

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПОКРИТТЯ НЕЖОРСТКИХ ДОРОЖНІХ ОДЯГІВ

Гамеляк І.П., доктор технічних наук
Волощук Д.В.

Вступ. В Україні відсутні систематичні дослідження стохастичної зміни температури дорожніх одягів і немає простої формули розрахунку максимальної температури покриття та зміни температури по глибині, що необхідно для розрахунків КДО з необхідною надійністю. Наявність таких залежностей дасть змогу проектувати ДО, які відповідатимуть сучасним погодно-кліматичним умовам та забезпечуватимуть необхідну несучу здатність [1].

Аналіз публікацій та постановка завдання. Дослідження в цьому напрямку проводились та проводяться, як за кордоном, так і на території колишнього Радянського Союзу. Гайворонський В.Н. та Россовський П.Д. в 70-х роках минулого століття досліджували автомобільну дорогу на місцевій дослідній станції (Ленінградський СоюздорНДІ) [2]. Дані про погодні умови отримувались з найближчої метеостанції у вигляді середніх, мінімальних, максимальних значень, а також їх імовірності і амплітуди коливань.

В ході дослідження було визначено важливим фактором, що впливає на температурний режим дорожнього одягу, амплітуду добових коливань температури повітря. Коливання температури повітря в добовому циклі впливають переважно на товщину конструкції дорожнього одягу (50-70 см). Найкритичнішим є літній період з перепадом температур між верхньою та нижньою частиною дорожнього одягу близько 15-16 °С, на відміну від зимового – 7-8 °С, навесні та восени – 3-5 °С. Встановлено, що добові коливання температури повітря викликають зміну температури в дорожньому одязі на глибину 70 см, а на температуру ґрунту земляного полотна впливають середньодобові, сезонні та річні зміни температури повітря. Температурний режим дорожнього одягу та земляного полотна значною мірою залежить від температури поверхні дорожніх покриттів та характеру їх теплообміну з атмосферою і є важливим для прогнозування несучої здатності конструкції в річному та добовому циклі [1 – 6].

Мета статті. Метою даної роботи є аналіз існуючих моделей прогнозування температури покриття нежорстких дорожніх одягів та їх адаптація до умов температурного режиму конструкцій в Україні.

Основна частина. Гайворонський В.Н. запропонував прості рівняння для визначення температури дорожнього одягу, а також її розподілу по глибині, за якими можна розрахувати середні, максимальні та мінімальні значення температури для кожного місяця:

Середньомісячна температура в різних точках дорожнього одягу (при $0 \leq z \leq 0,7$ м) [2]:

$$t_{z,\tau} = t_b \cdot e^{-\sqrt{\frac{z}{1+z}}} \cdot \frac{(3 + \cos\left(\frac{2 \cdot \pi(\tau - z)}{T} - \sqrt{\frac{z}{1+z}}\right))}{2}, \quad (1)$$

де $t_{z,\tau}$ – середньомісячна температура дорожнього одягу, °С;

t_b – середньомісячна температура повітря, °С;

z – глибина від поверхні покриття, м;

T – період коливання температури ($T=12$ місяцям);

e – основа натуральних логарифмів.

Враховуючи вплив добових коливань температури повітря на всі шари дорожнього одягу, у рівнянні 1 необхідно враховувати амплітуду коливань температури для тієї глибини:

$$\begin{aligned} t_{z,\tau(max)} &= t_{z,\tau} + A_z, \\ t_{z,\tau(min)} &= t_{z,\tau} - A_z, \end{aligned} \quad (2)$$

де $t_{z,\tau(max)}$ – середньомісячна температура дорожнього одягу о 15-16 годині;

$t_{z,\tau(min)}$ – середньомісячна температура дорожнього одягу о 4-8 годині;

A_z – амплітуда коливань температури дорожнього одягу на різних глибинах.
Затухання температури по глибині:

$$A_z = A_p \exp(0.45 - \sqrt{z}), \quad (3)$$

Модель Гайворонського В.Н. не враховує особливостей широти розташування місцевості на відміну від програми розрахунку температури покриття Supergrave, яка спирається на осереднені значення температури повітря за попередні сім діб, тобто розрахунок набуває вже більш локального характеру і орієнтується на фактичні, а не «статистичні» погодні умови:

Максимальна температура покриття на глибині 20 мм від поверхні [5]:

$$T_{20mm} = (T_{air} - 0,00618 \times Lat^2 + 0,2289Lat + 42,2)(0,9545) - 17,78. \quad (4)$$

де T_{air} – середня максимальна температура повітря за попередні сім діб;

Lat – широта місцезнаходження;

Щоб отримати більш повну уяву про існуючі моделі розрахунку необхідно також приділити увагу методу BELLS [6]. Суть методу полягає в розрахунку розподілу температури по глибині при відомій температурі поверхні покриття та середній температурі повітря за попередній день:

$$T_d = 0.95 + 0.892 \cdot IR + [\log(d) - 1.25] [-0.448 \cdot IR + 0.621 \times \\ \times (1 - day) + 1.83 \cdot \sin(hr_{18} - 15.5)] + 0.042 \cdot IR \cdot \sin(hr_{18} - 13.5), \quad (5)$$

де T_d – температура покриття на глибині d , °C;

IR – температура поверхні покриття, °C;

hr_{18} – час доби, год.;

d – глибина, на якій розраховується температура, в мм від поверхні покриття;

$1-day$ – середня температура повітря за попередній день, °C.

Схожі залежності отримані в рамках програми SHRP для умов Польщі. Формули побудовані на статистично отриманих максимальних і мінімальних семиденних температурах повітря відповідно за червень, липень, серпень та грудень, січень, лютий у період з 1966 по 1995 рік. Максимальна температура покриття визначається [6, 7]:

$$T_{S(max)} = T_{\alpha(max)} - 0,00618 \cdot \varphi^2 + 0,2289 \cdot \varphi + 24,4 \quad (6)$$

$$T_{d(max)} = (T_{S(max)} + 17,8)(1 - 2,48 \cdot 10^{-3}d + 1,085 \cdot 10^{-5}d^3) - 17,8 \quad (7)$$

де $T_{\alpha(max)}$ – максимальна температура повітря, °C;

$T_{S(max)}$ – максимальна температура поверхні покриття, °C;

φ – географічна широта;

d – глибина, мм;

$T_{d(max)}$ – максимальна температура покриття на глибині d , °C.

Мінімальна температура покриття:

$$T_{S(min)} = 0,859 \cdot T_{\alpha(min)} + 1,7 \quad (8)$$

$$T_{d(min)} = T_{S(min)} + 5,1 \cdot 10^{-2} \cdot d - 6,3 \cdot 10^{-5} d^2 \quad (9)$$

де $T_{\alpha(min)}$ – мінімальна температура повітря, °C;

$T_{S(min)}$ – мінімальна температура поверхні покриття, °C;

$T_{d(min)}$ – мінімальна температура покриття на глибині d , °C.

Основою для порівняння слугуватиме масив фактичних значень температури покриття та зовнішнього середовища, отриманий шляхом дослідних вимірів в період з 24.07.2012р. по 27.07.2012р. на кільцевій дорозі міста Бердичева, Житомирської області. Характер отриманих даних наведено на рис. 1 та рис. 2.

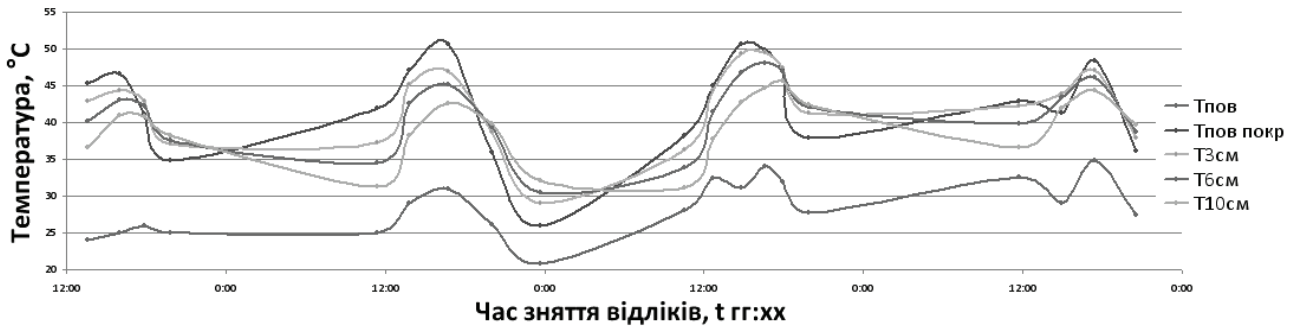


Рисунок 1. – Графік зміни температури покриття та повітря за період з 24.07.2012р. по 27.07.2012р.

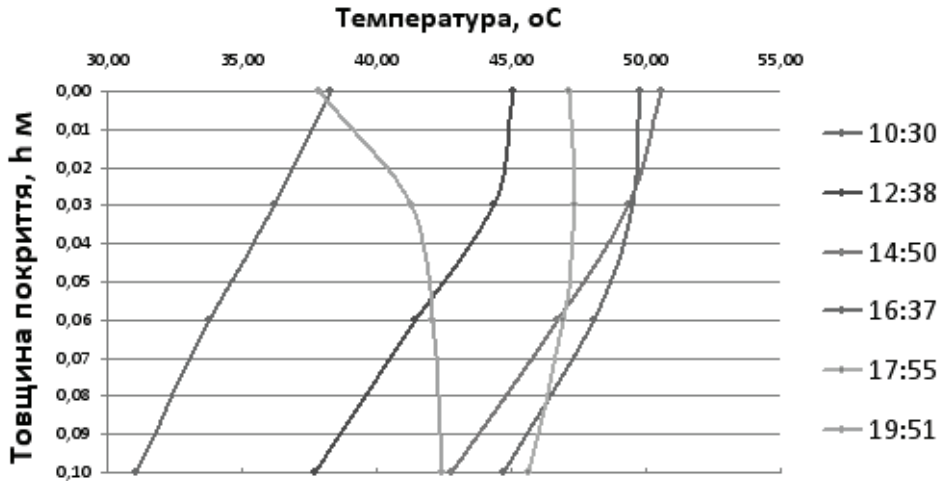


Рисунок 2. – Графік розподілу температури покриття по глибині асфальтобетонного покриття протягом 26.07.2012

З рис. 1 та рис. 2 видно яким чином в покритті протікають процеси накопичення та зворотного випромінювання теплових потоків. Максимальна активність сонячної радіації спостерігається о 14 годині, максимальна температура на поверхні покриття фіксується о 15-16 годині, а максимальна температура на підшві покриття о 17-18. Тобто, в зазначених умовах, температура підшви покриття досягає значень поверхні із запізненням в дві години. Різниця між температурою повітря та температурою поверхні о 14 годині сягає 20 °С, в нічний час зменшується до 5 °С.

Зворотній процес випромінювання, що добре видно з рис. 2, починається із заходом сонця і триває до його сходу. Точки переплетіння температурних кривих на рис. 1 характеризуються вирівнюванням температури покриття по глибині, це явище спостерігається перед сходом сонця та відзначається початком нового циклу накопичення сонячної енергії. На рис. 3 зображено апроксимовану криву середньомісячної температури повітря для Житомирської області, побудовану за багаторічними даними [1].

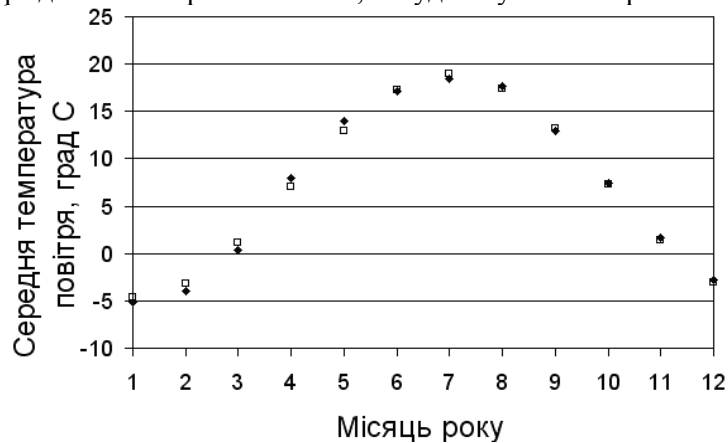


Рисунок 3. – Апроксимована крива зміни середньомісячної температури повітря для Житомирської області

Апроксимація здійснювалась за наступною залежністю:

$$Y_{cp} = m + A \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot (t - \omega)}{365}\right) \quad (10)$$

де Y_{cp} – змінна, яка апроксимується (температура повітря);
 m – середнє значення масиву даних параметру, що описується;
 A – амплітуда зміни значень параметру;
 t – місяць року (час доби);
 ω – зсув фаз місяця (доби).

Максимальні температури покриття відзначаються його мінімальною жорсткістю. Важливим для дорожників є саме теплий період року, коли температура покриття досягає максимальних значень, а модуль пружності – мінімальних, що спричиняє невідповідність несучої здатності покриття фактичним навантаженням, наслідком чого виникають руйнування, наприклад, колійність. В період літньої спеки 2012 року в різних регіонах України температура поверхні асфальтобетонного покриття сягала 60 °С.

Вихідними даними для розрахунків за цими методами слугуватимуть згадані вище експериментальні дані та осереднені, які наведені у ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 [3]. В моделі Гайворонського В.Н. прийнято середню температуру в липні місяці для Житомирської області (рис. 3) $t_b=18,95$ °С та амплітуду коливань $A_b=11,8$ °С [1]. Максимальна температура поверхні покриття $t_{z,\tau(max)}=39,4$ °С. Різниця між отриманим розрахунковим значенням та фактичними середньодобовими температурами поверхні покриття не суттєва $t_{z,\tau(max)}=39,4$ °С, $t_{сер. факт}=40,51$ °С, але не варто забувати, що максимальна зафіксована температура $t_{max факт}=50,7$ °С. Слід зазначити, що дана модель орієнтується на осереднені температурні значення, а порівняння здійснювалось з окремим випадком. В залежності від того з якою точністю осереднювались дані, допускається відхилення від заданих меж. В цьому випадку їх ігнорувати не можна, адже для конструкції дорожнього одягу настають критичні умови роботи, які призводять до руйнувань.

Для програми SUPERPAVE середня максимальна температура повітря становить $T_{air}=25,3$ °С (за даними ресурсу www.gismeteo.ru), широта N 49° 54', відповідно розрахункова максимальна температура покриття має становити $T_{20mm}=42,9$ °С, що на 1,8 °С менше за фактичні результати $T_{20mm}=42,9$ °С < $T_{20mm факт}=44,7$ °С. Різниця між розрахунковим значенням і фактичним дещо більша у порівнянні з методом Гайворонського В.Н., але є в межах допустимих значень.

По методу BELLS доцільніше надати результати порівняння в графічному вигляді. На рис. 4 теоретична та фактична криві суттєво відрізняються. Теоретична крива притаманна процесу накопичення енергії покриттям, а фактична – початку зворотного процесу. Це, значною мірою, пов'язано із хмарністю, з рис. 1 видно, що 26.07.2012р. на дослідній ділянці мало місце затінення, яке чітко відбилося на кривій температури повітря (рис. 1) та кривій розподілу температури по глибині (рис. 4).

Як вимагається системою SHRP максимальна розрахункова температура поверхні покриття розраховується на глибині 20 мм від поверхні кожного шару, а мінімальна температура встановлюється на поверхні кожного шару. Результати розрахунків для району Сколе Львівської обл. та їх експериментальне порівняння наведені в табл. 1.

Таблиця 1. – Результати статистичної обробки даних

Параметри	Температура повітря	Температура ґрунту	Температура дорожньої	
			поверхні	полотна
Мінімум	-26,80/-15,40	-10,50/-4,30	-23,20/-14,60	-18,80/-8,60
Максимум	30,80/34,50	31,50/33,40	56,60/58,20	44,60/45,90
Розмах	57,60/49,90	42,00/37,70	79,80/72,80	63,40/54,50
Середнє значення	7,91/8,70	11,45/12,40	11,54/12,30	11,58/12,40
Середньоквадратичне	9,40/8,65	9,87/9,35	13,31/12,85	11,54/11,06
Дисперсія	88,45/74,57	97,36/87,79	177,21/164,81	133,20/122,51
Коеф. варіації	118,84/99,34	86,16/75,11	115,36/104,32	99,68/89,22
Кількість рядків	52560	52560	52560	52560

Примітка: в чисельнику 2006 р. в знаменнику 2007 р.

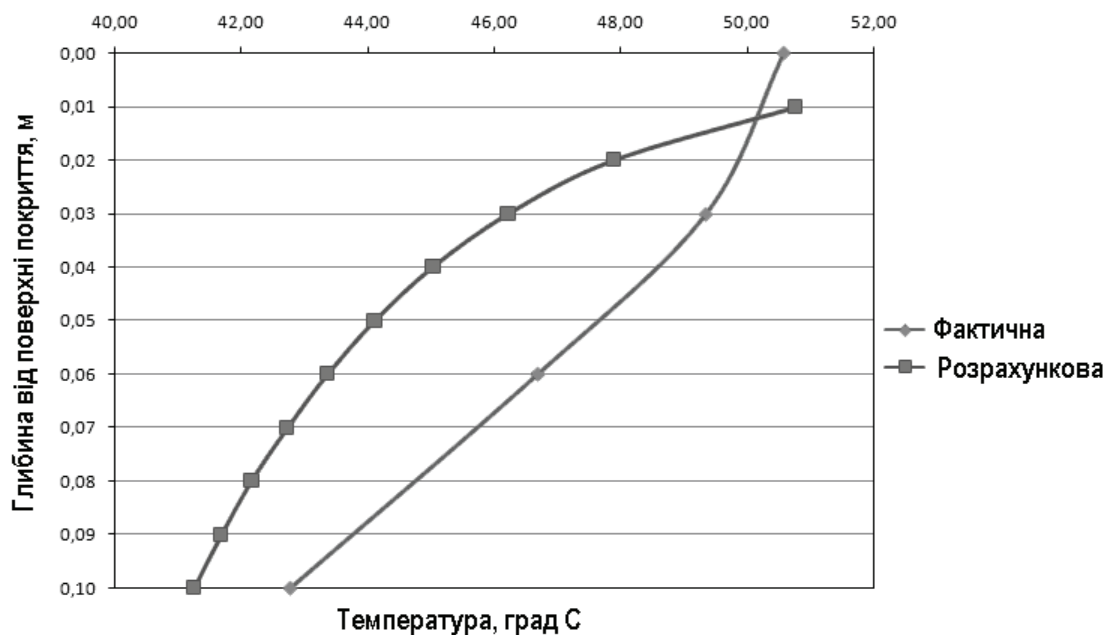


Рисунок 4. – Порівняння розрахункових значень за методом BELLS із фактичними

Висновки. Описані методи мають свої переваги і недоліки. Для практичного використання моделі необхідно адаптувати під кліматичні та географічні умови України. Подальше дослідження питань, розглянутих в статті, дозволить розробити методіку накопичення та підготовки вихідних даних для розрахунків конкретних конструкцій дорожнього одягу на кліматичні впливи в залежності від географічного розташування, періоду року та особливостей місцевості. В розпорядженні ДП «Укрдїпродору» знаходяться стаціонарні дорожні метеостанції в різних точках України, інформація з яких накопичується роками і не опрацьовується належним чином. Така інформація є дуже цінною в подібних дослідженнях. Щоб мати більш повну картину по зазначеній темі також потрібен доступ до масиву кліматичних даних з Гідрометцентру по всіх областях України.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гамеляк І. П. Аналіз впливу метеорологічних факторів на роботоздатність конструкції дорожнього одягу / І. П. Гамеляк, Я. М. Якименко // Автомоб. дороги і дор. буд-во. – 2008. – № 75. – С. 336–340.
2. Гайворонский В.Н., Россовский П.Д. Температурный режим дорожной одежды и земляного полотна, Труды СоюздорНИИ, Вып. 47, Москва – 1971, С. 39–56.
3. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
4. ВСН 46-83 Инструкции по проектированию дорожных одежд нежесткого типа.
5. Cenk Yavuzturk, Khaled Ksaibati, Assessment of Temperature Fluctuations in Asphalt Pavements due to Thermal Environmental Conditions Using a Two-Dimensional, Transient Finite Difference Approach, Department of Civil and Architectural Engineering, University of Wyoming, 2002.
6. Erland O. Lukanen, Rachard Stubstad, Robert Briggs, Temperature Predictions and Adjustment Factors for Asphalt pavement, Braun Intertec Corporation, 2000.
7. Sybilski D. Zastosowanie metod SHRP do oceny nawierzchni dróg w Polsce // Warszawa, Inst. Badawczy Drog i mostów, 2000. – 270 p.

РЕФЕРАТ

Гамеляк І.П., Волощук Д.В. Аналіз існуючих моделей прогнозування температури покриття нежорстких дорожніх одягів. / Ігор Павлович Гамеляк, Денис Вікторович Волощук // Вісник НТУ. — К.: НТУ. – 2012. – Вип. 26.

В статті розглядаються існуючі моделі розрахунку та прогнозування температури покриття нежорстких та з нежорсткими прошарками дорожніх одягів, що спираються на фактичні дані по зміні температури повітря оточуючого середовища.

Наведено та проаналізовано основні світові моделі розрахунку та прогнозування температури покриття, такі як: модель Гайворонського В.Н., BELLS, за програмою SUPERPAVE та SHRP. Кожна модель орієнтується на певний результат, звідки і характер вихідних даних – статистичні чи фактичні. Для порівняння використовуються фактичні дані, отримані експериментальним шляхом, та статистичні, наведені в нормативних джерелах.

Результати статті можуть бути використані для подальших досліджень процесів теплообміну в нежорстких дорожніх одягах та їх впливу на жорсткість і несучу здатність покриттів.

Об'єкт дослідження – процеси теплообміну в нежорстких дорожніх одягах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТЕМПЕРАТУРА, КЛІМАТИЧНІ ДАНІ, НЕЖОРСТКИЙ ДОРОЖНІЙ ОДЯГ, АСФАЛЬТОБЕТОННЕ ПОКРИТТЯ.

ABSTRACT

Gamelyak I., Voloshchuk D. Analysis of existing temperature prediction models in non-rigid pavements. / Igor P. Hamelyak, Denis V. Voloshchuk // Visnyk NTU. – K.: NTU – 2012. – Vol. 26.

Existing models of temperature calculation and prediction in non-rigid road constructions and constructions with non-rigid layers, which based on actual environment temperature data is discussed in article.

It is presented and analyzed the world major calculation and prediction models of pavement temperature, such as Haivorons'kyi model, BELLS, SUPERPAVE and SHRP program. Each model focuses on a specific outcome, hence the nature of the source data – statistical or factual. Actual data obtained experimentally, and statistics given in the normative literature, using here for comparison.

The results of the article can be used for further research of heat transfer processes in non-rigid pavements and its effect on the rigidity and load carrying capacity of pavements.

The object of study – the processes of heat transfer in non-rigid pavement.

KEY WORDS: TEMPERATURE, CLIMATE DATA, FLEXIBLE PAVEMENTS, ASPHALT PAVEMENT.

РЕФЕРАТ

Гамеляк И.П., Волощук Д.В. Анализ существующих моделей прогнозирования температуры покрытия нежестких дорожных одежд. / Игорь Павлович Гамеляк, Денис Викторович Волощук // Вестник НТУ. — К.: НТУ — 2012. — Вып. 26.

В статье рассматриваются существующие модели расчета и прогнозирования температуры покрытия нежестких и с нежесткими слоями дорожных одежд, которые отталкиваются от фактических данных изменения температуры воздуха окружающей среды.

Приведено и проанализировано основные мировые модели расчета и прогнозирования температуры покрытия, такие как: модель Гайворонского В.Н., BELLS, по программе SUPERPAVE и SHRP. Каждая модель ориентируется на определенный результат, откуда и характер исходных данных – статистические или фактические. Для сравнения используются фактические данные, полученные экспериментальным путем, а также статистические, приведенные в нормативных источниках.

Результаты статьи могут быть использованы для дальнейших исследований процессов теплообмена в нежестких дорожных одеждах, а также их влияния на жесткость и несущую способность покрытий.

Объект исследования – процессы теплообмена в нежестких дорожных одеждах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ТЕМПЕРАТУРА, КЛИМАТИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ, НЕЖЕСТКАЯ ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, АСФАЛЬТОБЕТОННОЕ ПОКРЫТИЕ.

УДК 625.7/8

ПРО ВЛАШТУВАННЯ ШВІВ В БРУКОВАНИХ ПОКРИТТЯХ

Гамеляк І.П., доктор технічних наук,
Карафізі Л.М.

Вступ. Однією з головних відмінностей покриттів з кам'яних елементів брукування є наявність великої кількості швів, що виконують декілька функцій і призводять до особливого характеру роботи конструкції покриття під час експлуатації. Основними характеристиками швів, котрі визначають характер роботи покриття, є довжина швів на 1 м², їх ширина та матеріал, що їх заповнює.