

УДК 665.775+539.612

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.88

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ ЗЧЕПЛЮВАНOSTІ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ ЗІ ЩЕБЕНЕМ

Пиріг Я. І.¹, Галкін А. В.¹, Екімов В. М.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²ТОВ «Автомагістраль-Південь»

Анотація. У статті розглянуто особливості визначення зчеплюваності бітумних в'язучих із щебнем відповідно до чинного в Україні стандартного методу, наведеного в ДСТУ 8787. На основі досліджень визначено фактори, що можуть впливати на якість досягнутих результатів, та запропоновано заходи підвищення точності методу.

Ключові слова: бітум, зчеплюваність, щебінь, метод.

Вступ

Високий рівень зчеплюваності бітумних в'язучих із поверхнею кам'яних матеріалів, що містять асфальтобетони, є вагомим фактором забезпечення надійної якості асфальтобетонних дорожніх покриттів та їх довговічності.

Незважаючи на важливість показника зчеплюваності, на сьогодні відсутній єдиний стандартизований метод, що був би теоретично обґрунтованим і давав змогу за допомогою відносно простого обладнання впродовж нетривалого часу з високою точністю досягати результатів, які можуть бути об'єктивно оцінені та визначатися високою збіжністю й відтворюваністю. Натомість зараз відомо понад 150 методів, що впроваджуються в дорожніх галузях різних країн для оцінювання зчеплюваності бітумів із кам'яними матеріалами [1–3]. У цьому разі наявні методи можуть бути умовно поділені на три основні групи: перша – адгезія визначається як робота (енергія), що витрачається на відокремлення в'язучого від поверхні кам'яного матеріалу, чи як міцність зв'язку в'язучого з кам'яним матеріалом; друга – методи, основані на змочуваності бітумним в'язучим поверхні підкладки та на адсорбційній здатності кам'яного матеріалу; третя – методи, основані на встановленні опору плівки бітумного в'язучого, розташованого на поверхні кам'яного матеріалу, відшарувальній дії води. Методи третьої групи найбільш поширені, крім того, типовим є метод, коли зерна кам'яного матеріалу (вузькофракційні або розмір зерен коливається в широкому діапазоні) оброблюються певною наважкою в'язучого та після цього піддаються впливу води з установленою температурою впродовж певного часу.

Аналіз публікацій

Нині в дорожній галузі України впроваджуються три нормованих методи визначення зчеплюваності бітумних в'язучих, які належать до третьої групи методів оцінювання адгезії: метод визначення зчеплюваності зі щебнем за ДСТУ 8787 [4]; метод визначення зчеплюваності з мінеральним матеріалом відповідно до ДСТУ 9169 [5] та метод визначення зчеплюваності між заповнювачами згідно з ДСТУ EN 12697-11 [6].

Метод визначення адгезійних властивостей за ДСТУ 9169 [5] передбачає оцінювання зчеплюваності бітумних в'язучих з еталонною підкладкою, замість якої використовуються пластини медичного предметного скла фіксованих розмірів [7]. Результати дослідження характеризують найменше значення зчеплюваності, що може бути отримано під час взаємодії випробовуваного бітумного в'язучого з будь-яким кам'яним матеріалом, який використовується для приготування асфальтобетонних сумішей, безвідносно до мінералогічного та гранулометричного складу цього кам'яного матеріалу. Метод використовується в Україні вже понад 25 років (попередньою редакцією стандарту на цей метод був ДСТУ Б В.2.7-81) та має значні переваги, зокрема: об'єктивне оцінювання значень зчеплюваності з допомогою вилучення людського фактора (на відміну від експертного оцінювання, що використовується в переважній більшості інших методів); незначний об'єм матеріалу, потрібного для проведення випробування (до 3,5 г в'язучого); відносно нетривалий час випробування, який не перевищує 2,5 год. Значним недоліком методу є обмеженість у проведенні оцінювання зчеплюваності в'язучих із кам'яними матеріалами, що вико-

ристовуються для приготування асфальтобетонних сумішей, через складність підготовки вихідних зразків.

Метод визначення зчеплюваності між заповнювачами згідно з ДСТУ EN 12697-11 [6], а саме метод обертання пляшки, є відносно новим для нашої країни (гармонізований європейський стандарт набув чинності лише 2020 р.) і, незважаючи на те, що в країнах Європейського Союзу він став значно поширеним та навіть вважається «кращим із гірших» [8], в Україні використовується лише в низці дорожніх виробничих та наукових лабораторій. Основними перевагами методу є: можливість оцінювати зчеплюваність в'язучих та кам'яних матеріалів, що безпосередньо застосовуватимуться для приготування асфальтобетонних сумішей; простота методики та відсутність необхідності використання складного та коштовного обладнання. Серед недоліків методу чимало дослідників, зокрема [9, 10], вважають суб'єктивність оцінювання досягнутих результатів; відносно низьку збіжність (близько 20 %) та відтворюваність (до 30 %) результатів; проведення випробування на вузькій фракції кам'яних матеріалів (6,3–10 мм або 8,0–11,2 мм), що унеможливає оцінку зчеплюваності в'язучого з кам'яними матеріалами іншого розміру; тривалість випробування, яке розтягується на декілька робочих днів; невизначеність низки параметрів, що можуть впливати на точність досягнутих результатів. Крім того, у процесі порівняльного оцінювання зчеплюваності методом обертання пляшки та одним із методів, оснований на кип'ятінні впродовж певного часу оброблених бітумним в'язучим зерен кам'яного матеріалу (*Boiling Test*), встановлено суперечливі показники.

Метод, що нормується ДСТУ 8787 [4], передбачає оцінювання зчеплюваності в'язучого з окремими зернами щебня розміром від 10 мм до 40 мм. З усіх чинних на цей час в Україні методів згаданий є найдавнішим. Розробниками цього методу є А. Лисіхіна та Ц. Ханна, які запропонували його ще 1948 р. [11]. 1959 р. за допомогою Р. Сицької метод було модифіковано та після цього він впроваджувався в дорожній галузі доти, доки не був замінений 1965 р. на більш поширений метод визначення зчеплюваності бітумів із мармуром та піском (ГОСТ 11508-1965 «Бітуми нафтові. Методи визначення зчеплення бітуму з мармуром та піском»). Саме модифікована версія методу з незначними змінами (більш точно встановлені температури нагріву

кам'яних матеріалів і бітумних в'язучих залежно від їх марки та збільшений з 15 хв до 60–120 хв час вистигання зерен щебеню, обробленого бітумом) почала використовуватися 2003 р. в дорожній галузі України (нормована в ДСТУ Б В.2.7-89), а з 2019 р. подана у вигляді ДСТУ 8787 [4].

Тепер подібний метод використовується в низці країн світу, наприклад у Німеччині, та є стандартизованим у КНР (JTG E20-2011) [12].

Суттєвою перевагою методу є його простота, незначна кількість вихідних матеріалів та відносна мала тривалість, яка не перевищує 3,5–4 год. Методу притаманні й недоліки, основними з яких є: суб'єктивність оцінювання результатів випробування, що позначається на їх точності та невизначеність товщини плівки в'язучого на зернах кам'яного матеріалу. Це спричиняє невідповідність кінцевих результатів умовам, в яких бітум перебуває в асфальтобетонній суміші. Також зазначений метод має недолік, властивий для переважної більшості методів цієї групи, а саме можливість використання лише для однозначної оцінки зчеплюваності («низька» чи «висока») та значна суб'єктивність у процесі оцінювання проміжних значень зчеплюваності.

Мета та постановка завдання

Метою виконаної роботи є встановлення факторів, що впливають на точність та відтворюваність результатів визначення зчеплюваності бітумних в'язучих зі щебенем за ДСТУ 8787 [4] та розроблення заходів підвищення точності результатів. Для досягнення поставленої мети було виконано визначення зчеплюваності бітумів різних марок із зернами щебеню різного розміру та мінералогічного складу, виготовленого з кам'яних матеріалів, видобутих на одному родовищі.

Методи та об'єкти дослідження

Для дослідження прийняті нафтові дорожні в'язкі бітуми марок БНД 50/70 та БНД 70/100, виготовлені польською компанією *PKN Orlen*. Бітум БНД 50/70 було модифіковано 0,3 % адгезійної добавки Адбіт Р. Властивості бітумів наведено в табл. 1.

Як мінеральний матеріал використано щебень різних фракцій, виготовлений з гранітного мігматиту, видобутого на одному й тому самому родовищі. Згідно з інформацією виробника кам'яних матеріалів, мігматит є гірською породою від світло-сірого до сірого та темно-сірого кольору, середньо- та дрібнозер-

нистою, міцною, щільною, яка має такий мінералогічний склад: 60–70 % плагіоклазу, до 20 % кварцу та до 10 % біотиту.

Таблиця 1 – Властивості бітумних в'язучих

Перелік показників якості	Значення для бітумів марок	
	БНД 50/70 + ПАР	БНД 70/100
Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	65	76
Температура розм'якшеності, °С	48,4	47,6
Температура крихкості, °С	-14,0	-17,5
Зчеплюваність з поверхнею скла, %	96,9	20,8

Визначення зчеплюваності здійснювалось відповідно до методики, наведеної в ДСТУ 8787 [4]: температура нагріву бітумів та кам'яних матеріалів становила 150 °С; бітум і кам'яні матеріали витримували за технологічної температури їх нагріву впродовж 60 хв; зерни щебня занурювалися в нагрітий бітум упродовж 15 с безпосередньо в сушильній шафі; стікання бітуму з поверхні зерен щебня відбувалось за температури 22 °С впродовж 60 хв; у воді зерна витримувалися з температурою (95 ± 1) °С протягом 30 хв.

У тексті ДСТУ 8787 [4] відсутні вимоги до класу води згідно з нормою ДСТУ ISO 3696, в якій мають витримуватися зерна кам'яного матеріалу, тому випробування здійснювалось з використанням води, отриманої одноразовим дистилюванням (III клас води).

Безпосередньо випробування здійснювалось у водяній бані, обладнаній системою автоматичного підтримання температури води з точністю ± 1 °С та її примусовим перемішуванням.

Результати дослідження

Певні нарікання в методиці визначення зчеплюваності, наведеної в ДСТУ 8787 [4], викликає відбір зерен щебеню для проведення випробування, а саме невизначеність підходів до розміру зерен та їх мінералогічного складу.

Згідно з вимогою ДСТУ 8787 [4] для проведення випробування потрібно відібрати шість зерен розміром від 10 мм до 40 мм з проби щебеню однієї фракції, тобто або зерна, розмір яких коливається в межах 10–20 мм або 20–40 мм. Певні сумніви виникають щодо коректності зіставлення результатів зчеплюваності, досягнутих на зернах кам'яного матеріалу різного розміру.

По-перше, на зернах щебеню різного розміру бітумна плівка має різну товщину, що безумовно має впливати на значення зчеплюваності. Для оцінювання такого впливу здійснено відповідну експериментальну перевірку.

Для випробування були прийняті зерна кам'яного матеріалу, що відбирались за такими критеріями:

- за зовнішнім виглядом зерна визначалися подібністю мінералогічного складу (зерна представлені світлими та темними мінералами);

- розмір зерен коливався в межах від 5 мм до 40 мм, водночас кожне наступне зерно за розмірами та вагою орієнтовно було удвічі меншим за попереднє (рис. 1).

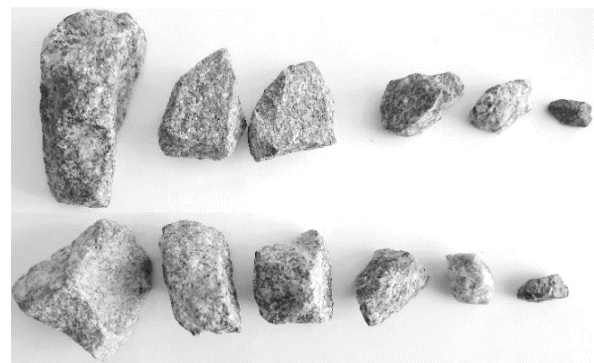


Рис. 1. Зовнішній вигляд зерен кам'яного матеріалу, прийнятого для дослідження

Оскільки завдання визначення розміру зерна є складним через неправильність його геометричної форми, для кожного зерна визначалась вага з точністю до 0,01 г до занурення в бітум (m_0) та після занурення в бітум і подальшого охолодження на повітрі (m_1).

На основі експериментальних показників, поданих на рис. 2, отримано залежність, відповідно до якої зі збільшенням ваги зерна спостерігається зменшення відношення ваги бітуму до ваги зерна щебеню, тобто зменшується товщина плівки бітуму. У цьому разі для прийнятого в дослідженні кам'яного матеріалу за умови збільшення ваги щебеню з 2 г (найменше зерно, що залишилось на ситі з розміром вічок 5 мм) до 70 г (найбільше зерно, що залишилось на ситі з розміром 20 мм та пройшло крізь сито з розміром вічок 40 мм) відношення ваги бітуму на зерні до ваги зерна без бітуму зменшилося увосьмеро.

Наведена на рис. 2 степенева залежність визначається високою кореляцією між поданими показниками. Крім того, такі фактори, як марка бітумного в'язучого та наявність адгезійної добавки у складі одного із в'язучих,

не впливають на коефіцієнт детермінації, який для прийнятих об'єктів становить 0,94.

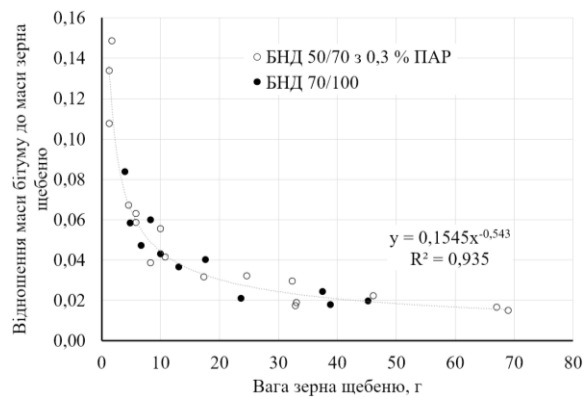


Рис. 2. Залежність кількості бітуму на щебені від ваги зерна щебеню

Результати визначення впливу розміру зерна кам'яного матеріалу та, відповідно, товщини шару бітумного в'язучого на ньому, на зчеплюваність, визначену методом, поданим у ДСТУ 8787 [4], наведені на рис. 3. З огляду на подані показники зчеплюваність бітумного в'язучого, модифікованого адгезійною домішкою, майже не залежить від розміру щебеню та товщини бітумного шару на ньому, хоча й спостерігається значний розкид значень зчеплюваності за мінімального розміру зерна, тобто в разі значної товщини бітумного в'язучого. Поясненням цього може бути вплив мінералогічного складу зерен, що зі зменшенням їх розміру змінюється від полімінерального до мономінерального.

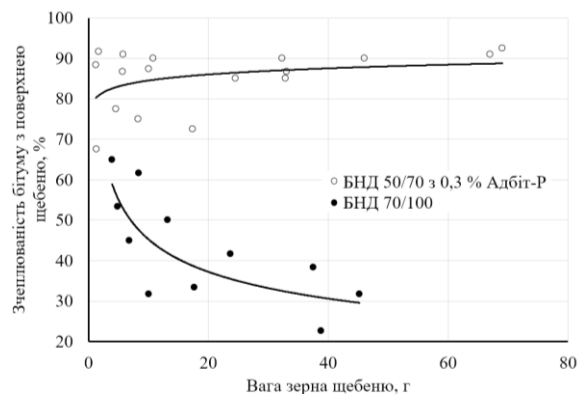


Рис. 3. Вплив ваги та розміру щебеню на показник зчеплюваності

Для немодифікованого бітуму марки БНД 70/100 спостерігається тенденція до зменшення показника зчеплюваності зі збільшенням ваги зерна щебеню, тобто зі зменшенням товщини плівки бітуму на ньому. Для прийнятих у роботі об'єктів зчеплюваність зі збільшенням ваги зерна щебеню вдев'ятеро (з ≈ 5 г

до ≈ 45 г), тобто зі зменшенням товщини плівки бітуму приблизно утричі (згідно з показниками, поданими на рис. 2), зменшується удвічі (з 60 % або 3 балів до 30 % або 2,5 балів). Беручи до уваги наведене вище, для зменшення розкиду досягнутих результатів і підвищення точності експерименту доцільно проводити випробування на зернах кам'яного матеріалу близької ваги.

Коректність кінцевих показників підтверджується результатами дослідження, наведеними в літературних джерелах, згідно з якими збільшення товщини плівки бітуму на зерні кам'яного матеріалу, незалежно від його мінералогічного складу, приводить до збільшення показника зчеплюваності, визначеного методом кип'ятіння (*Texas boiling test*) [13] або методом обертання пляшки [14].

Отже, в методиці, наведеній в ДСТУ 8787 [4], для підвищення збіжності досягнутих результатів доцільно змінити вимогу щодо відбору зерен кам'яного матеріалу для проведення випробування, а саме рекомендувати відбирати зерна не за розміром, а за вагою, що забезпечить зменшення впливу товщини бітумної плівки на кінцеві результати.

З огляду на досягнуті показники можна зробити висновок, що є необґрунтованою вимога, яка на сучасному етапі додана в серію національних стандартів на «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні вимоги», а саме «Зчеплюваність бітуму із заповнювачем певної фракції дозволено оцінювати за результатами випробування заповнювача суміжної фракції». Як показують результати, різниця між значеннями зчеплюваності, визначеної на заповнювачах суміжних фракцій, може відрізнитися майже удвічі.

Другим фактором, що суттєво впливає на результати зчеплюваності та який тісно пов'язаний із розміром зерна кам'яного матеріалу, є мінералогічний склад. Через різну міцність та щільність мінералів, які містить гірська порода, під час її подрібнення відбувається розділення на зерна, що мають більш близький мінералогічний склад. У цьому разі що менший розмір щебеню, то більш вираженим є таке розподілення. На рис. 4 зображені зерна щебеню з одного кар'єру, але різного розміру. Візуально можна бачити, що зі зменшенням розміру зерна спостерігається перехід від полімінеральності до мономінеральності. Це зі свого боку позначається на результатах визначення зчеплюваності в'язучого з поверхнею кам'яного матеріалу, оскільки мінералогі-

чний склад останнього суттєво впливає на значення зчеплюваності, яка є більш високою з темними мінералами та більш низькою зі світлими.



Рис. 4. Зовнішній вигляд зерен щебеню, виготовленого з гірської породи одного родовища

Для визначення впливу мінералогічного складу на зчеплюваність, визначену методом, наведеним у ДСТУ 8787 [4], були відібрані зерна щебеню, виготовленого з кам'яного матеріалу одного й того самого родовища, близького розміру (≈ 10 мм) та ваги (≈ 5 г), які візуально кардинально відрізнялися за мінералогічним складом (рис. 5).



переважно темні мінерали



змішаний тип



переважно світлі мінерали

Рис. 5. Зовнішній вигляд зерен кам'яного матеріалу

Згідно з наведеними на рис. 6 показниками мінералогічний склад суттєво впливає на значення зчеплюваності – найнижчі значення отримані на зернах, що містять переважно світлі мінерали (20 % або 2–2,5 бали), найвищі

значення на зернах, що містять переважно темні мінерали (95 % або 4,5 бали), та проміжні значення на зернах, що містять як світлі, так і темні мінерали (40 % або 3,0 бали). Крім різниці в значеннях зчеплюваності у зерен з різним мінералогічним складом, відрізняються й значення товщини плівки бітуму на зерні кам'яного матеріалу, яка оцінюється за показником, що є відношенням ваги бітуму на зерні до ваги зерна без бітуму. Для зерен, що містять переважно світлі мінерали, значення цього показника в 1,2 раза є меншим, ніж у зерен, що містять переважно темні мінерали. Отже, під час вибору щебеню для випробування потрібно, ймовірно, орієнтуватися на зерна, що мають усереднений мінералогічний склад, властивий для певного родовища, що є важким завданням та робить результати суб'єктивними.

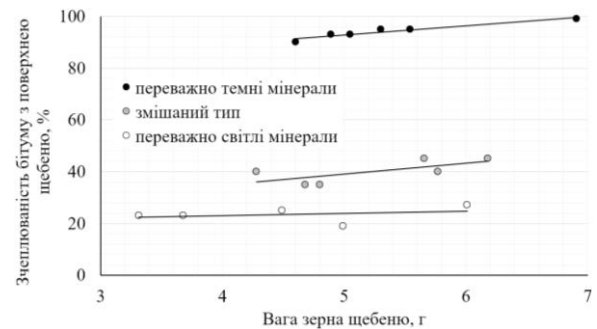


Рис. 6. Вплив мінералогічного складу кам'яних матеріалів на зчеплюваність

Для проведення випробувань на кам'яному матеріалі близького мінералогічного складу текст ДСТУ 8787 [4] доцільно доповнити вимогою щодо відбору зерен щебеню у вологому стані, наприклад, такого змісту: *із проби щебеню однієї фракції в кількості (500 ± 5) г, відмитой від бруду та пилу, відбирають шість зерен розміром від 10 мм до 40 мм, що мають близьку вагу та які візуально мають близький гранулометричний склад. Саме у вологому стані після того, як зерна очищені від бруду та пилу, можна візуально оцінити подібність мінералогічного складу зерен щебеню.*

Ще одним питанням, пов'язаним із методом, поданим у ДСТУ 8787 [4], є зіставлення результатів зчеплюваності, визначених різними методами. Згідно з вимогою, наведеною в тексті національних стандартів серії «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні вимоги»: «Зчеплюваність бітуму із заповнювачем, що використовують для виробництва АБС, повинна бути не менше ніж 4,5 бали згідно з ДСТУ 8787» та «Зчеплюва-

ність бітуму із заповнювачем дозволено визначати згідно з ДСТУ EN 12697-11 (метод обертання пляшки). Ступінь вкриття бітумом заповнювача, що визначають через 6 год випробування, повинен бути не менше ніж 60 %». Отже, з огляду на вищенаведений текст можна зауважити, що зчеплюваність, яка визначена за ДСТУ 8787 [4] та є вищою ніж 4,5 бали (або 90 %), відповідає зчеплюваності, визначеній після 6 год випробування методом обертання пляшки за ДСТУ EN 12697-11 [6], яка перевищує 60 %. Для перевірки цього було здійснено визначення зчеплюваності за методом обертання пляшки згідно з ДСТУ EN 12697-11 [6] та порівняно результати зі значеннями зчеплюваності, поданими на рис. 6. Для випробування зі щебеню фракції 5–10 мм, виготовленого з кам'яного матеріалу одного й того самого родовища, були відібрані зерна, що відрізнялись мінералогічним складом: перший зразок – виключно зерна, що складаються зі світлих мінералів; другий зразок – лише зерна, що складаються з темних мінералів; третій – всі зерна, незалежно від їх мінералогічного складу.

Результати визначення зчеплюваності методом обертання пляшки після 6 год випробування зображені на рис. 7.

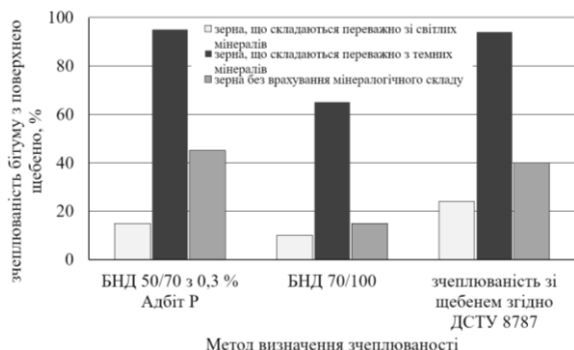


Рис. 7. Результати визначення зчеплюваності бітумних в'язучих із кам'яними матеріалами методом обертання пляшки

Відповідно до наведених показників мінералогічний склад прогнозовано позначається на показнику зчеплюваності: візуально на зернах кам'яного матеріалу, що містять темні мінерали, значно більша площа (в 7–11 разів) залишається вкритою в'язучим після випробування, ніж на зернах, що містять світлі мінерали.

Після порівняння результатів, визначених двома методами (методом, наведеним у ДСТУ 8787 та методом обертання пляшки, наведеним у ДСТУ EN 12697-11) на зернах з різним мінералогічним складом, установлено,

що значення зчеплюваності, незалежно від мінералогічного складу прийнятих у роботі кам'яних матеріалів, отримані методом обертання пляшки, є нижчими, ніж відповідні значення зчеплюваності, отримані методом, наведеним ДСТУ 8787. Подібний висновок підтверджується показниками, наведеними в [15]. Однак на сьогодні відсутнє чисельне експериментальне підтвердження відповідності значень зчеплюваності різних бітумних в'язучих із поверхнею різноманітних кам'яних матеріалів, визначених за методами, наведеними в ДСТУ 8787 та ДСТУ EN 12697-11 (метод обертання пляшки).

Висновки

У наявній редакції методика визначення зчеплюваності бітумних в'язучих із щебенем згідно з ДСТУ 8787 [4] містить кілька невизначених положень, які можуть зумовлювати низьку точність результатів. Для підвищення точності визначення зчеплюваності бітумів зі щебенем можна рекомендувати доповнити текст ДСТУ 8787 декількома положеннями: зерна для проведення випробування необхідно відбирати не за їх розміром, а за вагою, що забезпечить зменшення впливу товщини бітумної плівки на кінцеві результати; відбір зерен необхідно здійснювати у вологому стані, у цьому разі зерна вже мають бути очищеними від бруду та пилу; для випробування необхідно відбирати зерна, що мають усереднений мінералогічний склад, властивий для кам'яних матеріалів родовища. Доцільно вилучити з тексту національних стандартів на «Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон. Технічні вимоги» положення, що дає змогу оцінювати зчеплюваність заповнювача певної фракції за результатами випробування заповнювача суміжної фракції.

Література

1. State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures. Special report 98. Highway research board, 1968. 88 p.
2. 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.
3. Пиріг Я.І., Галкін А.В. *Методи оцінки адгезії та когезії бітумних в'язучих*. Харків: ХНАДУ, 2019. 224 с.
4. ДСТУ 8787:2018. Бітуми та бітумні в'язучі. Метод визначення зчеплюваності зі щебенем. [Чинний з 2019-06-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2021. 7 с.
5. ДСТУ 9169:2021 Бітум та бітумні в'язучі. Ви-

- значення зчеплюваності з мінеральним матеріалом [Чинний з 2022-08-01]. Вид. офіц. Київ, УкрНДНЦ. 2021. 19 с.
6. 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.
 7. Пиріг Я.І., Галкін А.В., Золотарьов В.О. Вдосконалення методу оцінки зчеплюваності бітумних в'язучих. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2021. Т. 2. № 92. С. 57–57.
 8. Grothe H., Wistuba M. Affinität Bitumen / Gestein – eine dauerhafte Verbindung? *Gestrata. Das Asphalt-Magazin*. 2010. № 129. P. 8–14.
 9. Isacsson U., Jörgensen T. Laboratory methods for determination of the water susceptibility of bituminous pavements. Experience gained in the Nordic countries. Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI rapport 324 A. 1987. 56 p.
 10. Jorgensen T. Testing adhesion between bitumen and aggregate with the Rolling Bottle Test and the Boiling Test. *Proceedings of the 6th international conference on the bearing capacity of roads and airfields*, Lisbon, Portugal, 24–26 June 2002. 2002. P. 889–897.
 11. Лисихіна А.І. Поверхнево-активні добавки для підвищення водостійкості дорожніх покриттів із застосуванням бітумів та дьогтів. Автотрансиздат, 1959. 232 с.
 12. Li M. et al. Evaluation of the Adhesion between Aggregate and Asphalt Binder Based on Image Processing Techniques Considering Aggregate Characteristics. *Materials*. 2023. Т. 16. № 14. P. 5097-1–5097-16.
 13. AlKofahi N., Khedaywi T. Evaluation the effect of asphalt film thickness on stripping resistance. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2019. Т. 14. № 2. P. 560–570.
 14. Isacsson U., Jörgensen T. Laboratory methods for determination of the water susceptibility of bituminous pavements. Experience gained in the Nordic countries. Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI rapport 324 A, 1987. 43 p.
 15. Пиріг Я.І., Галкін А.В. Порівняльна оцінка адгезії бітумних в'язучих, яка визначена за методами, що нормуються національними стандартами України. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. Т. 1. № 86. P. 203–213.
- adgeziyi ta kogeziyi bitumnykh vyazhuchykh [Methods for evaluating the adhesion and cohesion of bitumen binders]. Kharkov: KhNADU. 224. [in Ukrainian].
4. Bitumy ta bitumni viazhuchi. Metod vyznachennia zchepliuvanosti zi shchebnem [Determination of adhesion with crushed stone]. (2019). *DSTU 8787:2018 from 1st January 2019*. Kyiv: UkrNDNTs, 2021. 7 p. [in Ukrainian].
 5. Bitum ta bitumni vyazhuchi. Vyznachennya zchepliuvanosti z mineralnym materialom [Determination of resistance to stripping from mineral material]. (2022). *DSTU 9169:2021 from 1st August 2022*. Kyiv: UkrNDNTs. 19 p. [in Ukrainian].
 6. Bitumomineralni sumishi. Metody vyprobuvannia hariachykh asfaltobetonnykh sumishei. Chastyna 11. Vyznachennia zchepliuvanosti mizh zapovniuvachem i bitumom. [Bituminous mixtures – Test methods – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen]. (2020). *DSTU EN 12697-11:2018 from 1st January 2020*. Kyiv: UkrNDNTs. 41 p. [in Ukrainian].
 7. Pyrih, Y.I., Galkin, A.V., Zolotarov, V.O. (2021). Vdoskonalennia metodu otsinky zchepliuvanosti bitumnykh viazhuchykh. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu*. Т. 2. № 92. P. 57–57. [in Ukrainian].
 8. Grothe, H., Wistuba, M. (2010). Affinität Bitumen / Gestein – eine dauerhafte Verbindung? *Gestrata. Das Asphalt-Magazin*. 2010. № 129. P. 8–14.
 9. Isacsson, U., Jörgensen, T. (1987). Laboratory methods for determination of the water susceptibility of bituminous pavements. Experience gained in the Nordic countries. Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI rapport 324 A. 56 p.
 10. Jorgensen, T. (2002). Testing adhesion between bitumen and aggregate with the Rolling Bottle Test and the Boiling Test. *Proceedings of the 6th international conference on the bearing capacity of roads and airfields*, Lisbon, Portugal, 24–26 June 2002. P. 889–897.
 11. Lysykhina, A.I. (1959). *Poverkhnevo-aktyvni dobavky dlia pidvyshchennia vodostiikosti dorozhnykh pokryttiv iz zastosuvanniam bitumiv ta dohtiv*. Avtotransyzdat, 232 p. [in Ukrainian]
 12. Li, M. et al. (2023). Evaluation of the Adhesion between Aggregate and Asphalt Binder Based on Image Processing Techniques Considering Aggregate Characteristics. *Materials*. Т. 16. № 14. P. 5097-1–5097-16.
 13. AlKofahi, N., Khedaywi, T. (2019). Evaluation the effect of asphalt film thickness on stripping resistance. *International Journal of Applied Engineering Research*. Т. 14. № 2. P. 560–570.
 14. Isacsson, U., Jörgensen, T. (1987). Laboratory methods for determination of the water susceptibility of bituminous pavements. Experience gained in the Nordic countries. Statens Väg-och Trafikinstitut. VTI rapport 324 A, 43 p.
 15. Pyrih, Y.I., Halkin, A.V. (2019). Porivnialna otsinka adhezii bitumnykh viazhuchykh, yaka vyznachena za metodamy, shcho normuiusia

References

1. State of the art: Effect of water on bitumen – aggregate mixtures. (1968). Special report 98. Highway research board, 88 p.
2. 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. P. 355–372.
3. Pyrig, Y.I., Galkin, A.V. (2019). Metody ocinky

natsionalnomy standartamy Ukrainy. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu. T. 1. № 86. P. 203–213. [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. +380984466268, 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. +380677996432, e-mail: a.galkin0906@gmail.com.

Екімов Віталій Миколайович, головний технолог ТОВ «Автомостраль-Південь», Україна, Одеса, 65058, вул. Романа Кармена, 21, тел. +380964904426, e-mail: ekimovdp@gmail.com.

Peculiarities of assessing bituminous binders adhesion to crushed stone

Abstract. Problem. An important factor in ensuring the durability and reliable quality of asphalt pavements is a high level of adhesion of bituminous binders to the surface of aggregates. At present, three methods for determining the adhesion of bituminous binders are used in the road industry of Ukraine, of which the most common is the method for determining the adhesion to crushed stone according to DSTU 8787. **Goal.** The aim of the work is to determine the factors that affect the accuracy and reproducibility of the results of determining the adhesion of bitumen binders to crushed stone according to DSTU 8787 and to develop methods to improve the accuracy of the results. **Methodology.** To achieve this goal, we determined the adhesion of bitumen of different grades to particles of crushed stone of different sizes and mineralogical composition extracted from one deposit. **Results.** There are uncertainties in the methodology for determining the adhesion to crushed stone that significantly affect the accuracy of the results obtained. There are

certain doubts about the criteria for selecting crushed stone particles for testing, the need to take into account their size and mineralogical composition. Based on the experimental data obtained, it was found that bitumen binder films of different thicknesses are formed on particles of stone material of different sizes, which, in turn, affects the results of adhesion – with an increase in the size of the crushed stone particle, i.e., with a decrease in the thickness of the bitumen film, a decrease in the adhesion values is observed. The second factor affecting the accuracy of determining the adhesion of crushed stone is the lack of requirements in the methodology for taking into account the mineralogical composition of the particles. **Practical value.** Based on the experimental data, it is recommended to introduce a number of additions to the text of DSTU 8787: it is advisable to select crushed stone particles for testing not by their size, but by weight, which will reduce the effect of the thickness of the bitumen film on the results obtained; selection of particles should be carried out in a wet state; for testing, it is necessary to select particles with an average mineralogical composition characteristic of the stone materials of the deposit. Taking into account the above provisions the accuracy of the results obtained will be improved.

Keywords: bitumen, penetration, brittleness temperature, relationship.

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. + 380984466268, 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. +380677996432, a.galkin0906@gmail.com.

Ekimov Vitalii, Chief Technologist of Avtomagistral-Pivden LLC, Romana Karmena str., 25, Odessa, 65058, Ukraine, tel. +380964904426, e-mail: ekimovdp@gmail.com.