

ОГЛЯД ПІДХОДІВ ДО ПРИСКОРЕНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДОВГОСТРОКОВОГО СТАРІННЯ БІТУМНИХ В'ЯЖУЧИХ

Пиріг Я.І.¹, Тетера В.С.¹, Екімов В.М.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²ТОВ «Автомагістраль-Південь»

Анотація. У статті розглянуто сучасні стандартизовані методи старіння бітумних в'язучих, подано їх переваги та недоліки. Проаналізовано підходи до прискореного моделювання довгострокового старіння бітумів, які застосовуються в різних країнах світу. Обґрунтовано необхідність стандартизації у вітчизняній дорожній галузі прискореного методу оцінювання довгострокового старіння бітумів, що дасть змогу на етапі вибору вихідних компонентів асфальтобетонної суміші прогнозувати її довговічність.

Ключові слова: бітум, старіння, короткострокове та довгострокове старіння, методи.

Вступ

У процесі експлуатації асфальтобетонного дорожнього покриття змінюються його фізико-механічні показники якості. Однією з причин такої зміни є старіння бітумного в'язучого, обумовлене різноманітними технологічними, кліматичними та експлуатаційними факторами.

На підставі численних досліджень, здійснених науковцями різних країн світу, встановлено таке: однією з основних причин втрати міцності асфальтобетонного покриття є старіння в'язучого, що міститься в складі асфальтобетону; старіння в'язучого відбувається в два етапи – початкове короткострокове інтенсивне старіння, зумовлене дією високих технологічних температур під час приготування асфальтобетонних сумішей та укладання їх в покриття (основним фактором старіння є випаровування легких фракцій та високотемпературне окислення), та повільне тривале старіння впродовж часу експлуатації дорожнього покриття (основним фактором старіння є реакції оксополімеризації та поліоксиконденсації) [1, 2].

Незважаючи на те, що питання, пов'язані зі старінням бітумних в'язучих та асфальтобетонів досліджують науковці різних країн світу вже понад 100 років, вони є актуальними й в наш час. Причинами цього є: потреба в подовженні відносно низької довговічності асфальтобетонних покриттів; постійне поповнення номенклатури модифікаторів, що застосовуються в дорожній галузі для цілеспрямованого покращення властивостей бітумних в'язучих та асфальтобетонів; розширення номенклатури типів і видів асфальтобетонів, що використовуються для влашту-

вання дорожніх покриттів; удосконалення лабораторних методів моделювання старіння бітумних в'язучих і асфальтобетонів та розроблення сучасних приладів, здатних моделювати зістарювання одночасно під впливом різних факторів.

Аналіз публікацій

Починаючи з кінця XIX ст. і дотепер розроблено чимало різноманітних методів моделювання старіння бітумів, які можна умовно поділити на дві групи: методи, що моделюють короткострокове (технологічне) старіння, та методи, що моделюють довгострокове (експлуатаційне) старіння [2, 3].

Загальним принципом, що покладено в основу методів, які моделюють короткострокове старіння бітумів, є їх витримування впродовж певного часу за прийнятою технологічною температурою в шарі певної товщини. Нині найбільш поширеними методами цієї групи є RTFOT [4] та TFOT [5], які застосовуються, зокрема, у вітчизняній дорожній галузі. Переваги цих методів такі: повсюдне використання в дорожніх лабораторіях різних країн світу; загальноприйняте нормування показників якості зістарених бітумів; відносно малий час випробування (85 хв у методі RTFOT та 5 год у методі TFOT); поширеність лабораторного обладнання; задовільна збіжність показників якості бітумів, зістарених у лабораторних умовах та екстрагованих і відновлених з асфальтобетону, щойно укладеного в дорожнє покриття.

На відміну від методів першої групи, переважним принципом методів, що моделюють довгострокове старіння бітумів, є їх витримування під тиском упродовж тривалого

часу за відносно високої температури шаром заданої товщини.

Розроблення методів цієї групи припадає на 60-ті рр. минулого століття. Одним з перших був *Iowa Durability Test*, який запропонував *D. Lee* [1, 6]. Випробування полягало у витримуванні бітуму, розподіленому шаром 3,2 мм по поверхні скляної циліндричної чашки з плоским дном, що використовуються в методі TFOT, у герметичній металевій посудині під тиском 20 атм за температури 66 °C (150 °F) упродовж 24 та 48 год. Результати випробування, який досягнув *D. Lee*, виявилися багатонадійними, але в низці випадків за деякими показниками якості результати лабораторного старіння бітумів не відповідали старінню в'язучих в експлуатаційних умовах.

Метод не досяг широкого впровадження в дорожній практиці, але підхід, запропонований *D. Lee*, став основоположним для прогнозування довгострокового старіння бітумів та надалі його використовували дослідники в різних країнах світу.

Чисельні методи моделювання довгострокового старіння бітумів, що були розроблені починаючи з 80-х рр. минулого століття, розрізнялись лише умовами зістарювання (тиском, часом витримування бітуму, його температурою під час витримування, товщиною шару тощо) та конструкцією застосованого обладнання [7–9].

Протягом 1987–1993 рр., під час виконання в США Стратегічної дорожньої дослідницької програми SHRP, було розроблено метод довгострокового старіння, який називається *Pressure Ageing Vessel* (PAV). На думку розробників, цей метод дає змогу моделювати зміну властивостей бітуму внаслідок його старіння в дорожньому покритті впродовж 5–10 років експлуатації [10, 11]. Після стандартизації в США (ASTM D6521) та країнах Європи (EN 14769) метод став єдиним виробничим методом довгострокового старіння бітумних в'язучих у різних країнах світу.

Для старіння за методом PAV приймається в'язуче попередньо зістарене методом TFOT або RTFOT. Бітум у кількості 50 г, рівномірно розподілений шаром 3,2 мм по поверхні плоскостонного металевого циліндричного контейнера діаметром 140 мм, витримують у резервуарі під тиском 2,1 МПа (20,7 атм) упродовж 20 год за технологічної температури, яка приймається залежно від кліматичної зони роботи асфальтобетонного покриття: 90 °C – у разі використання асфа-

льобетону в холодному кліматі, 100 °C – за умови помірного та 110 °C – жаркого клімату.

Перевагами методу PAV є [2]: доступність обладнання, що промислово виготовляється різними виробниками; можливість старіння за різних температур, що моделює довгострокове старіння в'язучих в асфальтобетонних покриттях, які експлуатуються в різних кліматичних умовах; можливість використання для старіння більшості видів бітумних в'язучих; сумарна маса зістареного в'язучого становить близько 500 г; об'єм зістареного в'язучого становить щонайменше 90 % від вихідного. З-поміж недоліків методу PAV можна назвати такі: необхідність проведення кількох циклів старіння методом RTFOT для забезпечення потрібного вихідного об'єму в'язучого; відносна тривалість випробування, що разом з підготовчими заходами розтягується на 22–24 год; метод вимагає особливої уваги до запобіжних заходів, оскільки обладнання перебуває під тиском упродовж 20 год, зокрема в нічний час; через статичність випробування та відносно велику товщину плівок в'язучого можливе розшарування бітумів, модифікованих значною кількістю полімеру; метод не бере до уваги вплив пористості асфальтобетону на старіння в'язучого, що може позначатися на збіжності показників якості бітумів, зістарених у лабораторних і виробничих умовах.

З метою усунення недоліків, притаманних методу PAV, та підвищення збіжності результатів лабораторного та виробничого старіння бітумних в'язучих наприкінці минулого століття було розроблено ще декілька методів для моделювання довгострокового старіння бітумних в'язучих, наприклад, *Rotating Cylinder Ageing Test* (RCAT) [13, 14], *Simple Aging Test* (SAT), *Universal Simple Aging Test* (USAT) [15, 16], *High Pressure Ageing Test* (HiPAT) [2]. Методи RCAT та HiPAT є стандартизованими в країнах Європейського Союзу та широко використовуються в наукових лабораторіях. Перевагами цих методів є те, що вони: можуть моделювати як короткострокове, так і довгострокове старіння в'язучих; придатні для зістарювання модифікованих різними модифікаторами бітумних в'язучих без їх розшарування; дають змогу отримувати відносно великий об'єм зістареного в'язучого; отримувати результати більш точно прогнозують зміну властивостей в'язучих під час їх експлуатації в покритті. Але основним недоліком майже всіх методів довгострокового старіння, який розробники

так і не змогли подолати, є тривалий час процедури зістарювання: 140 год за температури 90 °С в методі RCAT; 40 год за температури 100 °С в методі SAT; 65 год за температури 85 °С в методі HiPAT.

Мета й постановка завдання

Метою виконаної роботи є аналіз сучасних прискорених методів довгострокового старіння бітумних в'язучих. Для досягнення поставленої мети проаналізовано зарубіжні літературні джерела, присвячені питанню довгострокового старіння дорожніх бітумів та модифікованих різноманітними добавками бітумних в'язучих.

Аналіз прискорених методів довгострокового старіння бітумних в'язучих

З огляду на те, що вихідним матеріалом для зістарювання за методом PAV є бітумні в'язучі, які попередньо підлягали короткостроковому старінню методом RTFOT (або TFOT), науковці з різних країн світу дослідили питання підбору параметрів старіння методом RTFOT, які б сприяли отриманню в'язучого, що за своїми властивостями відповідало властивостям бітуму, зістареному методом PAV.

Ще наприкінці минулого століття французькі дослідники [17] встановили можливість досягнення однакового рівня зміни стандартних показників якості дорожніх бітумів марки 35/50 після зістарювання методами RTFOT та PAV унаслідок зміни тривалості випробування (рис. 1). *H. Haghshenas* та *R. Rea* [18], дослідивши вплив різних факторів методу RTFOT на зміну властивостей бітуму, встановили, що найбільш значущим є час зістарювання, тоді як інші чинники (температура, витрати повітря, кількість в'язучого) впливають незначною мірою.

У 2013 р. в Індії [19] на основі зіставлення властивостей бітумних в'язучих (зсувної стійкості, втомної стійкості та фазового кута зсуву), зістарених методом PAV та RTFOT (упродовж різного часу витримання зразків за температури 163 °С у випробувальній камері), встановлено, що однаковий рівень зміни властивостей може бути досягнуто: у разі зістарювання бітуму марки 50/70 упродовж 3 год безперервного зістарювання методом RTFOT, для бітуму марки 40/60 – 4 год зістарювання за RTFOT та 4 год 30 хв за умови зістарювання бітуму, модифікованого полімером марки ПМБ 40 та ПМБ 70 (межі пенетрації, відповідно, 30/50 та 50/90). Крім того,

автори встановили, що рівень зістарювання немодифікованих бітумів і модифікованих бітумних в'язучих за допомогою PAV може бути досягнутий способом витримання в'язучих (10 г бітуму розподілено шаром завтовшки 650 мкм по поверхні круглої пластини діаметром 140 мм) у сушильній шафі без примусової вентиляції за температури 85 °С впродовж 3–4 доби та 4–5 діб відповідно.

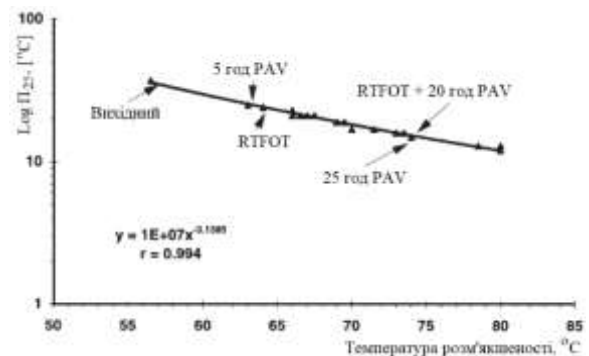


Рис. 1. Взаємозв'язок пенетрації та температури розм'якшеності бітумів марки 35/50, зістарених методами RTFOT та PAV [17]

Дослідники з Південно-Африканської Республіки [20] одними з перших запропонували модифікувати методику RTFOT, щоб досягти рівня зістарювання бітумів, властивих для методу PAV. На основі досліджень було встановлено, що можна досягти значення стандартних показників якості (в'язкість за 60 °С, пенетрація за 25 °С, температура розм'якшеності, модуль зсуву та кут зсуву фаз), які спостерігаються в бітумів після старіння методом PAV, за допомогою зістарювання методом RTFOT за двома режимами: випробування за температури 163 °С впродовж 325 хв або зістарювання за температури 100 °С протягом 48 год (рис. 2).

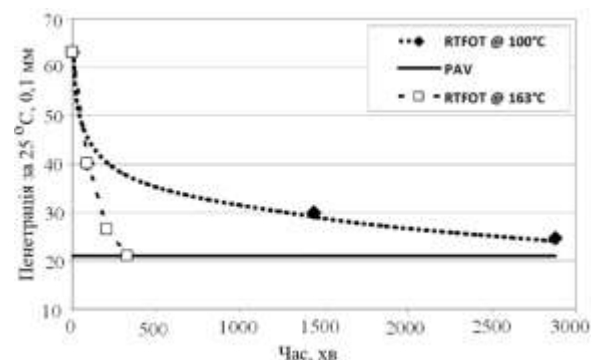


Рис. 2. Моделювання результатів зістарювання бітумів методом PAV унаслідок змін у методиці RTFOT [20]

На основі подібних досліджень, виконаних в подальшому в Бразилії [21] та Індії [22], встановлено, що в разі використання стандартної температури зістарювання (163 °C) 255–340 хв є еквівалентним часом старіння методом RTFOT, який приводить до такої самої зміни показників якості дорожніх бітумів, як після старіння методом PAV впродовж 20 год. Надалі [23] діапазон температур зістарювання методом RTFOT було дещо звужено до 296–307 хв.

Результати досліджень, подані в цих та інших подібних роботах стали передумовою того, що останнім часом у країнах Європейського Союзу набуває поширення прискорена методика оцінювання довгострокового старіння дорожніх бітумів, яка називається 3х RTFOT.

Відповідно до цієї методики для досягнення того самого рівня зістарювання бітуму, що спостерігається після старіння методом PAV (з попереднім старінням PRFOT), можливе в разі збільшення втричі часу зістарювання методом RTFOT [24].

Перевагою цієї методики є те, що: використовується поширене в дорожніх лабораторіях різних країн світу лабораторне обладнання; суттєво зменшується час старіння, завдяки чому весь комплекс випробування бітуму можна здійснити впродовж одного робочого дня.

Недоліками методики є: суттєві втрати бітуму (через неможливість повністю вилучити в'язуче після старіння зі скляних ємностей, прийнятих у методі RTFOT), які сягають 25 %; сфери поширення методики лише на бітуми марок 70/100.

Нині ця методика є стандартизованою в Австрії (національний стандарт RVS 08.97.05) [25] та Чехії [26], до того ж в останній сфера застосування розширена й на бітуми марки 50/70.

Зважаючи на суттєве скорочення часу зістарювання, ця методика є актуальною для прогнозування довговічності асфальтобетонних покриттів на стадії проектування складу асфальтобетонної суміші. Крім цього, наприклад, чеські дослідники [27] пропонують використовувати методику 3х RTFOT або 3х TFOT для оцінювання термостабільності адгезійних добавок.

Зараз науковцями різних країн світу здійснюються експериментальні дослідження щодо встановлення можливості розширення сфери застосування методики 3х RTFOT на

бітуми інших марок, а також на бітуми, модифіковані різноманітними модифікаторами.

Так, наприклад, в КНР [28] на основі результатів зістарювання дорожніх бітумів та бітумів, модифікованих полімерами, визначено, що властивості дорожніх бітумів, зістарених TFOT та PAV (5 год витримування), розрізняються не більше ніж на 5 %, а для модифікованих бітумних в'язучих, зістарених методами RTFOT та PAV (5 год витримування), різниця в значеннях стандартних показників якості не перевищує 10 %. На основі цього автори праці [28] зробили висновки про можливість взаємозаміни методів зістарювання RTFOT, TFOT та PAV.

В Україні впродовж 2021–2022 рр. спостерігалось значне розширення країн-постачальників нафтових в'язких бітумів, які використовуються у вітчизняній дорожній галузі для виготовлення модифікованих бітумних в'язучих та приготування асфальтобетонних сумішей. З огляду на ситуацію в країні в найближчій перспективі тенденція використання у вітчизняній дорожній галузі бітумів, імпортованих з різних країн Європи та, можливо, країн Близького Сходу, збережеться.

Різнорманітність сировинної бази, що застосовується для виготовлення нафтових дорожніх бітумів у країнах, з яких вони імпортуються в Україну; певні технологічні особливості їх виготовлення; структурно-реологічний тип та властивості цих бітумів, що не беруть до уваги кліматичні та експлуатаційні особливості України; відсутність досвіду тривалого використання цих в'язучих для влаштування вітчизняних асфальтобетонних покриттів – усе це призводить до неможливості прогнозування довговічності дорожніх покриттів, виготовлених із використанням імпортованих дорожніх бітумів.

Зважаючи на те, що нині в дорожній галузі існує нагальна необхідність в оцінюванні схильності дорожніх бітумів до короткострокового та, особливо, довгострокового старіння, а також беручи до уваги, що оснащення в найближчій перспективі вітчизняних дорожніх лабораторій комплексом обладнання, що використовується в методі PAV, є малоймовірним, питання апробації та стандартизації в Україні прискорених методів довгострокового старіння є актуальним.

Висновки

На основі аналізу літературних джерел розглянуто підходи до прискореного оцінювання довгострокового старіння в'язучих, що використовуються в різних країнах світу.

З огляду на тенденцію, що склалась у вітчизняній дорожній галузі щодо застосування переважно імпортованих в'язких дорожніх бітумів, а також відсутність практичного досвіду їх тривалого використання для влаштування дорожніх покриттів, в Україні існує нагальна необхідність в оцінюванні та нормуванні властивостей бітумів і бітумних в'язучих після довгострокового старіння.

Оскільки перспективи впровадження відповідних стандартизованих методів у вітчизняних дорожніх лабораторіях є сумнівними, ймовірним виходом із ситуації, що склалась, може бути використання прискорених методів зістарювання, основаних на обладнанні, що застосовується в RTFOT.

Література

- Lee D.Y. Development of a durability test for asphalt. Final report Iowa Highway Research Board Project HR-124. Iowa State University. 1972. 257 p.
- Airey G.D. State of the art report on ageing test methods for bituminous pavement materials. *International Journal of Pavement Engineering*. 2003, T.4, № 3. P.165–176.
- Welborn J.Y. Physical properties as related to asphalt durability: State of the art. *Transportation Research Record*, 1984. № 999. P. 31–36.
- ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Київ, 2016. 23 с.
- ДСТУ EN 12607-2:2019 (EN 12607-2:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом тепла та повітря. Частина 2. Метод TFOT. [Чинний з 2020-01-01]. Київ, 2019. 20 с.
- Lee D.Y. *Durability and Durability Tests for Paving Asphalt: A State of the Art Report*. Engineering Research Institute, Iowa State University, 1969. 50 p.
- Bell C.A. *Summary report on aging of asphalt-aggregate systems*. Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP A-305. SR-OSU-A-003A-89-2. 1989. 120 p.
- Kim O.K., Bell C.A., Wilson J.E., Boyle G.E. Development of laboratory oxidative aging procedures for asphalt cements and asphalt mixtures. *Transportation research record*. 1986. № 1115. P. 101–112.
- Davison R. R. et al. *Verification of an asphalt aging test and development of superior recycling agents and asphalts*. Report FHWA/TX-94/1314-1F. Austin, Texas. 1994. 356 p.
- Bahia H.U., Anderson D.A. The Pressure Aging Vessel (PAV): a test to simulate rheological changes due to field aging. *Physical properties of asphalt cement binders*. ASTM International, 1995. P. 67–88.
- Anderson D.A. et al. Binder characterization and evaluation, volume 3: Physical characterization. *Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP-A-369*. 1994. 491 p.
- ДСТУ EN 14769:2019 Бітум та бітумні в'язучі. Прискорене довгострокове старіння з використанням камери високого тиску (KBT) (EN 14769:2012, IDT). [Чинний від 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2020. 19 с.
- Muller J., Jenkins K.J. The use of an extended rolling thin film ageing method as an alternative to the pressurised ageing vessel method in the determination of bitumen durability. *10th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*. 2011. № 1. P. 1–14.
- Verhasselt A. Report of the limited Round Robin Trial with the RCAT (Rotating Cylinder Ageing Test) method. Belgian Road Research Centre. Brussels. 2005. 14 p.
- Farrar M.J. et al. Thin film oxidative aging and low temperature performance grading using small plate dynamic shear rheometry: an alternative to standard RTFO, PAV, and BBR. *Eurasphalt & Eurobitume Congress, 5th, 2012, Istanbul, Turkey*. 2012. P. 1–10.
- Farrar M. J. et al. The Universal Simple Aging Test (USAT): Simulating short-and long term hot and warm mix oxidative aging in the laboratory. *Asphalt Pavements*. CRC Press, 2014. P. 103–112.
- Migliori F., Corte J.-F. Comparative Study of RTFOT and PAV Aging Simulation Laboratory Tests. *Journal of the Transportation Research Board*. 1998. 1638, 56–63.
- Haghshenas H.F., Rea R.C. Asphalt Binder Laboratory Short-Term Aging. Nebraska Department of Transportation, 2019. 35 p.
- Behera P.K., Singh A.K., Amaranatha Reddy M. An alternative method for short- and long-term ageing for bitumen binders. *Road Materials and Pavement Design*. 2013. 14(2), 445–457.
- Muller J., Jenkins K.J. The use of an extended rolling thin film ageing method as an alternative to the pressurised ageing vessel method in the determination of bitumen durability. *10th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*. 2011. № 1. P. 1–14.
- Oliveira Y.M.M., Cittadella P.T., Rohde L., Thives L.P. Simulation of the Time Needed for Long-Term Asphalt Ageing in the Rolling Thin Film Oven Relative to That of the Pressure

- Ageing Vessel. *Materials*. 2023. T. 16. № 22. P. 1–15.
22. Kumbarger Y.S., Biligiri K.P. Understanding Aging Behaviour of Conventional Asphalt Binders Used in India. *Transportation Research Procedia*. 2016. 17. P. 282–290.
23. Oliveira Y.M.M. Reologia de ligantes asfálticos e suas variações frente à incorporação de polímeros e ao envelhecimento simplificado com RTFOT. Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Florianópolis. 2022. 118 p.
24. Büchner J. et al. Rheological characterisation of rejuvenator blending lines. *Road Materials and Pavement Design*. 2023. T. 24. № 1. P. 321–335.
25. Besamusca J., Sorensen A., Southwell C. Addressing ageing characteristics of bituminous binders in Europe. *Eurasphalt & Eurobitume Congress*, 5th, 2012, Istanbul, Turkey. P. 1–11.
26. Dasek O. et al. Metodika pro hodnocení silničních asfaltů z hlediska náchylnosti k termooxidačnímu stárnutí. Brno. 2015. 15 p.
27. Valentova T., Altman J., Valentin J. Development and verification of a suitable methodology for stability assessment of bitumen adhesion promoters. *Proceedings of 6th Eurobitume & Eurasphalt Congress*, 1–3 June 2016. Prague, Czech Republic. 2016. P. 1–10.
28. Tian Y. et al. Comparative investigation on three laboratory testing methods for short-term aging of asphalt binder. *Construction and Building Materials*. 2021. T. 266. P. 1–12.
- do tverdinnja pid vplivom tepla ta povitlja. Chastina 2. Metod TFOT. [State Standard of Ukraine (DSTU EN 12607-2:2019 (EN 12607-2:2014, IDT)) Bitumen and bituminous binders - Determination of the resistance to hardening under influence of heat and air - Part 2: TFOT Method]. Kyiv, 2019. 20 p. [in Ukrainian].
6. Lee D.Y. *Durability and Durability Tests for Paving Asphalt: A State of the Art Report*. Engineering Research Institute, Iowa State University, 1969. 50 p.
7. Bell C.A. *Summary report on aging of asphalt-aggregate systems*. Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP A-305. SR-OSU-A-003A-89-2. 1989. 120 p.
8. Kim O.K., Bell C.A., Wilson J.E., Boyle G.E. Development of laboratory oxidative aging procedures for asphalt cements and asphalt mixtures. *Transportation research record*. 1986. № 1115. P. 101–112.
9. Davison R. R. et al. *Verification of an asphalt aging test and development of superior recycling agents and asphalts*. Report FHWA/TX-94/1314-1F. Austin, Texas. 1994. 356 p.
10. Bahia H.U., Anderson D.A. The Pressure Aging Vessel (PAV): a test to simulate rheological changes due to field aging. *Physical properties of asphalt cement binders*. ASTM International, 1995. P. 67–88.
11. Anderson D.A. et al. Binder characterization and evaluation, volume 3: Physical characterization. *Strategic Highway Research Program, National Research Council*, 1994. 491 p.
12. DSTU EN 14769:2019 (EN 14769:2012, IDT) Bitum ta bitumni v'jazhuchi. Priskorene dov-gostrokove starinnja z vikoristannjam kameri visokogo tisku (KVT) [State Standard of Ukraine DSTU EN 14769:2019 (EN 14769:2012, IDT). Bitumen and bituminous binders – Accelerated long-term ageing conditioning by a Pressure Ageing Vessel (PAV)]. Kyiv, 2020. 19 p.
13. Muller J., Jenkins K.J. The use of an extended rolling thin film ageing method as an alternative to the pressurised ageing vessel method in the determination of bitumen durability. *10th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*. 2011. № 1. P. 1–14.
14. Verhasselt A. Report of the limited Round Robin Trial with the RCAT (Rotating Cylinder Ageing Test) method. Belgian Road Research Centre. Brussels. 2005. 14 p.
15. Farrar M.J. et al. Thin film oxidative aging and low temperature performance grading using small plate dynamic shear rheometry: an alternative to standard RTFO, PAV, and BBR. *Eurasphalt & Eurobitume Congress*, 5th, 2012, Istanbul, Turkey. 2012. P. 1–10.
16. Farrar M. J. et al. The Universal Simple Aging Test (USAT): Simulating short-and long term hot and warm mix oxidative aging in the laboratory.

References

- Asphalt Pavements*. CRC Press, 2014. P. 103–112.
17. Migliori F., Corte J.-F. Comparative Study of RTFOT and PAV Aging Simulation Laboratory Tests. *Journal of the Transportation Research Board*. 1998. 1638, 56–63.
 18. Haghshenas H.F., Rea R.C. Asphalt Binder Laboratory Short-Term Aging. Nebraska Department of Transportation, 2019. 35 p.
 19. Behera P.K., Singh A.K., Amaranatha Reddy M. An alternative method for short- and long-term ageing for bitumen binders. *Road Materials and Pavement Design*. 2013. 14(2), 445–457.
 20. Muller J., Jenkins K.J. The use of an extended rolling thin film ageing method as an alternative to the pressurised ageing vessel method in the determination of bitumen durability. *10th Conference on Asphalt Pavements for Southern Africa*. 2011. № 1. P. 1–14.
 21. Oliveira Y.M.M., Cittadella P.T., Rohde L., Thives L.P. Simulation of the Time Needed for Long-Term Asphalt Ageing in the Rolling Thin Film Oven Relative to That of the Pressure Ageing Vessel. *Materials*. 2023. T. 16. № 22. P. 1–15.
 22. Kumbarger Y.S., Biligiri K.P. Understanding Aging Behaviour of Conventional Asphalt Binders Used in India. *Transportation Research Procedia*. 2016. 17. P. 282–290.
 23. Oliveira Y.M.M. Reologia de ligantes asfálticos e suas variações frente à incorporação de polímeros e ao envelhecimento simplificado com RTFOT. Dissertação de Mestrado submetido ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil. Florianópolis. 2022. 118 p.
 24. Büchner J. et al. Rheological characterisation of rejuvenator blending lines. *Road Materials and Pavement Design*. 2023. T. 24. № 1. P. 321–335.
 25. Besamusca J., Sorensen A., Southwell C. Addressing ageing characteristics of bituminous binders in Europe. Eurasphalt & Eurobitume Congress, 5th, 2012, Istanbul, Turkey. P. 1–11.
 26. Dasek O. et al. Metodika pro hodnocení silničních asfaltů z hlediska náchylnosti k termooxidačnímu stárnutí. Brno. 2015. 15 p.
 27. Valentova T., Altman J., Valentin J. Development and verification of a suitable methodology for stability assessment of bitumen adhesion promoters. Proceedings of 6th Eurobitume & Eurasphalt Congress, 1–3 June 2016. Prague, Czech Republic. 2016. P. 1–10.
 28. Tian Y. et al. Comparative investigation on three laboratory testing methods for short-term aging of asphalt binder. *Construction and Building Materials*. 2021. T. 266. P. 1–12.

Пиріг Ян Іванович, к.т.н., ст. наук. співробітник кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +38098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com

Тетера Владислав Сергійович, асистент, молодший науковий співробітник кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг, аспірант, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +380976824338, e-mail: vl1470@ukr.net

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

Review of approaches to accelerated modeling of long-term aging of bituminous binders

Abstract. *Problem.* One of the reasons for the change in the physical and mechanical quality indicators of asphalt pavement during its operation is the aging of bitumen binder, which is caused by various technological, climatic, and operational factors. The goal of the work is to analyze the existing accelerated methods of long-term aging of bituminous binders. To achieve this goal, the analysis of foreign literature sources devoted to the issue of long-term aging of road bitumen binders was carried out. **Methodology.** At present, the only generally accepted industrial method for the long-term aging of bituminous binders, which has been widely used in laboratories around the world, is the PAV method. The advantage of this method is the availability of equipment manufactured by different manufacturers, as well as the possibility of aging at different temperatures, which simulates the long-term aging of binders in asphalt pavements operated in different climatic conditions. Significant disadvantages of the method are the relative duration of the test, which, together with preparatory measures, extends for 22–24 hours, and the significant cost of the equipment set. **Results.** Proceeding from the fact that the starting material for aging by the PAV method is bitumen binders that have been previously subjected to short-term aging by the RTFOT method, scientists from around the world have carried out research aimed at selecting the parameters of aging by the RTFOT method, which would contribute to obtaining a binder that would correspond in its properties to the properties of bitumen aged by the PAV method. Based on the data from the literature, it was found that in the case of using the standard aging temperature, 255–340 min is an equivalent time of aging by the RTFOT method, which leads to the same change in the quality of road bitumen as after aging by the PAV method for 20 h. Recently, an accelerated method for assessing the long-term aging of road bitumen has been

spreading in the European Union, according to which, to achieve the same level of bitumen aging observed after aging by the PAV method, it is possible to triple the aging time by the RTFOT method. Currently, this method is standardized in Austria and the Czech Republic and applies mainly to road bitumen grades 50/70 and 70/100. Given the significant reduction in aging time, this method is relevant for predicting the durability of asphalt pavements at the design stage of the asphalt mixture composition.

Practical value. Given that there is currently an urgent need in the road industry to assess the susceptibility of road bitumen to short-term and, especially, long-term aging, and taking into account that it is unlikely that domestic road laboratories will be equipped with a set of equipment used in the PAV method in the near future, testing and standardization of accelerated long-term aging methods in Ukraine is relevant.

Keywords: bitumen, aging, short-term and long-term aging, methods.

Pyrig Yan, S. Researcher, Ph.D. (Eng.), The department of technology of road-construction materials, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 38 098-44-66-268, e-mail: pirig2000@gmail.com

Tetera Vladyslav, Assistant, junior researcher, The department of automobile road construction and maintenance, Postgraduate student, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +380976824338, e-mail: vl1470@ukr.net

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