https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.121

УДК 625.7

Савенко В. Я.[1], *д-р техн. наук, проф., https://orcid.org/0000-0001-8174-7728*
Мудриченко А. Я.[2], *https://orcid.org/0000-0001-9787-2523*

[1] *Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна*
[2] *Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ ДО УТВОРЕННЯ КОЛІЇ ТЕПЛИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ БІТУМУ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ДОБАВОК ТА СПІНЕНОГО БІТУМУ З ДОДАВАННЯМ РЕГЕНЕРОВАНОГО АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Анотація

Вступ. У статті досліджуються асфальтобетонні суміші, виготовлені за стандартною технологією згідно з [1, 2] та так звані теплі асфальтобетонні суміші, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму.

Проблематика. Стійкість асфальтобетонних сумішей до утворення колії є основним параметром під час проєктування суміші, оскільки в існуючих умовах зростання навантаження на конструкцію дорожнього одягу за рахунок підвищення транспортної здатності нових автомобілів, які здатні перевозити вантажі з понад нормативними навантаженнями на вісь.

Мета. Мета роботи полягала у дослідженні асфальтобетонних сумішей виготовлені за стандартною технологією згідно з [1, 2] та так звані теплі асфальтобетонні суміші, що виготовлені за знижених технологічних температур на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму.

Матеріали і методи. Проведено експериментальні порівняльні випробування традиційного гарячого асфальтобетону АСГ.Щ.НП.І.А.БНД 70/100, асфальтобетону з використанням спіненого бітуму та асфальтобетону на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок.

Результати. Встановлено графічні залежності утворення колії після проходження більше ніж 20 тисяч проходів колеса по зразкам асфальтобетонних сумішей, що виготовлені за різними методами та за різних технологічних температур.

Висновки. Проведені дослідження показали, що використання технологій теплих асфальтобетонів, дозволяють знизити температуру приготування гарячих асфальтобетонних сумішей на (20–40) °С без погіршення стійкості до утворення колії порівняно з традиційним гарячим асфальтобетоном, що приготовлений на тому ж бітумі. Це досягається за рахунок відносно нових фізико-хімічних ефектів, що приводять до зниження опору суміші зсуву під час її приготування та ущільнення.

Ключові слова: автомобільна дорога, асфальтобетонні суміші, в'яжуче, енергозберігаюча добавка, дорожній одяг, спінений бітум, температура, фізико-механічні показники.

Вступ

Існуючі тенденції у будівництві автомобільних доріг із асфальтобетонним покриттям свідчать про економічну доцільність розширення будівельного сезону, а також потребу у завершенні об'єктів будівництва до початку несприятливих погодно-кліматичних умов. У

зв'язку з тим, що асфальтобетонне покриття влаштовується на завершальній стадії будівництва автомобільних доріг, період часу їх влаштування у багатьох випадках припадає на холодніші періоди будівельного сезону. Зменшення впливу швидкого охолодження асфальтобетонної суміші при укладанні асфальтобетонного покриття в холодні періоди будівельного сезону багато дослідників пропонували компенсувати за рахунок влаштування асфальтобетонних шарів збільшеної товщини [10]. Крім того пропонувалися і інші заходи, такі наприклад, як: попереднє прогрівання основи перед укладанням асфальтобетонної суміші в холодний період, укривання поверхні брезентом та ін. Однак деякі з таких заходів є недостатньо технологічними, потребують значних витрат та не завжди дають позитивні результати на практиці.

Одним із способів вирішення питання виконання укладання асфальтобетонних сумішей в холодний період року за допомогою асфальтобетону на в'язких бітумах, а також на бітумах, модифікованих полімерами, які будуть забезпечувати необхідну деформативність за низьких температур і стійкість утворення залишкових деформацій від дії важких транспортних засобів при високих літніх температурах є використання теплих асфальтобетонів, які забезпечують достатнє ущільнення при низьких температурах і зменшують пошкодження структури за рахунок менших швидкостей охолодження [11,12].

Основна частина

Дослідження стійкості теплих асфальтобетонних сумішей на основі бітуму з додаванням енергозберігаючих добавок та спіненого бітуму до утворення колії передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та випробування таких сумішей.

Для приготування асфальтобетонів використовували: щебінь фракції (10-20) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [3]; щебінь фракції (5-10) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [4]; пісок із відсівів подрібнення вивержених гірських порід фракції (0-5) мм згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210 [5]; мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 [6]; РАП (регенерована асфальтобетонна суміш), бітум марки БНД 70/100, що відповідає вимогам ДСТУ 4044 [7].

При виконанні досліджень були проведені випробування таких асфальтобетонів:

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %;

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А (+РАП) на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5 %;

– гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5 %.

Приготування зразків асфальтобетонів здійснювалось з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операції згідно з ДСТУ Б В.2.7-119 [1] та ДСТУ Б В.2.7-319 [2].

Температура вихідного бітуму при перемішуванні становила (140–155) °С, мінерального матеріалу (170-180) °С. Температура при ущільненні знаходилась в межах (135–145) °С.

Температура бітуму при приготуванні теплих асфальтобетонних сумішей становила (130–145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу (140–160) °С. Температура при ущільненні зразків становила від 125 °С до 135 °С.

Методика випробувань на колієстійкість згідно EN 12697-22 [8] передбачає наступне:

Виготовлення зразків-плит на секторному пресі

Зразки-плити з товщиною не менше ніж 5 см виготовляють на секторному пресі, що відтворює умови ущільнення асфальтобетонної суміші металевим котком. Форма та розміри форм для виготовлення зразків-плит залежать від конструктивних особливостей секторного преса.

Для виготовлення зразків-плит використовують асфальтобетонну суміш, що виготовляється в лабораторних умовах, або може бути взята з проб сумішей, які відібрані на змішувальних установках, або отримана розігрівом та перемішуванням у лабораторній мішалці сумішей з кернів чи вирубок, відібраних на об'єктах будівництва.

Рисунок 1 — Лабораторний змішувач для перемішування асфальтобетонної суміші

Форму для виготовлення зразків-плит нагрівають у сушильній шафі. У нагріту форму засипають необхідну кількість суміші, маса якої залежить від об'єму форми. Температуру суміші, що укладається у форму, визначають в залежності від марки в'яжучого, використаного для її виготовлення. Суміш рівномірно розподіляють у формі штикуванням нагрітим ножем або іншим пристроєм, знімаючи її надлишок, що може виступати з форми.

Форму із засипаною і розрівняною по площі сумішшю встановлюють на візок у робочу камеру секторного преса. На поверхню суміші встановлюють укочувальний сектор, на який прикладають навантаження (від 28 кН/см до 84 кН/см), що близьке до навантаження, яке діє на асфальтобетонну суміш при виробничому ущільненні.

Укочування здійснюють у дві стадії. На першій укочення виконують 20 проходами сектора з лінійним тиском, що дорівнює 28 кН/см. Після цього додаванням навантаження лінійний тиск збільшують до 84 кН/см і виконують ще 30 проходів секторним котком. Кількість проходів та лінійний тиск за необхідністю можна змінювати з метою імітації оптимального режиму ущільнення, що не призводить до подрібнення мінеральних складових, при використанні нових складів сумішей та в'яжучих або з метою моделювання виробничого ущільнення котками. Після закінчення ущільнення форму охолоджують на повітрі до температури не вище ніж 60 °С, розбирають, виймають зразок-плиту з форми, укладають на металеву плиту та зберігають її до розпилювання на зразки необхідної форми та розмірів (**рис. 2**).

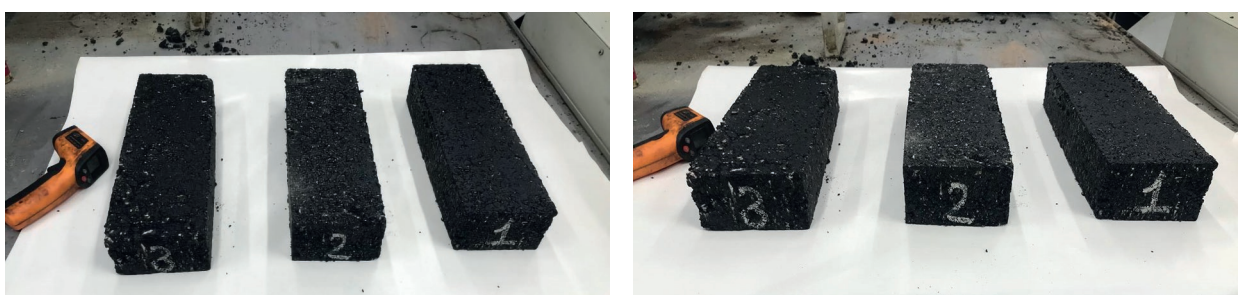

Рисунок 2 — Загальний вигляд виготовлених зразків

Проведення випробування коліємтійкості

Зразки-плити, які виготовлені на секторному пресі, термостатуються протягом 5 год за температури 60 °С.

Підготовані до випробування зразки-плити піддаються дії циклічного навантаження, яке передається на зразок за допомогою колеса із відповідних розмірів. Кількість циклів зворотнопоступальних рухів колеса складає 10 000 циклів (або 20 000 навантажень кожної точки по траєкторії випробувального колеса). При випробуванні навантаження на зразок через колесо становить (700 ± 10) N. При цьому, частота циклів складає (26,5 ± 1) на 60 с. Згідно з PN-EN 13108-5 стійкість до накопичення залишкових деформацій щебенево-мастикового асфальтобетону характеризують за:

– кутом нахилу кривої колієутворення (WTSAIR), для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;

– пропорційною глибиною колії після 10 000 циклів (PRDAIR) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб;

– глибиною колії після 10 000 циклів (RDAIR) для кожної проби окремо та для середнього значення із двох або більше проб.

Рисунок 3 — Загальний вигляд виготовлених зразків під час термостатування

Глибина колії вимірюється через 500; 1 000; 4 000; 5 000; 10 000; 15 000; 20 000 навантажень у відповідних точках. Розташування точок вимірювання глибини колії виконується за схемою, наведеною на **рис. 4**.

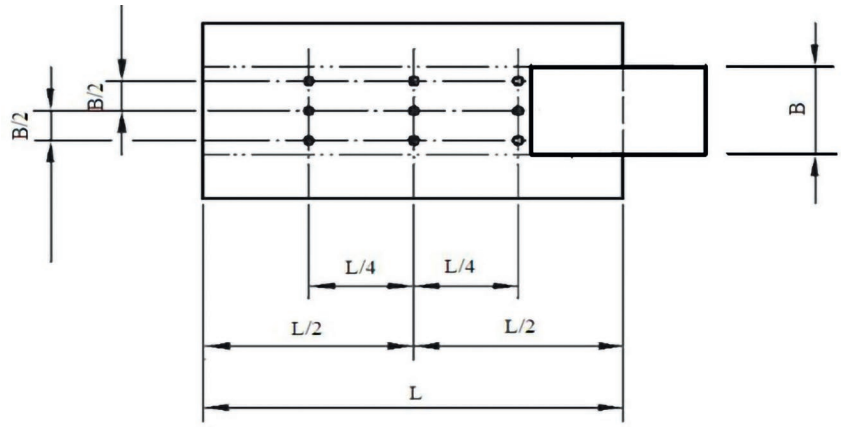

Рисунок 4 — Схема розташування точок вимірювання глибини колії

Рисунок 5 — Процес проведення випробування на стійкість асфальтобетону до утворення колії

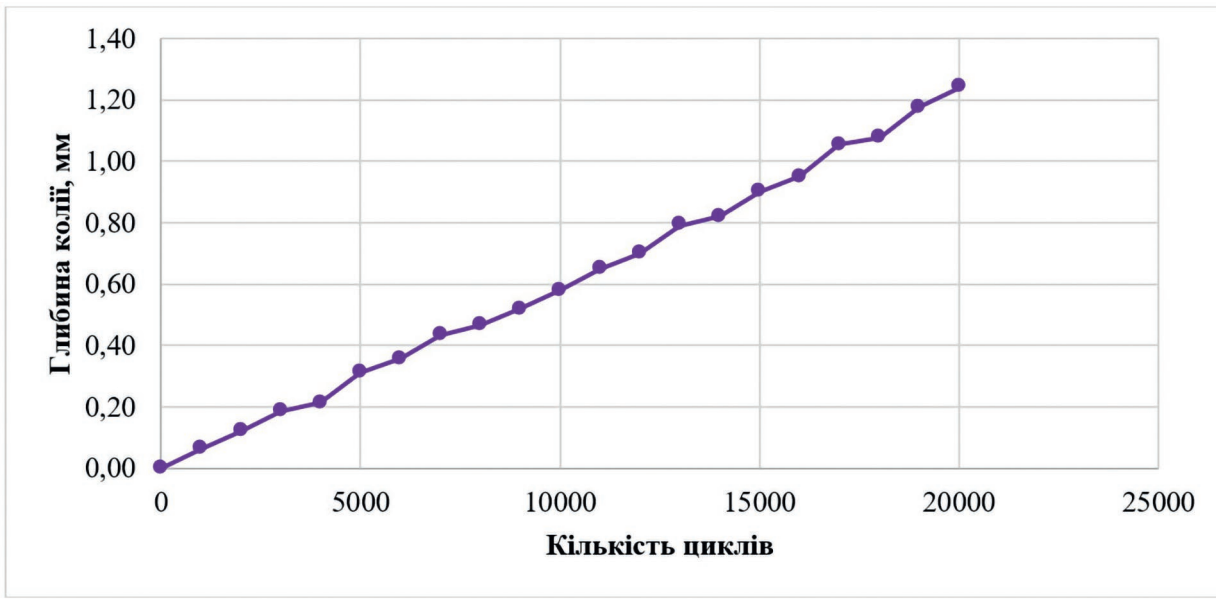

Рисунок 6 — Графік утворення колії під час випробування зразків, виготовлених із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 %

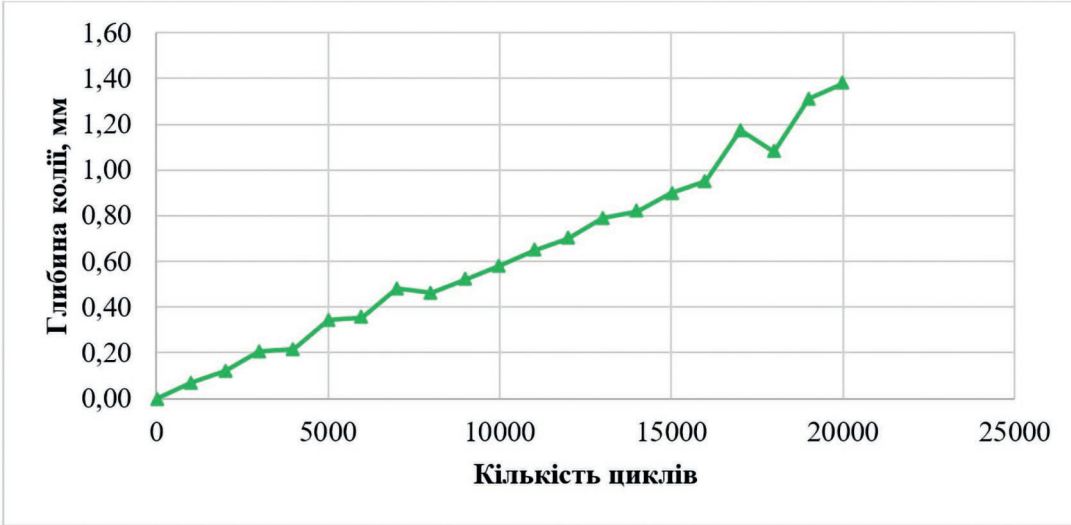

Рисунок 7 — Графік утворення колії під час випробування зразків, виготовлених із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5 %

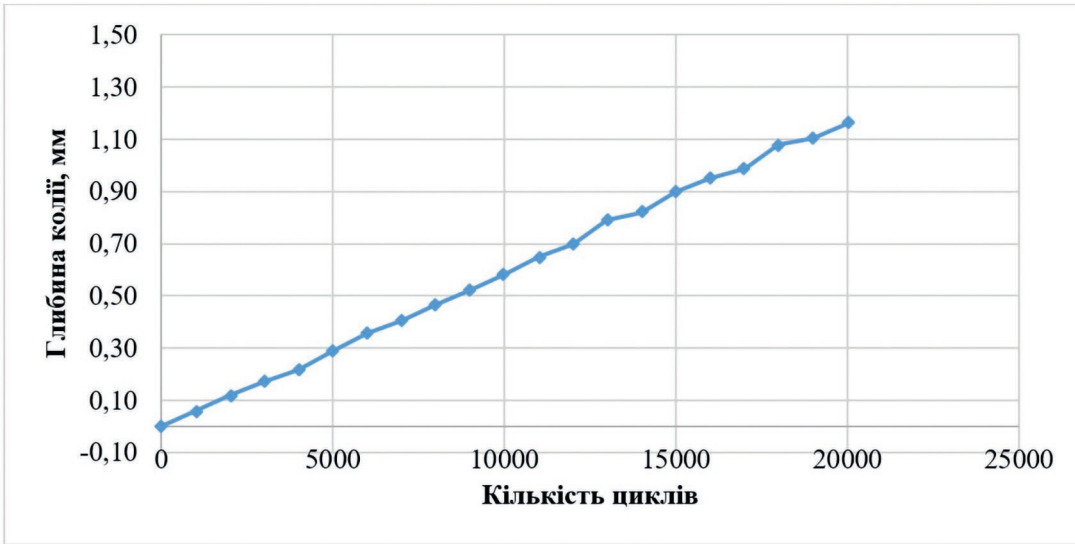

Рисунок 8 — Графік утворення колії під час випробування зразків, виготовлених із гарячого дрібнозернистого щільного асфальтобетону неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А (+РАП) на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5 %

Висновки

Проведені дослідження використанням технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі бітумів з додованням енергозберігаючих добавок і спінених бітумів та отримані наступні результати скійкості зразків асфальтобетонів, виготовлених із відповідних сумішей, до утворення колії після 20 000 циклів навантаження:

1) асфальтобетон дрібнозернистий щільний неперервчастої гранулометрії, марки I, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 5,0 % — глибина колії 1,24 мм;

2) асфальтобетон дрібнозернистий щільний неперервчастої гранулометрії, марки I, типу А на вихідному бітумі БНД 70/100 з додаванням енергозберігаючої добавки, з вмістом бітуму 4,5 % — глибина колії 1,38 мм;

3) асфальтобетон дрібнозернистий щільний неперервчастої гранулометрії, марки I, типу А (+РАП) на спіненому бітумі БНД 70/100, з вмістом бітуму 4,5 % — глибина колії склала 1,16 мм.

За результатами випробувань встановлено, що всі виготовлені зразки відповідають категорії $RD_{AIR\ max}$ – 1,5 мм відповідно до табл. 14 ДСТУ EN 13108-1 [9].

Список літератури

1. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні та асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2011. 59 с. (Інформація та документація).
2. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 49 с. (Інформація та документація).
3. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. Київ, 1998. 34 с. (Інформація та документація).
4. ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 2010. 45 с. (Інформація та документація).
5. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2014. 53 с. (Інформація та документація).
6. ДСТУ 4044-2019 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні вимоги. Київ, 2019. 59 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ-Н Б В.2.7-315:2016 Настанова щодо виробництва та застосування асфальтобетонних сумішей за знижених технологічних температур із використанням енергозберігаючих добавок. Київ, 2016. 39 с. (Інформація та документація).
8. ДСТУ EN 12697-22:2018 Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність (EN 12697-22:2003+A1:2007, IDT). Київ. 2018. 56 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ EN 13108-1:2018 Бітумомінеральні суміші. Технічні умови. Частина 1. Асфальтобетон (EN 13108-1:2016, IDT). Київ. 2018. 67 с. (Інформація та документація).
10. Губа В.В. Удосконалення технології будівництва асфальтобетонних шарів дорожнього одягу за способом „термоса": автореф. дис. канд. техн. Наук. Київ, 2006. 198 с.
11. Радовский Б.С. Прогресс технологий производства теплого асфальтобетона в США. *Автомобільні дороги*. Київ. 2011. № 8. С. 29–39.
12. Радовский Б.С. Технология теплого асфальтобетона в США. *Дорожная техника*. Київ, 2008. С. 24–28.

References

1. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfaltobetonni ta asfaltobeton dorozhnii ta aerodromnyi. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Mixtures of asphalt concrete

and road and airfield asphalt concrete. Specifications]. Kyiv, 2011. 59 p. (Information and dokumentation) [in Ukrainian].

2. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfaltobetonni i asfaltobeton dorozhniy ta aerodromnii. Metody vyprobuvan [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Mixtures of asphalt and asphalt road and airfield. Test methods]. Kyiv, 2016. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

3. DSTU B V.2.7-75-98 Budivelni materialy. Shchebin ta hravii shchilni pryrodni dlia budivelnykh materialiv, vyrobiv, konstruktsii ta robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-75-98) Building materials. Solid natural crushed stone and gravel for building materials, products, structures and construction works. Specifications]. Kyiv, 1998. 34 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

4. DSTU B V.2.7-210:2010 Budivelni materialy. Pisok iz vidsiviv droblennia vyverzhenykh hirskykh porid dlia budivelnykh robit. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-210:2010) Building materials. Sand from sereening after crushing of igneous rocks for construction works. Specifications]. Kyiv, 2010. 23 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

5. DSTU B V.2.7-121:2014 Poroshok mineralnyi dlia asfaltobetonnykh sumishei. Tekhnichni umovy [State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-121:2014) Mineral filler for asphalt concrete mixtures. Specifications]. Kyiv, 2014 . 53 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

6. DSTU 4044:2019 Bitumy naftovi dorozhni viazki. Tekhnichni vymohy [State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2019) Viscous petroleum road bitumens. Specification]. Kyiv, 2019. 59 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

7. DSTU-N B V.2.7-315:2016 Nastanova shchodo vyrobnytstva ta zastosuvannia asfaltobetonnykh sumishei za znyzhenykh tekhnolohichnykh temperatur iz vykorystanniam enerhozberihaiuchykh dobavok [State Standard of Ukraine (DSTU-N B V.2.7-315:2016) Guidelines on the production and using asphalt mixtures at the reduced process temperatures using energy-saving additives]. Kyiv, 2017. 39 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

8. DSTU EN 12697-22:2018 Bitumomineralni sumishi. Metody vyprobuvannia hariachykh asfaltobetonnykh sumishei. Chastyna 22. Koliinist (EN 12697-22:2003+A1:2007, IDT) [Bituminous-mineral mixtures. Methods of testing hot asphalt concrete mixtures. Part 22. Rutting]. Kyiv, 2018. 56 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

9. DSTU EN 13108-1:2018 Bitumomineralni sumishi. Tekhnichni umovy. Chastyna 1. Asfaltobeton (EN 13108-1:2016, IDT) [State Standard of Ukraine (DSTU EN 13108-1:2018) Bituminous-mineral mixtures. Specifications. Part 1. Asphalt conc (EN 13108-1:2016, IDT)]. Kyiv, 2018. 67 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

10. Huba V. V. Udoskonalennia tekhnolohii budivnytstva asfaltobetonnykh shariv dorozhnoho odiahu za sposobom „termosa" [Improvement of the technology of construction of asphalt concrete layers of road clothing by the «thermos» method]. Extended abstract of PhD dissertation. Kyiv, 2006, 198 p. [in Ukrainian].

11. Radovskyi B.S. Prohress tekhnolohyi proyzvodstva teploho asfaltobetona v SShA [Progress of warm asphalt concrete production technologies in the USA]. *Avtomobilni dorohy*. Kyiv, 2011. № 8. P. 29–39 [in Ukrainian].

12. Radovskyi B.S. Tekhnolohyia teploho asfaltobetona v SShA [Warm Asphalt Technology in the USA]. *Dorozhnaia tekhnyka*. Kyiv, 2008 P. 24–28 [in Russian].

Viacheslav Savenko[1], *D.Sc., Prof., https://orcid.org/0000-0001-8174-7728*
Anatolii Mudrychenko[2], *https://orcid.org/0000-0001-9787-2523*

[1] *National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine*
[2] *M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine*

STUDY OF THE RESISTANCE OF WARM ASPHALT MIXTURES BASED ON BITUMEN WITH THE ADDITION OF ENERGY-SAVING ADDITIVES AND FOAMED BITUMEN TO RUTTING

Abstract

Introduction. The article investigates asphalt mixtures produced by standard technology according to [1, 2] and the so-called warm asphalt mixtures produced at reduced process temperatures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen.

Problems. The resistance of asphalt mixtures to rutting is a key parameter in the design of the mixture, as the load on the pavement structure is increasing under current conditions due to the increased transport capacity of new vehicles that can carry loads with higher than standard axle loads.

Objective. The aim of the study was to investigate asphalt mixtures made using standard technology according to [1, 2] and the so-called warm asphalt mixtures made at reduced process temperatures based on bitumen with the addition of energy-saving additives and foamed bitumen.

Materials and methods. Experimental comparative tests of traditional hot asphalt concrete ASG.Sh.N.I.A.BND 70/100, asphalt concrete using foamed and bitumen, and asphalt concrete based on bitumen with the addition of energy-saving additives were carried out.

Results. Graphical dependences of rut formation after more than 20 thousand passes of the wheel on samples of asphalt mixtures produced by different methods and at different process temperatures.

Conclusions. The studies have shown that the use of warm asphalt concrete technologies makes it possible to reduce the temperature of preparation of hot asphalt mixtures by 20-40 °C without compromising the resistance to rutting compared to traditional hot asphalt concrete prepared with the same bitumen. This is achieved due to relatively new physicochemical effects that lead to a decrease in the shear resistance of the mixture during its preparation and compaction.

Keywords: road, asphalt concrete mixture, binder, energy-saving additive, road pavement, temperature, foamed bitumen, physical and mechanical properties.