

УДК 625.7/8

А.М.Онищенко, В.Ф.Невінговський, М.В.Гаркуша
Національний транспортний університет**ПІДВИЩЕННЯ ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ ЗА РАХУНОК ПОЛІМЕРНИХ ЛАТЕКСІВ НА ЗАЛІЗОБЕТОННИХ МОСТОВИХ СПОРУДАХ**

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.

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

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] (рис. 1,2). 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, 7]. Ремонт тріщин є складним, трудомістким і дорогим процесом, супроводжується значними матеріало- і енерговитратами. Причому, виконувані ремонтні заходи не завжди досягають бажаного результату по усуненню тріщин.



Рис. 1 Автодорожній шляхопровід (м. Київ, вул. Братиславська - проводилось обстеження в 2010 р.)



Рис. 2 Автодорожній шляхопровід на перетині вул. Кіквідзе із залізничною станцією «Київ-Московський» (проводилось обстеження в 2011 р.)

Аналіз останніх досліджень

В роботі професором В.В. Мозговим розроблені теоретичні основи визначення граничного стану асфальтобетонного покриття і прогнозування їх температурної тріщиностійкості на базі кінетичної теорії міцності твердих тіл [2]. 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 [8] 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.

Як видно з літературного аналізу 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.

Тому була поставлена задача – 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 прогоновою 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. Класифікація режимів вертикального транспортного навантаження, що діє на асфальтобетонні шари покриття мостів на дорогах загального користування і в містах наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Класифікація режимів вертикального транспортного навантаження, що діє на асфальтобетонні покриття мостів

Номер виду режиму навантаження, (φ)	Вид режимів навантаження	Час навантаження (t_{φ}), с	Інтенсивність дії навантаження даного виду режиму (N_{φ})
1	Безперервний рух транспортних засобів на мостах і в місцях гальмування автомобільного транспорту		
1.1	На ділянках при в'їзді на міст і гальмуванням громадського транспорту	$t_{1.1}$	$N_{1.1} = \delta_{1.1} \cdot N$
1.2	На ділянках гальмування транспортних засобів	$t_{1.2}$	$N_{1.2} = \delta_{1.2} \cdot N$
1.3	На ділянках розгону транспортних засобів	$t_{1.3}$	$N_{1.3} = \delta_{1.3} \cdot N$
1.4	На ділянках повільного руху в заторах	$t_{1.4}$	$N_{1.4} = \delta_{1.4} \cdot N$
1.5	На ділянках повільного руху при виїзді з мосту	$t_{1.5}$	$N_{1.5} = \delta_{1.5} \cdot N$

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. 3, 4).

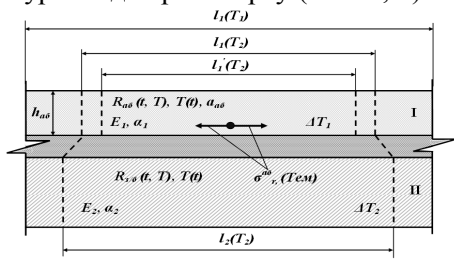


Рис. 3. Розрахункова схема асфальтобетонного покриття (I), яке зчеплене з основою із залізобетону (II) через податливий еластичний прошарок при зниженні температури: $R_{аб}(T)$, $R_{з/б}(T)$, – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови; $\sigma_{y r, (Tем)}(t)$ – розтягуючі напруження від дії температури; $l_1(T_1)$, $l_2(T_2)$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та балки прогонової будови до початку температурного скорочення ($l_1(T_1) = l_2(T_1)$); $l_1(T_2)$, $l_2(T_2)$ – довжина відповідно асфальтобетонного покриття та балки прогонової будови після температурного скорочення ($l_1(T_2) \neq l_2(T_2)$); $l_1'(T_2)$ – довжина асфальтобетонного покриття, яка була б при вільному температурному скороченні

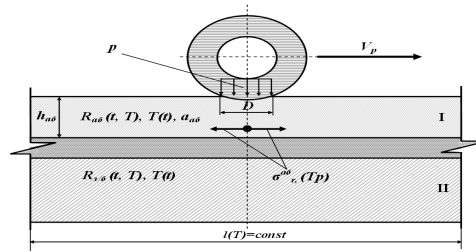


Рис.4. Розрахункова схема асфальтобетонного покриття (I), яке зчеплене з основою із залізобетону (II) через податливий еластичний прошарок при дії транспорту:

$R_{аб}(T)$, $R_{з/б}(T)$, – функція релаксації відповідно асфальтобетонного покриття, залізобетонної балки прогонової будови; $\sigma_{y r, (Tp, t, q)}(t)$ – 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 урахування річних і добових коливань з круговими частотами ω_p , ω_d , була використана бігармонічна залежність наступного виду [2-4, 8].

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]

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

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

Функція релаксації представлена аналітичними виразами виду:

$$R(t) = e^{-bt} \cdot B + c, \quad (2) \quad R(t) = H + (B - H) \cdot \left(1 + \frac{t}{r}\right)^{-m}, \quad (3)$$

де B, c, b, m, r, H – деякі сталі параметри, що встановлюються експериментально.

При визначенні температурних напружень в покритті для термочутливих складів асфальтобетону, як терморологічно 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 (3) отримана залежність

$$\sigma_{Tx}(t) = (\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \lambda \cdot k \cdot \left[E_\infty \cdot t - \frac{1}{b} (E_0 - E_\infty) (e^{-bt} - 1) \right], \quad (4)$$

де $\lambda=1$ (для першої розрахункової схеми); $\lambda=\beta(T, l)$ – коефіцієнт, що враховує тертя між асфальтобетонним покриттям та прогоною будовою; $\lambda=\gamma(G, T, h_3, l)$ – коефіцієнт, що враховує наявність деформаційного прошарку на основі органічних в'язучих; E_∞, E_0 – відповідно довготривалий та миттєвий модулі пружності покриття; b – експериментальна стала; α_1, α_2 – відповідно коефіцієнт лінійного розширення асфальтобетону та цементобетону; k – швидкість охолодження покриття і основи.

Також було отримано аналітичний вираз для визначення горизонтальних нормальних напружень від дії транспорту за наступною апроксимаційною залежністю

$$\sigma_r^{ab}(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t, T) \cdot t^{n-1}, \quad (5)$$

де $a_i(t, T)$, n – параметри апроксимації; t – час спостереження.

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:

$$Z_p(t) = C_{TP} \cdot K_y - (M_{Tp} + M_{Tem}), \quad (6)$$

де $M_{Tem} = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_T(t)^{b(t, T)}}{B_i(t, T)} dt$ – міра пошкодженості асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від зміни температури;

$M_{Tp} = \frac{\sum N}{[N]}$ – міра пошкодженості асфальтобетонного покриття модифікованого полімерним латексом на залізобетонних мостових спорудах від дії транспорту [9]; C_{TP} – граничне значення тріщиностійкості асфальтобетону рівне 1; K_{yp} – коефіцієнт умови роботи, що відображає матеріалоемні, експлуатаційні та конструктивні фактори; B, b – параметри функції довговічності; $\sum N$ – 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 розтягу чого нормального напруження σ_r , що визначається за методикою ВБН В 2.3-218-186.

Значення $[N]$ встановлюється за аналітичною залежністю

$$[N] = \left(\frac{R_{лаб} k_m k_{np}}{R_p} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (7)$$

де: $R_{лаб}$ – 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 погодних – 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);

$$R_p = K_{ми} \cdot \sigma_r, \quad (8)$$

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

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

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

$$Z_p(t) > [Z]. \tag{9}$$

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:

$$Z_p(t) = C_{TP} \cdot K_y - \left(\sum_{j=1}^m \sum_{\varphi=1}^{k_{\varphi}} N_{\varphi} \int_0^{t_{\varphi}} \frac{dt}{t^* (\sigma^{a\phi}_{r,(Tp)}(t))} + \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^* (\sigma^{a\phi}_{r,(Tem)}(t))} \right) > [Z], \tag{10}$$

Для окремого випадку (5) та (7) залежність (12) набирає вигляду

$$Z_p(t) = C_{TP} \cdot K_y - \left(\sum_{j=1}^m \sum_{\varphi=1}^{k_{\varphi}} N_{\varphi} \int_0^{t_{\varphi}} \frac{dt}{B_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n a_{ij}(t, T(t)) \cdot t^{\eta_i-1} \right)^b} + \int_0^{t_p} \frac{dt}{B_i \cdot \left[(\alpha_1 - \alpha_2) \cdot \lambda \cdot k \cdot \left[E_{\infty} \cdot t - \frac{1}{b} (E_0 - E_{\infty}) (e^{-bt} - 1) \right] \right]^b} \right) > [Z] \tag{11}$$

На основі теоретичного рішення за виразом (11) виконуємо числовий розрахунок залишкового ресурсу. Для порівняння приймаємо дві конструкції: 1 - асфальтобетон типу Б-20 на бітумі (БНД 60/90) з перемінною товщиною від 50 мм до 110 мм, наплавна гідроізоляція «СПОЛІмост» товщиною 4 мм, залізобетонна плита проїзної частини мосту (ЗППЧМ); 2 - асфальтобетон типу Б-20 на бітумі, модифікованому полімерним латексом (Бутонал НС-198 -4 % від маси бітуму) товщиною від 50 мм до 110 мм, наплавна гідроізоляція «СПОЛІмост» товщиною 4 мм, ЗППЧМ. Всі числові параметри для розрахунку залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на мосту за залежністю (11) наведені в роботах[2-9], які і використовуємо.

Результати залежності залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття на мосту від змінної товщини асфальтобетонного покриття наведені на рис. 5.

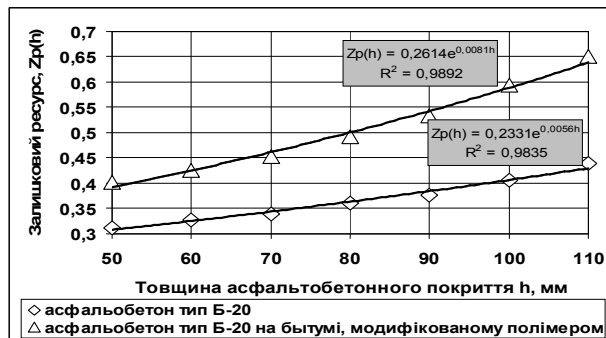


Рис. 5 залежність залишкового ресурсу асфальтобетонного покриття від товщини на мосту

Аналіз числового розрахунку (рис. 5) показав, що збільшується залишковий ресурс від товщини асфальтобетонного покриття від 0,312 до 0,44 для типу Б-20, а для типу Б-20 на бітумі, модифікованому полімером від 0,402 до 0,65. А також вплив полімеру суттєво підвищує залишковий ресурс асфальтобетонного покриття Типу Б-20 в межах від 1,3 до 1,5 рази у порівнянні з традиційним асфальтобетоном Типу Б-20.

Висновок

На основі аналітичних залежностей розроблена методика 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. А також отримано числовий розрахунок впливу полімеру (Бутонал НС-198) на підвищення залишкового ресурсу.

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. Мозговой В. В Підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття проїзної частини південного мостового переходу через р. Дніпро в Києві / Мозговой В. В., Бесараб О. М., Богданов О. І., Онищенко А. М., Прудкий О. В., Мозговой О. В. // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій – 2005 – Вип. 6. – С. 709-715.
5. Онищенко А. М. Підвищення довговічності щебенево-мастикового 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, вироби 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. Бесараб О.М. Підвищення тріщиностійкості асфальтобетонних шарів з врахуванням часу дії навантаження: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.22.11. – К., 2003. – 21 с.
8. 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.
9. МВ 218-02070915-679:2010 Методичні вказівки з розрахунку асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість.