'якшеності – 48,6 °С, температура крихкості – мінус 19,5 °С, дуктильність за 25 °С – 116 см, індекс penetрації – мінус 0,42. Встановлення температурних та часових режимів випробування здійснювалось на бітумних в'язучих, властивості яких наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Властивості бітумних в'язучих

Показники	Властивості в'язучих				
	БНД 90/130	+0,25 % Албіт-Р	+0,5% Wetfix BE	+3 % Sasobit	+3 % SBS
Маркування	Б	БА	БВ	БСas	БS
Глибина проникності голки за 25 °С, 0,1 мм	98	94	93	48	43
Температура розм'якшеності, °С	46,9	45,7	46,3	74,0	52,8
Температура крихкості, °С	-16	-16,5	-17,5	-15,5	-18
Розтяжність за 25 °С, см	129	103	97	37	34
Зміна властивостей після прогрівання:					
Зміна маси після прогрівання, %	0,14	-0,11	-0,47	0,11	-0,34
Залишкова penetрація, %	59,2	69,1	67,7	70,8	100
Зміна температури розм'якшеності, °С	1,5	4,3	4,3	-0,7	5,7
Індекс penetрації	-0,27	-0,77	-0,62	3,35	-0,87

Вибір еталонного скла

Основне питання, що було вирішено при вдосконаленні методики визначення зчеплюваності полягало у виборі еталонного скла.

На даний час в Україні відсутнє власне виробництво листового скла, тому все пред-

ставлене на національному ринку будівельних матеріалів скло є імпортованим з країн Європейського Союзу (AGC Flat Glass, NSG Group, Saint-Gobain, Guardian) або з країн СНД (ВАТ «Саратовський склозавод», ВАТ «Салаватстекло», ВАТ «Гомельстекло»). Імпортоване скло виготовляється за флоат-технологією. Скло, що виготовляється за флоат-технологією, на відміну від скла Костянтинівського заводу «Будскло», яке виготовлялось методом витягування, має технологічну особливість, яка полягає в значній різниці властивостей двох протилежних поверхонь – «повітряної» та «олов'яної».

Для вибору еталонного скла було прийнято як листове скло (ВАТ "Гомельскло" (Білорусь), ТОВ «Саратовскло» (Росія), АТ «Каспійський завод листового скла» (Росія), Pilkington (Росія)), так і медичне предметне скло (скло компанії «Волес» (Китай), JS (Китай), Sail Brand (Китай), EximLab (Китай), MicroMed (Україна-Китай)). Для листового скла були ідентифіковані олов'яна та повітряна поверхні, для предметних стекол тип поверхні не визначався. У визначенні впливу скла на значення адгезії випробування виконувалось за температури 55 °С, яка забезпечувала значення адгезію на прийнятому в'язучому близьке до 50 % (при випробуванні за температури 65 °С та часі витримування 25 хв зчеплюваність становить близько 10 %, а за температури 55 °С та 25 хв зчеп-

люваність близька до 80 %). Отримані результати наведені в табл. 2.

Значення зчеплюваності визначені на листовому склі різних виробників (табл. 2) свідчать про наявність значної різниці в зчеплюваності між олов'яною та повітряною поверхнями (на олов'яній поверхні спостерігаються більш високі значення). Зчеплюваність, визначена на повітряній поверхні флоат-скла різних виробників є близькою до значення зчеплюваності, отриманого на склі, виготовленого за технологією витягування, виробництва Костянтинівського заводу «Будскло», яке становить 31,7 % (різниця складає від 4,2 % до 10,2 %, що знаходиться в межах похибки визначення зчеплюваності).

Результати визначення зчеплюваності на предметному склі різних виробників представлені в табл. 2. Оскільки для предметних стекол не було визначено тип поверхні, бітум наносився на поверхню скла, яка приймалась випадково (серія паралельних випробувань складалась з 10 зразків). При цьому отримані дані характеризуються високою збіжністю – після усунення грубих похибок розкид між мінімальними та максимальними значеннями зчеплюваності в одній серії випробування не перевищував 14,2 %. Таким чином можна зробити висновок, що для предметних стекол різниця між властивостями олов'яної та повітряної сторін майже нівелюється і не впливає на значення зчеплюваності.

Таблиця 2 – Вплив на зчеплюваність скла різних виробників

Виробник скла	Метод виготовлення	Товщина скла, мм	Поверхня скла	Значення зчеплюваності, %	Різниця між зчеплюваністю на олов'яній та повітряній поверхні, %
Листове скло					
Костянтинівський завод «Будскло»	витягування	3		31,7	
ВАТ «Гомельскло»	флоат	4	олов'яна	65,6	27,2
			повітряна	38,4	
ТОВ «Саратовскло»	флоат	3	олов'яна	59,3	22,8
			повітряна	36,5	
АТ «Каспійський завод листового скла»	флоат	4	олов'яна	92,0	64,5
			повітряна	27,5	
Pilkington	флоат	2	олов'яна	56,8	15,3
			повітряна	41,5	
Медичне предметне скло					
ПрАТ Склоприлад	флоат	1		76,7	
«Волес»		1		69,8	
JS		1		57,3	
Sail Brand		1		79,7	
EximLab		1		58,6	
		2		41,0	
MicroMed		1		77,6	

В подальшій роботі в якості еталонного було прийнято медичне предметне скло

MicroMed, що виготовляється з високоякісного нейтрального скла за допомогою сучас-

них технологій, які забезпечують високу прозорість і однорідність структури. Скло поставляється чистим і знежиреним, воно повністю готове до використання і вимагає лише незначної обробки. Одним з основних критеріїв, за яким було прийнято скло є постійність виробника і технології виготовлення. Крім того, експериментально визначена зчеплюваність на такому склі характеризується високою збіжністю результатів.

Перехід на медичні предметні стекла пояснюється їх суттєвими перевагами порівняно з листовим склом, а саме:

- відсутність впливу сторони поверхні скла (повітряна / олов'яна) на значення зчеплюваності;

- відносна чистота поверхні (кожна скляна пластина обкладена папером, коробки з 50 шт. пластин герметично запаковані за вакуумною технологією, що дозволяє запобігти забрудненню поверхонь скла, характерних для листового під час транспортування та порізки), тому підготовка такого скла до випробування може бути спрощеною;

- постійність розміру предметного скла, що виключає необхідність в додаткових операціях з отримання зразків необхідного розміру та створює можливість розподілення наважки в'язучого по всій пластині;

- оскільки розміри предметних стекол є стандартизованими (76 ± 1 мм \times 25 ± 1 мм), їх площа може бути прийнята за 100 % без вимірювань при обробці результатів визначення зчеплюваності (похибка в середньому становитиме 3,13 %).

Предметне скло поставляється в двох модифікаціях – з шліфованими та нешліфованими краями. При виготовленні предметного скла після операції шліфування його поверхня піддається додатковій обробці, що може певним чином впливати на властивості поверхні скла. Експериментальне визначення зчеплюваності на шліфованому та нешліфованому склі одного виробника виявило різницю в отриманих значеннях – 32,9 % на шліфованому склі проти 25,6 % на нешлифованому. З метою усунення цієї похибки в подальшому всі дослідження виконувались на предметному склі з не шліфованими краями.

Вдосконалення методики підготовки поверхні скла

Згідно методики визначення зчеплюваності, наведеної в ДСТУ Б В.2.7-81-98 [6] перед нанесенням в'язучого поверхня скла ретельно очищується: поверхню протирають розчинником (ацетоном); скло промивають водою з господарським милом та ополіскують

дистильованою водою; пластини кип'ятять в дистильованій воді протягом 30 хв; очищені пластини висушують в вертикальному положенні за кімнатної температури або в сушильній шафі за температури (105 ± 2) °C протягом (35 ± 5) хвилин, а перед нанесенням бітуму поверхню скла витирають фільтрувальним папером. Оскільки медичне предметне скло поставляється очищеним, методика підготовки поверхні перед нанесенням в'язучого може бути спрощена. Виходячи з цього були експериментально перевірені наступні методи підготовки стекол:

1 – предметне скло не обробляли;

2 – предметне скло витримували 30 хв у 96 % етиловому спирті;

3 – поверхню предметного скла протирали 96 % етиловим спиртом;

4 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом з подальшим кип'ятінням у водопровідній воді 30 хв;

5 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом з подальшим кип'ятінням у дистильованій воді 30 хв;

6 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом, скло кип'ятили у дистильованій воді протягом 30 хв, після цього його поверхню протирали 96 % етиловим спиртом;

7 – предметне скло оброблювали згідно методики, наведеної в діючому стандарті ДСТУ Б.В.2.7-81;

8 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом, скло кип'ятили у 1 % розчині харчової соди протягом 30 хв, поверхню скла протирали 96 % етиловим спиртом;

9 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом, скло кип'ятили у 1 % розчині харчової соди протягом 30 хв, витримували 5 хв в 9 % розчині оцту та поверхню скла промивали у дистильованій воді;

10 – поверхню предметного скла вимивали господарським милом, скло кип'ятили у 1 % розчині харчової соди протягом 30 хв, витримували 5 хв в 9 % розчині оцту та промивали у дистильованій воді, після висихання пластин їх поверхню протирали 96 % етиловим спиртом.

Якість обробки поверхонь предметних стекол оцінювали шляхом змочування поверхні скла краплею дистильованої води. На склі, поверхню яких оброблювали вищезазначеними методами, визначена зчеплюваність, результати якої представлені на рис. 1.

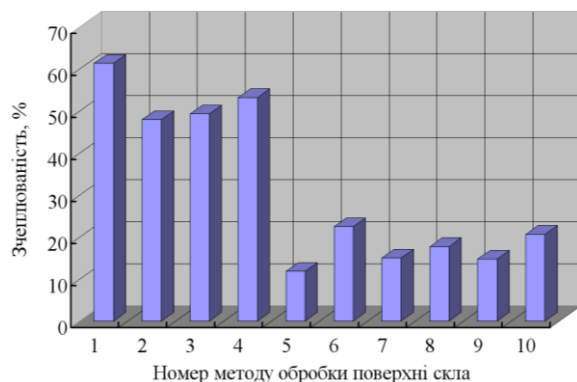


Рис. 1. Вплив обробки поверхні скла на значення зчеплюваності

Згідно візуального оцінювання найбільше розтікання крапель дистильованої води по поверхні предметних стекел спостерігається на склі, обробленому за 5-ю методикою. Для цієї ж методики характерні й найменші значення зчеплюваності. Тому цей метод очищення поверхні (вимивання поверхні господарчим милом з подальшим кип'ятінням впродовж 30 хв у дистильованій воді) було прийнято для всіх наступних випробувань.

Після підготовки скла на нього наносять наважку бітумного в'язучого масою $(0,35 \pm 0,01)$ г, яку рівномірно розподіляють по всій поверхні. Потім зразки витримують у горизонтальному положенні у сушильній шафі впродовж 30 хв за температури, що на 85°C перевищує температуру розм'якшеності в'язучого. Така операція потрібна для вирівнювання товщини шару бітуму за поверхнею скла. Однак під час цієї операції може відбуватися зміна якості в'язучого, за рахунок його старіння, що позначиться на зчеплюваності. Для перевірки цього зразки витримували у сушильній шафі впродовж 30 хв за температур, що перевищували температуру розм'якшеності бітуму на: 25°C , 50°C , 75°C , 85°C , 100°C та 120°C (враховуючи, що бітум мав температуру розм'якшеності $48,6^\circ\text{C}$ температури розподілу становили відповідно: $\approx 74^\circ\text{C}$, $\approx 99^\circ\text{C}$, $\approx 124^\circ\text{C}$, $\approx 134^\circ\text{C}$, $\approx 149^\circ\text{C}$ та $\approx 169^\circ\text{C}$). Після витримання зразків у сушильній шафі було визначено зчеплюваність шляхом витримання зразків в дистильованій воді за температури 55°C впродовж 50 хв. Отримані результати представлені на рис. 2.

Згідно даних зчеплюваності бітуму з поверхнею скла, представлених на рис. 2, найбільш прийнятною є температура витримання зразків, що на $75 - 85^\circ\text{C}$ перевищує температуру розм'якшеності в'язучого. Ви-

тримання при цих температурах майже не впливає на значення зчеплюваності, в той час при більш високих температурах спостерігається зростання значень зчеплюваності, що пояснюється старінням в'язучого, а за нижчих температур не відбувається вирівнювання шару бітуму на поверхні скла. Виходячи з цього для подальших випробувань прийнята температура витримання зразків у сушильній шафі, що на 85°C перевищує температуру розм'якшеності в'язучого.

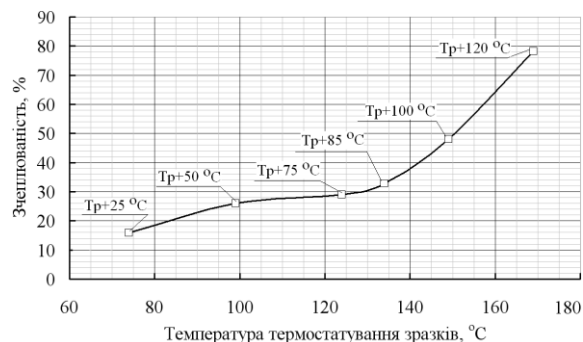


Рис. 2. Вплив температури за якої зразки витримують у сушильній шафі на значення зчеплюваності

Ще одним фактором, що може впливати на результати зчеплюваності є тривалість витримання зразків у сушильній шафі. Згідно з методикою діючого ДСТУ Б.В.2.7-81 [6] після нанесення на предметні стекла в'язучого зразки витримуються у сушильній шафі протягом 30 хв за температури, що на 85°C перевищує температуру розм'якшеності в'язучого. За такий час витримання в'язуче може суттєво змінити властивості, тому виконана перевірка впливу часу витримання зразка в сушильній шафі на зчеплюваність в'язучого з поверхнею скла.

Виготовлені зразки витримували в сушильній шафі за температури 135°C ($48,6^\circ\text{C} + 85^\circ\text{C}$) впродовж 5 хв, 15 хв, 30 хв, 45 хв та 60 хв. Після витримання зразків визначали зчеплюваність шляхом витримання їх в дистильованій воді за температури 55°C протягом 50 хв. Отримані результати представлені на рис. 3.

У відповідності з рис. 3 впродовж перших 5 хв витримання в сушильній шафі значення зчеплюваності практично не змінюється – збільшення становить лише 1,8%. При подальшому витриманні (до 15 хв) спостерігається суттєве (більше ніж вдвічі) збільшення зчеплюваності, що може свідчити про певне старіння в'язучого, обумовлене струк-

турними або компонентними змінами. Збільшення часу витримування зразків з 15 хв до 60 хв майже не позначається на зчеплюваності. Враховуючи, що ступінь зміни зчеплюваності від часу витримування зразків у сушильній шафі буде залежати від в'язучого (його структурного типу, в'язкості, наявності модифікаторів, тощо) прийнято рішення обмежити час витримування 5 хв.

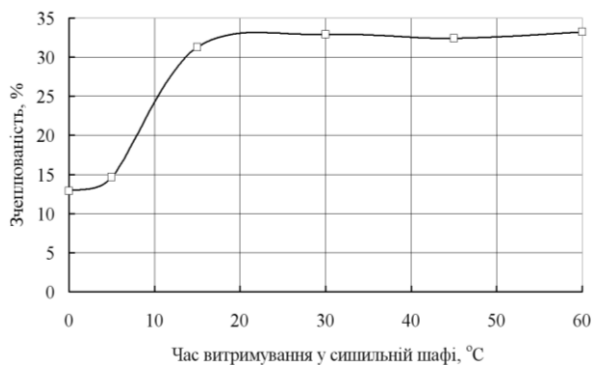


Рис. 3. Вплив часу витримування зразків у сушильній шафі на значення зчеплюваності

Подібною наведеної на рис. 3 є й залежність зчеплюваності від часу витримування зразків за кімнатної температури до випробування (рис. 4).

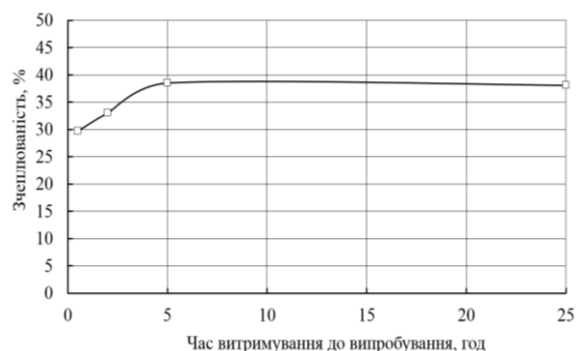


Рис. 4. Вплив часу витримування зразків за кімнатної температури до випробування на значення зчеплюваності

Перевірка виконувалась на зразках, що були витримані в сушильній шафі впродовж 25 хв. У відповідності з наведеною на рис. 4 залежністю впродовж перших 5 год відбувається певне зростання зчеплюваності (на 22,9%), яке, ймовірно, було б більшим у випадку попереднього витримування зразків у сушильній шафі впродовж лише 5 хв, та ще більшим у випадку випробування мало-в'язких бітумних в'язучих.

З метою уникнення похибки від зміни зчеплюваності з часом витримування зразків на повітрі до випробування вирішено в подальшому всі зразки випробувати не пізніше ніж через 30 хв після їх виймання з сушильної шафи.

Визначення зчеплюваності в'язучих виконується шляхом витримування зразків у воді, тому в роботі перевірено вплив різних водних середовищ на значення зчеплюваності бітуму з поверхнею скла. Підготовлені зразки випробувались шляхом витримування за температури 55 °C протягом 50 хв у різних водних розчинах, в якості яких приймалась: дистильована вода (у якості еталонного середовища), водопровідна вода (як найбільш поширена речовина), тала вода (як аналог забрудненої дистильованої води, що потрапляє на дорожнє покриття), 2,5 % водний розчин NaCl, 5 % водний розчин NaCl, 1 % водний розчин NaHCO₃ (як розчини, що мають різну жорсткість та показник pH). Отримані дані наведені на рис. 5.

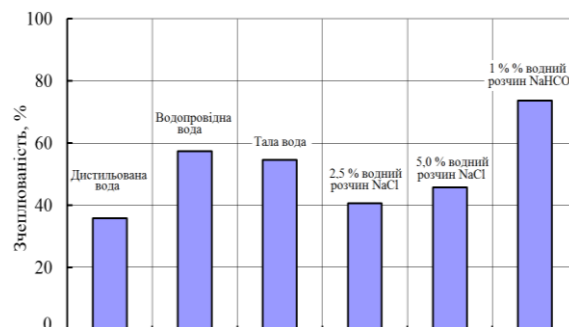


Рис. 5. Вплив водного середовища на значення зчеплюваності в'язучих з поверхнею скла

Виходячи з отриманих даних (рис. 5), дистильована вода є найбільш агресивним середовищем, про що свідчать найменші значення зчеплюваності бітуму з поверхнею скла. Враховуючи, що показники якості дистильованої води є постійними в незалежності від того де і як вона отримана, вона прийнята в якості еталонного середовища.

Ще одним фактором, що може впливати на значення зчеплюваності, є товщина зразка в'язучого на скляній пластині. Відповідно наведеної в ДСТУ Б.В.2.7-81 [6] методиці при приготуванні зразка використовується наважка в'язучого в 0,35 г, при розподіленні якої по всій поверхні скляної пластини товщина плівки в'язучого становить ≈ 200 мкм. Під час підготовки зразків до випробування, враховуючи, що відважуються

надто малі наважки в'язучого, можливі похибки відважування як в більшу, так і в меншу сторону.

Для визначення впливу товщини плівки бітуму на його зчеплюваність приймалися різні наважки бітуму (0,1 г, 0,15 г, 0,25 г, 0,35 г та 0,5 г). Отримані значення зчеплюваності (рис. 6), свідчать про те, що при товщині в'язучого в межах 100 – 220 мкм, зчеплюваність майже не змінюється. Таким чином ймовірні похибки відважування наважки в межах $0,35 \pm 0,5$ г майже не будуть впливати на точність визначення зчеплюваності.

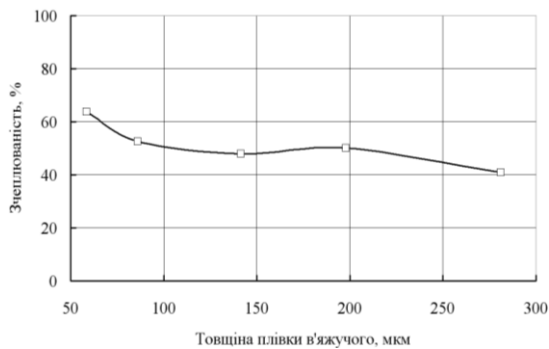


Рис. 6. Вплив товщини зразка в'язучого на значення зчеплюваності

Дослідження температурно-часових режимів визначення зчеплюваності

Визначення зчеплюваності за методом, наведеним в ДСТУ Б.В.2.7-81 [6], підпорядковується принципу температурно-часової суперпозиції Олександра-Лазуркіна [5], згідно з яким однаковий стан зразка під час його деформування може бути досягнутий або шляхом підвищення температури, за якої виконується випробування, або зміною часу дії деформуючого навантаження. Враховуючи цей принцип можливо підібрати оптимальні режими за температурою та часом випробування при визначенні зчеплюваності бітумних в'язучих різних типів.

У відповідності з [5, 12], одними з основних факторів, що впливають на швидкість витіснення бітуму з еталонної випробуваної поверхні, є в'язкість в'язучого та поверхневий натяг на межі розподілу «бітум – рідина». З підвищенням температури випробування в'язкість в'язучих значно зменшується, що призводить до збільшення швидкості витіснення бітумної плівки рідиною. За даними А.С. Колбановської [13] для отримання порівнянних результатів зчеплюваності бітумів, випробування повинно виконуватись в умовах, за якими їх в'язкість є рівною. Враховуючи, що за температури 90 ... 100 °С в'язкість бітумів різних типів є близькою,

Колбановська А.С. пропонувала вважати температуру в 100 °С еквів'язкою та при визначенні зчеплюваності, шляхом витримування у воді, випробування виконувати саме за цієї температури.

Для встановлення режимів випробування різноманітних бітумних в'язучих (табл. 1) виконувалось дослідження зчеплюваності за різних температур в дистильованій воді (в діапазоні 55...95 °С) та часу витримування зразків (5...60 хв). Отримані залежності наведені на рис. 7–11.

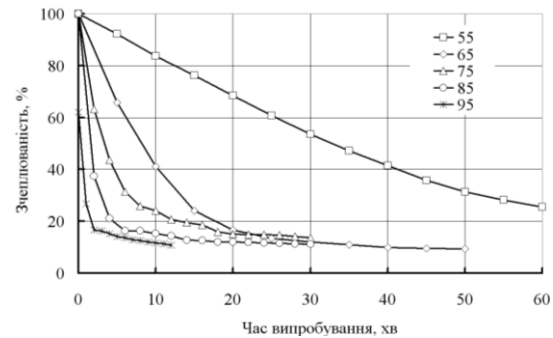


Рис. 7. Залежність зчеплюваності бітуму з поверхню скла від часу випробування за різної температури

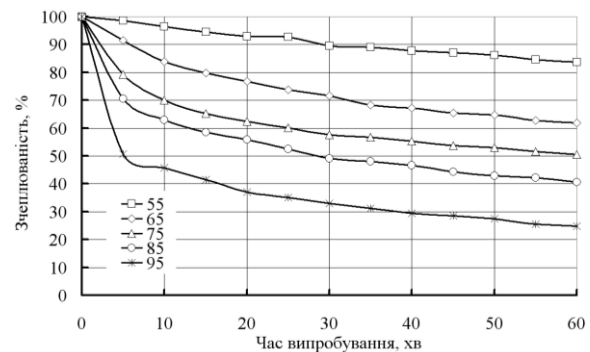


Рис. 8. Залежність зчеплюваності бітуму, модифікованого 0,25 % Адбіт-Р з поверхню скла від часу випробування за різної температури

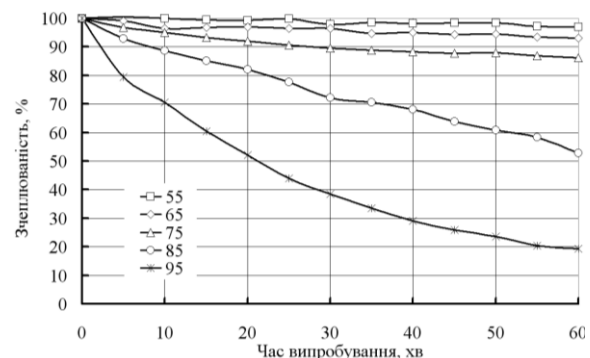


Рис. 9. Залежність зчеплюваності бітуму, модифікованого 0,5 % Wetfix VE з поверхню скла від часу випробування за різної температури

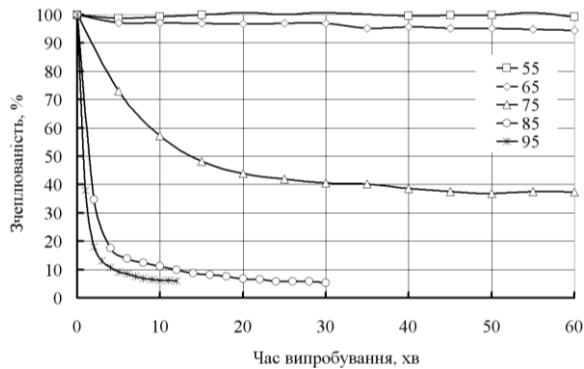


Рис. 10. Залежність зчеплюваності бітуму, модифікованого 3 % енергозберігаючої добавки Sasobit з поверхню скла від часу випробування за різної температури

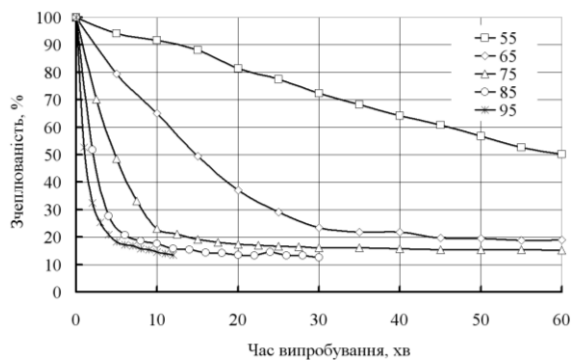


Рис. 11. Залежність зчеплюваності бітуму, модифікованого 3 % полімеру SBS з поверхню скла від часу випробування за різної температури

Виходячи з отриманих даних, безвідносно до температури проведення випробування часова залежність зчеплюваності як бітумів, так і бітумних в'язучих, модифікованих різноманітними добавками, може бути описана поліноміальним рівнянням. Для будь-якого бітумного в'язучого зі збільшенням часу випробування зчеплюваність зменшується до певного значення. Це значення є постійним (спостерігається плато) і майже не змінюється при будь-якому подальшому збільшенні часу випробування. Таким чином за критерій призначення температури та часу випробування на зчеплюваність можна прийняти вихід часової залежності зчеплюваності в'язучого на «плато». В цьому випадку значення зчеплюваності різних в'язучих будуть у порівняних умовах.

Згідно методики діючого ДСТУ Б.В.2.7-81 [6] прийняті наступні умови проведення випробування: для бітумів – витримування впродовж 25 хв за 75 °C, для бітумів з поверхнево-активними добавками – витримування

впродовж 25 хв за температури 85 °C. У відповідності з представленими на рис. 8–11 залежностями час витримування (25 хв) у воді бітумних в'язучих, модифікованих різноманітними добавками, може бути замалим для стабілізації значень зчеплюваності.

Для встановлення температурно-часових режимів випробування в'язучих було виконано дослідження зчеплюваності за температурами 75 °C та 85 °C більше ніж 80 бітумів та бітумних в'язучих, модифікованих різноманітними добавками (полімерами, адгезійними добавками, восками, комплексними добавками). На основі отриманих залежностей встановлено, що найбільш доцільними є наступні режими визначення зчеплюваності:

- для не модифікованих в'язучих – температура витримування 85 °C, час – 25 хв;
- для бітумів з адгезійними добавками – температура – 85 °C, час витримування – 25 хв / 50 хв (50 хв у випадку, якщо після 25 хв витримування зчеплюваність візуально більша за 90 %);
- для в'язучих, модифікованих полімерами, восками та комплексними добавками – температура – 85 °C, час витримування – 25 хв / 50 хв (50 хв у випадку, якщо після 25 хв витримування зчеплюваність візуально більша за 90 %).

Оскільки в діючому ДСТУ 4044 [14] нормується зчеплюваність нафтових дорожніх в'язких бітумів, що визначена за температури 75 °C та часі випробування 25 хв, при виконанні роботи здійснено порівняння значень зчеплюваності, що визначені за температур 75 °C та 85 °C. На основі отриманих даних (табл. 3) встановлено, що різниця значень зчеплюваності, що визначена за 75 °C та 85 °C знаходиться в межах похибки випробування. Таким чином зміна температури випробування з 75 °C на 85 °C не вимагає внесення змін в наведені в ДСТУ 4044 норми зчеплюваності.

Висновки

На основі виконаних досліджень та отриманих експериментальних даних були розроблені: методика підготовки предметних стекел для випробування на зчеплюваність; методика нанесення в'язучого на поверхню предметного скла; температурні режими витримування зразків до випробування; температурно-часові режими визначення зчеплюваності. На основі отриманих температурно-часових залежностей зчеплюваності прийнятих в дослідженні бітумів та бітумів, модифікованих різноманітними добавками (по-

Таблиця 3 – Порівняння зчеплюваності бітумів, визначеної за температур 75 °С та 85 °С

Показники	Властивості бітумів										
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6	Б7	Б8	Б9	Б10	
Глибина проникності голки за 25 °С, 0,1 мм	91	89	76	82	91	78	82	66	71	79	
Температура розм'якшеності, °С	50,0	48,9	49,7	50,6	48,1	45,7	47,9	48,8	48,0	48,2	
Температура крижкості, °С	-22,5	-17,0	-18	-16,5	-17,5	-17,5	-20,5	-17,5	-18,0	-17,0	
Розтяжність за 25 °С, см	41,1	84,7	>150	>150	>150	>150	84,4	>150	>150	>150	
Індекс пенетрації	0,38	0,01	-0,23	0,23	-0,15	-1,29	-0,51	-0,85	-0,88	-0,53	
Зчеплюваність через 25 хв витримування, %, за температури	75 °С	7,6	12,7	12,6	7,6	11,4	21,3	6,8	6,0	10,8	9,4
	85 °С	11,8	8,9	8,8	6,8	9,8	21,6	6,9	6,6	9,0	9,6

верхнево-активні речовини, енергозберігаючі добавки, полімери, комплексні в'язучі) встановлено, що залежності зчеплюваності від часу витримування у воді, безвідносно температури випробування, можуть бути описані поліноміальними залежностями. Для будь-якого бітумного в'язучого зі збільшенням часу випробування зчеплюваність зменшується до певного значення, яке, за подальшого зростання часу витримування, залишається постійним (спостерігається плато). Виходячи з цього встановлені режими випробування бітумів та бітумних в'язучих.

Отримані експериментальні дані та залежності покладені в основу проекту ДСТУ «Бітум та бітумні в'язучі. Метод визначення показника зчеплюваності з поверхнею скла та кам'яних матеріалів».

Література

- Grönniger J., Wistuba M. P., Renken P. Adhesion in bitumen-aggregate-systems: New technique for automated interpretation of rolling bottle tests. *Road materials and pavement design*. 2010. Т.11. №. 4. P. 881-898.
- Пиріг Я.І., Галкін А.В. Методи оцінки адгезії та когезії бітумних в'язучих. Харків: ХНАДУ, 2019. 224 с.
- State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
- 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. № 3:4. P. 355-372.
- Золотарев В.А., Агеева Е.Н. Об оценке адгезии битума к поверхности минерального материала. *Автомобильные дороги*. 1995. №. 12. С. 13-15.
- 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.
- Соломенцев А.Б., Бухтияров С.В. Сравнительная оценка методов определения сцепления

дорожного битума с адгезионными добавками с поверхностью минерального материала. *Строительство и реконструкция*. 2014. № 1 (51). С. 85-91.

- Ивкин А.С., Васильев В.В. Влияние толщины битумной плёнки на результаты оценки сцепления по ДСТУ Б В. 2.7-81-98. *Проблемы геологии и освоения недр: труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора МИИ Кучина*, Томск, 3-7 апреля 2017 г. Томск, 2017. Т. 2. С. 239-241.
- Ивкин А.С. Закономерности взаимодействия битума с минеральными материалами при температурах производства асфальтобетонных смесей: дис. кандидат наук: 05.17.07 - Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ. Санкт-Петербург, 2019. 112 с.
- Gao Y., Zhang Y., Gu F., Xu T., Wang H. Impact of minerals and water on bitumen-mineral adhesion and debonding behaviours using molecular dynamics simulations. *Construction and Building Materials*. 2018. Т. 171. С. 214-222.
- Використання ЕОМ для визначення показника зчеплення бітуму з поверхнею скла / Золотарьов В. О. та ін. *Автошляховик України*. 2005. № 3. С. 30-33.
- Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия, 1974, 416 с.
- Колбановская А.С., Михайлов В.В. Дорожные битумы. М.: Транспорт, 1973. 264 с.
- ДСТУ 4044-2001. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний від 2002-01-01]. Вид офіц. Київ: Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2001. 10 с.

References

- Grönniger J., Wistuba M. P., Renken P. (2010). Adhesion in bitumen-aggregate-systems: New technique for automated interpretation of rolling bottle tests. *Road materials and pavement design*, 11(4), 881-898.
- Pyrig, Ja.I., & Galkin, A.V. (2019). *Metody ocinky adgezii' ta kogezii' bitumnyh v'jazhuchyh [Methods for assessing the adhesion and cohesion of bituminous binders]*. Harkiv: HNADU. 224 [in Ukrainian].

3. Highway research board. (1968). *State of the art: Effect of water on bitumen - aggregate mixtures. Special report 98.*
 4. 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.
 5. Zolotarev, V. A., Ageeva, E.N. (1995). Ob otsenke adhezii bituma k poverkhnosti kamennogo materiala [On the evaluation of the adhesion of bitumen to the surface of the stone material]. *Avtomobil'nye dorogi*, (12), 13-15. [in Russian].
 6. Budivel'ni materialy. Bitumi naftovi dorozhni v'iazki. Metod viznachennia pokaznika zchepлення z poverkhnieu 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: Derzhavnyi komitet budivnistva, arkhitekturi ta zhitlovoi politiki Ukraini [in Ukrainian].
 7. Solomencev, A. B., & Buhtijarov, S. V. (2014). Sravnitel'naja ocenka metodov opredelenija sčepлення dorozhnogo bituma s adgezionnymi dobavkami s poverhnost'ju mineral'nogo materiala [Comparative evaluation of methods for determining the adhesion of road bitumen with adhesive additives to the surface of a mineral material]. *Stroitel'stvo i rekonstrukcija*, (1), 85-91.
 8. Ivkin, A. S., & Vasil'ev, V. V. (2017). Vlijanie tolshhiny bitumnoj pljonki na rezul'taty ocenki sčepлення po DSTU B V. 2.7-81-98 [Influence of bitumen film thickness on the results of adhesion assessment according to DSTU B V. 2.7-81-98.]. *Problemy geologii i osvoenija nedr: trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika MA Usova studentov i molodyh uchenyh, posvjashhennoho 130-letiju so dnja rozhdenija professora MI Kuchina, Tomsk, 3-7 aprelja 2017 g.* Tomsk, Tom 2, 239-241.
 9. Ivkin A.S. (2019). Zakonomernosti vzaimodejstvija bituma s mineral'nymi materialami pri temperaturah proizvodstva asfal'tobetonnyh smesej [Regularities of interaction of bitumen with mineral materials at temperatures of production of asphalt concrete mixtures]: dis. kandidat nauk: 05.17.07 - Himicheskaja tehnologija topliva i vysokojenergeticheskij veshhstv. Sankt-Peterburg, 112 s. [in Russian].
 10. Gao, Y., Zhang, Y., Gu, F., Xu, T., & Wang, H. (2018). Impact of minerals and water on bitumen-mineral adhesion and debonding behaviours using molecular dynamics simulations. *Construction and Building Materials*, 171, 214-222.
 11. Zolotar'ov V.O. (2005). Viktorstannja EOM dlja viznachennja pokaznika zchepлення bitumu z poverhneju skla [The use of computers to determine the adhesion of bitumen to the glass surface]. *Avtoshljahovik Ukraini*. 2005. № 3. 30-33. [in Ukrainian].
 12. Zimon A.D. (1974). *Adgezija zhidkosti i smachivanie [Liquid adhesion and wetting]*. M.: Himija, 1974, 416 s. [in Russian].
 13. Kolbanovskaja, A.S., & Mihajlov, V.V. (1973). *Dorozhnye bitumy [Road bitumen]*. M.: Transport, 198-199. [in Russian].
 14. Viscous petroleum road bitumens. Specifications. (2019). *DSTU 4044-2019 from 1st May 2020*. Kyiv: UkrNDNC [in Ukrainian].
- Пиріг Ян Іванович**, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com
- Галкін Андрій Володимирович**, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38067-799-64-32, e-mail: a.galkin0906@gmail.com
- Золотарьов Віктор Олександрович**, докт. техн. наук, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. + 38 098-853-55-85, e-mail: kafedradsm@gmail.com
- Improvement of the method of evaluation of bitumen binder adhesion**
Abstract. Problem. Adhesion can be used as one of the general indicators of interaction between bitumen binder and mineral aggregates in asphalt concrete. From this point of view adhesion of binder to mineral surface is one of the factors that directly provides strength and performance of asphalt road pavement. More than 20 years in Ukraine adhesion properties of bitumen evaluated with a ДСТУ Б В.2.7-81-98 standard method. This method is based on evaluation of bitumen adhesion to a glass slide, which is set as a standardized surface. Nowadays the list of the positions of ДСТУ Б В.2.7-81-98 is out of date that requires an improvement of adhesion evaluation method. **Goal.** This research work is aimed to improve the method of evaluation of bitumen binder adhesion to a glass and mineral material surface. **Methodology.** To reach the goal the following experimental researches are done: the analysis of different glass slides as a standardized surface, the improvement of the preparation method of glass surface for the test, the choice of the time-temperature regimes of the test. **Results.** It is found that glass sides for the microscope analysis can be set as a standardized glass surface for the test. Methods of glass surface preparation and a test procedure are improved. The regimes of samples heating and exposure before the test and a time-temperature regimes of the rest is changed in comparison with ДСТУ Б В.2.7-81-98. It was found

that stripping of the glass surface in water with a time can be described as a polynomial function irrelevant to the test temperature. For each bitumen binder stripping tends to reach the specific constant level during a test time and stays practically unchanged at the further exposure. **Originality.** On the analysis of the obtained time-temperature relations for the test samples stripping it is set the test regimes and procedure that allows correct and precision evaluation of the adhesion level for a wide range of bitumen binders with additives. **Practical value.** The obtained experimental data is a base of developed project of national standard ДСТУ «Bitumen and bituminous binders. Determination of resistance to stripping on glass and aggregates surface».

Keywords: bitumen, adhesion, temperature, sample thickness, preparation method.

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

Zolotaryov Victor, Doct. of Science, Professor, The department of technology of road-construction materials, Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 38 098-853-55-85, e-mail: kafedradsm@gmail.com
