

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Міністерство освіти і науки України
Національний транспортний університет

КОПИНЕЦЬ ІВАН ВІКТОРОВИЧ



УДК 625.85

**ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ
ШЛЯХОМ ЗМЕНШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СТАРІННЯ БІТУМІВ**

05.22.11 – автомобільні шляхи та аеродроми

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Київ – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному університеті Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор,
Золотарьов Віктор Олександрович,
Харківський національний автомобільно-дорожній
університет Міністерства освіти і науки України,
м. Харків
завідувач кафедри технології дорожньо-
будівельних матеріалів і хімії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Гамеляк Ігор Павлович,
Національний транспортний університет
Міністерства освіти і науки України, м. Київ
завідувач кафедри аеропортів

кандидат технічних наук, доцент,
Гончаренко Валентин Валентинович,
Товариство з обмеженою відповідальністю
"Сучасна транспортна інфраструктура», м. Київ
директор

Захист відбудеться «07» травня 2021 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.059.02 Національного транспортного університету за адресою: м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, ауд. 333.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Національного транспортного університету за адресою: 01103, м. Київ, вул. Михайла Бойчука, 42.

Автореферат розісланий «07» квітня 2021 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, професор



О. Ю. Усиченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Довготривала робота нежорстких дорожніх одягів забезпечується збереженням стабільності їх основних фізико-механічних характеристик під дією різноманітних експлуатаційних навантажень та погоднокліматичних умов. Основними факторами, що впливають на довговічність асфальтобетонних покриттів, за умови раціонального підбору складу асфальтобетону, є старіння та руйнування під дією води. Старіння бітуму проявляється в підвищенні його твердості. Старіння в першу чергу пов'язано з втратою летких компонентів та окисненням бітуму під час виробництва, транспортування і укладання асфальтобетонних сумішей (технологічне або короткострокове старіння) та з поступовим окисненням бітуму в уже влаштованому матеріалі в експлуатаційних умовах (експлуатаційне або довгострокове старіння). В обох випадках спостерігається твердіння бітуму та підвищення жорсткості асфальтобетону. На технологічній стадії головними чинниками старіння є кисень повітря і висока температура, що обумовлюють інтенсивні зміни властивостей в'язучого.

Зазвичай в результаті старіння бітум стає більш твердим та крихким, що на першому етапі супроводжується підвищенням несної здатності та стійкості дорожнього одягу до постійних деформацій, а потім до зниження деформативності дорожнього одягу, яке призводить до утворення низькотемпературних тріщин, тріщин від втоми та незворотного загального руйнування дорожнього покриття.

Виходячи з цього актуальність роботи полягає у вирішенні наступної науково-практичної задачі - підвищенні довговічності та запобігання руйнуванню асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів, в тому числі з використанням різних типів модифікуючих добавок.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження теоретичного та прикладного характеру виконані згідно з тематикою науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України, що виконувались Державним підприємством «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна»: «Провести дослідження та розробити пакет нормативних документів з підвищення стійкості бітумів та асфальтобетонів до дії технологічних температур», № РК 0114U006231; «Провести дослідження та розробити національний стандарт на штучне старіння бітумів з ідентичним ступенем відповідності до EN 12607-1», № РК 0114U006234.

Мета і завдання дослідження. Мета даної роботи полягає у встановленні закономірності зміни властивостей бітуму під час технологічного старіння та розроблення заходів з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні **завдання**:

- проаналізувати та встановити найбільш вагомні фактори старіння бітумів, вплив старіння на довговічність асфальтобетонного покриття, а також можливі напрямки підвищення стійкості до старіння;

- встановити закономірності зміни властивостей бітумів різних структурних типів під час термоокиснювального старіння;

- дослідити вплив модифікуючих добавок на стійкість бітумів до технологічного старіння;
- встановити вплив технологічного старіння на модулі пружності асфальтобетонів та їх втомну довговічність;
- розробити технології підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів.

Об'єкт дослідження – фізико-хімічні процеси старіння бітумів і асфальтобетонних сумішей в процесі технологічного перероблення та їх вплив на асфальтобетонні покриття під час експлуатації нежорсткого дорожнього одягу.

Предмет дослідження – довговічність асфальтобетонного покриття.

Методи дослідження: Використання стандартних (глибина проникності голки, температура розм'якшеності, розтяжність, температура крихкості, залишкова пенетрація, зміна температури розм'якшеності, зміна маси) та реологічних (динамічна в'язкість, індекс старіння, когезія) показників якості бітумів для характеристики зміни їх властивостей при технологічному старінні, а також не стандартних методів оцінювання властивостей асфальтобетонів та моделювання методом W. Witchak.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше встановлено закономірності зміни властивостей бітумів різних технологічних типів під впливом температури методом тонкої нерухомої плівки та методом тонкої оновлювальної плівки;
- одержав подальшого розвитку метод визначення температур початку та закінчення ущільнення асфальтобетонних сумішей на основі зміни в'язкості бітумів під час прогрівання за методом тонкої оновлювальної плівки за еквів'язкої температури;
- розроблено технологічні способи підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок регулювання властивостей бітумів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у впровадженні методу лабораторного технологічного старіння бітумів, що моделює зміну властивостей бітумів під час змішування їх з мінеральним матеріалом; встановлено оптимальні технологічні температури виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей відповідно до марки бітуму.

Матеріали досліджень було впроваджено в Державному агентстві автомобільних доріг України під час розроблення Р В.2.7-03450778-868:2016 «Рекомендації з підвищення стійкості бітумів до дії технологічних температур», СОУ 45.2-00018112-067:2011 «Будівельні матеріали. Бітуми дорожні в'язкі, модифіковані добавками адгезійними. Технічні умови. Зміна № 1» та національних стандартів України: ДСТУ Б EN 12607-1:2015 «Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT (EN 12607-1:2014, IDT)», ДСТУ Б В.2.7-135:2014 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови», ДСТУ Б В.2.7-313:2016 «Бітуми дорожні, модифіковані комплексами добавок. Технічні умови». Також результати досліджень було впроваджено підрядними організаціями під час будівництва та ремонтів автомобільних доріг.

Апробація основних теоретичних і практичних результатів дисертації на підприємствах та в організаціях підтверджується відповідними актами про впровадження.

Особистий внесок здобувача. Теоретичні та експериментальні результати досліджень, які виносяться на захист, отримано автором самостійно. Внесок автора в опублікованих зі співавторами наукових працях:

- проаналізовано фактори та встановлено критерії старіння бітумів [12 – 14];
- досліджено зміну властивостей бітумів різних технологічних типів і марок під час термоокиснювального старіння та встановлено критерії старіння бітумів [2, 8, 17, 18];
- оцінено вплив модифікуючих добавок на стійкість бітумів до технологічного старіння та довговічність асфальтобетонного покриття [2 – 6].

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів: підтверджується погодженістю теоретичних передбачень та експериментальних результатів; достатнім обсягом експериментальних даних, що отримані з використанням сучасного лабораторного обладнання; апробацією результатів роботи під час виробничого впровадження.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи були представлені на наступних конференціях і семінарах: Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» м. Харків, ХНАДУ, 2013 р; Young Researchers Seminar 2015, Рим, 2015; Науково-практична конференція з проектування та будівництва автомобільних доріг, Київ, 2015; Building up Efficient and Sustainable Transport Infrastructure 2017 (BESTInfra2017) 21–22 September 2017, Prague, Czech Republic; Міжнародна науково-практична конференція «Бітумні в'язучі та асфальтобетони: досягнення і проблеми» м. Харків, ХНАДУ, 2017; Сучасні матеріали й технології для розвитку та утримання автомобільних доріг, Міжнародна виставка-форум «HEAVY DUTY/ВАЖКАТЕХНІКА 2018», м. Київ, 2018; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні матеріали і технології будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг», м. Вінниця, 2018; Науково-практичний семінар «Модифікація бітумів та асфальтобетонів – ефективний напрямок підвищення довговічності автомобільних доріг», Київ, 2018.

Публікації. За темою дисертаційного дослідження опубліковано 18 наукових праць, у тому числі: 6 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (1 стаття у виданні, яке включене до наукометричної бази Scopus); 10 у збірниках праць за матеріалами наукових конференцій; 2 праці додатково відображають наукові результати дисертації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація включає вступ, чотири розділи, загальні висновки, список використаних джерел із 178 найменувань та три додатки. Основний текст викладений на 134 сторінках. Текст ілюструється 49 рисунками і містить 37 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовані мета і завдання дослідження, викладена наукова новизна і розкрито практичне значення отриманих результатів.

У **першому розділі** виконано аналіз наукових публікацій і робіт, присвячених вивченню старіння бітумів на всіх етапах життєвого циклу. Розглянуто різні методи моделювання технологічного старіння бітумів та критерії оцінки їх старіння.

Питання стійкості бітумів до технологічного старіння висвітлено в роботах А.І. Лисихіної, А.С. Колбановської, І.М. Руденської, Л.М. Гохмана, Б.Г. Печеного, Е.В. Углової, І.В. Мардиросової, В.В. Бутової, Traxler R.N., Hveem F., Amirkhanian S.N., Bell C.A., Bahia H.U., Petersen J., Brock J. D., Airey G. тощо.

Встановлено, що під час всього життєвого циклу бітум піддається впливу високих технологічних температур, кисню, тепла, світла, води, несприятливих погодно-кліматичних чинників та впливу від транспортних засобів, що призводить до зворотних та незворотних змін його властивостей (старіння). Зворотні зміни пов'язані з перебудовою надмолекулярної структури бітуму, а незворотні зміни супроводжуються протіканням внутрішніх фізико-хімічних процесів, змінюється хімічний склад, якість бітуму погіршується, що з часом призводить до руйнування матеріалу і асфальтобетонного покриття в цілому.

Під час старіння відбувається випаровування, окиснення та дифузія бітуму в тіло кам'яних матеріалів. Воно також залежить від: групового хімічного складу бітуму, що у свою чергу визначається походженням сировини та способом виробництва; хімічного складу будь-яких добавок або модифікаторів, введених у склад бітуму, а також механізму взаємодії таких модифікаторів і бітуму; в'язкості бітуму, яка впливає на швидкість дифузії кисню через в'язуче; товщини плівки бітуму, яка регулює швидкість дифузії кисню через в'язуче; пористості, що знаходяться всередині шару асфальтобетону і від яких залежить доступ кисню; заповнювачів, які можуть сприяти дифузії та/або містити каталізатори окиснення; товщини шару асфальтобетону, яка регулює швидкість перетікання повітря, наповненість шару киснем; наявності в суміші антиоксидантів, сполук на основі фосфору та сполук на основі цинку зменшує старіння або протидіє наслідкам старіння; географічної широти, яка впливає на інтенсивність УФ-випромінювання; парціального тиску кисню, що залежить від висоти; кліматичної зони, що визначає вплив вологи та температури.

Зважаючи на це, значну увагу треба приділяти саме короткостроковому старінню бітуму під час виробництва асфальтобетонної суміші, оскільки під час цього процесу відбувається найбільша зміна властивостей бітуму за рахунок високої температури та великої площі його окиснення.

Для визначення зміни властивостей бітуму під час короткострокового старіння існує багато методів. Серед цих методів найбільш поширеними є: метод переливання тонкої плівки бітуму в термокамері та метод витримання тонкої плівки бітуму в термокамері. Вважається, що дані методи не є взаємозамінними, оскільки для більшості бітумів зміна властивостей за першим методом є більшою ніж за другим методом.

Для оцінювання стійкості бітумів до технологічного старіння переважно використовують зміну маси, зміну температури розм'якшеності та пенетрації за температури 25 °С. Додатково, залежно від умов застосування, може бути визначено зміну динамічної в'язкості за температури 60 °С.

Відповідно до викладеного, визначення технологічного старіння бітумів є чи не найважливішим завданням, оскільки саме після такого старіння мають визначати верхню експлуатаційну температуру роботи бітумного в'язучого за системою SHRP Superpave.

У **другому розділі** сформульовані теоретичні положення прогнозування зміни властивостей бітумів під час технологічного старіння та підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок використання стійких до старіння бітумів.

За встановленими в роботах А.С. Колбановської, Л.М. Гохмана, Б.Г. Печеного та А. Quedeville тенденціями взаємозв'язку між температурами розм'якшеності та крихкості і груповим хімічним складом для різних бітумів і особливо різницею між цими температурами до та після старіння, зроблено висновок, що найбільш прийнятним для оцінювання старіння є зміна групового хімічного складу. Однак старіння, навіть в межах технологічної його стадії, є наслідком протікання багатьох процесів. В зв'язку з цим виникає необхідність використання методів і критеріїв визначення старіння бітумів, які дозволяли б оцінити та прогнозувати властивості асфальтобетонів та асфальтобетонного покриття на їх основі.

Зміна міцності асфальтобетону в часі має залежність з чітко вираженим максимумом, після якого настає руйнування асфальтобетонного покриття. Вважається, що критичними властивостями бітуму за яких настає руйнування покриття є: $P_{25} < 20 \times 0,1$ мм, $D_{25} < 10$ см, $T_p > 65$ °С. Використання бітумів для виробництва асфальтобетонних сумішей без врахування впливу технологічних температур, що погіршують їх фізико-технічні властивості, призводить до передчасного руйнування асфальтобетонного покриття, адже бітум, що міститься в покритті за своїми властивостями вже не відповідає вимогам, які пред'являються до нього на етапі проектування.

Виходячи з цього, можна вважати, що у разі вжиття заходів із зменшення технологічного старіння бітумів, можна досягнути підвищення довговічності асфальтобетонного покриття. Проблема підвищення стійкості бітумів під час їх застосування зводиться до зменшення окиснювальних процесів, що відбуваються за дії високої температури та кисню повітря.

Гіпотеза дослідження зводиться до того, що підвищення довговічності асфальтобетонного покриття може бути досягнуто за рахунок його скерованої модифікації добавками на основі катіонних поверхнево-активних речовин та полімерними добавками типу СБС.

У **третьому розділі** наведено характеристику об'єктів і методів дослідження, а також результати досліджень та їх аналіз.

Для підтвердження теоретичних положень і виконання програми експериментальних досліджень, було прийнято: окиснені бітуми марки БНД 40/60, БНД 60/90 та БНД 90/130 виробництва ВАТ «Мозирський НПЗ» (Білорусь), марки БНД 60/90 та БНД 90/130 виробництва ПАТ «Укртатнафта» (Україна) та залишковий бітум марки 50/70, 70/100 та 100/150 виробництва фірми Nynas (Швеція). В якості

вірогідних інгібіторів старіння використано адгезійну поверхнево-активну речовину катіонного типу Wetfix VE та термоеластопласт типу блоккополімеру стирол-бутадієн-стирол лінійної структури Kraton D 1101.

Як заповнювачі було використано щебінь фракції 5 – 10 мм і пісок із відсів подрібнення ПАТ «Малинський каменедробильний завод», а також вапняковий мінеральний порошок виробництва ТОВ «Скала-Подільський спеціалізований кар'єр».

Гранулометричний склад мінеральної частини дрібнозернистого асфальтобетону типу Б представлений наступними повними проходами через сита з розміром отворів, мм: 15 – 0 %; 10 – 98,3 %; 5 – 59,7 %; 2,5 – 45,6 %; 1,25 – 36,9 %; 0,63 – 27,5%; 0,315 – 20,4 %; 0,14 – 14,4 %; 0,071 – 9,7 %.

Під час досліджень, крім стандартних методів, використано ряд спеціальних методів, зокрема: метод технологічного старіння переливанням тонкої плівки бітуму в термокамері, метод визначення динамічної в'язкості бітуму за різних температур з використанням реометра Brookfield, метод RILEM для оцінювання технологічного та експлуатаційного старіння асфальтобетонних сумішей, метод W. Witchak для встановлення модулів пружності асфальтобетонів за різних температур та частот з урахуванням технологічного старіння бітумів, а також метод визначення довговічності асфальтобетонного покриття з використанням приладу для випробування на чотирьох точкове згинання, що розроблений ДП «ДерждорНД».

Порівняльний аналіз зміни властивостей окиснених та залишкових бітумів під час технологічного старіння

Для порівняльного аналізу було прийнято залишкові бітуми Nynas марок 50/70, 70/100, 100/150, а також окиснені бітуми ВАТ «Мозирський НПЗ» марок БНД 40/60, БНД 60/90 і БНД 90/130 з близькою пенетрацією кожної пари. Технологічне старіння виконували за методом переливання тонкої плівки бітуму в термокамері (RTFOT) та методом витримування тонкої плівки бітуму в термокамері (ГОСТ 18180).

Як показали результати досліджень (таблиця 1), зміна маси бітумів після прогрівання за обома методами наростає в міру пенетрації бітуму. Співвідношення мас в ряду окиснених бітумів складає 1, 1,29, 1,89, а в ряду залишкових бітумів – 1, 1,18 і 1,43.

Температура розм'якшеності після старіння згідно ГОСТ 18180 і RTFOT слабо реагує на перехід від більш в'язкого до менш в'язкого бітуму: різниця в ряду залишкових бітумів, зістарених згідно з ГОСТ 18180, становить 0,5 °С, а окиснених – 0,7 °С; для залишкових бітумів, зістарених згідно з RTFOT, вона відповідає 0,2 °С, а окиснених - 0,4 °С. Ці відхилення знаходяться в межах похибки випробувань як згідно з ГОСТ 18180 (1,0 °С) так і згідно RTFOT (1,5 °С).

Залишкова пенетрація із зміною консистенції окиснених бітумів в 1,82 рази, а залишкових в 2,04 рази, під час прогрівання згідно з ГОСТ 18180 змінюється в першому випадку на 11 %, у другому на – 5 %. Під час прогрівання згідно з RTFOT ці зміни відповідно становлять 9 % і 3 %.

Таблиця 1 – Результати визначення впливу старіння на властивості бітумів

Найменування показника	Результати випробування бітуму					
	50/70	БНД 40/60	70/100	БНД 60/90	100/150	БНД 90/130
Глибина проникності голки (пенетрація) за температури 25 °С, 0,1 мм	52	58	77	77	106	106
Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	51,0	52,0	46,2	48,5	42,2	46,0
Температура крихкості, °С	-15	-22	-17	-25	-19	-27
Зміна маси, %						
- після прогрівання за ГОСТ 18180	0,49	0,31	0,53	0,42	0,58	0,62
- після прогрівання за методом RTFOT	0,49	0,37	0,58	0,48	0,70	0,70
Залишкова пенетрація, %						
- після прогрівання за ГОСТ 18180	75	81	73	77	70	70
- після прогрівання за методом RTFOT	62	78	64	74	65	69
Зміна температури розм'якшеності, °С						
- після прогрівання за ГОСТ 18180	3,2	3,6	3,4	4,3	3,7	3,7
- після прогрівання за методом RTFOT	5,0	5,0	4,9	5,5	4,8	4,4
Індекс пенетрації						
- вихідного	-0,86	-0,36	-1,18	-0,52	-1,56	-0,29
- після прогрівання за ГОСТ 18180	-0,77	-0,04	-1,04	-0,13	-1,37	-0,31
- після прогрівання за методом RTFOT	-0,79	+0,15	-0,98	+0,07	-1,23	-0,16

У процесі старіння дещо зменшується залежність в'язкості бітуму від температури, про що свідчить збільшення індексу пенетрації бітуму під час прогрівання за обома методами.

У той же час режим випробування з продувкою повітрям згідно з методом RTFOT призводить до більших змін властивостей бітумів, ніж режим випробування згідно з ГОСТ 18180. Одним з пояснень цього може бути те, що за методу ГОСТ 18180 головною причиною старіння є випаровування легких фракцій, тоді як у разі RTFOT в цей процес включається і окиснювальна полімеризація, ініційована рівномірним контактом всієї маси бітуму з повітрям, а не тільки його поверхні. Певною мірою можна вважати, що метод RTFOT близький за своєю сутністю до технології отримання бітумів окисненням та змішування суміші.

З потенційних показників оцінювання старіння бітумів виключено зміну розтяжності після старіння, тому що розтяжність бітумів визначається, головним чином, вмістом в них смол, у той же час в процесі старіння вміст смол в бітумах змінюється незначним чином.

Старіння бітумів згідно обох методів призводить до підвищення в'язкості, завжди більшого під час випробування згідно з RTFOT (таблиця 2). Це збільшення за температури 60 °С в окиснених бітумів знаходиться в межах: 1,28; 1,11; 1,12. У дистиляційних бітумів – від 1,32 до 1,28 і 1,27. Отже, дистиляційні бітуми більше реагують на метод прогрівання з продувкою повітрям. Це підтверджується і результатами випробування за температури 90 °С, 135 °С і 160 °С. Величина індексу старіння за в'язкістю в межах однієї пенетрації дистиляційних бітумів практично не залежить від температури визначення в'язкості в межах від 60 °С до 160 °С. У той же час відносно окиснених бітумів ця тенденція не настільки очевидна, що може бути пов'язано з меншою їх колоїдною стабільністю, що підтверджується і розкидом індексів пенетрації, розрахованих за пенетрацією та температурою розм'якшеності.

Однією з найважливіших технологічних характеристик бітуму є температура його нагрівання для забезпечення якісного перемішування асфальтобетонних

сумішей. Ця температура ($T_{0,5}$) повинна становити не більше ніж 0,5 Па·с (0,17 Па·с – в США). Зміна цієї температури на будь-якій стадії підготування бітуму (при завантаженні в бітумовози, при транспортуванні або нагріванні на АБЗ) може змінити її в сторону підвищення через перегрівання. Ігнорування цього факту може призвести до погіршення умов перемішування і ущільнення, так як виробнича температура може бути меншою, ніж $T_{0,5}$. Для дослідження впливу термостаріння за двома способам на $T_{0,5}$ були використані температурні залежності в'язкості відповідно до таблиці 2.

Таблиця 2 – Вплив прогрівання згідно з ГОСТ 18180 і RTFOT на в'язкісні властивості бітумів

Найменування показника	Результати випробування бітуму					
	Nynas 50/70	Nynas 70/100	Nynas 100/150	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130
Динамічна в'язкість за температури розм'якшеності, Па·с:						
– вихідного	3140/1,0	2260/1,0	2900/1,0	2000/1,0	2400/1,0	1260/1,0
– після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	3200/1,02	3500/1,54	3000/1,03	3000/1,5	2600/1,08	2100/1,67
– після прогрівання згідно з RTFOT	3400/1,08	3600/1,59	3100/1,07	3100/1,65	2800/1,17	2300/1,82
Динамічна в'язкість за температури 60 °С, Па·с:						
– вихідного	680/1,0	775/1,0	345/1,0	390/1,0	168/1,0	155/1,0
– після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	1458/2,14	1800/2,32	585/1,7	955/2,45	272/1,62	385/2,48
– після прогрівання згідно з RTFOT	1930/2,83	2300/2,96	750/2,17	1060/2,71	345/2,05	430/2,77
Динамічна в'язкість за температури 90 °С, Па·с:						
– вихідного	14,3/1,0	20,0/1,0	9,7/1,0	14,3/1,10	6,0/1,0	4,0/1,0
– після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	30,9/2,16	37,5/1,87	16,6/1,71	22,0/1,53	9,6/1,6	8,0/2,0
– після прогрівання згідно з RTFOT	41,0/2,86	38,5/1,92	21,1/2,17	23,6/1,65	12,2/2,0	7,7/1,9
Динамічна в'язкість за температури 135 °С, Па·с:						
– вихідного	0,43/1,0	0,73/1,0	0,37/1,0	0,55/1,0	0,27/1,0	0,26/1,10
– після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	0,93/2,16	1,17/1,60	0,63/1,7	0,81/1,47	0,43/1,6	0,39/1,50
– після прогрівання згідно з RTFOT	1,23/2,86	1,13/1,65	0,81/2,18	0,86/1,56	0,55/2,01	0,38/1,46
Динамічна в'язкість за температури 160 °С, Па·с:						
– вихідного	0,12/1,0	0,17/1,0	0,11/1,17	0,12/1,0	0,08/1,0	–
– після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	0,26/2,16	0,31/1,76	0,19/1,7	0,24/2,0	0,13/1,62	–
– після прогрівання згідно з RTFOT	0,35/2,9	0,33/1,94	0,24/1,04	0,25/2,08	0,17/2,1	–

Примітка. У знаменнику наведено індекс старіння

Еквів'язкі температури вихідних бітумів зменшуються в міру зниження пенетрації (таблиця 3). В ряду залишкових бітумів це зменшення становить 7 °С, а в ряду окиснених – 17 °С. Температура $T_{0,5}$ після прогрівання залишкових бітумів згідно з RTFOT зростає на (11 – 20) °С, а окиснених бітумів на (7 – 11) °С. Після прогрівання згідно ГОСТ 18180 це збільшення для залишкових бітумів складає (7 – 14) °С, а окиснених – (7 – 10) °С. Подібна тенденція спостерігається і щодо залишкової пенетрації окиснених бітумів.

Таблиця 3 – Зміна еквів'язкої температури після старіння

Показник	Бітум					
	Nynas 50/70	Nynas 70/100	Nynas 100/150	БНД 40/60	БНД 60/90	БНД 90/130
Еквів'язка температура, °С:						
- вихідного	133	131	126	141	137	124
- після прогрівання згідно з ГОСТ 18180	<u>147</u>	<u>140</u>	<u>133</u>	<u>151</u>	<u>145</u>	<u>131</u>
	△ 14	△ 9	△ 7	△ 10	△ 8	△ 7
- після прогрівання згідно з RTFOT	<u>153</u>	<u>145</u>	<u>137</u>	<u>152</u>	<u>146</u>	<u>131</u>
	△ 20	△ 14	△ 11	△ 11	△ 9	△ 7

Суттєві відмінності в значеннях еквів'язкої температури вимагають виробляти асфальтобетонні суміші на цих бітумах за різних температур. Відповідно температура 163 °С, за якої виконують технологічне старіння бітуму в лабораторії, буде суттєво відрізнятися від фактичної температури виробництва асфальтобетонних сумішей, відповідно і характер старіння буде різним.

Для підтвердження цього було проведено порівняльні випробування зміни властивостей бітумів під час старіння за стандартизованої та еквів'язкої температури за методом оновлювальної плівки. В якості критеріїв використано найбільш чутливі показники – залишкову пенетрацію та індекс старіння за в'язкістю (рисунок 1 та рисунок 2).

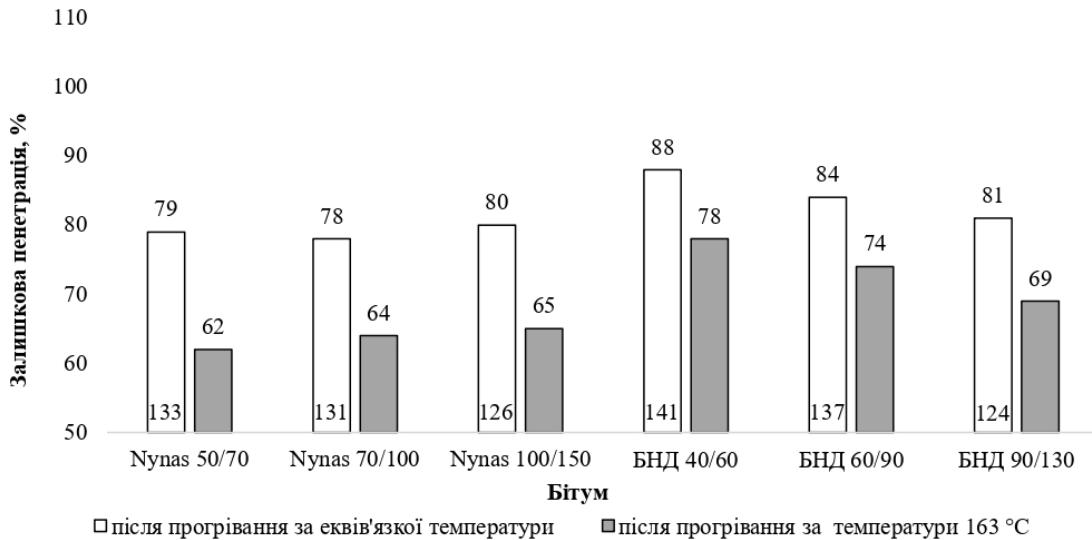


Рисунок 1 – Залежність залишкової пенетрації від температури випробування

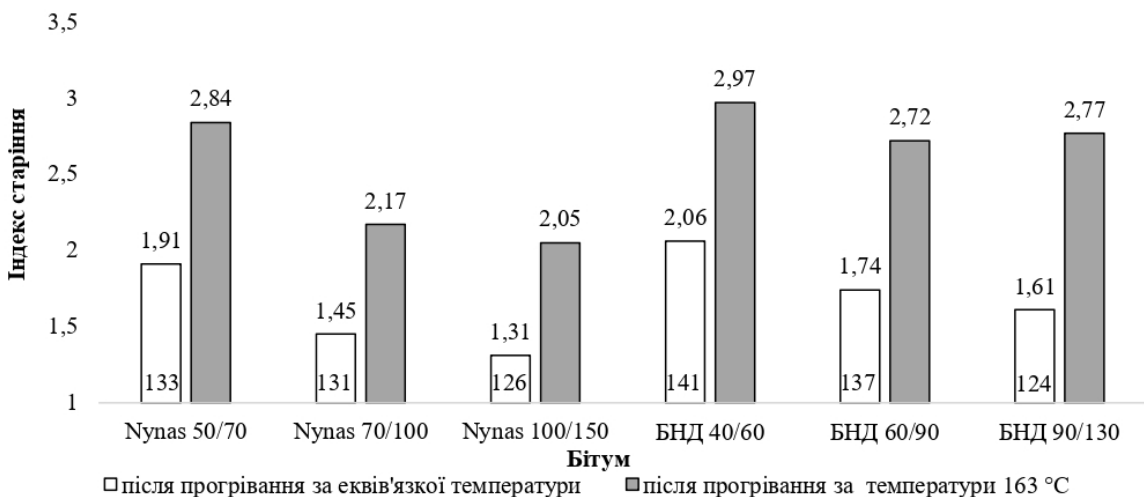


Рисунок 2 – Залежність індексу старіння від температури випробування

Примітка. На рисунку 1 та рисунку 2 цифри на прозорих стовпчиках є еквів'язкою температурою.

В усіх випадках еквів'язка температура була нижчою за температуру 163 °С, відповідно і під час старіння бітуму за еквів'язкої температури відбуваються менші зміни їх властивостей, що свідчить про значний вплив температури на стійкість бітумів до старіння та доцільність призначати температуру випробування бітумів на старіння за еквів'язкими температурами.

Вплив модифікуючих добавок на стійкість бітуму до технологічного старіння

Поверхнево-активні речовини здатні адсорбуватися на асфальтенах і блокувати місця їх можливих контактів, що призводить до перетворення коагуляційної просторової структури на висококонцентровану безструктурну суспензію асфальтенів. Це повинно перешкоджати утворенню просторової структури, сприяти уповільненню старіння, навіть не змінюючи при цьому процес окиснення, пов'язаний з підвищенням кількості асфальтенів.

Для оцінювання впливу ПАР на стійкість бітуму до технологічного старіння було прийнято найменш стійкий до нього окиснений бітум марки БНД 60/90 виробництва ПАТ «Укртатнафта». Вміст ПАР в бітумі становив від 0,5 % до 1,0 %. Результати засвідчили підвищення стійкості бітумів до технологічного старіння із збільшенням вмісту ПАР від 0,5 % до 1,0 %, що проявляється у збільшенні залишкової пенетрації бітуму, зменшенні зміни температури розм'якшеності, зміни маси та індексу старіння. Також отримані результати засвідчили, що вірогідно захисна плівка на поверхні бітумів, що вміщують добавку ПАР, утворюється менш інтенсивно ніж на поверхні вихідного бітуму, адже різниця між залишковими пенетраціями та індексами старіння вихідного бітуму є значно більшою за відповідну різницю для бітуму з ПАР.

Основний ефект від модифікації бітуму полімерами полягає в збільшенні його температурного інтервалу працездатності та наданні йому еластичності. Однак, враховуючи те, що внаслідок набрякання та розчинення полімеру відбувається можливе поглинання ним легких масляних фракцій бітуму, можна припустити, що завдяки цьому полімер може бути здатний підвищити стійкість бітуму до старіння.

Введення в бітум полімеру призводить до зменшення зміни маси бітуму під час прогрівання та зростання залишкової пенетрації. При цьому, ефект від введення полімеру є більшим, ніж при введенні ПАР. Також встановлено, що незалежно від схильності вихідного окисненого бітуму до старіння, схильність модифікованого бітуму до старіння буде залежати від вмісту полімеру і чим більш схильний до старіння вихідний бітум, тим більшим має бути вклад полімеру в підвищення його стійкості до старіння.

Оцінювання впливу старіння на технологічній стадії виробництва асфальтобетонних сумішей та на стадії експлуатації

Старіння бітуму відбувається не тільки на етапі виробництва асфальтобетонних сумішей, але і в процесі служби у складі дорожнього покриття. Для встановлення кількісної зміни властивостей асфальтобетону в часі, було здійснено прогрівання асфальтобетонних сумішей за методом RILEM. Згідно з ним вироблену асфальтобетонну суміш укладали на деко шаром товщиною 2 см, розміщували його у сушильній шафі з температурою 135 °С та витримували впродовж 4 годин за цієї температури. Таким чином за методом RILEM моделювали технологічне старіння, що відбувається у процесі виробництва, транспортування, укладання та ущільнення асфальтобетонних сумішей. Після закінчення прогрівання частину суміші було використано для виготовлення асфальтобетонних зразків за температури від 140 °С до 145 °С. Залишок суміші було залишено у сушильній шафі з температурою 85 °С на 2 дні, 5 днів та 9 днів, що за методом RILEM відповідає експлуатаційному старінню.

Для контролювання температури використовували датчик температури сушильної шафи та пірометр, яким температуру суміші перевіряли кожну годину впродовж випробування. Після кожного періоду витримування асфальтобетонної суміші з неї виготовляли асфальтобетонні зразки для визначення властивостей. Вміст ПАР становив 0,5 %, а вміст полімеру – 3,0 %. Результати наведено в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вплив старіння на властивості асфальтобетонів

Найменування показника	Властивості асфальтобетону з АБС, витриманої					
	за температури 135 °С впродовж			за температури 135 °С впродовж 4 год та за температури 85 °С впродовж		
	0	2 год	4 год	2 днів	5 днів	9 днів
Середня густина, г/см ³ :						
- вихідного асфальтобетону	2,372	2,368	2,364	2,355	2,347	2,338
- асфальтобетону з ПАР	2,375	2,373	2,369	2,364	2,359	2,350
- асфальтобетону з СБС	2,391	2,390	2,388	2,385	2,380	2,376
Водонасичення, %						
- вихідного асфальтобетону	1,8	1,9	1,9	2,3	2,6	2,9
- асфальтобетону з ПАР	1,6	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3
- асфальтобетону з СБС	1,2	1,2	1,3	1,4	1,5	1,7
Міцність за температури 0 °С, МПа:						
- вихідного асфальтобетону	7,9	8,3	8,7	9,4	9,9	10,6
- асфальтобетону з ПАР	8,5	8,7	8,8	9,0	9,2	9,5
- асфальтобетону з СБС	7,5	7,6	7,8	8,0	8,1	8,3
Міцність за температури 20 °С, МПа:						
- вихідного асфальтобетону	3,1	3,3	3,6	4,0	4,3	4,5
- асфальтобетону з ПАР	4,2	4,3	4,5	4,7	4,9	5,0
- асфальтобетону з СБС	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,2
Міцність за температури 50 °С, МПа:						
- вихідного асфальтобетону	1,4	1,5	1,7	2,0	2,4	2,8
- асфальтобетону з ПАР	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,8
- асфальтобетону з СБС	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,3
Коефіцієнт довготривалої водостійкості						
- вихідного асфальтобетону	0,91	0,92	0,90	0,88	0,87	0,85
- асфальтобетону з ПАР	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,90
- асфальтобетону з СБС	0,98	1,00	0,98	0,97	0,96	0,96

Результати випробування показують, що асфальтобетони з асфальтобетонної суміші, що витримана за температури 135 °С впродовж 2 год та 4 год, відзначаються меншою середньою густиною ніж асфальтобетон, що виготовлений одразу після змішування компонентів. Ймовірно це пов'язано як із старінням бітуму під час якого збільшується його в'язкість, так і з додатковою адсорбцією бітуму мінеральним матеріалом, в результаті чого зменшується кількість об'ємного бітуму, що заповнює пори між мінеральним матеріалом в асфальтобетоні. Під час подальшого витримування асфальтобетонної суміші за наведеним вище режимом, отримані з неї асфальтобетони мають ще нижчу середню густину. При цьому, більше зниження середньої густини спостерігається для асфальтобетону на вхідному бітумі. Це дає привід стверджувати, що полімер та ПАР знижують як технологічне, так і експлуатаційне старіння бітуму. Аналогічно зниженню середньої густини асфальтобетону відбувається зростання його водонасичення.

Цікавими виявилися результати визначення міцності асфальтобетону. Впродовж всього циклу випробування відбувається зростання міцності для всіх асфальтобетонів. Найбільше зростання міцності має місце за температури 50 °С і для

асфальтобетону на вихідному бітумі. Порівнюючи різні асфальтобетони, можемо прийти до висновку, що асфальтобетон на вихідному бітумі старіє більш інтенсивно ніж асфальтобетон з ПАР та СБС. Інтенсивність зміни міцності вихідного асфальтобетону є практично в три рази більшою за інтенсивність зміни властивостей асфальтобетону з ПАР та полімером. Якщо у випадку асфальтобетону з полімером зниження старіння може досягатися за рахунок більшої в'язкості бітуму, то у випадку асфальтобетону з ПАР – за рахунок впливу ПАР на щільність асфальтобетону та термоокиснювальні процеси.

Приріст міцності за помірної та високої експлуатаційної температури, який перш за все відбувається в результаті зростання в'язкості бітуму, може розглядатися як позитивний, оскільки під час зростання в'язкості бітуму зростає стійкість асфальтобетону до пластичних деформацій. Однак старіння бітуму негативно відображається на взаємодії бітуму з мінеральним матеріалом, про що свідчать результати визначення водостійкості асфальтобетону під час тривалого водонасичення.

Встановлення впливу технологічного старіння бітуму на розрахункові модулі пружності асфальтобетону

В аспекті впливу старіння шару покриття на несну здатність дорожнього одягу, необхідно оцінити його вплив на ведучу розрахункову характеристику – модуль пружності асфальтобетону. Одночасно з цим доцільно встановити вплив інгібіторів старіння бітуму (ПАР та СБС) на цей показник. Об'єктом дослідження прийнято асфальтобетон типу Б на вихідному бітумі марки БНД 60/90 та цьому ж бітумі з додаванням 0,5 % ПАР та 3,0 % СБС. Після технологічного старіння penetрація в'язучих відповідно становила $40 \cdot 0,1$ мм, $49 \cdot 0,1$ мм та $38 \cdot 0,1$ мм, а температура розм'якшеності – $54,7$ °С, $53,8$ °С та $64,0$ °С.

Для встановлення впливу технологічного старіння на комплексний модуль пружності асфальтобетону використано модель W.Witchak, перевірену в роботах В.В. Маляра та Б.Б. Телтаєва:

$$\log E^* = -1,25 + 0,029p_{200} - 0,0018p_{200}^2 - 0,0028p_4 - 0,058V_a - 0,822 \frac{V_{\text{beff}}}{V_a + V_{\text{beff}}} + \frac{3,872 - 0,0021p_4 + 0,004p_{38} - 0,000071p_{38}^2 + 0,0055p_{34}}{1 + e^{(-0,603313 - 0,31335 \log(f) - 0,393532 \log(\eta))}} \quad (1)$$

де E^* – комплексний модуль пружності, 10^5 фунт-сил на квадратний дюйм (1 фунт-сила на квадратний дюйм становить 6894,8 Па);

η – в'язкість в'язучого, 10^6 пз;

f – частота деформування, Гц;

p_{200} – повний прохід через сито з розміром отворів 0,075 мм, %;

p_4 – повний залишок на ситі з розміром отворів 4,76 мм, %;

p_{38} – повний залишок на ситі з розміром отворів 9,5 мм, %;

p_{34} – повний залишок на ситі з розміром отворів 19 мм, %;

V_a – залишкова пористість асфальтобетону, % за об'ємом;

V_{beff} – ефективний вміст бітуму, % за об'ємом.

В'язкість бітуму за різних температур визначали за залежністю Shell:

$$\log \eta = 10,5 - 2,26 \log P + 0,00389 (\log P)^2, \quad (2)$$

де P – пенетрація бітуму за різної температури, визначена згідно з методикою ХНАДУ.

Відповідно до цієї методики передбачається, що за температури розм'якшеності бітуму глибина проникності голки становить $800 \cdot 0,1$ мм, а за температури крижкості – $1 \cdot 0,1$ мм. Між цими значеннями температур логарифмічна залежність в'язкості згідно з W. Neukelom прямує лінійно. Таким чином, знаючи температуру розм'якшеності та значення глибини проникності голки за температури 25°C можна визначити його пенетрацію за температури T за формулою:

$$\log P_T = \frac{\log 800 - \log P_{25}}{T_p - 25} \cdot (T - 25) + \log P_{25}. \quad (3)$$

На основі встановлених залежностей в'язкості бітуму від температури, даних щодо гранулометричного складу асфальтобетону та його об'ємних властивостей, визначено модулі пружності асфальтобетону за різних температур (рисунк 3).

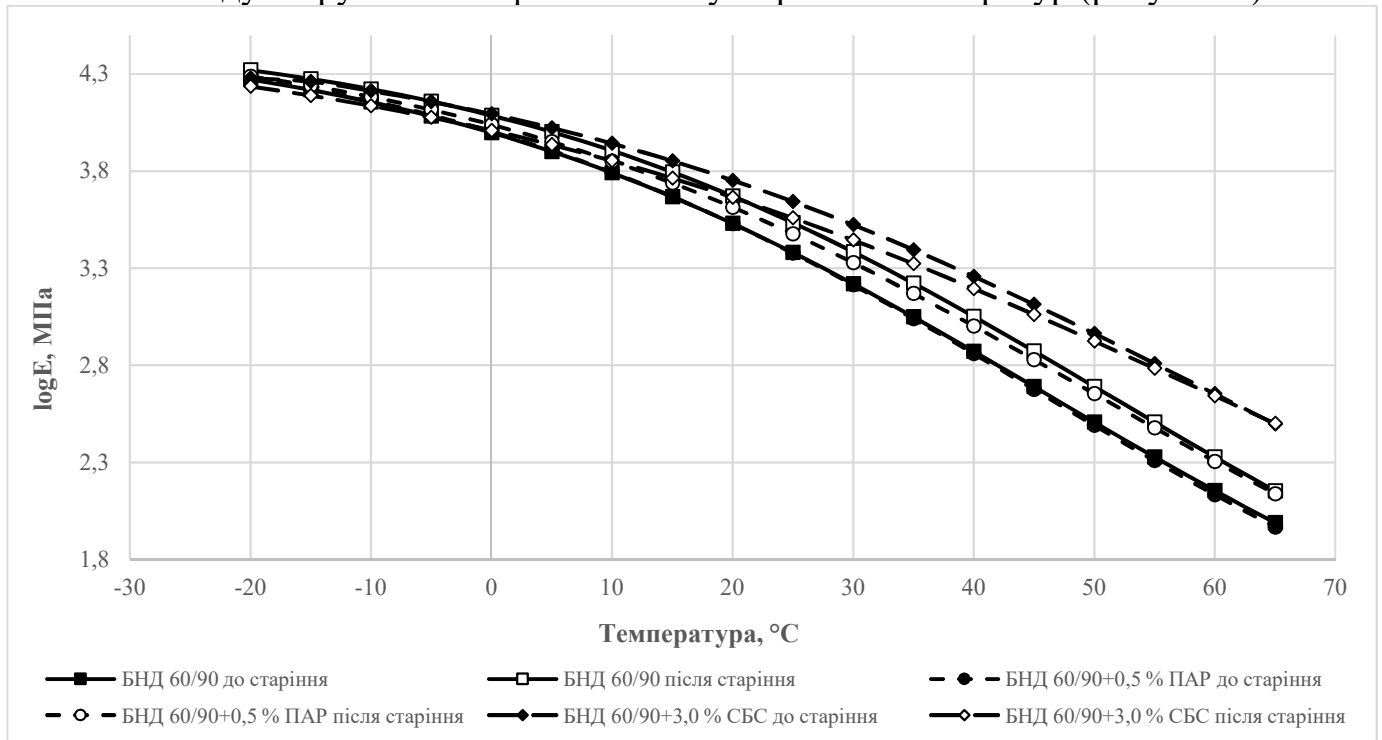


Рисунок 3 – Залежність логарифму модуля пружності від температури

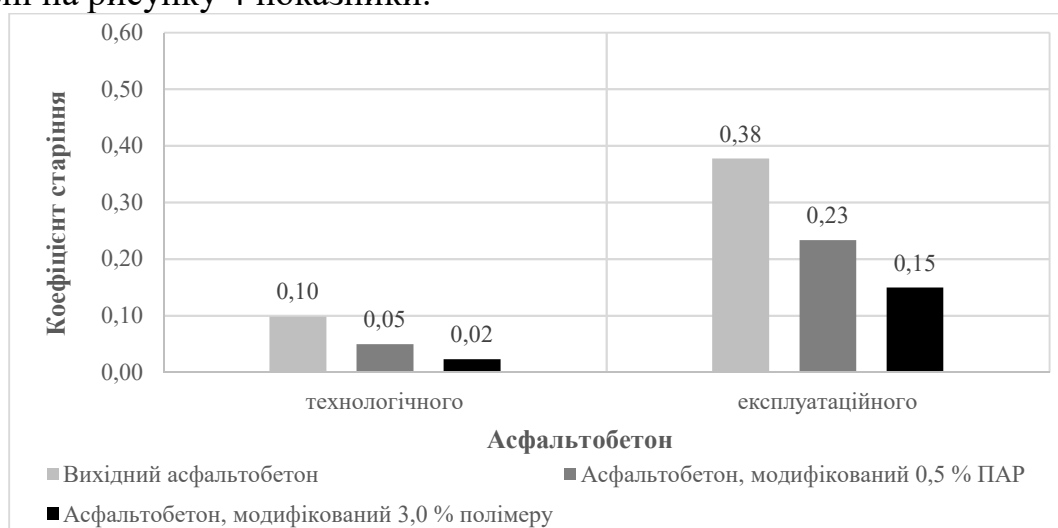
Встановлені залежності комплексного модуля пружності свідчать про те, що зменшення технологічного старіння практично не впливає на комплексний модуль пружності асфальтобетону за розрахункової температури 10°C . За нижчої температури комплексний модуль пружності асфальтобетону на модифікованому СБС бітумі менший порівняно з асфальтобетоном на чистому бітумі та бітумі з ПАР. Це свідчить про більшу його деформативність. З підвищенням температури досягається точка перетину, яка відповідає температурі 20°C . При перевищенні цієї температури асфальтобетон на бітумі, модифікованому $3,0\%$ СБС стає більшим за модуль пружності асфальтобетону на бітумі БНД 60/90 і його перевага за температури 55°C ще більше зростає, що має сприяти підвищенню довговічності асфальтобетонного покриття.

Як було показано вище, в процесі експлуатації міцність асфальтобетону на бітумі БНД 60/90, а отже і його жорсткість, зростає більш інтенсивно, що може призводити до швидшого руйнування асфальтобетонного покриття на цьому бітумі в порівнянні з модифікованими асфальтобетонами.

Втомна довговічність асфальтобетонів залежно від стійкості бітуму до технологічного старіння

Виходячи з того, що основним руйнуванням, яке має місце внаслідок старіння асфальтобетону в процесі експлуатації, є утворення тріщин від втоми матеріалу, було проведено випробування з визначення втомної довговічності асфальтобетонів. Для випробування використовували асфальтобетонні зразки, отримані з асфальтобетонних сумішей, що не піддавалися технологічному старінню, та асфальтобетонних сумішей, що піддавалися технологічному та експлуатаційному старінню за методом RILEM. При цьому, використовували асфальтобетонні суміші на вихідному бітумі марки БНД 60/90, бітумі, модифікованому 0,5 % добавки на основі ПАР та бітумі, модифікованому 3,0 % СБС. За випробувальне навантаження приймали навантаження рівне 0,3 від міцності лабораторних зразків на згин. Всі випробування проводили за температури 20 °С та частоти 10 Гц.

До технологічного старіння асфальтобетон на бітумі, модифікованому 3,0 % полімеру, має в 1,58 рази більшу втомну довговічність ніж асфальтобетон на бітумі марки БНД 60/90 та в 1,44 рази – за асфальтобетон на бітумі з ПАР. Вже після етапу технологічного старіння має місце зменшення втомної довговічності, про що свідчать наведені на рисунку 4 показники.



Рисунк 4 – Коефіцієнт старіння асфальтобетонів за втомною довговічністю

Коефіцієнт старіння, що визначено за відношенням зменшення втомної довговічності після старіння до вихідної втомної довговічності, у випадку асфальтобетону з полімером становить 0,02, асфальтобетону з ПАР – 0,05, а асфальтобетону на БНД 60/90 – 0,10. Ще більшою є різниця після експлуатаційного старіння. Отримані експериментальні дані підтверджують теоретичні припущення щодо підвищення довговічності асфальтобетонного покриття при застосуванні добавок на основі катіонних ПАР та полімерів типу СБС.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячений практичному впровадженню результатів досліджень. В цьому розділі обґрунтовано необхідність підвищення стійкості бітумів до технологічного старіння з метою підвищення довговічності асфальтобетонного покриття, надано модель вибору бітумів для виробництва асфальтобетонних сумішей з урахуванням їх стійкості до дії технологічних температур, запропоновано способи підвищення стійкості бітумів до технологічного старіння, в тому числі з використанням модифікуючих добавок, а також встановлено організаційні заходи щодо запобігання старінню бітумів під дією технологічних температур.

Одним з результатів наукових досліджень, представлених у цьому розділі, є удосконалений метод визначення технологічних температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей. Відповідно до нього, для визначення температури перемішування бітуму з мінеральним матеріалом необхідно використовувати результати визначення в'язкості бітуму до старіння, так як даний технологічний процес має місце перед контактом тонкої плівки в'язучого з поверхнею гарячого мінерального матеріалу (до впливу технологічних температур), а для визначення температури початку і закінчення ущільнення асфальтобетонної суміші необхідно використовувати значення в'язкості бітуму після старіння.

Результати досліджень впроваджено при розробленні державних та галузевих нормативних документів, зокрема державних стандартів щодо технічних вимог та методів випробування бітумів (Зміна № 1 ДСТУ Б В.2.7-135, ДСТУ Б EN 12607-1 та ДСТУ Б В.2.7-313), галузевих рекомендацій (Р В.2.7-03450778-868) та галузевого стандарту (Зміна № 1 СОУ 45.2-00018112-067), а також підрядними організаціями під час будівництва та ремонтів автомобільних доріг, і підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України, Служба автомобільних доріг у Дніпропетровській області, ТОВ «ДС ПРОМ ГРУП», ТОВ «СП Автострада», ТОВ «Інтер Кемікал Продактс».

Матеріали досліджень було впроваджено у навчальний процес, а саме при викладанні дисциплін «Будівельне матеріалознавство» і «Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітньої програми «Автомобільні дороги та аеродроми».

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-практична задача, що полягає в розробленні шляхів підвищення довговічності асфальтобетонного покриття за рахунок зменшення технологічного старіння бітумів. Отримані нові наукові результати, які дозволяють контролювати та регулювати технологічне старіння бітуму, що в свою чергу призводить до економії матеріально-технічних ресурсів.

1. На основі аналізу впливу технологічних факторів старіння на якість бітумних в'язучих та властивості асфальтобетонного покриття обґрунтовано доцільність підвищення його довговічності шляхом гальмування технологічного старіння бітумів. Показано, що головними факторами технологічного старіння є висока температура і контакт з повітряним середовищем. В цих умовах відбувається

швидка зміна групового хімічного складу та властивостей бітумів, вони стають більш твердими та крихкими, що в свою чергу є причиною передчасного руйнування асфальтобетонних покриттів. Відповідно до цього об'єктивне прогнозування та регулювання здатності бітумів до старіння є важливою складовою підвищення терміну служби асфальтобетонного покриття. На підставі експертного аналізу встановлено можливі напрямки зменшення технологічного старіння бітумів шляхом використання добавок на основі поверхнево-активних речовин катіонного типу та полімерних добавок типу стирол-бутадієн-стирол.

2. Встановлено, що стандартні властивості бітумів змінюються тим більше чим менша його консистенція. Перехід бітуму від марки БНД 90/130 до БНД 40/60 супроводжується зменшенням зміни маси в 1,9 рази для окиснених бітумів та в 1,4 рази – для залишкових, а також збільшенням залишкової penetрації відповідно на 12 % та 5 %. У випадку оцінювання старіння за індексом старіння, що характеризує його інтенсивність, встановлено зворотню закономірність. Перехід бітуму від марки БНД 90/130 до БНД 40/60 супроводжується зростанням індексу старіння в 1,07 та 1,38 рази. Найбільш чутливою до старіння є в'язкість, яка збільшується за всіх температур в рази. При цьому, більші зміни властивостей мають місце при прогріванні за методом оновлювальної плівки згідно методу RTFOT порівняно з методом тонкої плівки за методом ГОСТ 18180.

За результатами аналізу впливу технологічних температури на стійкість бітумів до старіння встановлено, що прогрівання бітуму за еквів'язкої температури призводить до менших змін їх властивостей ніж у випадку прогрівання за стандартизованої для всіх марок бітумів температури 163 °С. В цілому під час прогрівання залишкового бітуму за еквів'язкої температури, замість прогрівання за фіксованої температури, його залишкова penetрація є більшою на (22 – 27) %, а індекс старіння – меншим в (1,49 – 1,56) рази, а у випадку окиснених бітумів така різниця становить (13 – 17) % та (1,44 – 1,72) рази.

3. Вплив модифікуючої полімерної добавки типу СБС на стійкість бітуму до технологічного старіння полягає у зменшенні втрати про зменшення втрати маси бітуму після прогрівання в (1,3 – 14) разів, збільшення залишкової penetрації в (1,1 – 1,5) рази; ефективність добавки на основі ПАР виявилася дещо меншою.

4. Аналіз результатів визначення впливу старіння на комплексний модуль пружності асфальтобетонів показав, що найвище значення модуля пружності за температури 10 °С та частоти 1,59 Гц притаманне асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90. Воно є в 1,13 рази вищим ніж модуль пружності асфальтобетону на бітумі, модифікованому 0,5 % ПАР, та бітумі, модифікованому 3,0 % полімеру. З підвищенням температури зміна модуля пружності асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90 є більшою ніж асфальтобетону на інших в'язучих. В результаті цього за температури 65 °С модуль пружності асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90 є в 1,04 рази більшим за модуль пружності асфальтобетону на бітумі з 0,5 % ПАР, а модуль пружності асфальтобетону на бітумі, модифікованому 3,0 % полімеру, – в 2,2 рази більшим за модуль пружності асфальтобетону на бітумі марки БНД 60/90.

Поряд з цим втомна довговічність асфальтобетону на бітумі з ПАР є 1,16 рази більшою за втомну довговічність асфальтобетону на бітумі БНД 60/90, а у випадку

асфальтобетону на БМП це відношення становить 1,71 рази, що свідчить про підвищення довговічності асфальтобетонного покриття.

5. За результатами досліджень з метою підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів запропоновано встановлювати технологічні режими виробництва асфальтобетонних сумішей з використанням температурної залежності в'язкості вихідного бітуму, а ущільнення – температурної залежності в'язкості зістареного бітуму. Крім того треба дотримуватися розроблених заходів із запобігання старіння асфальтобетонних сумішей під час їх зберігання та транспортування, а також використовувати з даною метою адгезійні поверхнево-активні речовини та полімерні добавки типу СБС.

6. Результати досліджень впроваджено при розробленні державних та галузевих нормативних документів, зокрема державних стандартів щодо технічних вимог та методів випробування бітумів (Зміна № 1 ДСТУ Б В.2.7-135, ДСТУ Б EN 12607-1 та ДСТУ Б В.2.7-313), галузевих рекомендацій (Р В.2.7-03450778-868) та галузевого стандарту (Зміна № 1 СОУ 45.2-00018112-067). Вони використані підрядними організаціями під час будівництва та ремонтів автомобільних доріг, що підтверджено відповідними довідками із таких організацій: Державне агентство автомобільних доріг України, Служба автомобільних доріг у Дніпропетровській області, ТОВ «ДС ПРОМ ГРУП», ТОВ «СП Автострада», ТОВ «Інтер Кемікал Продактс».

Також результати досліджень було впроваджено у навчальний процес, а саме при викладанні дисциплін «Будівельне матеріалознавство» і «Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів» та в дипломному проектуванні для студентів спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія, освітньої програми «Автомобільні дороги та аеродроми».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. V. Vyrozhemskiy, I. Kopynets, S. Kischynskiy, N. Bidnenko. Epoxy asphalt concrete is a perspective material for the construction of roads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. [ISSN:1757-8981, E-ISSN:1757-899X] 236 (2017) 012022. (Scopus) DOI: 10.1088/1757-899X/236/1/012022.

Статті у фахових виданнях:

2. Ivan Kopynets, Oksana Sokolova, Iryna Gudyma, Alina Yunak Laboratory studies to reduce the technological aging of bitumen. *Дороги і мости*. Київ, 2018. Вип. 18. С. 107-118.

3. Кіщинський С. В., Копинець І. В., Соколов О. В. Використання енергозберігаючих добавок для зниження технологічних температур приготування асфальтобетонних сумішей. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Вип. 99. 2017. С. 49 – 57.

4. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Вплив вмісту термоеластопластів на властивості та старіння бітумів різного виробництва. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Випуск 79. 2017. С. 33 – 40.

5. Копинець І. В., Соколова О. Б., Соколов О. В., Юнак А. Л. Вплив добавок на основі синтетичних восків на експлуатаційні та технологічні властивості бітумів // *Дороги і мости*. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 107-116.

6. Вирожемський В. К., Кіщинський С. В., Копинець І. В., Соколова О. Б., Гудима І. В., Юнак А. Л. Вплив технологічних температур на зчеплюваність бітумів, модифікованих адгезійними добавками, з мінеральним матеріалом. *Автошляховик України*. № 2. 2018. С. 49 – 57.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

7. Копинець І. В. Стійкість окислених бітумів до термоокислювального старіння. *Дороги і мости*. 2014. № 14. С. 14 – 20.

8. Кіщинський С. В., Кириченко Л. Ф., Юнак А. Л., Копинець І. В., Гудима І. В. Моніторинг якості бітумів, що застосовуються в дорожньому будівництві України. *Дороги і мости*. 2014. № 14. С. 76 – 84.

9. Копинець І. В. Підвищення стійкості окислених бітумів до старіння шляхом їх компаундування з дистиляційними бітумами. *Автошляховик України*. № 5. 2015.

10. I. Copynets. Research of changes in properties of bitumen during thermo-oxidative ageing. *Young researchers seminar 2015*. Rome. 2015.

11. Копинець І. В. Дослідження стійкості бітумів до термоокислювального старіння. *Науково-практична конференція з проектування та будівництва автомобільних доріг*. Київ. 2015.

12. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Сучасні матеріали та технології при новому будівництві, реконструкції та ремонтах автомобільних доріг загального користування. Київ. 2016.

13. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Вплив вмісту термоеластопластів на властивості та старіння бітумів різного виробництва. *Міжнародна наукова конференція «Бітумні в'язучі та асфальтобетони: досягнення та проблеми»*. Харків. 2017.

14. Кіщинський С. В., Копинець І. В. Проблеми якості бітумів та напрямки поліпшення їх властивостей. *Сучасні матеріали й технології для розвитку та утримання автомобільних доріг, Міжнародна виставка-форум «HEAVY DUTY/ВАЖКА ТЕХНІКА 2018»*. м. Київ. 2018.

15. Копинець І. В. Комплексна модифікація бітумів різними типами добавок. *Сучасні матеріали і технології будівництва, реконструкції та ремонтів автомобільних доріг, Міжнародна науково-практична конференція*. м. Вінниця. 2018.

16. Копинець І. В. Зменшення термоокислювального старіння бітумів під час виробництва асфальтобетонних сумішей шляхом використання енергозберігаючих добавок на основі поверхнево-активних речовин. *Модифікація бітумів та асфальтобетонів – ефективний напрямок підвищення довговічності автомобільних доріг*. *Науково-практичний семінар*. Київ. 2018.

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

17. Золотарев В.А., Галкин А.В., Пыриг Я.И., Копинец И.В. Дистилляционные, окисленные битумы, битумы, модифицированные полимерами, и асфальтобетоны на их основе. *Автомобильные дороги и мосты*, № 2 (18), 2016.

18. Золотарев В.А., Копинец И.В. Сравнительное исследование окисленных и остаточных битумов в статическом и динамическом режимах старения. *Дороги и мосты*. 2017. № 35/1. С. 215 – 232.

АНОТАЦІЯ

Копинець І. В. Підвищення довговічності асфальтобетонного покриття шляхом зменшення технологічного старіння бітумів – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.11 «Автомобільні шляхи та аеродроми». (192 – Будівництво та цивільна інженерія). – Національний транспортний університет, Київ, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача, що полягає в підвищенні довговічності асфальтобетонного покриття.

Проведені теоретико-експериментальні дослідження дозволили встановити закономірності зміни властивостей бітумів під час технологічного старіння та удосконалити метод визначення технологічних температур виробництва та ущільнення асфальтобетонних сумішей. Встановлено, що використання модифікуючих добавок на основі катіонних поверхнево-активних речовин та полімерів типу СБС, призводить до підвищення стійкості бітумів до технологічного старіння та збереженню властивостей асфальтобетонного покриття під час експлуатації, тим самим збільшуючи його довговічність.

Розроблені заходи з підвищення довговічності асфальтобетонного покриття, що включають вибір бітуму для виробництва асфальтобетонних сумішей з урахуванням його технологічного старіння, підвищення стійкості бітумів до технологічного старіння, в тому числі з використанням модифікуючих добавок, а також організаційні заходи щодо запобігання старінню бітумів під дією технологічних температур.

Ключові слова: асфальтобетонне покриття, бітум, втомна довговічність, модуль пружності, зміна властивостей, модифікуючі добавки, старіння.

АННОТАЦИЯ

Копинец И. В. Повышение долговечности асфальтобетонного покрытия путем уменьшения технологического старения битумов - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.11 «Автомобильные дороги и аэродромы». (192 - Строительство и гражданская инженерия). - Национальный транспортный университет, Киев, 2021.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача, заключающаяся в повышении долговечности асфальтобетонного покрытия. Проведенные теоретико-экспериментальные исследования позволили установить

закономерности изменения свойств битумов при технологическом старении и усовершенствовать метод определения технологических температур производства и уплотнения асфальтобетонных смесей.

Установлено, что использование модифицирующих добавок на основе катионных поверхностно-активных веществ и полимеров типа СБС, приводит к повышению устойчивости битумов к технологическому старению и сохранению свойств асфальтобетонного покрытия при эксплуатации, тем самым увеличивая его долговечность.

Разработаны мероприятия по повышению долговечности асфальтобетонного покрытия, включающие выбор битума для производства асфальтобетонных смесей с учетом его технологического старения, повышение устойчивости битумов технологическому устареванию, в том числе с использованием модифицирующих добавок, а также организационные мероприятия по предотвращению старения битумов под действием технологических температур.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, битум, усталостная долговечность, модуль упругости, изменение свойств, модифицирующие добавки, старение.

ABSTRACT

Kopynets I. V. Increasing the durability of asphalt pavement by reducing the technological aging of bitumen – On the rights of a manuscript.

Thesis for the Candidate's degree of Technical Sciences in specialty 05.22.11 "Highways and airfields" (192 - Construction and civil engineering) – National Transport University, Kyiv, 2021.

In the Thesis the relevant scientific and practical issue of increasing the durability of asphalt pavement is solved.

Conducted theoretical and experimental studies have established the patterns of changes in the bitumen properties during technological aging, which consist in changing the mass, reducing the penetration at 25 °C, increasing the softening point, brittleness temperature and dynamic viscosity at all temperatures. According to the research results, the method of determining the process temperatures of production and compaction of asphalt mixtures was improved. This method is establishing the mixing temperature of bitumen with aggregate by temperature-viscosity dependence of the source bitumen followed by establishing the compaction temperature of asphalt mixtures by the temperature-viscosity dependence of aged bitumen by RTFOT method at equivalent temperature.

It is established that the use of modifying additives based on cationic surfactants and polymers such as SBS leads to increasing the bitumen resistance to technological aging, which is manifested in reducing the change in mass, reducing the softening point, increasing the residual penetration and reducing the aging indexes, and, accordingly, preserving the properties of the asphalt pavement during operation, thereby increasing its durability.

Reducing the technological aging of bitumen has a positive impact on the durability of asphalt concrete. At a design temperature of 10 °C, the elasticity modulus of asphalt concrete on the source bitumen is slightly higher than the elasticity modulus of asphalt

concrete on modified bitumen. At low operation temperatures, modified asphalt concretes are less rigid, and at high operation temperatures in the case of surfactants using – are identical to asphalt concrete on the source bitumen; in the case of polymer using they are more rigid, which allows predicting higher durability of asphalt pavement at increasing the bitumen resistance to aging.

The fatigue life of asphalt concrete grows with increasing resistance of bitumen to technological aging. At the same time, asphalt concrete on the polymer modified bitumen is more durable. The increased fatigue life of the modified asphalt concrete is preserved during operational aging, which indicates an increase in the durability of the asphalt pavement as a whole.

Measures to increase the durability of asphalt pavement, including the choice of bitumen for the production of asphalt mixtures taking into account its technological aging, increasing the bitumen resistance to technological aging, including the use of modifying additives, as well as organizational measures to prevent bitumen aging under temperature were developed.

Keywords: asphalt pavement, bitumen, fatigue life, module of elasticity, change in properties, modifying additives, aging.

Підписано до друку 05.04.2021. Формат 60×84/16.
Папір офсетний № 1. Гарнітура Times.
Вк. 11. Наклад 100. Зам. 4815

Відділ інформаційних технологій ДП «ДерждорНДІ».
03113, Україна, Київ, просп. Перемоги, буд. 57, тел. +(38044) 201 08 79