

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТОНКОШАРОВОГО ПЛАСТБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ НА
ЗАЛІЗОБЕТОННІЙ ПЛИТІ ПРОЇЗНОЇ ЧАСТИНИ АВТОДОРОЖНИХ МОСТІВ НА
ДОВГОВІЧНІСТЬ

CALCULATION METHOD OF THIN LAYER PLASTIC CONCRETE COATING ON
REINFORCED CONCRETE SLAB OF ROADWAY SECTION OF HIGHWAY BRIDGES FOR
DURABILITY



*Федоренко Олександр Володимирович, Генеральний директор
комунальної корпорації «Київавтодор», Київ, Україна,
e-mail: 50281@ukr.net*

<https://orcid.org/0000-0002-3464-597X>

Анотація: В роботі розглянуто основні принципи розрахунку тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність з урахуванням вітчизняного та Європейського досвіду та країн Світу. Запропоновано методику розрахунку тонкошарового покриття на мостах враховує термореологічні властивості пластбетону, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрена-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкодження структури пластбетону протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів, це дозволило розробити критерій граничного стану тонкошарового покриття яка базується із пластбетону. Наведені аналітичні розрахунки для визначення горизонтальних нормальних напружень, що виникають в тонкошаровому пласт бетонному покритті на мостах від впливу усадки пластбетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Наведено аналітичні залежності для складових критерію граничного стану та оцінки строку служби тонкошарового покриття на мостах, а саме: міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від усадки (M_{uc}); міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів (M_{Tp}); міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від зміни температури відповідного сезону (M_T). Дані аналітичні рішення дозволили оцінювати розрахунковий (очікуваний) строк служби ($T_{роз}$) тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах, а саме: строк служби ($T_{роз}$) – це співвідношення гранично допустимого значення показника міри вичерпування довговічності ($M_{вд}=1$) до суми міри вичерпування тонкошарового покриття від спільного впливу усадки пластбетону, зміни температур та дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів, що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби ($T_n=15$ років) тонкошарового пластбетонного покриття на автодорожніх мостах.

Ключові слова: автодорожній міст, тонкошарове покриття; пластбетон, покриття, довговічність, усадка, температура, навантаження, міра вичерпування.

Вступ. Забезпечення довговічності та зменшення власної ваги дорожнього покриття на залізобетонних автодорожніх мостах є завжди актуальним питанням в усьому світі [1-12]. Як відомо найбільш поширеним на автодорожніх мостах автомобільних доріг є асфальтобетонні покриття на залізобетонній основі. Збільшення строку служби дорожнього покриття на таких спорудах є однією із актуальних задач дорожньої галузі України. Як відомо на зменшення строку служби (довговічності) дорожнього покриття на залізобетонних транспортних спорудах впливає комплекс таких негативних факторів, як: різні модулі пружності залізобетонної основи та асфальтобетонного покриття; різниця коефіцієнтів лінійного температурного розширення; навантаження від коліс транспортних засобів; коливання температури; перемінне заморожування-відтавання води в порах і ушкоджених місцях, тощо. Окрім того, асфальтобетонне покриття на автодорожніх мостах швидше руйнується у порівнянні із тонким пластбетонним покриттям. Тому

питанням зменшення ваги дорожнього покриття на мостовому полотні автодорожніх мостів є досить актуальним тому, що зменшення навантаження на полотно прогонової будови завжди турбувало інженерів проєктантів та будівельників і для її реалізації завжди були запропоновані різні рішення [8-12]. Зниження навантаження, по-перше, пропонувалося забезпечувати шляхом зменшення ваги плити проїзної частини, балки (залізобетонної), а по-друге, шляхом зниження ваги дорожнього покриття, що влаштовується на плиті проїзної частини. Розробка систем тонкошарових покриттів на основі полімерних матеріалів для автодорожніх мостів з залізобетонною та металевою плитою проїзної частини не тільки актуальна у світлі вищесказаного, але й перспективна [1-12]. Проблема отримання покриттів із такими властивостями із стандартного асфальтобетону не могла бути вирішена. Тому за кордоном (Франція, Бельгія, Канада, Швеція) вже протягом двох десятиліть років застосовують системи тонкошарових полімерних покриттів на основі поліметилметакрилату (ПММА) [1-3, 10-12]. Як відомо з даних, що покриття фактично має механічні та фізико-хімічні характеристики, що значно перевищують нормативні. Механічні та фізико-механічні властивості покриття на основі ПММА дозволяють витримувати циклічне навантаження від впливу загальних та місцевих динамічних коливань, а також зусилля зсуву, що виникають під час руху транспорту та різкого його гальмування. В результаті випробувань встановлено, що знос полімерного покриття за масою (г/см^2) утричі менший за відповідну вимогу нормативних документів до дорожніх покриттів з асфальтобетону для утруднених умов руху (інтенсивність понад 2000 авт/добу). Покриття з полімерних пластбетонів ремонтпридатні із застосуванням тих самих складів, з яких зроблено покриття. Тому конструкція мостового полотна має забезпечувати комфортну їзду та безпеку руху транспорту, мати необхідну міцність, надійний захист несних елементів прогонової будови від несприятливих впливів, забезпечувати проєктний строк служби та ремонтоздатність тонкошарового пластбетонного покриття. Необхідно передбачити можливість виконання робіт при утриманні та ремонтах сучасними механізованими засобами.

На даний час відсутня методика оцінки довговічності тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах, яка б враховувала комплекс основних факторів для проєктування таких покриттів, а саме: дія навантаження пневматичних коліс транспортних засобів; дія зміни річної та добової температури; дія напружень від усадки пластбетону в момент твердіння. Врахування спільного впливу усадки пластбетону, зміну температури та дії пневматичних коліс

транспортних засобів при оцінці тріщиностійкості тонкошарового пластбетонного покриття на мостах дозволило б більш об'єктивно проводити оцінювання довговічності таких покриттів та їх строк служби.

Однією з причин зменшення строку експлуатації тонкошарового пластбетонного покриття на автодорожніх мостах є недостатнє вивчення та застосування полімеру метилметакрилату з метою направленою регулювання властивостей пластбетону.

Таким чином, актуальність роботи обумовлена необхідністю рішення важливої науково-практичної задачі – підвищення довговічності тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах за рахунок використання полімерного метилметакрилату з урахування спільного впливу усадки пластбетону, зміни температури та дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів

Матеріали та методи. Методологічною основою виступає науковий підхід до аналізу питань розрахунку довговічності тонкошарових пластбетонних покриттів на залізобетонних автодорожніх мостах від впливу усадки пластбетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Для вирішення методики розрахунку тонкошарового покриття на автодорожніх мостах використовували методи: аналітично-експериментальні з використанням положень теорії пружності, кінетичної теорії міцності твердих тіл, стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей пластбетону, експериментальних методів дослідження утворення тріщини в тонкошаровому пластбетонному покритті автодорожніх мостів; математичної статистики.

Метою роботи є розробка методики розрахунку тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на довговічність від впливу усадки пластбетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів. Дані аналітичні рішення дозволять оцінювати довговічність, розрахунковий (очікуваний) строк служби тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах, з урахуванням сумарної міри вичерпування покриття від спільного впливу усадки пластбетону, зміни температур та дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів, а також конструктивних особливостей та термореологічних властивостей покриття.

Виклад основного матеріалу. Загальні положення з розрахунку довговічності тонкошарового полімер бетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах за рахунок використання метилметакрилатної смоли, полягають у наступному: протягом заданого строку служби тонкошарове покриття повинні бути стійкими до водо-морозних впливів; повинно бути забезпечене належне зчеплення між покриттям і основою; повинні бути стійкими до тріщиноутворення від спільної дії впливу річних і добових температур, усадки пластбетону при твердінні та дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів.

При цьому стійкість до водо-морозних впливів передбачено забезпечити належним вибором виду матеріалу для тонкошарового пластбетонного покриття на мостах, встановлення відповідних вимог до нього та технології його влаштування. Оцінка тріщиностійкості тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати напруження від: спільного впливу річних і добових температур; усадки пластбетону при твердінні; дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів. Тому для прогнозування утворення тріщин в пластбетонному покритті від зазначених факторів пропонується оцінювати довговічність тонкошарового покриття на залізобетонних автодорожніх

мостах, яка повинна базуватися на умові граничного стану. Тонкошарове пластбетонне покриття це матеріал для виготовлення якого містить полімерні (метилметакрилат) компоненти та має товщину від 10 мм до 30 мм. Метилметакрилат - метиловий ефір метакрилової кислоти, у вигляді безбарвної прозорої рідини з характерним ефіровим запахом. Поліметилметакрилат це метилметакрилат модифікований полімерами. У відповідності до ДБН В.2.3-22 товщина тонкошарового покриття на автодорожніх мостах повинна бути від 10 мм до 20 мм. Тонкі покриття, як правило, виконуються на основі епоксидів, поліуретанів, метакрилатів, поліестерів. з проектним строком служби 15 років і більше.

Тому з метою вирішення нашої задачі запропоновано методика розрахунку тонкошарового покриття на мостах, яка враховує термореологічні властивості пластбетону, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрена-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкодження структури пластбетону протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів, це дозволило розробити критерій граничного стану тонкошарового покриття яка базується із пластбетону. Наведені аналітичні розрахунки для визначення горизонтальних нормальних напружень, що виникають в тонкошаровому пластбетонному покритті на мостах від впливу усадки пластбетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Для вирішення поставленої задачі розглядається розрахункова схема (рис. 1) роботи тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах при коливанні сезонних річних та добових температур, а також дії транспорту, зі встановленням аналітичних залежностей для прогнозування напружень та оцінки вичерпування довговічності пластбетонного покриття. Розтягуючи горизонтальні нормальні напруження при згині у нижній частині покриття $\sigma_{Tp}(t)$ виникають від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів, розтягуючі нормальні напруження, $\sigma_{Tp}(t)$ – горизонтальні нормальні напруження від зміни температури річної та добової, напруження і напруження від усадки $\sigma_{yc}(t)$ пластбетону визначаються на основі аналітичних розрахунків з урахуванням схеми (рис.1) роботи тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах при дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів та зміни температури.

Оцінка довговічності тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати напруження від: спільного впливу усадки пластбетону при твердінні; зміни (сезонних річних та добових) температур; дії пневматичних коліс транспортних. Тому для прогнозування міри вичерпування тоногшарового покриття на мостах від зазначених факторів пропонується оцінювати довговічність покриття, яка повинна базуватися на умові граничного стану за залежністю:

$$M_{вд} = M_{Tp} + M_T + M_{yc} \leq [M_H] \quad (1)$$

де M_{Tp} - міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів (безрозмірна величина);

M_T - міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від дії транспорту (безрозмірна величина);

M_{yc} - міра вичерпування довговічності тонкошарового покриття від дії усадки пластбетону при твердінні;

M_H – нормативне граничне значення міра вичерпування довговічності тонкошарового покриття рівне 1, (безрозмірна величина).

У даному випадку під пошкодженістю тонкошарового пластбетонного покриття з використанням метилметакрилату на залізобетонних автодорожніх мостах, згідно існуючих загальних положень, приймається формальне кінетичне поняття незворотних розривів структурних зв'язків та незворотних пластичних деформацій структурних зв'язках у пластбетонному покритті за часом при визначеному характері впливу факторів і оцінюється відносним параметром, який називають мірою пошкодженості, що за фізичною суттю є мірою вичерпування довговічності.

Тому з урахуванням вище наведеного та виразу (1) пропонується визначати міру вичерпування (M_{Tp} довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів (з урахуванням загального підходу при циклічній дії напружень) (безрозмірна величина);

$$M_{Tp} = \sum N_p \cdot \int_0^{t_p} \frac{\sigma_{Tp}(t)^{b(t,T)}}{B_t(t,T)} dt \quad (2)$$

$\sum N_p$ – сумарна кількість проїздів розрахункового навантаження за строк служби пластбетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах;

$\sigma_{Tp}(t)$ – горизонтальні нормальні напруження розтягу при згині від дії розрахункового навантаження пневматичних коліс транспорту навантаження в тонкошаровому покритті;

$B_t(t,T), b(t,T)$ - параметри функції довговічності визначаються експериментально.

t_p – час до руйнування;

Для визначення горизонтальних нормальних напруження $\sigma_{Tp}(t)$ в дорожньому покритті використовуємо точне рішення теорії пружності отримане професором А.К Приварніковим. При використанні даного рішення та виконаних чисельних дослідженнях були встановлені та апроксимовані функції для визначення горизонтальних розтягуючих напружень тонкошарового пластбетонного покриття на мостах за залежністю:

$$\sigma_{Tp} = A_i(R(t,T)) \cdot h_1 / D^{-B_i(R(t,T))} \cdot p \cdot K_\sigma, \quad (3)$$

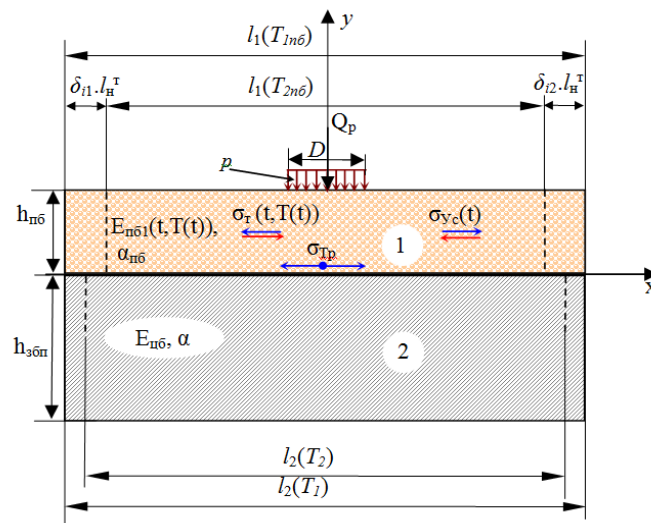
де $A_i(R(t,T)), B_i(R(t,T))$ – постійні, що залежать від функції релаксації, яка змінюється від часу дії навантаження і температури;

h_1 – товщина тонкошарового покриття;

D – площа круга;

K_σ – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану тонкошарового покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами;

p – розрахунковий тиск на покриття, МПа.



1 – тонкошарове пластбетонне покриття (товщиною від $h_{пб} = 10 - 30$ мм); 2 – залізобетонна плита мосту; $\rightleftharpoons \sigma_{yc}(t)$ – напруження від усадки пластбетону; $\rightleftharpoons \sigma_r(t, T(t))$ – температурні напруження; $\sigma_{Гр}(t)$ – горизонтальні нормальні напруження; $\delta_{i2} \cdot l_n^m$, $\delta_{i1} \cdot l_n^m$ – довжина, на яку скорочується тонкошарове пластбетонне покриття; $l_1(T_{1ц\delta})$, $l_2(T_1)$ – довжина тонкошарового пластбетонного покриття та основи до початку температурного скорочення; $l_1(T_{2n\delta})$, $l_2(T_2)$ – довжина відповідно тонкошарового пластбетонного покриття (1) та основи (2), після температурного скорочення; $\alpha_{пб}$, $\alpha_{зб}$ – коефіцієнт лінійного температурного розширення тонкошарового пластбетонного покриття (1) та залізобетонної основи (2); $E_{пб}(t, T(t))$, $E_{зб}$ – модуль пружності пластбетону та залізобетонної основи, який залежить від часу дії навантаження.

1 – thin-layer plastic concrete coating (thickness from $h_{пб} = 10 - 30$ mm); 2 – reinforced concrete slab of the bridge; $\rightleftharpoons \sigma_{yc}(t)$ – stress from plastic concrete shrinkage; $\rightleftharpoons \sigma_r(t, T(t))$ – temperature stresses; $\sigma_{Гр}(t)$ – horizontal normal stresses; $\delta_{i2} \cdot l_n^m$, $\delta_{i1} \cdot l_n^m$ – the length by which the thin-layer plastic concrete covering is shortened; $l_1(T_{1ц\delta})$, $l_2(T_1)$ – the length of the thin-layer plastic concrete coating and the base before the beginning of thermal contraction; $l_1(T_{2n\delta})$, $l_2(T_2)$ – the length, respectively, of the thin-layer plastic concrete coating (1) and the base (2), after temperature reduction; $\alpha_{пб}$, $\alpha_{зб}$ – coefficient of linear thermal expansion of thin-layer plastic concrete coating (1) and reinforced concrete base (2); $E_{пб}(t, T(t))$, $E_{зб}$ – modulus of elasticity of plastic concrete and reinforced concrete base, which depends on the time of the load.

Рисунок 1 – Розрахункова схема тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонній основі автодорожнього мосту, з урахуванням спільного впливу зміни (річної, добової) температури та усадки пластбетону при твердінні і дії пневматичних коліс транспортних засобів

Figure 1 – Calculation scheme of a thin-layer aerated concrete coating on a reinforced concrete foundation of a road bridge, taking into account the combined effect of changes in (annual, daily) temperature and shrinkage of aerated concrete during hardening and the action of pneumatic wheels of vehicles.

Для визначення міри вичерпування довговічності дорожнього покриття від зміни річної та добової температури (M_T) може бути визначена за аналітичною залежністю Радовського – Мозгового, що базується на застосуванні критерію Бейлі, модифікованої функції довговічності Бартенева [5-11]:

$$M_T = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^* (\sigma_T(t), T(t))} dt \quad (4)$$

або

$$M_T = \int_0^{t_p} \frac{\sigma_T(t, T(t))^{b(t, T)}}{B_t(t, T)} dt \quad (5)$$

де t – момент часу експлуатації дорожнього покриття;

$t^* (\sigma_T(t), T(t))$ - функція довговічності тонкошаровому покриття;

$\sigma_T(t, T(t))$ - температурні напруження в тонкошаровому покритті;

$T(t)$ - температура тонкошарового покриття;

$B_t(t, T), b(t, T)$ - параметри функції довговічності визначаються експериментально.

При визначенні температурних напружень враховували термов'язкопружні властивості асфальтобетону, які описували функцією релаксації та функцією температурно-часового зміщення, параметри яких визначаються експериментально [5-11].

Отримані аналітичні залежності визначення температурних напружень асфальтобетонного покриття для розроблених розрахункових схем (рис. 1):

$$\sigma_{r, (Tem)}^{ab}(t) = (\alpha_{a/b} - \alpha_{осн}) \cdot \varphi \cdot k_{a/b} \left(E_{\delta z} + (E_{mm} - E_{\delta z}) \cdot \int_0^t \left(1 + \frac{e^{P \cdot (T_0 + k \cdot t - T_S)} (e^{-P \cdot k \cdot (t - t_1)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda} d\tau \right), \quad (6)$$

де φ – коефіцієнт, що враховує міцність зчеплення між пластбетоним покриттям і залізобетонною основою;

$E_{\delta z}$ і E_{mm} – відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності пластбетонного покриття;

$k_{a/b}, k_{осн}$ – відповідно швидкість охолодження пластбетону та залізобетонної основи; t – час спостереження;

t_1 – час, що передує моменту спостереження;

P – параметр функції температурно-часового зміщення;

T_0, T_S – початкова температура та температура приведення пластбетону.

Міра вичерпування довговічності тонкошарового покриття із пластбетону від усадки базується на застосуванні критерію Бейлі, модифікованої функції Бартенева [5-11]:

$$M_{yc} = \int_0^{t_p} \frac{dt}{t^* (\sigma_{yc}(t), T(t))} \quad (7)$$

де M_{yc} – міра пошкодження цементобетонного покриття від дії усадки цементобетону при твердінні;

$t^*(\sigma_{yc}(t), T(t))$ - функція довговічності пластбетону;

$\sigma_{yc}(t, T(t))$ – напруження в тонкошаровому пластбетонному покритті від усадки при твердінні в залежності від часу (t) та температури T(t) спостереження та початкової товщини покриття (y), МПа; T(t) – температура покриття (8).

Запропоновано професором Г.К. Сьонї визначати усадочні напруження в безшовному пластбетонному покритті на цементобетонній основі, які виникають за рахунок сил адгезії, що перешкоджають вільним усадочним деформаціям для автодорожніх мостів. Тому максимальні усадочні розтягуючі напруження $\sigma_{yc}(t, T(t))$, що виникають в пластбетонному покритті на залізобетонній основі автодорожніх мостах з урахуванням часу дії та температури можна визначити за залежностями :

$$\sigma_{yc}(t, T(t)) = a \cdot \frac{\varepsilon_{\max} (1 - e^{-\beta t \cdot 1/n}) \cdot E_{пб}(t, T(t))}{(1 - \mu) \cdot (1 + m(t, T(t))) \cdot 10^3} \quad (8)$$

де ε_{\max} - максимальна усадочна деформація пластбетону, мм/м;

β - коефіцієнт пропорційності 1/г (приймається 0,055);

τ - час інтенсивної усадки пластбетону, приймається рівним 24 г;

a, n - експериментальні параметри (приймається: $a = 0,3$; $n = 1 - 3$);

$E_{пб}(t, T(t))$ - функція релаксації пластбетону, яка змінюється від часу дії навантаження (t) та температури T(t);

μ - коефіцієнт Пуассона (0,34 - 0,4);

m - коефіцієнт напружень в пластбетоні;

$$m(t, T(t)) = \frac{E_{пб}(t, T(t)) \cdot F_{пб}}{E_{цб} \cdot F_{цб}} = \frac{(E_{пб}^{\partial z}(t, T(t)) + (E_{пб}^{mm}(t, T(t)) - E_{пб}^{\partial z}(t, T(t))) \cdot (1 + \frac{t}{\eta})^{-\lambda}) \cdot F_{пб}}{E_{цб} \cdot F_{цб}} \quad (9)$$

де $E_{пб}^{\partial z}(t, T(t)), E_{пб}^{mm}(t, T(t))$ - відповідно довготривалий і миттєвий модулі пружності пластбетону;

λ, η - постійні, що визначаються експериментально;

$F_{пб}$ - проща перерізу тонкошарового пластбетонного покриття;

$E_{цб}$ - модуль пружності цементобетону;

$F_{цб}$ - площа перерізу цементобетонної основи проїзної частини мосту;

Дослідження температурного річного та добового режиму тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах. З метою прогнозування температурних напружень, використано відомі рішення задачі теплопровідності для гармонійного коливання температури на поверхні покриття. Крім цього, необхідно знати режим зміни температури тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах. Відомі результати теоретичних і експериментальних досліджень свідчать [1-11], що на температурний режим тонкошарового пластбетонного покриття впливають дві основні гармоніки річних та добових коливань, які часто використовують для визначення температурного режиму покриття. Базуючись на дослідженнях [1-11] для розрахунку середньої зміни температури в тонкошаровому покритті на автодорожніх мостах у вигляді двох гармонік матиме наступний вигляд:

$$\bar{T}(t) = T_{аб,ср} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_p} t + \bar{A}_d(h) \cdot \cos \frac{2\pi}{t_d} t, \quad (10)$$

де $T_{аб,ср}$ – середня температура пластбетонного покриття з використанням метилметакрилату;

\bar{A}_p – середня по товщині амплітуда коливань температури в тонкошаровому пластбетонному покритті з використанням метилметакрилатів в річному циклі;

t_p – період коливань середньої по товщині температури тонкошарового покриття в річному циклі;

\bar{A}_d – середня по товщині амплітуда коливань температури тонкошарового покриття в добовому циклі;

t_d – період коливань середньої по товщині температури тонкошарового покриття в добовому циклі.

Завдяки відомим підходам [5-11] використовуємо параметри виразу (10). Тоді, амплітуду річних і добових коливань (\bar{A}_p, \bar{A}_d) середньої по товщині температури тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах з використанням метилметакрилату, можемо рахувати наближено рівній середньому по товщині значенню амплітуди коливань температури, що використовуються в роботі [5-10] буде описуватися наступним виразом:

$$A_{np} = 0,5 \cdot (T_{n,max} + T_{n,min}), \quad (11)$$

де $T_{n,max}, T_{n,min}$ – середньомісячна температура поверхні покриття відповідно самого теплого і самого холодного місяців.

В роботах [5-8] запропоновано визначати температуру покриття у самому теплому місяці $T_{n,max}$ з урахуванням впливу сонячного нагріву встановлюється за залежністю:

$$T_{n,\max} = \frac{4(\pi + 1)t_{нов,\max}}{3\pi}. \quad (12)$$

Середньомісячну температуру самого холодного місяця для тонкошарового пластбетонного покриття на автодорожніх мостах доцільно прирівнювати до відповідної температури повітря:

$$T_{n,\min} = t_{нов,\min}, \quad (13)$$

де $t_{нов,\min}$, $t_{нов,\max}$ – розрахункові значення середньомісячної температури повітря відповідно для самого холодного місяця (січень) та самого теплого місяця (липень).

Отже, згідно залежності (8) є можливість описувати зміну температури тонкошарового покриття з використанням метилметакрилатів на залізобетонних автодорожніх мостах для різних регіональних кліматичних умов.

Практичний інтерес крім «бі-гармонічного» закону зміни температури покриття має швидкість його охолодження. У даному випадку, використовуючи параметри (10), можна записати:

– при добових коливаннях температури:

$$k_{\delta} = \frac{2A_{\delta}}{0,5t_{\delta}} = \frac{4A_{\delta}}{t_{\delta}}, \quad (14)$$

де t_{δ} – період добових коливань температури;

– при річних коливаннях температури:

$$k_p = \frac{2A_p}{0,5t_p} = \frac{4A_p}{t_p}, \quad (15)$$

де t_p – період річних коливань температури.

Для вирішення поставленої задачі приймаємо, що температура T з часом t змінюється з постійною швидкістю:

$$T(t) = T_n + k \cdot t, \quad (16)$$

де T_n – початкова температура;

k – швидкість охолодження.

У відповідності вище наведених теоретичних положень (1-16) пропонується оцінювати довговічність тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах за розрахунковим (очікуваний) строк служби $T_{POЗ}$ (в роках), який базується на отриманих аналітичних залежностях (1-16), а саме: строк служби $T_{POЗ}$ – це співвідношення гранично допустимого значення показника міри

вичерпування $M_{ВД}$ до сумарної міри вичерпування довговічності тонкошарового покриття від спільного впливу усадки пластбетонного, зміни температур та пневматичних коліс транспортних засобів, що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби цементобетонного покриття $[T_H]$ і визначається за залежністю :

$$T_{роз} = T_{пр} \cdot \frac{[M_H]}{M_{ВД}} \geq [T_H], \quad (17)$$

де $T_{пр}$ – проектний строк експлуатації тонкошарового пластбетонного покриття на автодорожніх мостах;

T_H – нормативне значення строку експлуатації тонкошарового пластбетонного покриття в залежності від категорії автомобільної дороги приймається за державними будівельними нормами ($T_H = 15$ років).

Висновки. В даній статті запропоновано алгоритм послідовності розрахунку тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонній плиті проїзної частини автодорожніх мостів на автомобільних дорогах загального користування

Запропоновано методику розрахунку тонкошарового покриття на мостах враховує термореологічні властивості пластбетону, використовуючи положення кінетичної теорії міцності твердих тіл і базуючись на принципах Пальгрена-Майнера та Бейлі про суперпозицію пошкодження структури пластбетону протягом строку експлуатації при негативній спільній дії найбільш впливових факторів , це дозволило розробити критерій граничного стану тонкошарового покриття яка базується із пластбетону. Наведені аналітичні розрахунки для визначення горизонтальних нормальних напружень, що виникають в тонкошаровому пласт бетонному покритті на мостах від впливу усадки пластбетону, зміни (сезонних річних та добових) температур та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Наведено аналітичні залежності для складових критерію граничного стану та оцінки строку служби тонкошарового покриття на мостах, а саме: міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від усадки (МУс); міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів (МТр); міра вичерпування довговічності тонкошарового пластбетонного покриття від зміни температури відповідного сезону (МТ).

Дані аналітичні рішення дозволили оцінювати розрахунковий (очікуваний) строк служби (Троз) тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах, а саме: строк служби (Троз) – це співвідношення гранично допустимого значення показника міри вичерпування довговічності (МВД=1) до суми міри вичерпування тонкошарового покриття від спільного впливу усадки пластбетону, зміни температур та дії навантаження пневматичних коліс транспортних засобів, що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби ($T_H=15$ років) тонкошарового пластбетонного покриття на автодорожніх мостах.

Дана методика розрахунку тонкошарового пластбетонного покриття на залізобетонних автодорожніх мостах базується на теоретичних принципах професора В.В. Мозгового та А.М. Онищенко з оцінювання вичерпування довговічності покриття від вище зазначених факторів.

Перелік посилань

1. Onyshchenko, A., Kovalchuk, V., Zagorodniy, O., Moroz, V. (2023). Determining the residual service life of polymer-modified asphalt concrete pavement on road bridges. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (1 (123)), 41–51. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279006>
2. Andersen, S.; Levenberg, E.; Andersen, M.B. Efficient reevaluation of surface displacements in a layered elastic half-space. *Int. J. Pavement Eng.* 2020, 21, 408–415.
URL: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/151158152/ERSDILEHS.pdf>
3. Myroslav Malovanyy, Volodymyr Mozghovyi, Oleksandr Kutsman, Serhii Baran Increasing the Efficiency of the Use of Thermal Power Plants Waste in Road Construction and Repair. *Environmental problems*. Lviv, Ukraine, 2019. Volume 4, Num. 4. Pp. 179-184. DOI: 10.23939/ep2019.04.179
4. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/82.1.-DBN-V.2.3-222009.-Sporudi-transportu.-Mosti-ta-tr.pdf>
5. Баран С. А. Удосконалення проектування дорожнього покриття підвищеної довговічності із щебенево-мастикового асфальтобетону: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11. К., 2020. 220с.
http://diser.ntu.edu.ua/Baran_dis.pdf
6. Зеленовський В. А., Копинець І. В., Онищенко А. М. Досвід застосування епоксiasфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах // *Дороги і мости*. – 2019. – Вип. 19-20. – С. 78-93 URL: DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.078>
7. Іщенко О.М. Розробка методики розрахунку на температурну тріщиностійкість асфальтобетонного покриття штучних споруд автомобільних доріг: Дис. канд. техн. наук: 05.22.11 – К., 2003.-136 с.
8. Мозговий В.В. Наукові основи забезпечення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів: дис... докт. техн. наук. К., 1996. 406 с.
9. Онищенко А.М. Теоретичні та практичні дослідження ресурсу асфальтобетонного покриття на залізобетонних транспортних спорудах: Монографія / Онищенко А.М., Кузьмінець М.П., Невінгловський В.Ф., Гаркуша М.В. – К.: НТУ, 2015. – 334 с.
10. А.М. Onyshchenko, I.O.Mirchuk. Ensuring increased durability of pavement on reinforced concrete road bridges. *World Science* 2024. 1(83). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8126
11. Kovalchuk V. Procedure for determining the thermoelastic state of a reinforced concrete bridge beam strengthened with methyl methacrylate / Vitalii Kovalchuk, Yuliya Sobolevska, Artur Onyshchenko, Olexandr Fedorenko, Oleksandr Tokin, Andrii Pavliv, Ivan Kravets, Julia Lesiv // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov. – 4/7 (112), 2021. – pp. 26–33. doi: 10.15587/1729-4061.2021.238440.
12. Kovalchuk V. Devising a procedure for assessing the subgrade compaction degree based on the propagation rate of elastic waves / V. Kovalchuk, I. Kravets, O. Nabochenko, A. Onyshchenko, O. Fedorenko, A. Pentsak, O. Petrenko, N. Gembara // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – Kharkov. – 1/5 (109), 2021. – pp. 6–15. doi: 10.15587/1729-4061.2021.225520.

CALCULATION METHOD OF THIN LAYER PLASTIC CONCRETE COATING ON REINFORCED CONCRETE SLAB OF ROADWAY SECTION OF HIGHWAY BRIDGES FOR DURABILITY

Oleksandr Fedorenko V., General Director of the "Kyivavtodor" utility corporation, Kyiv, Ukraine, [e-mail: 50281@ukr.net](mailto:50281@ukr.net) <https://orcid.org/0000-0002-3464-597X>

Summary. The paper examines the basic principles of calculating the durability of thin-layer plastic concrete covering on reinforced concrete slabs of roadways of highway bridges, taking into account domestic and European experience and countries of the world. The proposed methodology for calculating thin-layer coating on bridges takes into account the thermorheological properties of aerated concrete, using the provisions of the kinetic theory of the strength of solid bodies and based on the principles of Palgren-Miner and Bailey about the superposition of damage to the structure of aerated concrete during the period of operation under the negative joint action of the most influential factors, this made it possible to develop a limit state criterion thin-layer coating based on plastic concrete. Analytical calculations are given to determine the horizontal normal stresses that arise in the thin-layer concrete coating on bridges due to the effect of concrete shrinkage, changes in (seasonal, annual and daily) temperatures and the action of pneumatic wheels of vehicles. Analytical dependences are given for the components of the limit state criterion and the estimation of the service life of the thin-layer coating on bridges, namely: the measure of exhaustion of the durability of the thin-layer plastic concrete coating from shrinkage (M_{vc}); the measure of exhaustion of the durability of thin-layer plastic concrete coating from the action of the load of pneumatic wheels of vehicles (M_{Tp}); a measure of exhaustion of the durability of a thin-layer plastic concrete coating from a change in the temperature of the corresponding season (M_T). These analytical solutions made it possible to estimate the estimated (expected) service life (T_{poz}) of thin-layer aerated concrete covering on reinforced concrete road bridges, namely: the service life (T_{poz}) is the ratio of the maximum permissible value of the indicator of the degree of durability depletion ($M_{вд}=1$) to the sum of the degree of exhaustion of thin-layer coating from the joint effect of plastic concrete shrinkage, temperature changes and the action of the load of pneumatic wheels of vehicles, which in turn is greater than or equal to the standard service life ($T_n=15$ years) of thin-layer plastic concrete coating on road bridges. Keywords: highway bridge, thin-layer coating; plastic concrete, coating, durability, shrinkage, temperature, load, degree of exhaustion.

References

1. Onyshchenko, A., Kovalchuk, V., Zagorodniy, O., Moroz, V. (2023). Determining the residual service life of polymer-modified asphalt concrete pavement on road bridges. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3 (1 (123)), 41–51. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279006>
2. Andersen, S.; Levenberg, E.; Andersen, M.B. Efficient reevaluation of surface displacements in a layered elastic half-space. Int. J. Pavement Eng. 2020, 21, 408–415. URL: <https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/151158152/ERSDILEHS.pdf>
3. Myroslav Malovanyy, Volodymyr Mozghovyi, Oleksandr Kutsman, Serhii Baran Increasing the Efficiency of the Use of Thermal Power Plants Waste in Road Construction and Repair. Environmental problems. Lviv, Ukraine, 2019. Volume 4, Num. 4. Pp. 179-184. DOI: 10.23939/ep2019.04.179
4. DBN V.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements <https://document.vobu.ua/wp-content/uploads/DBN/82.1.-DBN-V.2.3-222009.-Sporudi-transportu.-Mosti-ta-tr.pdf>
5. Baran S. A. Improvements in the design of high-durability road surfaces made of crushed stone-mastic asphalt concrete: Diss. Ph.D. technical Sciences: 05.22.11. K., 2020. 220p. http://diser.ntu.edu.ua/Baran_dis.pdf

6. Zelenovskyi V. A., Kopynets I. V., Onyshchenko A. M. Experience of using epoxy-asphalt concrete coating on road bridges // Roads and bridges. – 2019. – Issue 19-20. – P. 78-93
DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.078>

7. Ishchenko O.M. Development of a methodology for calculating the temperature crack resistance of asphalt concrete pavement of artificial highway structures: Diss. Ph.D. technical Sciences: 05.22.11 - K., 2003.-136 p.

8. Mozgovy V.V. Scientific basis of ensuring thermal crack resistance of asphalt concrete coatings: diss... doc. technical of science K., 1996. 406 p.

9. Onyshchenko A.M. Theoretical and practical studies of the resource of asphalt concrete pavement on reinforced concrete transport structures: Monograph / Onyshchenko A.M., Kuzminets M.P., Nevinglovskiy V.F., Harkusha M.V. - K.: NTU, 2015. - 334 p.

10. A.M. Onyshchenko, I.O.Mirchuk. Ensuring increased durability of pavement on reinforced concrete road bridges. *World Science* 2024. 1(83). DOI: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30032024/8126

11. Kovalchuk V. Procedure for determining the thermoelastic state of a reinforced concrete bridge beam strengthened with methyl methacrylate / Vitalii Kovalchuk, Yuliya Sobolevska, Artur Onyshchenko, Olexandr Fedorenko, Oleksandr Tokin, Andrii Pavliv, Ivan Kravets, Julia Lesiv // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 4/7 (112), 2021. – pp. 26–33. doi: 10.15587/1729-4061.2021.238440.

12. Kovalchuk V. Devising a procedure for assessing the subgrade compaction degree based on the propagation rate of elastic waves / V. Kovalchuk, I. Kravets, O. Nabochenko, A. Onyshchenko, O. Fedorenko, A. Pentsak, O. Petrenko, N. Gembara // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov. – 1/5 (109), 2021. – pp. 6–15. doi: 10.15587/1729-4061.2021.225520.