

*Карюк А.М., к.т.н., доцент  
Савенко Б.В., студент*

*Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка*

## **МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ**

*Розроблено ймовірнісну методику оцінювання тривалості часу, протягом якого температура покриття автомобільної дороги перевищує температуру розм'якшення дорожнього бітуму або перебуває нижче від температури його крижкості. Випадкові та сезонні зміни температури дорожнього покриття подано у формі послідовностей з 12-ти нормально розподілених випадкових величин, статистичні характеристики котрих визначаються через відповідні характеристики температури поверхні ґрунту з урахуванням додаткового нагрівання від дії прямої сонячної радіації. Методику проілюстровано прикладом розрахунку для району м. Полтава. З'ясовано, що залежно від якості використаного бітуму найбільша кількість небезпечно спекотних днів у червні змінюється від 0,2 до 8 днів на місяць, а найбільша кількість холодних днів у лютому складає 4 – 11 на місяць. Результати дослідження може бути використано при плануванні автомобільних перевезень і ремонтних робіт на автодорогах.*

**Ключові слова:** *автомобільна дорога, асфальтобетонне покриття, температурний режим, планування перевезень.*

*Карюк А.Н., к.т.н., доцент  
Савенко Б.В., студент*

*Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка*

## **МЕТОДИКА ОЦЕНИВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ПОКРЫТИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

*Разработана вероятностная методика оценки продолжительности времени, в течение которого температура покрытия автомобильной дороги превышает температуру размягчения дорожнего битума или находится ниже температуры его хрупкости. Случайные и сезонные изменения температуры дорожнего покрытия представлены в форме последовательностей из 12-ти нормально распределенных случайных величин, статистические характеристики которых определяются через соответствующие характеристики температуры поверхности почвы с учетом дополнительного нагрева от действия прямой солнечной радиации. Методика проиллюстрирована примером расчета для района г. Полтава. Выяснено, что в зависимости от качества использованного битума наибольшее количество опасно жарких дней в июне меняется от 0,2 до 8 дней в месяце, а наибольшее количество холодных дней в феврале составляет 4 – 11 в месяце. Результаты исследования могут использоваться при планировании автомобильных перевозок и ремонтных работ на автодорогах.*

**Ключевые слова:** *автомобильная дорога, асфальтобетонное покрытие, температурный режим, планирование перевозок.*

Kariuk A., PhD, Associate Professor  
Savenko B., student  
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

## METHODS OF EVALUATION OF THERMAL BEHAVIOUR OF ROAD PAVEMENT

*The developed methods of probabilistic evaluation of thermal behavior of motor road pavement allow to optimize the automobile transportation. Exceeding the melting point of road bitumen leads to deformation of the road under the wheels of cars, and rut formation; and a significant decrease in temperature causes brittleness of bitumen and the destruction of the road pavement under dynamic load of vehicles.*

*The proposed methods allow to determine the length of time, during which the movement of heavy vehicles can cause damage to the road pavement in each of the months of the year. Statistical characteristics of average monthly temperature of the soil is converted to the characteristics of the current temperature values of bituminous concrete surface of the road, taking into account the autocorrelation of measurement results, and additional heating from the action of the direct solar radiation. Casual and seasonal changes of the surface temperature of the road pavement are presented in the form of sequences of 12-normally distributed random variables. Based on the use of the normal distribution for each of the months of the year, this representation allows to determine the probable number of cold days with the temperature, lower than the brittle point, and the number of hot days with the temperature, higher than the melting point of motor road bitumen. The melting point and the brittle point were determined according to the minimal standard requirements to the characteristics of bitumen brands, which are recommended in design standards for use in bituminous concrete mixtures of the upper layer of the road pavement in the given climatic conditions.*

*The application of the developed method of estimation of thermal behavior of motor road pavement operation is illustrated with examples for Poltava district. As a result of calculations, a significant seasonal variability of the number of cold and hot days was discovered, as well as the softening and brittleness dependence of the used bitumen on the temperatures. When using bituminous concrete mixtures meeting the current standards of design in Ukraine, the largest number of dangerously hot days in June is 2 days per month. The largest number of cold days, when the brittleness of bituminous concrete may occur, is in February and amounts to 6 days per month. For the roads built in the last century, the biggest duration of the potentially dangerous hot and cold weather is 3 – 7 and 7 – 11 days a month, depending on the category of the road. Using modern bitumen, modified with polymers, reduces the duration of potentially dangerous period to 4 cold and 0.2 of a hot day per month due to the expanded temperature range of operation of bitumen.*

*The research results can be used when planning repair work and motor transportation. The similar calculations, according to the data of different geographical regions of Ukraine, will allow to predict the number of days, for which the movement of heavy vehicles should be restricted to prevent the destruction of the road pavement.*

**Keywords:** road, bituminous concrete pavement, thermal behavior, motor transportation planning.

**Вступ.** Температурний режим полотна автомобільної дороги істотно впливає на його експлуатаційні властивості. Перевищення температури розм'якшення дорожнього бітуму призводить до зменшення несучої здатності дорожнього одягу, його деформації під колесами автомобілів та утворення колійності. Значне зниження температури може спричинити крихкість бітуму й руйнування дорожнього покриття під дією динамічного навантаження від транспортних засобів. Тому прогнозування температурного режиму дорожнього покриття за даними про температуру поверхні ґрунту є актуальним завданням, розв'язання якого допоможе оптимізувати автомобільні перевезення з урахуванням допустимого режиму експлуатації доріг.

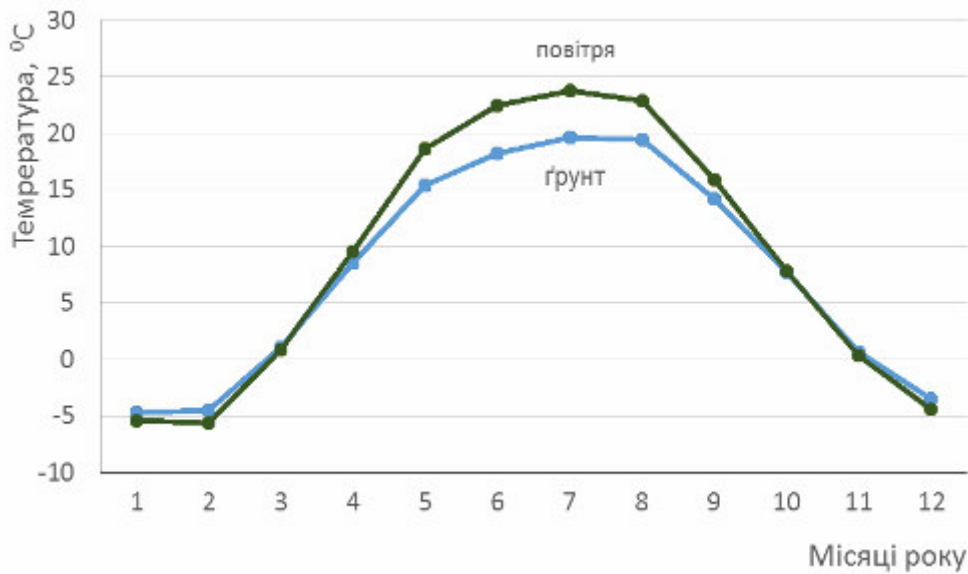
**Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій.** Умови спорудження, експлуатації та ремонту автомобільних доріг значною мірою залежать від використаних матеріалів і температурного режиму дорожнього покриття [1]. Температурний діапазон нормальної експлуатації автомобільних доріг визначається в основному технічними характеристиками використаних бітумних в'язучих за нормами [2], необхідні марки яких обираються залежно від кліматичних умов території за нормативним документом [3], який замінив норми [4]. Досить глибоко вивчені закономірності часової та територіальної мінливості температури повітря [5, 6], що дозволило представити її зміни у формі випадкових процесів і встановити розрахункові значення, необхідні для проектування будівель.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** На сьогодні залишаються недостатньо вивченими та не мають імовірнісного опису зміни температури поверхні ґрунту, які істотно впливають на режим експлуатації автомобільних доріг. Температура ґрунту, як і температура повітря, систематично вимірюється на метеостанціях України за методикою [7]. Результати вимірювань, узагальнені в роботі [5] та інших джерелах, дозволяють провести статистичний аналіз і розробити ймовірнісні моделі для опису температури ґрунту.

**Мета дослідження** полягає в розробленні та апробації на конкретних прикладах розрахунку методики визначення тривалості часу, протягом якого рух великовагових автомобілів може спричинити пошкодження дорожнього покриття у кожному з місяців року.

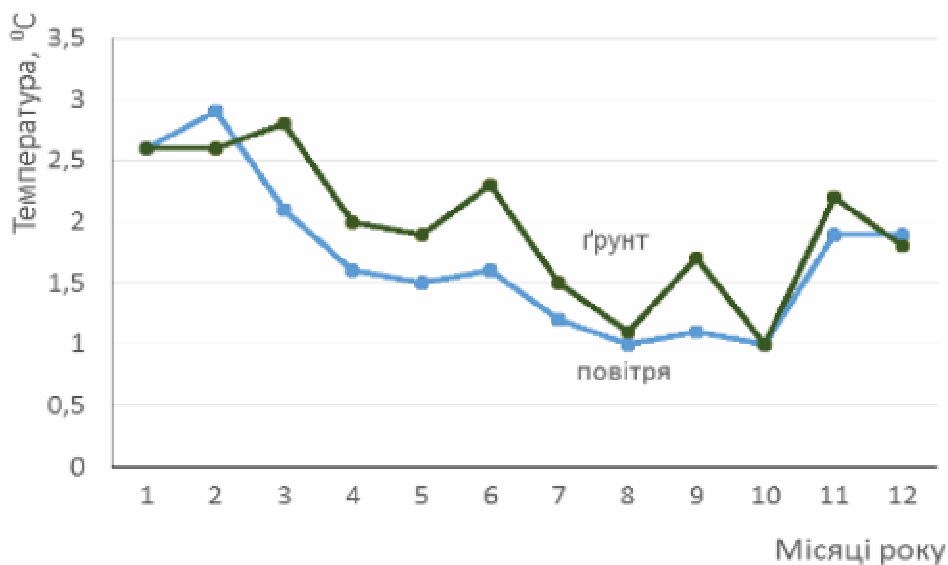
**Основний матеріал і результати дослідження.** Метеорологічна інформація про температуру ґрунту отримана в результаті вимірювань за допомогою мінімальних, максимальних, біметалічних та електричних термометрів і в узагальненому вигляді подана в довіднику [5]. За результатами спостережень, проведених у період з 1975 року до 1995 року, в роботі [5] наведені статистичні характеристики середньомісячних значень температури повітря та поверхні ґрунту на 207-ми метеорологічних станціях України. Для детального дослідження параметрів температури ґрунту сформована мережа зі 105-ти метеостанцій, розміщених рівномірно по території України. База узагальнених метеорологічних показників, створена в середовищі Microsoft Excel, включає середні значення, стандарти, мінімальні та максимальні спостережені значення середньомісячних температур повітря й поверхні ґрунту.

Порівняння середньомісячних значень температури повітря й температури поверхні ґрунту виконано на рисунку 1. З рисунка видно, що температура ґрунту в літні місяці вища, ніж температура повітря, а в зимові місяці може бути нижчою за температуру повітря. Це пояснюється сонячною радіацією, яка влітку додатково нагріває поверхню ґрунту.



**Рисунок 1 – Порівняння середньомісячних значень температури повітря та температури поверхні ґрунту**

Стандарти середньомісячної температури повітря й поверхні ґрунту змінюються більш хаотично (особливо стандарти температури поверхні ґрунту), але можна відмітити, що в літні місяці стандарти менші, ніж у зимові (рисунок 2). Більші стандарти температури поверхні ґрунту порівняно з температурою повітря в літні місяці також можна пояснити впливом сонячної радіації, яка вдень додатково нагріває ґрунт до температур, вищих за температуру повітря. Уночі температури повітря й ґрунту вирівнюються, тому розмахи та стандарти температури ґрунту більші, ніж температури повітря.



**Рисунок 2 – Зміна стандартів середньомісячної температури повітря та поверхні ґрунту**

У довіднику [5] та в базі даних наведені статистичні характеристики  $M_{СП}$  і  $S_{СМ}$  середньомісячних значень температури повітря та ґрунту, які отримані шляхом осереднення за 240 чи 244 результатами строкових вимірювань. Для детального прогнозування температурного режиму дорожнього покриття їх необхідно перерахувати в статистичні характеристики поточних результатів вимірювання температури. З теорії ймовірності [8] відомо, що математичне сподівання середнього значення дорівнює математичному сподіванню вибірки поточних значень

$$M_C = M_{П}, \quad (1)$$

а стандарт середнього значення вибірки з  $N_{П}$  даних дорівнює

$$S_C = \frac{S_{П}}{\sqrt{N_{П}}}, \quad (2)$$

де  $S_{П}$  – стандарт вибірки поточних значень.

До формули (2) слід підставляти не просто обсяг вибірки поточних значень, а кількість  $N_{П}$  незалежних даних у цій вибірці [8]. Результати поточних вимірювань температури повітря та ґрунту, віддалені за часом на 3 год, є взаємно залежними, тобто автокорельованими. З монографії [6] відомо, що інтервал кореляції середньодобових значень температури повітря становить 3 доби. Добові зміни температури є практично синусоїдальним процесом, у якому можна вважати незв'язаними значення з інтервалом  $\frac{1}{2}$  доби (максимальні й мінімальні значення, які відображають добовий хід температури). Отже, кожна доба містить два незалежні значення температури, а кожна місячна вибірка – двадцять незалежних поточних значень температури (десять діб по два значення). Тоді з формул (1) і (2) можна визначити статистичні характеристики вибірок поточних значень температури:

$$M_{ПМ} = M_{СМ}; \quad S_{ПМ} = S_{СМ} \sqrt{20} = 4,47 \cdot S_{СМ} \quad (3)$$

де  $M_{ПМ}$  і  $S_{ПМ}$  – математичне сподівання й стандарт поточних значень температури;  $M_{СМ}$  і  $S_{СМ}$  – математичне сподівання й стандарт вибірки середньомісячних значень температури.

Температура дорожнього покриття визначається температурою поверхні ґрунту та впливом сонячної радіації, яка додатково нагріває асфальтобетон. Зростання температури поверхні внаслідок дії сонячної радіації можна наближено оцінити за формулою з нормативного документа [9]

$$\theta = 0,05 \times \rho \times S_{max} \times k \times k_1, \quad (4)$$

де  $S_{max}$  – максимальне значення сумарної (прямої і розсіяної) сонячної радіації, яке за таблицею норм [9] для горизонтальної поверхні дорівнює  $S_{max} = 890 \text{ Вт/м}^2$ ;

$k = 1$  – коефіцієнт, що приймається за таблицею нормативного документа [9];

$k_1 = 0,4$  – коефіцієнт, прийнятий за таблицею норм [9] для товщини дорожнього полотна 15 – 39 см;

$\rho$  – коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні конструкції, що приймається за нормативним документом [10] залежно від фактури та кольору поверхні.

З метою переходу від температури поверхні ґрунту до температури земляного полотна оцінимо вплив сонячної радіації для трьох варіантів поверхні:

- 1) трав'яний покрив, аналогічний штукатурці зеленого кольору з  $\rho = 0,6$ ;
- 2) піщана або глиниста поверхня ґрунту, аналогічна до штукатурки кремового кольору з  $\rho = 0,4$ ;
- 3) асфальтна поверхня земляного покриття з  $\rho = 0,9$ .

Розрахунки за формулою (2) дають такі результати для цих поверхонь:

$$\theta_1 = 0,05 \cdot 0,6 \cdot 890 \cdot 1 \cdot 0,4 = 10,68 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{– трав'яний покрив};$$

$$\theta_2 = 0,05 \cdot 0,4 \cdot 890 \cdot 1 \cdot 0,4 = 7,12 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{– пісок};$$

$$\theta_3 = 0,05 \cdot 0,9 \cdot 890 \cdot 1 \cdot 0,4 = 16,02 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \text{– асфальтобетон}.$$

Таким чином, температура асфальтобетонного покриття автомобільної дороги в літній період часу може бути на  $16,0 - 10,6 = 5,4^\circ\text{C}$  вищою за температуру поверхні ґрунту з трав'яним покривом та на  $16,0 - 7,1 = 8,9^\circ\text{C}$  вищою за температуру відкритої поверхні піщаного ґрунту, що дає середнє значення  $7,2^\circ\text{C}$ . Це найбільша різниця, яка реалізується в спекотні безхмарні дні. За відсутності сонячної радіації різниця температур дороги й ґрунту дорівнює нулю. Закон розподілу різниці температур можна вважати близьким до рівномірного з областю визначення від 0 до  $7,2^\circ\text{C}$ . Згідно з даними роботи [8] математичне сподівання приросту температури дорівнює  $M_\Delta = 3,6^\circ\text{C}$ , а стандарт приросту температури  $S_\Delta = 7,2/3,46 = 2,1^\circ\text{C}$ . Середнє протягом доби зростання температури дороги порівняно з температурою ґрунту дорівнюватиме  $3,6^\circ\text{C}$ . Тоді за правилами додавання випадкових величин [8] та з урахуванням формул (1) статистичні характеристики температури асфальтобетонної поверхні дороги дорівнюють

$$M_D = M_G + M_\Delta = M_M + 3,6 ; \tag{5}$$

$$S_D = \sqrt{S_G^2 + S_\Delta^2} = \sqrt{20 \cdot S_M^2 + 2,1^2} = \sqrt{20 \cdot S_M^2 + 4} ,$$

де  $M_M$  і  $S_M$  – середнє значення та стандарт середньомісячної температури поверхні ґрунту в заданому місяці року зі створеної бази даних.

Кількість холодних днів, протягом яких у певному місяці року температура поверхні дороги буде нижчою за задану температуру  $X$ , можна визначити за формулою [8]

$$T_X = 30 \times F_D(M_D, S_D, X) , \tag{6}$$

де 30 – середня кількість днів у місяці;

$F_D(M_D, S_D, X)$  – функція нормального розподілу температури поверхні дороги із числовими характеристиками (5).

Кількість спекотних днів, протягом яких температура поверхні дороги перевищує задане значення  $X$ , визначається за формулою

$$T_C = 30 \times [1 - F_D(M_D, S_D, X)] , \tag{7}$$

де 30 – середня кількість днів в місяці;

$F_D(M_D, S_D, X)$  – функція нормального розподілу температури дорожнього полотна з математичним сподіванням  $M_D$  та стандартом  $S_D$  за формулами (5).

Небезпека утворення ожеледі виникає при температурах поверхні дороги в межах від  $-5$  до  $0^\circ\text{C}$ . Кількість днів на місяць, протягом котрих реалізуються такі температури дорожнього полотна, можна розрахувати за формулою

$$T_O = 30 \times [F_D(M_D, S_D, 0) - F_D(M_D, S_D, -5)] , \tag{8}$$

складові якої позначені вище.

Застосування наведеної методики оцінювання температурного режиму експлуатації покриття автомобільних доріг проілюстровано прикладами розрахунку за даними метеостанції Полтава. Згідно з нормативним документом [4], за вимогами якого споруджувалися наявні автомобільні дороги, м. Полтава належить до III кліматичної

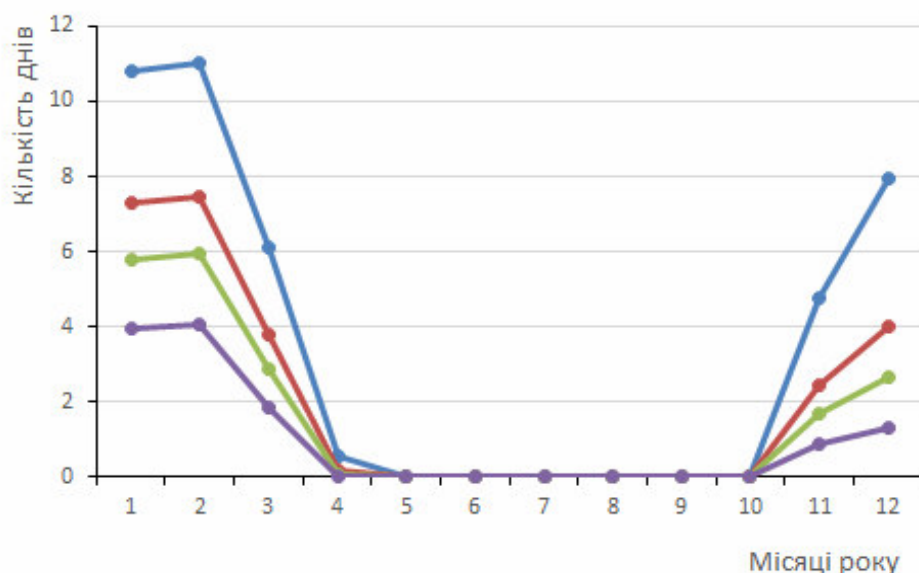
зони, а за нормами [3] – до району А-3. Мінімальні вимоги до характеристик бітумів для верхнього шару дорожнього покриття дають температури розм'якшення та крихкості бітомів, наведені в таблиці 1.

**Таблиця 1 – Температурний діапазон експлуатації дорожніх бітумів**

Показники	III зона за СНиП		Район А-3 за ДБН		Бітум БМД 60/90-52
	I і II	III і IV	I і II	III і IV	
Категорія дороги	I і II	III і IV	I і II	III і IV	–
Температура розм'якшення	+39	+33	+43	+43	+52
Температура крихкості	–10	–6	–12	–12	–15

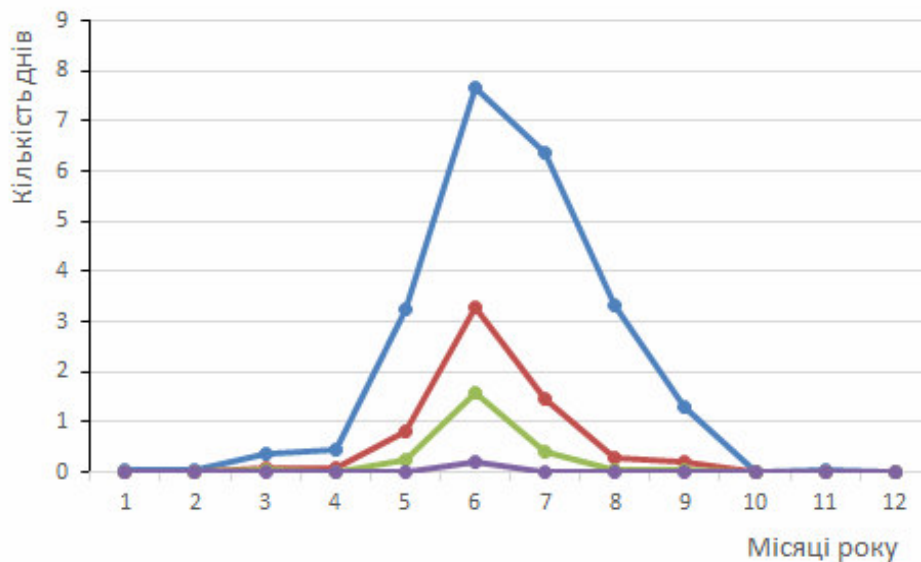
З таблиці видно, що кількості холодних днів за формулою (6) необхідно визначити для температур  $-6^{\circ}\text{C}$ ,  $-10^{\circ}\text{C}$ ,  $-12^{\circ}\text{C}$  і  $-15^{\circ}\text{C}$ . Кількості спекотних днів за формулою (7) слід визначити для температур  $+33^{\circ}\text{C}$ ,  $+39^{\circ}\text{C}$ ,  $+43^{\circ}\text{C}$  та  $+52^{\circ}\text{C}$ . Останні значення відповідають модифікованому полімерами бітуму марки БМД 60/90-52.

Результати обчислень за формулою (6) для всіх місяців року і температур крихкості бітумів, указаних в таблиці 1, наведені на рисунку 3. З нього видно, що температурний режим дорожнього покриття має чітко виражену сезонну мінливість. При використанні асфальтобетонних сумішей, що відповідають чинним нормам проектування України, найбільша тривалість холодного періоду, коли може спостерігатися крихкість асфальтобетону, складає шість днів на місяць. Для автомобільних доріг, збудованих у минулому столітті, найбільша тривалість потенційно небезпечної холодної погоди залежно від їх категорії дорівнює 7 – 11 днів на місяць. Використання сучасних бітумів, модифікованих полімерами, знижує тривалість потенційно небезпечного періоду до чотирьох холодних днів на місяць за рахунок розширеного температурного інтервалу експлуатації бітумів.



**Рисунок 3 – Кількість холодних днів з температурою дороги, нижчою від X**

Кількість спекотних днів, протягом яких температура поверхні дороги перевищує температуру розм'якшення використаного бітуму, визначена за формулою (7) і наведена на рисунку 4. Для асфальтобетонних сумішей, що відповідають чинним нормам проектування України, найбільша кількість небезпечно спекотних днів у червні дорівнює двом на місяць. Для автомобільних доріг, збудованих у минулому столітті, найбільша тривалість потенційно небезпечної спекотної погоди залежно від категорії дороги дорівнює 3 – 8 днів на місяць. Для бітумів, модифікованих полімерами, наявним є 0,2 потенційно небезпечного спекотного дня на місяць.



**Рисунок 4 – Кількість спекотних днів з температурою дороги, вищою від X**

Небезпека утворення ожеледі виникає при температурах поверхні дороги в межах від  $-5$  до  $0^{\circ}\text{C}$ . Кількість днів на місяць, протягом яких реалізуються такі температури дорожнього полотна, розрахована за формулою (8) і наведена в таблиці 2. Реальна небезпека утворення ожеледі (при одночасній наявності туману чи дощу) існує в період з листопада до березня протягом 4 – 7 днів на місяць.

**Таблиця 2 – Кількість днів з температурою дороги в межах від  $-5$  до  $0^{\circ}\text{C}$**

січ.	лют.	бер.	квіт.	трав.	чер.	лип.	сер.	вер.	жов.	лист.	груд.
5,03	5,03	4,03	1,57	0,14	0,15	0,00	0,00	0,17	0,29	4,80	6,96

Аналогічні розрахунки за даними різних географічних регіонів України дозволяють спрогнозувати кількість днів, протягом яких з метою попередження руйнувань дорожнього полотна слід заборонити рух великовагового автотранспорту. Планування більш інтенсивних перевезень протягом періоду сприятливих кліматичних умов компенсує дні вимушеного простою та забезпечить збережаність автомобільних доріг.

Проведені розрахунки дозволяють зробити такі **висновки**:

1. Статистичні характеристики поточних значень температури дорожнього покриття визначаються через наявні характеристики середньомісячних значень температури ґрунту з урахуванням додаткового нагрівання сонячними променями.



2. Подання температури ґрунту у формі послідовностей з 12-ти випадкових величин з нормальним законом розподілу дозволяє визначати час, протягом якого температура поверхні автомобільної дороги перебуває в заданих межах.

3. Визначені за запропонованою методикою середні тривалості перебування температури поверхні автомобільної дороги поза межами температурного інтервалу експлуатації використаних бітумів дозволять обґрунтовано планувати вантажні перевезення за умови збереження нормального технічного стану автомобільних доріг.

### **Література**

1. Nikolaides A. *Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality* / A. Nikolaides. – CRC Press, 2015. – 868 p.
2. ДСТУ 4044-2001. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. – К. : Держстандарт України, 2001. – 6 с.
3. ДБН В.2.3-4:2015. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. – К. : Мінрегіонбуд України, 2016. – 91 с.
4. СНиП 2.05.02-85. Автомобильные дороги. – М. : Минрегион России, 2012. – 106 с.
5. Кінаш Р.І. Температурний режим повітря і ґрунту в Україні / Р.І. Кінаш, О. М. Бурнаєв. – Львів, 2001.
6. Температурні впливи на огорожувальні конструкції будівель: монографія / В. А. Пашинський, Н. В. Пушкар, А. М. Карюк. – Одеса, 2012. – 180 с.
7. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 3, часть 1. Метеорологические наблюдения на станциях. – Л. : Гидрометеиздат, 1963. – 308 с.
8. Вентцель Е. С. Теория вероятностей / Е. С. Вентцель. – М. : Физматгиз, 1962. – 564 с.
9. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. – К. : Мінбуд України, 2006. – 75 с.
10. ДБН В.2.6-31:2006. Теплова ізоляція будівель. – К. : Мінбуд України, 2006. – 71 с.

© Карюк А.М., Савенко Б.В.  
Надійшла до редакції 30.03.2016