https://doi.org/10.36100/dorogimosti2022.25.048

УДК 691.16

Копинець І. В., *канд. техн. наук, https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Соколова О. Б., *https://orcid.org/0000-0003-4202-8661*
Юнак А. Л., *https://orcid.org/0000-0002-5294-5554*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М. П. Шульгіна» (ДП «ДерждорНДІ»), м. Київ, Україна

ВИБІР БІТУМУ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ УМОВ

Анотація

Вступ. Найбільш поширеним матеріалом для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг є асфальтобетон. До суттєвих переваг асфальтобетону належать високі експлуатаційні характеристики, порівняно високі технічні показники, придатність до регенерації тощо. У той же час, асфальтобетону притаманні і недоліки, одним з яких є значна залежність міцності та деформативних характеристик від температури довкілля. Вирішальну роль в температурних властивостях асфальтобетону відіграє бітум, якість якого на сьогодні оцінюється за стандартними показниками згідно з пенетрацією. Точніше та об'єктивніше оцінити властивості бітуму можна за реологічними показниками (в'язкістю та когезією) або за експлуатаційними, що встановлюють залежно від кліматичних умов роботи асфальтобетонних шарів. Тому виникла необхідність у проведенні аналізу кліматичних умов роботи асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу.

Проблематика. На сьогодні в Україні для оцінювання властивостей бітуму використовують пенетраційну систему за якою встановлюють марку бітуму та відповідні характеристики. Близько 30 років тому в США розроблено систему оцінювання бітумів за експлуатаційними показниками, яка поєднує кліматичні умови та транспортні навантаження. Такий підхід дозволяє вибрати бітум для заданого розрахункового поєднання високих і низьких температур. Оцінка відповідних кліматичних умов роботи асфальтобетону в Україні дозволить розробити районування на основі якого можна виконувати оптимальний вибір бітуму, що повинно сприяти підвищенню довговічності асфальтобетону та конструкції дорожнього одягу в цілому.

Мета. Створення системи вибору бітуму під час проєктування конструкції дорожнього одягу з урахуванням температури довкілля, транспортних навантажень, інтенсивності руху, рівня надійності та розташування асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу.

Матеріали і методи. Збір кліматичних даних щодо температури довкілля за даними метеостанцій, розташованих в обласних центрах України за період з 2005 року до 2020 року та встановлення необхідних експлуатаційних властивостей бітуму.

Результати. Розроблено районування території України за кліматичними умовами роботи асфальтобетону з урахуванням температури довкілля, транспортних навантажень, інтенсивності руху, рівня надійності та розташування асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу.

Висновки. Розроблення та впровадження районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону та системи вибору бітуму за експлуатаційними показниками дозволить попередити утворення руйнувань у вигляді пластичних деформацій, тріщин віт утоми матеріалу та низькотемпературних тріщин і, тим самим, підвищити довговічність асфальтобетону.

Ключові слова: асфальтобетон, бітум, верхній шар основи, зв'язуючий шар, експлуатаційні властивості, конструкція дорожнього одягу, шар покриття.

Вступ

Найбільш поширеним матеріалом для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг є асфальтобетон. До суттєвих переваг асфальтобетону належать високі експлуатаційні характеристики, порівняно високі технічні показники, придатність до регенерації тощо. У той же час, асфальтобетону притаманні і недоліки, одним з яких є значна залежність міцності та деформативних характеристик від температури довкілля. Вирішальну роль в температурних властивостях асфальтобетону відіграє бітум, якість якого на сьогодні оцінюється за стандартними показниками згідно з пенетрацією. Точніше та об'єктивніше оцінити властивості бітуму можна за реологічними показниками (в'язкістю та когезією) або за експлуатаційними, що встановлюють залежно від кліматичних умов роботи асфальтобетонних шарів. Специфікація бітумного в'яжучого на основі експлуатаційних властивостей може бути застосована як до модифікованих, так і до немодифікованим бітумних в'яжучих. Специфікація заснована на жорсткості бітумного в'яжучого для певного поєднання транспортних навантажень і умов довкілля. Таким чином, марку бітумного в'яжучого вказують, перш за все, залежно від температури асфальтобетонного шару, що дозволяє вибрати одне в'яжуче для заданого розрахункового поєднання високих і низьких температур. Умови навантаження, пов'язані з високими температурами, це швидкість транспортного засобу 100 км/год та інтенсивність руху менше 10^7 еквівалентних навантажень на одну вісь [1, 2].

У специфікації на бітумне в'яжуче за експлуатаційними властивостями використовують позначення *PG x-y*.

де *PG* — експлуатаційне маркування,

x — максимальна розрахункова температура асфальтобетонного шару;

y — мінімальна розрахункова температура асфальтобетонного шару.

Розрахункові температури асфальтобетонного шару та відповідні позначення марки *PG* наведено в **табл. 1**.

Таблиця 1

Розрахункові температури асфальтобетонного шару та відповідні позначення марки

Максимальна розрахункова температура асфальтобетонного шару, °C	Позначення марки PG, *x*	Мінімальна розрахункова температура асфальтобетонного шару, °C	Позначення марки PG, *y*
< 46	46	> –10	-10
< 52	52	> –16	-16
< 58	58	> –22	-22
< 64	64	> –28	-28
< 70	70	> –34	-34
< 76	76	> –40	-40
< 82	82	> –46	-46

Знаючи температури асфальтобетонного шару можна визначити не тільки необхідні експлуатаційні властивості бітуму, але й встановити необхідність його модифікації [3] за даними, приведеними в **табл. 2**.

Оскільки бітум, який використовують в Україні, виробляють із легкої високопарафінистої нафти, а бітуми з нафти високої якості не є доступними, то навіть такі бітуми необхідно розглядати як модифіковані. Питання встановлення експлуатаційних умов роботи асфальтобетону все частіше піднімаються дослідниками ряду європейських країн [3–6].

Таблиця 2

Розрахункові температури асфальтобетонного шару та відповідні позначення марки

Марка бітумного в'яжучого				
52-16	58-16	64-16	70-16	76-16
52-22	58-22	64-22	70-22	76-22
52-28	58-28	64-28	70-28	76-28
52-34	58-34	64-34	70-34	76-34
52-40	58-40	64-40	70-40	76-40

Бітум із звичайної нафти; Бітум з нафти високої якості; Модифікований бітум

Основна частина

Мінімальна та максимальна температура асфальтобетонного шару є основою для встановлення експлуатаційних властивостей бітуму. Для цілей даного дослідження застосовували методи визначення температури асфальтобетонного шару на основі методу Superpave. Відповідно до даного методу за даними метеостанцій визначають середню максимальну температуру повітря за 7 днів, абсолютну мінімальну температуру повітря та виконують розрахунок температури асфальтобетонного шару за глибиною.

Для розрахунку максимальної температури асфальтобетонного шару використовували формулу:

$$T^{\mathrm{d}}_{\max} = 54,32 + 0,78 \cdot T_{\mathrm{air}_{\max}} - 0,0025\phi^2 + 15,14 \cdot \log_{10}(d+25) + z\left(9 + 0,61 \cdot \sigma^2_{\mathrm{air}_{\max}}\right)^{0,5}, \quad (1)$$

де $T^{\mathrm{d}}_{\max}$ — максимальна температура асфальтобетонного шару на глибині d, верхнє значення PG, °C;

$T_{\mathrm{air}_{\max}}$ — середня максимальна температуру повітря за 7 днів, °C;

ϕ — широта розташування метеостанції, градуси;

d — розрахункова глибина розташування асфальтобетонного шару, мм;

$\sigma_{\mathrm{air}_{\max}}$ — стандартне відхилення, розраховане на основі середньої максимальної температури повітря за 7 днів, °C;

z — статистична величина, що є результатом нормального розподілу значень температури, наприклад $z = 0$ для $P = 50$ %, $z = 0,84$ для $P = 80$ % і $z = 2,05$ для $P = 98$ %.

Для розрахунку мінімальної температури асфальтобетонного шару використовували формулу:

$$T^{\mathrm{d}}_{\min} = -1,56 + 0,72 \cdot T_{\mathrm{air}_{\min}} - 0,004\phi^2 + 6,26 \cdot \log_{10}(d+25) - z\left(4,4 + 0,52 \cdot \sigma^2_{\mathrm{air}_{\min}}\right)^{0,5}, \quad (2)$$

де $T^{\mathrm{d}}_{\min}$ — мінімальна температура асфальтобетонного шару на глибині d, нижнє значення PG, °C;

$T_{\mathrm{air}_{\min}}$ — середня мінімальна температура повітря, °C;

ϕ — широта розташування метеостанції, градуси;

d — розрахункова глибина розташування асфальтобетонного шару, мм;

$\sigma_{\mathrm{air}_{\min}}$ — стандартне відхилення, розраховане на основі середньої мінімальної температури повітря, °C;

z — статистична величина, що є результатом нормального розподілу, значення такі ж, як для розрахунків максимальної температури.

Температуру асфальтобетонного шару приймали на основі розрахунку відповідно до **рис. 1**.

У межах роботи було виконано аналіз даних 25 метеостанцій за період з 2005 року до 2020 року [7]. Для кожного року було визначено середню з максимальних температур впродовж 7 днів (**рис. 2** та **рис. 3**) та абсолютну мінімальну температуру повітря (**рис. 4**).

На основі визначених температур було розраховано температуру асфальтобетонного шару за формулою (1) та формулою (2) і встановлено потрібні експлуатаційні властивості бітуму. Додатково враховували рівень надійності залежно від категорії автомобільної дороги, інтенсивності руху, швидкості руху та складу транспортного потоку. Результати визначення даних характеристик наведено в **табл. 3**. Використовуючи отримані результати та рекомендації розробників системи Superpave встановлено необхідність виконання модифікації бітуму для забезпечення експлуатаційної надійності асфальтобетонів.

Отримані результати визначення необхідних експлуатаційних властивостей бітуму було використано для розроблення районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону (**рис. 5–12**).

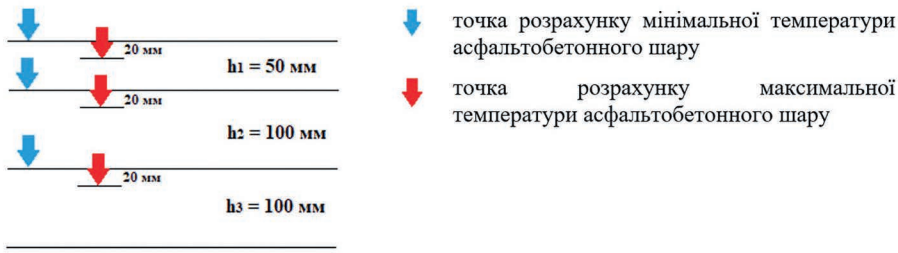

Рисунок 1 — Схема встановлення розрахункової глибини визначення температури асфальтобетонного шару

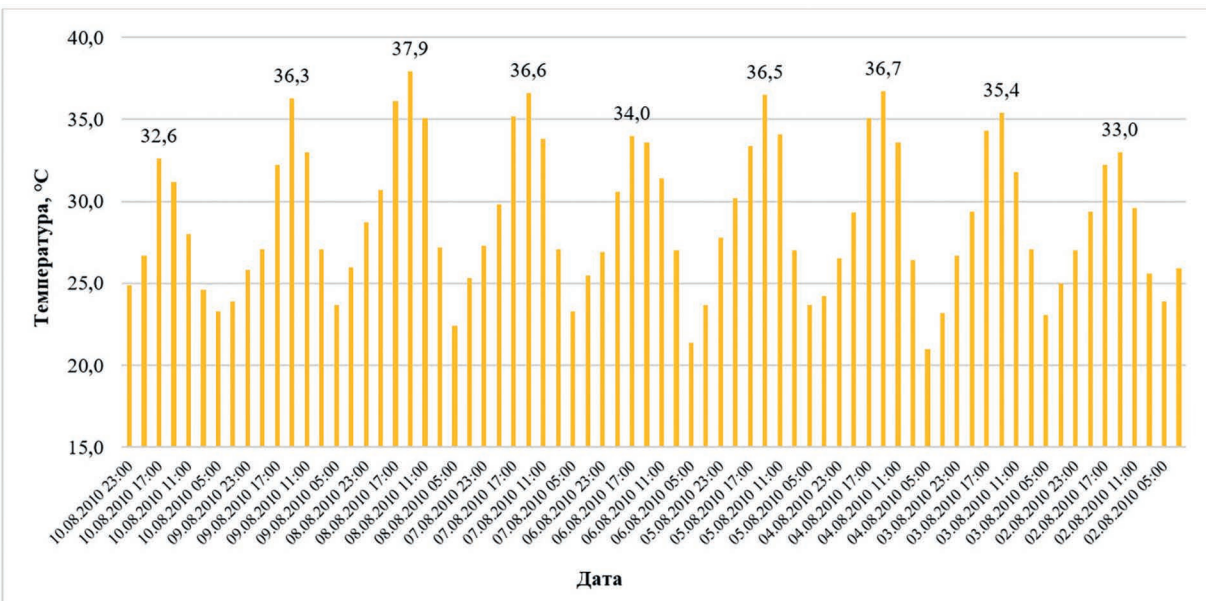

Рисунок 2 — Схема визначення послідовних 7 днів з максимальною температурою

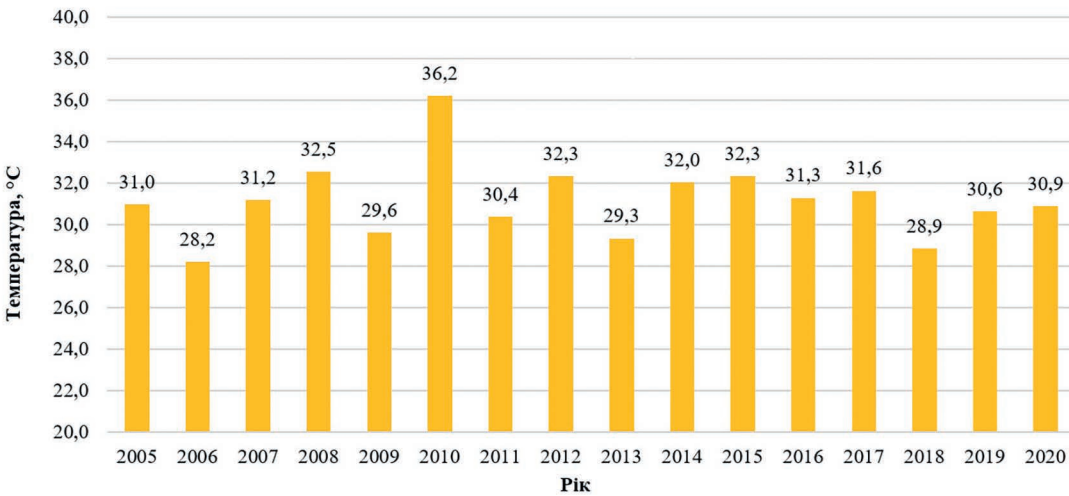

Рисунок 3 — Результати визначення середньої з максимальних температур повітря за 7 днів

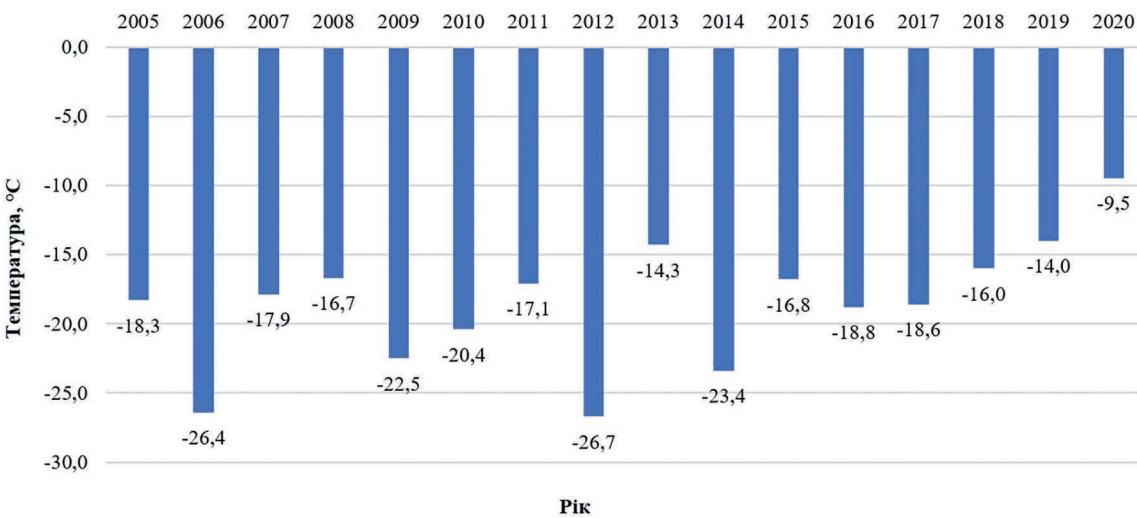

Рисунок 4 — Результати визначення середньої з мінімальних температур повітря

Таблиця 3

Результати визначення необхідних експлуатаційних властивостей бітуму

Місто	Результати визначення необхідних експлуатаційних властивостей бітуму							
	Категорія автомобільної дороги							
	I–II			III		IV		V
	Шар дорожнього одягу							
	покриття	зв'язуючий	основа	покриття	основа	покриття	основа	покриття
Ужгород	70-22	64-22	58-16	64-22	58-22	58-22	58-16	58-16
Чернівці	70-28	64-22	58-22	64-28	58-22	58-22	52-22	58-22
Львів	64-34	58-28	58-28	58-34	52-28	52-28	52-22	52-22

Кінець таблиці 3

Місто	Результати визначення необхідних експлуатаційних властивостей бітуму							
	Категорія автомобільної дороги							
	I–II			III		IV		V
	Шар дорожнього одягу							
	покриття	зв'язуючий	основа	покриття	основа	покриття	основа	покриття
Івано-Франківськ	70-34	64-28	58-28	64-34	58-28	58-28	52-22	58-22
Луцьк	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Рівне	70-28	64-28	58-28	64-28	58-28	58-28	52-22	58-22
Тернопіль	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Хмельницький	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Житомир	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Вінниця	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Київ	70-28	64-22	58-22	64-28	58-22	58-22	52-22	58-22
Чернігів	70-28	64-28	58-28	64-28	58-28	58-28	52-22	58-22
Суми	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-28	52-22	58-22
Полтава	70-28	64-22	58-22	64-28	58-22	58-22	58-22	58-22
Черкаси	70-28	64-28	58-22	64-28	58-28	58-22	52-22	58-22
Харків	70-28	64-28	64-22	64-28	58-28	58-22	58-22	58-22
Кропивницький	70-28	64-28	64-22	64-28	58-28	58-22	58-22	58-22
Дніпро	70-28	70-22	64-22	64-28	64-22	64-22	58-22	58-22
Донецьк	70-28	64-28	64-22	64-28	58-28	64-22	58-22	58-22
Луганськ	70-28	70-28	64-22	64-28	64-28	64-22	58-22	58-22
Запоріжжя	70-28	70-22	64-22	64-28	64-22	64-22	58-22	58-22
Одеса	70-22	64-16	58-16	64-22	58-16	58-16	58-16	58-16
Миколаїв	70-28	70-22	64-22	64-28	64-22	64-22	58-16	58-16
Херсон	76-22	70-22	64-22	70-22	64-22	64-22	58-16	58-16
Сімферополь	70-22	70-22	64-16	64-22	64-22	64-16	58-16	58-16
Потребує модифікації				Не потребує модифікації				

Відповідно до застосовуваної методики для охарактеризування кліматичних даних всієї області було використано дані обласного центру. Однак, для більш детального районування, необхідно виконати аналіз даних інших метеостанцій, рівномірно розташованих в межах областей. Також вимоги до експлуатаційних властивостей бітуму може бути інтегровано в автоматичні системи розрахунку конструкції дорожнього одягу, які б на основі аналізу кількості прикладань розрахункового навантаження за період служби та кліматичних даних виконували вибір необхідного бітуму.

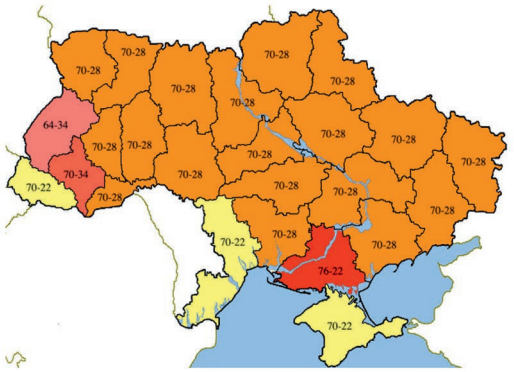

Рисунок 5 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону шару покриття автомобільної дороги I – II категорії

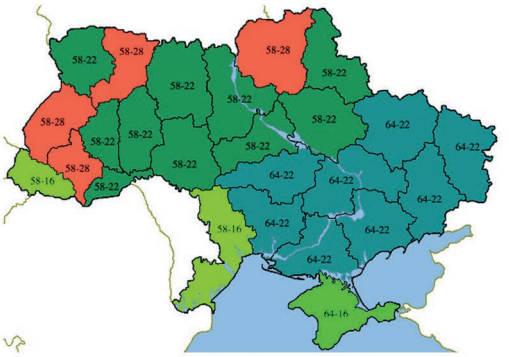

Рисунок 6 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону верхнього шару основи автомобільної дороги I – II категорії

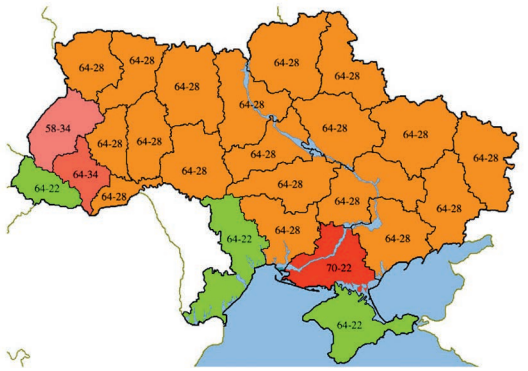

Рисунок 7 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону шару покриття автомобільної дороги III категорії

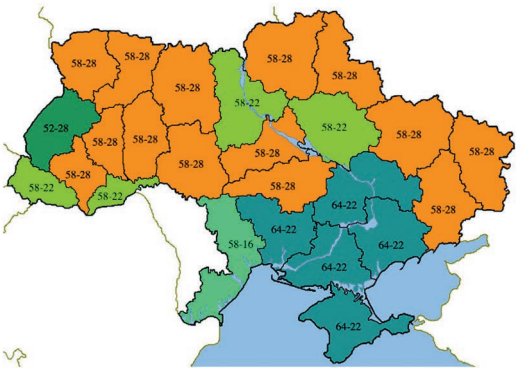

Рисунок 8 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону верхнього шару основи автомобільної дороги III категорії

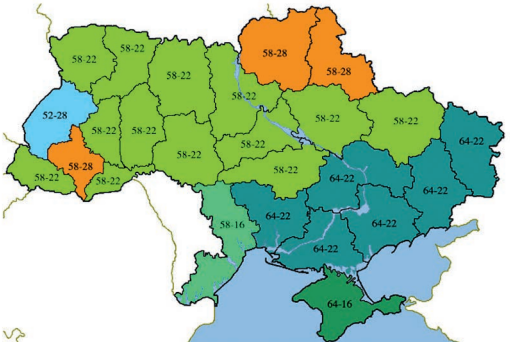

Рисунок 9 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону шару покриття автомобільної дороги IV категорії

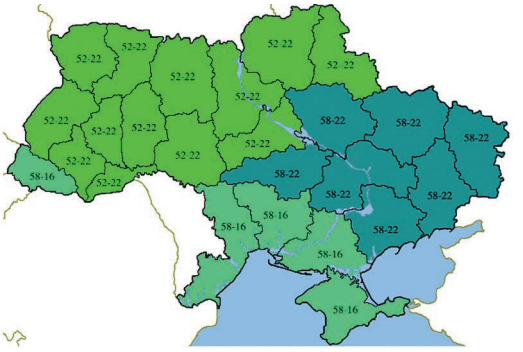

Рисунок 10 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону верхнього шару основи автомобільної дороги IV категорії

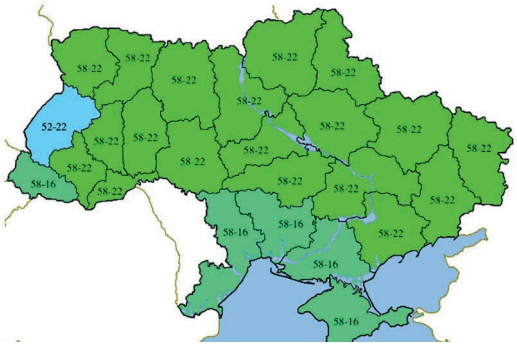

Рисунок 11 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону шару покриття автомобільної дороги V категорії

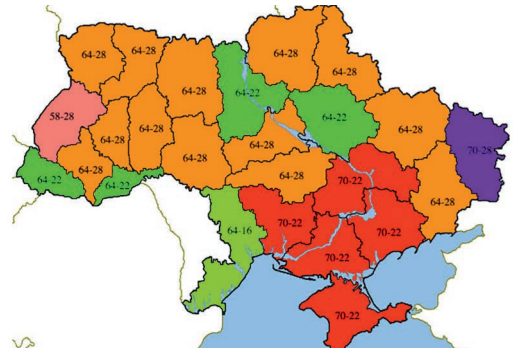

Рисунок 12 — Районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону зв'язуючого шару автомобільної дороги I–II категорії

Висновки

Класифікація бітумів за експлуатаційними властивостями заснована на даних середньої з максимальних температур впродовж 7 днів та абсолютної мінімальної температури впродовж року за період спостереження. Для уточнення класу бітуму за експлуатаційними показниками використовують інтенсивність руху, склад транспортного потоку та швидкість руху транспорту.

Залежно від кліматичних умов роботи асфальтобетону, розташування асфальтобетону в конструкції дорожнього одягу, категорії автомобільної дороги та рівня надійності, в Україні може бути використано чотирнадцять класів бітумів від PG 58-16 (бітум нафтовий дорожній в'язкий) до PG 70-34 (бітум, модифікований полімером, з підвищеними властивостями).

Необхідність застосування модифікованого бітуму в основному обумовлюється абсолютною середньою мінімальною температурою повітря, що характерна для більшості території України.

Здебільшого модифікований бітум доцільно використовувати для виробництва асфальтобетонних сумішей, що використовують для влаштування покриття дорожнього одягу автомобільних доріг I–III категорії, а також зв'язуючого шару дорожнього одягу автомобільних доріг I–II категорії. В окремих випадках доцільно використовувати модифікований бітум для виробництва асфальтобетонних сумішей, що використовують для влаштування верхнього шару основи дорожнього одягу автомобільних доріг I–III категорії, а також шару покриття автомобільних доріг IV категорії.

Розроблення та впровадження районування території України за експлуатаційними умовами роботи асфальтобетону та системи вибору бітуму за експлуатаційними показниками дозволить попередити утворення руйнувань у вигляді пластичних деформацій, тріщин віт утоми матеріалу та низькотемпературних тріщин і, тим самим, підвищити довговічність асфальтобетону.

Подальші дослідження спрямовано на деталізацію експлуатаційних умов роботи асфальтобетону з метою уточнення розробленого районування та встановлення відповідних марок бітуму відповідно до існуючої в Україні класифікації.

Список літератури

1. Kennedy, T., Huber, G., Harrigan, E., Cominsky, R., Hughes, C., Von Quintus, H., and Moulthrop, J. (1994). *Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program.* Washington: Strategic Highway Research Program, National Research Council.

2. AASHTO M 32010 (2015). Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials. (Інформація та документація).

3. Золотарев В. А., Пыриг Я. И. Применение метода выбора марки битумного вяжущего, в соответствии с системой Superpave, в условиях Украины. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета.* Харьков, 2018. Вып. 82. С. 119–130.

4. Pszczoja M., Rys D., Jaskuja P. Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Drogi i Mosty*. № 16. 2017. P. 245–264.

5. Леонович И. И., Мельникова И. С. Методика и результаты оценки экстремальных температур дорожных покрытий в различных регионах республики Беларусь. *Автомобильные дороги и мосты.* 2012. № 1 (9). С. 39–47.

6. Телтаев Б. Б., Каганович Е. В., Измайлова Т. Т. Учет климатических условий эксплуатации при выборе битума для асфальтобетонных смесей. *Наука и техника в дорожной отрасли*. 2008. № 2. С. 17–20.

7. Погода в світі. URL: https://rp5.ua (дата звернення: 09.01.2022).

References

1. Kennedy, T., Huber, G., Harrigan, E., Cominsky, R., Hughes, C., Von Quintus, H., and Moulthrop, J. (1994). *Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program.* Washington: Strategic Highway Research Program, National Research Council [in English].

2. AASHTO M 32010 (2015). Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder. American Association of State Highway and Transportation Officials. (Information and documantation) [in English].

3. Zolotarev V. A., Pyrig Y. I. Zastosuvannya metodu vyboru marky bitumnoho v'yazhuchoho, z·hidno iz systemoyu superpave, v umovakh Ukrayiny [Application of the method of choosing the brand of bituminous binder, in accordance with the Superpave system, in the conditions of Ukraine]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu.* Kharkiv, 2018. Iss. 82. P. 119–130 [in Russian].

4. M. Pszczoja, D. Rys, P. Jaskuja. Analysis of climatic zones in Poland with regard to asphalt performance grading. *Drogi i Mosty*. № 16. 2017. P. 245–264 [in English].

5. Leonovych I. I., Melnykova I. S. Metodyka ta rezultaty otsinky ekstremalnykh temperatur dorozhnikh pokryttiv u riznykh rehionakh respubliky Bilorus [Methodology and results of assessment of extreme temperatures of pavement in various regions of the Republic of Belarus]. *Avtomobilni dorohy ta mosty.* 2012. № 1 (9). P. 39–47 [in Russian].

6. Teltayev B. B., Kahanovych Ye. V., Izmaylova T. T. Urakhuvannya klimatychnykh umov ekspluatatsiyi pry vybori bitumu dlya asfaltobetonnykh sumishey [Accounting for climatic operating conditions when choosing bitumen for asphalt concrete mixtures]. *Nauka ta tekhnika u dorozhniy haluzi*. 2008. № 2. P. 17–20 [in Russian].

7. Pohoda u sviti. URL: https://rp5.ua (Last accessed: 09.01.2022) [in Ukrainian].

Ivan Kopynets, *Ph.D., https://orcid.org/0000-0002-0908-4795*
Oksana Sokolova, *https://orcid.org/0000-0003-4202-8661*
Alina Yunak, *https://orcid.org/0000-0002-5294-5554*

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – DerzhdorNDI SE, Kyiv, Ukraine

SELECTION OF BITUMEN FOR THE PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES CONSIDERING THE OPERATING CONDITIONS

Abstract

Introduction. Asphalt concrete is the most common material for paving layers of roads. Significant advantages of asphalt concrete include high operational characteristics, relatively high technical values, suitability for regeneration and more. At the same time, asphalt concrete has its drawbacks, one of which is the significant dependence of strength and deformation characteristics fronm the ambient temperature. The essential role in the temperature properties of asphalt concrete is played by bitumen, the quality of which is currently evaluated by standard indicators in accordance with the penetration system. The properties of bitumen can be more accurately and objectively evaluated by rheological indicators (viscosity and cohesion) or by operational ones, which are determined depending on the climatic conditions of asphalt concrete layers. Therefore, there is a need to analyze the climatic conditions of asphalt concrete in the pavement structure.

Problem statement. Today in Ukraine a penetration system uses for evaluation of bitumen properties that determines the type of bitumen and the corresponding characteristics. About 30 years ago, the United States developed a system for evaluation of bitumen operational characteristics, which combines climatic conditions and transport loadings. This approach allows to choose bitumen for assigned designing combination of high and low temperatures. Evaluation of the appropriate climatic conditions of asphalt concrete in Ukraine will allow to develop zoning on the basis of which it is possible to make the optimal choice of bitumen, which would increase the durability of asphalt concrete and pavement structure in general.

Purpose. Creation of bitumen selection system during designing of pavement structure, considering the ambient temperature, transport loadings, traffic intensity, level of reliability and location of asphalt concrete in the pavement structure.

Materials and methods. Collection of climatic data regarding ambient temperature according to the data of meteorological stations located in regional centers of Ukraine for the period from 2005 till 2020 and determination of the needed operational properties of bitumen.

Results. The zoning of the territory of Ukraine according to the climatic conditions of asphalt concrete considering the ambient temperature, transport loadings, traffic intensity, level of reliability and location of asphalt concrete in the pavement structure is developed.

Conclusions. Development and introduction of zoning of the territory of Ukraine according to the operational conditions of asphalt concrete and bitumen selection system according to operational indicators will prevent the formation of destruction in the form of plastic deformations, cracks and low-temperature cracks and thus will increase the durability of asphalt concrete.

Keywords: asphalt concrete, bitumen, binding layer, operational properties, pavement structure, pavement layer, upper layer of foundation.