

Невінглоєвський В.Ф.

## ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ РОЗРАХУНКУ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ АВТОДОРОЖНІХ МОСТАХ

**Анотація.** В роботі наведено аналітичні залежності та методика розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на тріщиностійкості від спільної дії температури і транспортного навантаження. Підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонній мостовій споруді.

**Ключові слова:** асфальтобетонне покриття, полімерний латекс, залишковий ресурс, міра пошкодженості.

**Аннотация.** В работе приведены аналитические зависимости и методика расчета остаточного ресурса асфальтобетонного покрытия с использованием полимерных латексов на трещиностойкости от общего действия температуры и транспортной нагрузки. Повышение остаточного ресурса асфальтобетонного покрытия за счет полимерных латексов на железобетонном мостовом сооружении.

**Ключевые слова:** асфальтобетонное покрытие, полимерный латекс, остаточный ресурс, мера поврежденности.

**Annotation.** It is in-process resulted analytical dependences and method of calculation of remaining resource of asphalt carpet with the use of polymeric lateksiv on trischinostiykosti from the general action of temperature and transport loading. An increase of remaining resource of asphalt carpet is due to polymeric lateksiv on reinforce-concrete bridge building.

**Key words:** asphalt carpet, polymeric lateks, remaining resource, measure of damaged.

## Вступ

В Україні на автомобільних шляхах експлуатуються близько 16,1 тис. мостів і шляхопроводів, переважна більшість яких залізобетонні [1]. Асфальтобетонне покриття є найбільш розповсюдженим на залізобетонних автодорожніх мостах. Однак воно часто уражається поперечними тріщинами температурно-усадочного походження. Тріщини стають джерелом подальших руйнувань і призводять до передчасного виходу з ладу як самого покриття, так і елементів споруд [2, 3]. Дорожній бітум, як один із основних компонентів асфальтобетону, що виробляється на заводах України має низьку корозійну стійкість бітумів призводить до виникнення на поверхні покриття тріщин, сітки тріщин, вибоїн тощо. Альтернативним рішенням з поліпшення реологічної поведінки бітумів є модифікація полімерними латексами серії Бутонал, які здатні забезпечити додаткову гнучкість при низьких температурах і додаткове зчеплення для сприйняття напружень [4-6].

З утворенням тріщин поступово погіршується рівність покриття, знижується безпека і комфортність руху, збільшуються транспортні витрати і витрати на ремонт [3]. Ремонт тріщин є складним, трудомістким і дорогим процесом, супроводжується значними матеріало- і енерговитратами. Причому, виконувани ремонтні заходи не завжди досягають бажаного результату по усуненню тріщин.

### Аналіз останніх досліджень

Розроблені теоретичні основи професора Мозгового В.В. [2] дали змогу визначити граничний стан асфальтобетонного покриття і прогнозувати їх температурну тріщиностійкість на базі кінетичної теорії міцності твердих тіл. Розвиток цієї роботи [2] дозволив встановити аналітичні залежності для визначення температурних напружень та граничного стану асфальтобетонного покриття в зоні між деформаційними швами залізобетонних прогонових будов та на основі цього розроблено методику розрахунку покриття на температурну тріщиностійкість [3].

На основі аналізу роботи [7] асфальтобетонних шарів зносу нежорсткого дорожнього одягу для міських умов визначено, що основними причинами утворення тріщин є спільна дія горизонтальних розтягуючих напружень від коливання температури, що викликає невідного скорочення розмірів при охолодженні, та дія горизонтальних розтягуючих напружень від транспортного навантаження, це дозволило розробити аналітичні залежності, а також

запропонована ідея оцінки залишкового ресурсу асфальтобетонних шарів зносу.

Аналізуючи результати сучасних досліджень, можна прийти висновку, що на даний час відсутня методика розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостах від спільної дії горизонтальних розтягуючих напружень від коливання температури та дії горизонтальних розтягуючих напружень від транспортного навантаження.

Внаслідок чого була проведена робота, щодо підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах, завдяки розробці методики його розрахунку на спільну дію температурної тріщиностійкості і тріщиностійкості від транспортного навантаження.

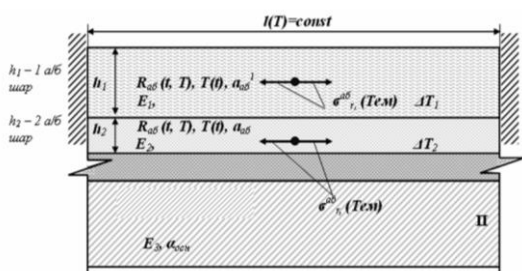
Розроблено концептуальні положення підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостових спорудах за рахунок модифікації полімерними латексами, що полягають у наступному: асфальтобетонні покриття на залізобетонних мостових спорудах повинні бути на протязі заданого терміну служби стійкими до водо-морозних впливів, повинно бути забезпечене належне зчеплення з нижнім шаром асфальтобетонного покриття та прогоною плитою, повинні бути стійкими до колієутворення при високих температурах, а також стійким до тріщиноутворення від дії транспорту з урахуванням коливання температури. При цьому стійкість до водо-морозних впливів забезпечується належним вибором виду матеріалу для асфальтобетонного покриття на залізобетонних мостових спорудах та встановленням відповідних вимог до нього.

Теоретичні дослідження залишкового ресурсу з позицій дії температурного фактору з урахуванням дії транспортного навантаження на асфальтобетонне покриття мостів полягала у наступному.

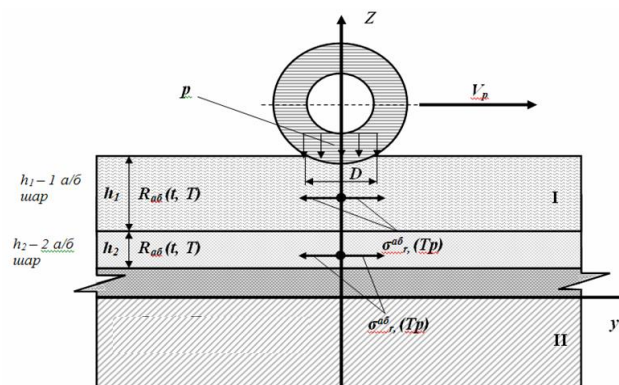
Враховуючи те, що на мостах асфальтобетонне покриття працює при різних режимах руху транспортних засобів та відповідно дії гальмівних чи зчіпних дотичних зусиль: на автомобільних дорогах загального користування діє частіше короткочасне навантаження та більше гальмівне зусилля при зупинках транспортних засобів; на міських дорогах час дії навантаження є більш тривалим, а дія дотичних зусиль від транспортних засобів є частішими. Для оцінки залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд необхідно отримати аналітичні залежності, що дозволяють

прогнозувати напруження від дії транспортних засобів та температурні напруження в покритті при коливанні температур в добовому та річному циклах. Крім того, оцінка залишкового ресурсу повинна базуватися на умові граничного стану, що прогнозує утворення тріщин в покритті при дії напружень від транспорту та температурних напружень.

Для вирішення цих задач розглянемо основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових при коливанні температури та дії транспорту (Рис. 1, 2).



**Рисунок 1** – Розрахункова схема асфальтобетонного покриття (I), яке недостатньо зчеплене з основою із залізобетону (II) через податливий еластичний прошарок при зниженні температури:  $R_{\alpha\beta}(T, t, q)$ ,  $R_{\beta/\beta}(T, t, q)$  – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови;  $\sigma_{y\ r, (T, t, q)}^{\alpha\beta}(t)$  – розтягуючі напруження від дії температури



**Рисунок 2** – Епюра горизонтальних нормальних напружень асфальтобетонного покриття (I), при дії транспортних засобів на незруйновану монолітну основу (II) через податливий еластичний прошарок:  $R_{\alpha\beta}(T, t, q)$ ,  $R_{\beta/\beta}(T, t, q)$  – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови;  $\sigma_{y\ r, (T, t, q)}^{\alpha\beta}(t)$  – розтягуючі напруження від часу дії транспорту;  $p$  - на поверхні якої прикладений рівномірний нормальний тиск, розподілений на площі круга діаметром  $D$ ;  $V_p$  – швидкість транспортного засобу 0-60 (80) км/год

Для розглянутих розрахункових схем з метою прогнозу температурного режиму та урахуванням річних і добових коливань з круговими частотами  $\omega_p$ ,  $\omega_d$ , була використана бігармонічна залежність наступного виду [2-4, 7].

На основі попередньої залежності встановлені швидкості охолодження при річних  $k_p$  та добових  $k_d$  коливаннях температури.

Для випадку, коли в'язкопружні властивості матеріалу покриття не змінюються при зміні температури (окремий випадок термо-в'язко-пружності),

використовували інтегральне рівняння лінійної в'язко-пружності спадкоємного типу Больцмана-Вольтера виду [1-4, 6]

$$\sigma_{Tx}(t) = \int_0^t R(t-\tau) d\varepsilon_x(\tau), \quad (1)$$

де  $R(t-\tau)$  - функція релаксації асфальтобетону;  $t$  - час спостереження;  $\tau$  - час, який передує моменту спостереження.

Функція релаксації представлена аналітичними виразами виду:

$$R(t) = E_{o_2} + (E_{sm} - E_{o_2}) \cdot \left(1 + \frac{t}{\eta}\right)^{-\lambda}, \quad (2)$$

де  $\lambda$  і  $\eta$  - постійні, що визначаються в результаті експерименту;

$E_{o_2}$  і  $E_{sm}$  - відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд.

Граничний стан описували критерієм Бейлі, визначаючи на його основі міру пошкоженості структури асфальтобетону:

$$M[\sigma(t, T, q, \tau, \theta), T(t)] = \int_0^{t_p} \frac{dt}{\tau[\sigma(t, T, q, \tau, \theta), T(t)]}, \quad (3)$$

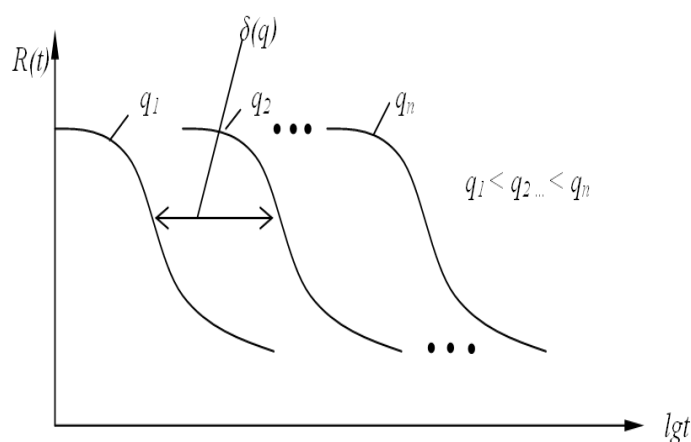
де  $t_p$  - час до руйнування (розтріскування);

$\tau[\sigma(t, T, q), T(t)]$  - функція довговічності асфальтобетону;

$\sigma(t, T, q, \tau, \theta)$  - напруження, які залежать від часу дії навантаження температури, кількості полімеру, часу та температури модифікації;

$T(t)$  - температура асфальтобетону, що змінюється з часом.

В роботі [6] в наслідок лабораторних досліджень було виявлено особливість зміни функції релаксації в залежності від кількості полімерного латексу (рис. 3).



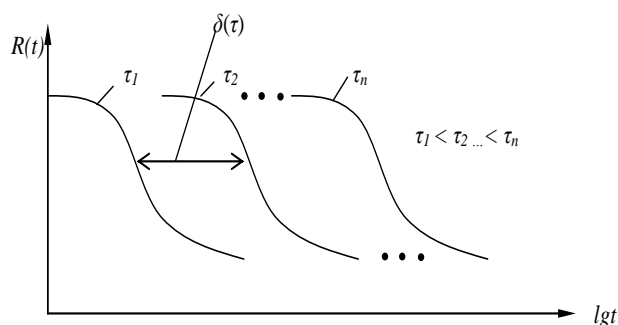
де  $\delta(q)$  - коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від кількості полімеру

**Рисунок 3** – Типовий графік функції полімерно-часового зсуву

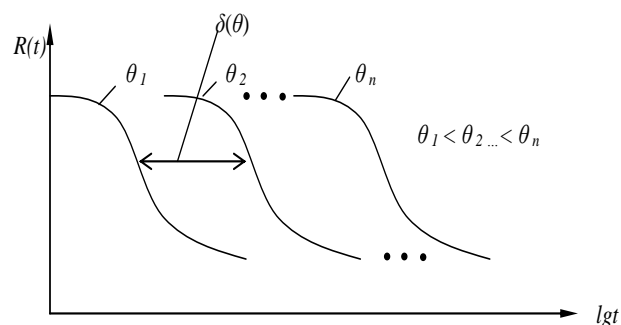
Однак не враховано час модифікації бітумного в'язучого з полімерним латексом та температури модифікації, що вагомо впливає на функцію релаксації. Загальна схема зміни функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу має такий вигляд (рис. 4, 5).

Тобто, для опису зміни функції релаксації від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу можна застосувати так звану полімерно-часову суперпозицію подібну до функції релаксації. Функція полімерно-часового зсуву представляє собою зсув за шкалою  $lgt$  функції релаксації.

Залежність  $\delta(\tau)$  та  $\delta(\theta)$  встановлюється експериментально для кожного конкретного матеріалу.



**Рисунок 4** – Типовий графік функції релаксації від часу модифікації:  $\delta(\tau)$  – коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від часу модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу



**Рисунок 5** – Типовий графік функції релаксації від температури модифікації:  $\delta(\theta)$  – коефіцієнт полімерно-часової аналогії, який залежить від температури модифікації бітумного в'язучого та полімерного латексу

При визначенні температурних напружень в покритті для термочутливих складів асфальтобетону, як термореологічно простих матеріалів, використовували температурно-часову суперпозицію, на підставі якої отримані аналітичні залежності для прогнозу температурних напружень в асфальтобетонному покритті для двох випадків коли температура в покритті і залізобетонній прогоновій будові змінюються майже однаково і неоднаково. При зміні температури зі сталою швидкістю охолодження для визначення температурних напружень  $\sigma_{Tx}(t)$  з урахуванням (2) отримана залежність:

$$\sigma^{a\bar{b}}_{r,(Tem)}(t, T, q, \tau, \theta) = \frac{k_1 \cdot \alpha_{a\bar{b}1} \cdot h_{a\bar{b}1} + k_2 \cdot \alpha_{a\bar{b}2} \cdot h_{a\bar{b}2}}{h_{pfi}} \left( E_{\partial z} + (E_{mm} - E_{\partial z}) \cdot \int_0^t \left( 1 + \frac{e^{P(T_0+k \cdot t - T_s)} (e^{-P \cdot k \cdot (t-t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda} dt_1 \right), \quad (4)$$

де  $\alpha_{a\bar{b}1}$ ,  $\alpha_{a\bar{b}2}$  – відповідно коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону верхнього та нижнього шару покриття;

$k_1$ ,  $k_2$  – швидкість охолодження верхнього та нижнього шару покриття;

$h_{a\bar{b}1}$ ,  $h_{a\bar{b}2}$  – товщина верхнього та нижнього шару покриття;

$E_{\partial z}$  і  $E_{mm}$  – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд;

$T_0$  – початкова температура;

$p$  – деякий експериментальний параметр з розмірністю  $[1/^\circ\text{C}]$ .

Застосування методу квазіупругої апроксимації [6], дозволило отримати графічний вираз визначення горизонтальних нормальних напружень з метою оцінки тріщиностійкості асфальтобетонних покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах (рис. 6).

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від температури так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантажень на асфальтобетонному покритті, визначали за допомогою залишкового ресурсу ( $Z_p$ ).

Для оцінки граничного стану асфальтобетонного покриття по залишковому ресурсу, можна описати як багато параметрична залежність. Узагальнений критерій – показника залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття ( $Z_p$ ), який є функцією двох перемінних:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) = C_{TP} \cdot K_y - K_{вид} \cdot (M_{Tem} + M_{Tp}), \quad (5)$$

де  $M_{Tem} = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_T(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt$  – міра пошкоженості асфальтобетонного

покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від зміни температури;

$M_{Tp} = \frac{\sum N}{[N]}$  – міра пошкоженості асфальтобетонного покриття

модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від дії транспорту [8];

$K_{yp}$  – коефіцієнт умови роботи, що відображає матеріалоемні, експлуатаційні та конструктивні фактори;

$K_{від}$  – коефіцієнт відновлення асфальтобетонного покриття за даними роботи В.В. Мозгового [2], рівний 0,85.

$B, b$  – параметри функції довговічності;

$[C_{TP}]$  – граничне допустиме значення міри пошкодженості асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах, приймається рівним добутку коефіцієнтів: коефіцієнту довготривалої водостійкості, морозостійкості і агресивної водостійкості ( $C_{TP} = K_{вод}^0 K_{мпз} K_a$ );  $\sum N$  – сумарна інтенсивність руху, що визначається за методикою ВБН В. 2.3 -218-186 ;  $[N]$  – гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати асфальтобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого нормального напруження  $\sigma_r$ , що визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186.

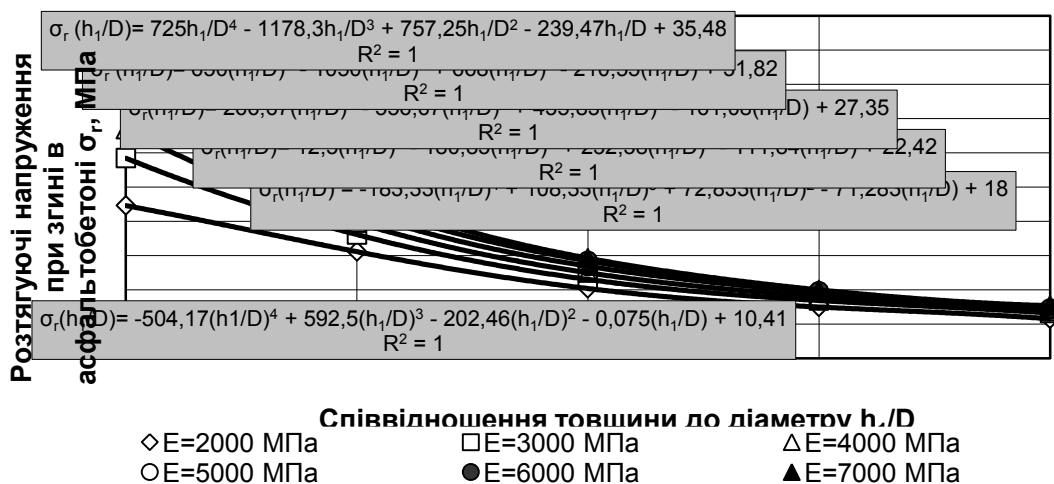


Рисунок 6 – Залежність горизонтальних нормальних напружень

Значення  $[N]$  встановлюється за аналітичною залежністю:

$$[N] = \left( \frac{R_{\text{лаб}} k_m k_{np}}{R_p} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (6)$$

де  $R_{\text{лаб}}$  – лабораторне значення границі міцності на розтяг при згині від одноразового прикладання навантаження (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);



$k_m$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодно – кліматичних умов (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

$m$  – показник втоми;

$k_{np}$  – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у не розрахунковий період (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

$$R_p = K_{m_i} \cdot \sigma_r, \quad (7)$$

де  $K_{m_i}$  – коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186);

$\sigma_r$  – найбільше напруження розтягу при згині від дії розрахункового транспортного навантаження в асфальтобетонному покритті за залежністю (5).

У вищенаведеній моделі критичним є стан, коли показник залишкового ресурсу буде становити менше  $[Z]=0,3$ . Отже граничний стан можна записати так:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) > [Z]. \quad (8)$$

Оскільки характеристики міцності асфальтобетону залежать як від часу дії навантаження так і від температури, проявляючи кінетичний характер руйнування, то визначали залишковий ресурс, який залежить від сумарної міри тріщиноутворення  $M(t) = M_{Tem} + M_{Tp}$  за  $t$  зміни напруження і температури:

$$Z_p(t, T, q, \tau, \theta) = C_{Tp} \cdot K_y - K_{сiо} \cdot \int_0^{t_{но}} \frac{\left( \sum_{i=1}^n a_{ij}(t, T(t)) \cdot t^{n_j-1} \right)^b}{c \cdot e^{\frac{F}{[T(t)+273]b}}} dt +$$

$$+ \int_0^{t_p} \frac{\left( k_{a\bar{o}} \alpha_{a\bar{o}} \cdot h_{a\bar{o}} \left[ E_{\partial z} + (E_{mm} - E_{\partial z}) \cdot \int_0^t \left( 1 + \frac{e^{P_1 k_{a\bar{o}}(t-t_1)} - 1}{\eta} \right)^{-\lambda} dt_1 \right] \right)^b}{c \cdot e^{\frac{F}{[T(t)+273]b}}} dt > [Z] \quad (9)$$

## Висновок

Розроблено основні розрахункові схеми роботи асфальтобетонного покриття залізобетонних мостових споруд, що враховують особливості конструкцій покриття. Для цих розрахункових схем розроблено аналітичні залежності для розрахунку горизонтальних нормальних напружень, що виникають в асфальтобетонному покритті від коливання температури та дії

транспортних засобів. Ці аналітичні залежності отримані з урахуванням термореологічних властивостей асфальтобетону, що описуються функцією релаксацією, функцією температурно-часової зміщення.

Отримано аналітичні залежності для розрахунку залишкового ресурсу за тріщиностійкістю асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах з урахуванням температурного та транспортного факторів та розроблено методику залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття з використанням полімерних латексів на мостах від спільної дії температури і транспортного навантаження, а також з урахуванням термореологічних властивостей і регіональних кліматичних умов.

### Література

1. Коваль П. М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України // Дороги і мости. Збірник наукових статей. Вип.1. – Київ, 2003. – С.15 – 22.
2. Мозговой В.В. Научные основы обеспечения температурной трещиностойкости асфальтобетонных покрытий: Дис. ... докт. техн. наук: 05.22.11. – К., 1996 – 406 с.
3. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2003. – 21 с.
4. Невінгловський В. Ф. Підвищення залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття за рахунок полімерних латексів на залізобетонних мостових спорудах / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Гаркуша М.В.// Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»: Луцьк. – 2012 – Вип. 36. – С. 227-232.
5. Онищенко А. М. Підвищення довговічності щебенево-мастикowego асфальтобетонного покриття на мостах за рахунок використання полімерного модифікатору Бутонал NS 104 / Онищенко А. М., Невінгловський В. Ф., Різніченко О. С., Баран С. А., Лаптева Н. С., Лютенко В. А. // Будівельні матеріали, виробництва та санітарна техніка. – 2010 - № 38 – С. 84-87.
6. Онищенко А. М. Підвищення довговічності асфальтобетонних шарів за рахунок використання полімерних латексів. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Онищенко А. М. – Київ, 2008. – 229 с.
7. Жуков О.О. Проектування асфальтобетонних шарів зносу для міських вулиць і доріг. Дис. ... кандидата тех. наук: 05.22.11 / Жуков О. О. – Київ, 2011. – 176 с.
8. МВ 218-02070915-679:2010 Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість.