

УДК 625.7/.8

Лісневський Р. С.¹, <https://orcid.org/0000-0003-1128-913X>Онищенко А. М.², *д-р техн. наук, професор*, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>¹Комунальне підприємство «Дирекція будівництва шляхово-транспортних споруд м. Києва»²Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ТЕРМОНАПРУЖЕНЬ В ДОРОЖНЬОМУ ПОКРИВІ НА МЕТАЛЕВІЙ ПЛИТІ АВТОДОРОЖНІХ МОСТІВ

Анотація

Вступ. У статті наведено методику розрахунку термонапружень в дорожньому асфальтобетонному покритті на металевих ортотропних автодорожніх мостах на довговічність. Дана методика враховує матеріалознавчі та конструктивні підходи, що дозволяє проектувати дорожній покриття на металевих автодорожніх мостах підвищеної тріщиностійкості від дії річних і добових температур.

Проблематика. Автодорожні мости є важливою складовою транспортної мережі не тільки міст, але й цілої держави. Щорічно в Україні з'являються тисячі нових транспортних засобів, що призводить до зміни складу руху автомобільних потоків, збільшення вантажопідйомності та швидкості руху. В більшості Європейських країн введені обмеження щодо руху великовагових транспортних засобів по конструкції мостового полотна з метою забезпечення більшого терміну служби покриття і конструктивних елементів мостів, адже дорожній покриття на металевих автодорожніх мостах працює в більш несприятливих умовах і відповідно до нього висуваються більші вимоги, ніж до нежорсткого дорожнього одягу автомобільних доріг. Дорожній покриття на металевих автодорожніх мостах повинен бути стійкими до тріщиноутворення від дії коливання температури. У зв'язку з переліченими умовами виникає нагальна потреба в розробленні удосконаленої методики розрахунку, яка б відповідала сучасними вимогам дорожнього будівництва, сприяла підвищенню довговічності дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах та забезпечувала доцільне використання економічних ресурсів.

Мета роботи. Сучасний розвиток дорожнього будівництва вимагає постійного вдосконалення підходів до проектування та розрахунку дорожніх покриттів на металевих автодорожніх мостах, зокрема визначати більш оптимальні раціональні конструктивні рішення для мостового полотна. Урахуванням новітніх досліджень, сучасних матеріалів та інноваційних технологій дозволяє підвищити довговічність дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах, зменшити ризик утворення температурних тріщин та оптимізувати витрати на їх ремонткування та експлуатаційне утримання.

Метою роботи є інформування фахівців дорожнього господарства про новітні тенденції, методики та розробки у сфері проектування дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих плитах автодорожніх мостах. Запропонована методика спрямована на підвищення ефективності проектних рішень, адаптацію існуючих методик до сучасних умов експлуатування та забезпечення економічно обгрунтованого використання матеріально-технічних ресурсів.

Матеріали і методи. Під час дослідження використано комплексний підхід, що базується на аналізі науково-технічних напрацювань у сфері проектування дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах, а також практичного досвіду його улаштування. Зокрема ураховано результати досліджень, проведених Національним транспортним університетом та Харківським автомобільно-дорожнім університетом та, які ґрунтуються на багаторічному досвіді надання послуг у галузі дорожнього будівництва.

Методологічною основою роботи є аналіз чинних будівельних норм і національних стандартів України, а також порівняння їх із відповідними закордонними нормативними документами та

технічною літературою. Для забезпечення комплексності дослідження ураховано вітчизняний і світовий досвід, здобутий під час виконання робіт із проектування та улаштування дорожнього асфальтобетонного покриття на ортотропних автодорожніх мостах.

Застосовано методи аналітично-експериментальні з використанням положень теорії пружності, теорії в'язко-пружності, кінетичної теорії міцності твердих тіл, стандартизовані та спеціальні методики дослідження властивостей асфальтобетону. Аналіз результатів дозволяє обґрунтувати удосконалені підходи до проектування та впровадження ефективних конструктивних рішень на мостовому полотні автодорожніх мостів.

Результати. У межах дослідження дана методика розроблена на підставі наукових досліджень, проведеного аналізу технічної літератури та чинних нормативних документів із застосування асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах. В основі методики знаходяться експериментально встановлені розрахункові параметри водонепроникних матеріалів, а саме: мастикасфальту, гусасфальту, епоксiasфальту, литого асфальту, дослідження на термостійкість, а також розроблені аналітичні залежності для розрахунку асфальтобетонного покриття на довговічність з позиції температурної тріщиностійкості.

Оновлені підходи до розрахунку термопружності дорожнього покриття на металевій ортотропній плиті автодорожніх мостів базуються на сучасних наукових дослідженнях, міжнародному досвіді та практичних даних, що дозволяє підвищити довговічність асфальтобетонного покриття, зменшити ризик утворення неконтрольованих тріщин і покращити експлуатаційні характеристики конструкцій мостового полотна.

Висновки. Запропонована методика термонапружень в дорожньому асфальтобетонному покритті на металевій ортотропній плиті автодорожніх мостів удосконалює існуючі підходи з проектування конструкції мостового полотна підвищеної довговічності являє собою суцільний процес розрахунку покриття на міцність та морозостійкість з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів. Вона базується на сучасних дослідженнях, ураховує матеріалознавчі та конструктивні особливості дорожнього асфальтобетонного покриття, експлуатаційні умови і передовий світовий досвід, що дозволяє підвищити ефективність проектних рішень. Застосування цієї методики сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик конструкцій дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах, підвищенню їхньої тріщиностійкості, стійкості до навантажень та довговічності. Це, у свою чергу, дасть змогу зменшити ризик передчасного утворення тріщин, скоротити витрати на ремонткування та експлуатаційне утримування дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах, а також забезпечити більш раціональне використання матеріально-технічних ресурсів у сфері дорожнього будівництва.

Впровадження методики розрахунку термонапружень конструкції дорожнього мостового полотна сприятиме підвищенню якості та довговічності асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах автомобільних доріг в Україні, що відповідає сучасним вимогам розвитку дорожньої інфраструктури та міжнародним стандартам.

Ключові слова: автодорожній міст, асфальтобетон, довговічність, дорожній покрив, конструкція мостового полотна, металева ортотропна плита мосту, температура, термопружні деформації, термо-в'язко-пружні властивості.

Вступ

Проектування та будівництво дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах є складним інженерним процесом, що вимагає урахування багатьох чинників, зокрема механічних властивостей матеріалів, кліматичних умов, транспортного навантаження та довговічності конструкції мостового полотна [1 – 19].

Згідно вимог ДБН В.2.3-22 [8] — покриття проїзду на сталевій плиті не дозволяється виконувати із застосуванням звичайного асфальтобетону. Для покриття завтовшки від 4 см слід застосовувати водонепроникні конструкції з мастикасфальту, гусасфальту, епоксiasфальту або інші з проектним

строком служби 15 років і більше, рекомендовано надати перевагу асфальтобетону дорожньому водонепроникному на основі бітуму, модифікованому комплексними добавками з водонасиченням до 1,0 % [13 – 16]. Одним із ключових аспектів у цьому процесі є правильне підбирання асфальтобетонного покриття зі значенням коефіцієнта теплового розширення, що наближається до його значення для ортотропної металевої плити, адже вони відіграють важливу роль у запобіганні утворенню неконтрольованих температурних тріщин і забезпеченні рівномірного розподілу напружень у асфальтобетонному покритті. Тут корисний досвід регулювання різниці в значеннях теплового розширення, що використовується в механіці композитів [1 – 4].

У цій статті розглянуто актуальні питання, пов'язані з методики розрахунку термонапружень в асфальтобетонному покритті на металевих автодорожніх мостах від зміни добової та річної температури. Дана методика дозволить розраховувати оптимальні конструктивні рішення на мостовому полотні, проаналізовано чинні нормативні документи, світовий і вітчизняний досвід проєктування дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах. Запропонований підхід базується на математичних розрахунках, експериментальних дослідженнях та результатах практичного застосування новітніх технологій у будівництві дорожніх покриттів на мостах.

Результати досліджень дозволяють сформулювати рекомендації щодо оптимізації розрахунків термонапружень дорожнього покриття, що сприятиме підвищенню довговічності асфальтобетонного покриття, зниженню витрат на його експлуатаційне утримування та забезпеченню високої тріщиностійкості.

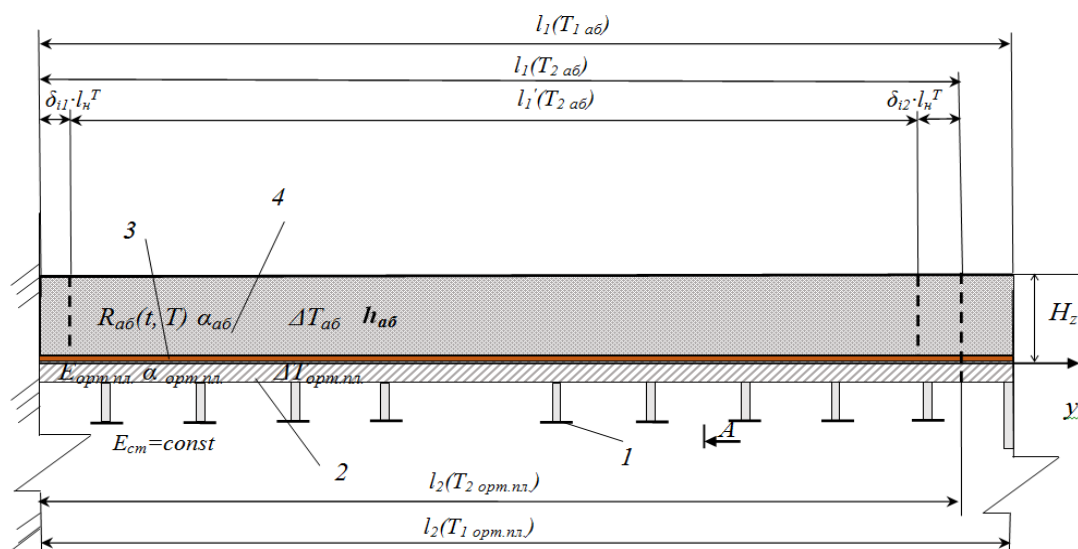
Виклад основного матеріалу.

Проектування асфальтобетонного покриття підвищеної довговічності на металевих автодорожніх мостах, являє собою суцільний процес розрахунку покриття на міцність та морозостійкість з техніко-економічним обґрунтуванням варіантів та необхідно дотримуватись вимог і правил будівельних норм та стандартів [8, 13 – 16]. Покриття підвищеної довговічності на металевих мостах складається з одного, двох шарів асфальтобетону міцно зчепленого з гідроізоляційним матеріалом та металевою плитою проїзної частини мосту [8, 13 – 16]. Даний покриття розраховують на тріщиностійкість від зміни температури річної добової.

Дорожній покриття на металевих автодорожніх мостах повинен забезпечувати необхідну рівність та шорсткість згідно з нормованими показниками, та протистояти накопиченню залишкових деформацій зсуву влітку й зберігати суцільність при розтягу від охолодження в річному і добовому періодах [13 – 16].

Для тривалого збереження шорсткості матеріал покриття повинен бути стійким до стирання. Розрахунок термонапружень в асфальтобетонному покритті на металевій плиті автодорожніх мостів приймається за двома розрахунковими схемами (рис. 1, рис. 2):

- $T_{аб}$ та $T_{орт.пл.}$ — середні температури асфальтобетонного покриття та металевої плити,
- $h_{аб}$ — товщина шару асфальтобетонного покриття,
- $R_{аб}(t, T)$ — функція релаксації асфальтобетонного покриття,
- $E_{орт.пл.}$ — модуль пружності металевої плити,
- $\alpha_{аб}$ — коефіцієнт лінійного температурного розширення асфальтобетонного покриття,
- $\alpha_{орт.пл.}$ — коефіцієнт лінійного температурного розширення металевої плити,
- $l_1(T_{1аб}), l_2(T_{1орт.пл.})$ — довжина відповідно асфальтобетонного покриття та металевої плити до початку температурного скорочення,
- $(l_1(T_{1аб})=l_2(T_{1орт.пл.})), l_1(T_{2аб}), l_2(T_{2орт.пл.})$ — довжина відповідно асфальтобетонного покриття та металевої плити, після температурного скорочення
- $(l_1(T_{2аб})=l_2(T_{2орт.пл.})), l_1'(T_{2аб})$ — довжина асфальтобетонного покриття, яка була б при вільному температурному скороченні,
- $\delta_{i1} \cdot l_n^T, \delta_{i2} \cdot l_n^T$ — довжина на яку скорочується асфальтобетонне покриття, де $\delta_{i1} + \delta_{i2} = 1$.



- 1 — металева конструкція металевих мосту;
 2 — ортотропна плита;
 3 — гідроізоляційний матеріал;
 4 — покриття (шар товщиною від 40 до 120 мм).

Рисунок 1 — Розрахункова схема роботи одношарового асфальтобетонного покриття на металевих мостах, з урахуванням спільного впливу зміни температури

На температурну тріщиностійкість двошарового покриття (**рис. 2**) впливають:

$T_{абі=1}$, $T_{абі=2}$ — середні температури верхнього та нижнього асфальтобетонних шарів покриття;

$h_{абі=1}$ та $h_{абі=2}$ — товщина верхнього та нижнього шарів покриття відповідно;

$R_{абі=1}(t, T)$ та $R_{абі=2}(t, T)$ — функція релаксації відповідно верхнього та нижнього шарів асфальтобетону;

$\alpha_{абі=1}$ та $\alpha_{абі=2}$ — коефіцієнти лінійного температурного розширення відповідно верхнього та нижнього шарів. Температурні напруження в асфальтобетонному покритті визначають з урахуванням його температурного режиму. У загальному випадку температурний режим асфальтобетонного покриття обчислюються за формулою полігармонійного закону:

$$\bar{T}(t) = T_{cp} + \sum \bar{A}_i(h) \cos \omega_i t, \quad (1)$$

де T_{cp} — середня температура покриття, °C;

$\bar{A}_i(h)$ — середня по товщині амплітуда коливань температури покриття;

ω — кругова частота;

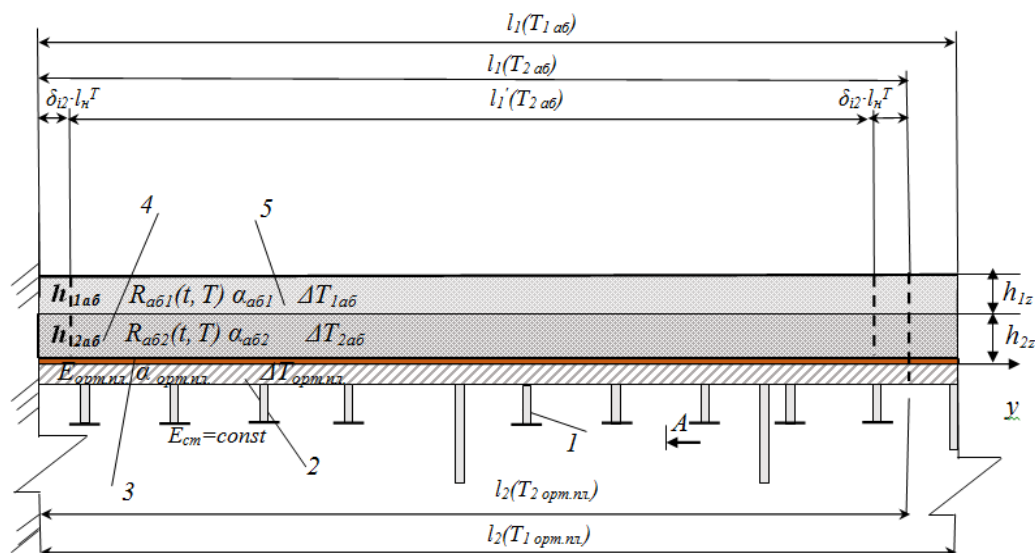
t — період часу, с.

На температурне розтріскування асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах суттєво впливає дві гармоніки (річна та добова):

$$\bar{T}(t) = T_{cp} + \bar{A}_p(h) \cdot \cos \omega_p t + \bar{A}_o(h) \cdot \cos \omega_o t, \quad (2)$$

де $\bar{A}_p(h)$ — середня по товщині амплітуда коливань температури дорожнього покриття в річному циклі;

$\bar{A}_o(h)$ — середня по товщині амплітуда коливань температури дорожнього покриття в добовому циклі.



- 4 — нижній шар товщиною від 40 мм до 60 мм;
5 — верхній шар товщиною від 30 мм до 60 мм.

Рисунок 2 — Розрахункова схема роботи двошарового асфальтобетонного покриття на металевих мостах, з урахуванням спільного впливу зміни температури та дії пневматичних коліс транспортних засобів

Такий бігармонійний характер зміни температури покриття викликає циклічну зміну температурних напружень в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах. Асфальтобетон проявляє явно виражені термо-в'язко-пружні властивості. Для їх визначення застосовуються основні положення теорії термов'язкопружності у вигляді лінійного рівняння Больцмана-Вольтерра:

$$\sigma_T(t) = \int_0^t R(t - \tau) d\varepsilon(\tau), \quad (3)$$

де $R(t - \tau)$ — функція релаксації асфальтобетону;

τ — час, який передуює моменту спостереження.

Такий циклічний характер зміни температурних напружень викликає в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах накопичення пошкодженості структури асфальтобетону. Граничний стан покриття характеризується показниками, що залежать від властивостей асфальтобетону кожного шару, а також від їхнього розміщення й умови роботи в конструкції на металевій плиті автодорожнього мосту.

Проектування асфальтобетонного покриття на термонапруженість виконують при мінімальній температурі, яка виникає протягом доби в найхолодніший період року. Необхідно оцінити міцність на розтяг при згині, яка залежить від зміни температур, та температурні напруження (3), які змінюються впродовж доби залежно від температури, швидкості охолодження і товщини покриття (h). Ця схема показана на (рис. 3) і дозволяє визначити критичну температуру тріщиноутворення в асфальтобетонному покритті на автодорожніх мостах.

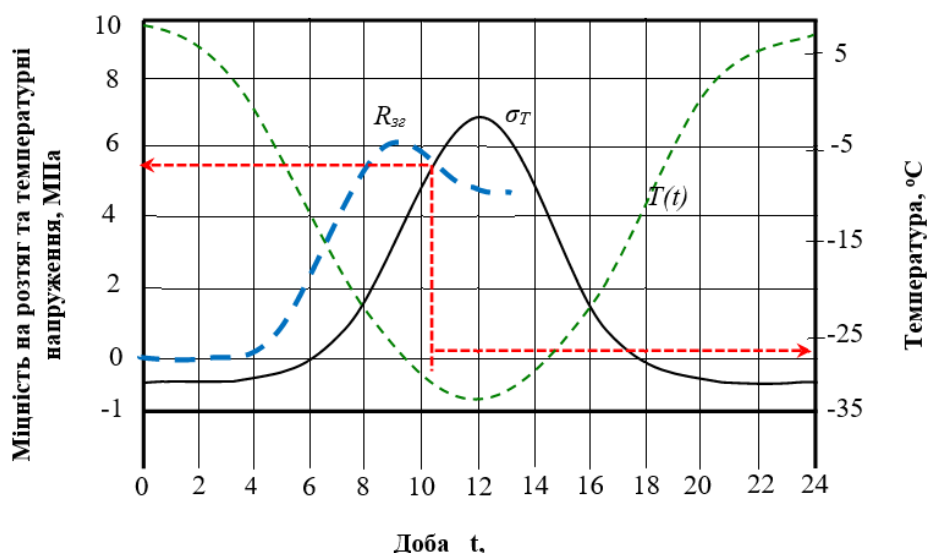


Рисунок 3 — Зміна температурних напружень та розрахункової температури на протязі доби

Строк служби дорожнього асфальтобетонного покриття на температурну тріщиностійкість оцінюють за граничним станом згідно кінетичної теорії міцності твердих тіл. Розрахунок базується на отриманні аналітичних залежностей, що дозволяють прогнозувати температурних напруження від спільної дії річних та добових температур. Розрахунок покриття виконують за двома критеріями граничного стану:

— міцність температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття $\frac{R_{32}}{\sigma_T^0(t)}$, яку визначають як відношення зміни міцності на розтяг при згині R_{32} в залежності від зниження температури до його температурних напружень $\sigma_T(t)$;

— строк служби ($T_{роз}$) покриття, який визначається як співвідношення гранично допустимого значення показника міри пошкодженості $C_{тр}$ до міри пошкодженості від температурних напружень при коливанні температури (M_T), що в свою чергу більше або рівне нормативному строку служби дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах (T_H). Граничний стан визначається температурними напруженнями від спільної дії річних та добових температур. Дорожній покриття на металевій ортотропній плиті автодорожніх мостів вважається температурно тріщиностійке, якщо коефіцієнт температурної міцності за критерієм більший чи дорівнює граничному значенню $K_{мц}^T$ для заданого рівня надійності покриття, що проектується. Конструкції дорожнього покриття потрібно вибирати на основі економічних порівнянь декількох варіантів конструкцій, що відповідають умові температурної тріщиностійкості, при цьому може виявитися, що коефіцієнт міцності за будь-яким із критеріїв значно перевищує $K_{мц}^T$ [8, 13-16].

Оцінку довговічності дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах з позиції термопружності перевіряють за умовою $T_{роз} > T_H$. Якщо результати розрахунку задовольняють умові, то можна вважати, що дорожній покриття відповідає критерію граничного стану за строком служби з позиції термопружності.

Якщо умови не виконуються $K_{мц}^T > \frac{R_{32}}{\sigma_T^0(t)}$ та $T_{роз} < T_H$, то потрібно застосувати один або кілька

наступних заходів:

— збільшити товщину дорожнього покриття;

— призначити інший вид асфальтобетону (доцільно використовувати асфальтобетон литий «Гусасфальт»; епоксiasфальт; литий асфальтобетон; литий асфальтобетон з відкритою пористістю поверхні, із застосуванням бітуму, модифікованого полімерами; дисперсно-армовані асфальтобетони тощо);

— розрахунки проводять до тих пір, поки не буде виконуватися нерівність $K_{мц}^T < \frac{R_{32}}{\sigma_T^0(t)}$

та $T_{роз} > T_H$.

Основним завданням розрахунку є визначення товщини шарів покриття для вибору варіантів конструкцій, які прийняті при розрахунку або вибір матеріалів з відповідними деформаційними та міцнісними характеристиками при заданих товщинах шарів. Рекомендовані конструкції покриття наведені в АД 2.4-37641918-003 [16]. міцність зчеплення при зсуві між асфальтобетонним покритвом з гідроізоляційним матеріалом та металевою плитою проїзної частини мосту перевіряють за методикою [13]. Кліматичні дані — географічні межі дорожньо-кліматичних зон України і дорожнє районування України за умовами роботи асфальтобетону визначають згідно з [8, 13 – 16]. Середньомісячні, середні максимальні і мінімальні місячні температури повітря призначають згідно з [8, 13 – 16]. Особливості конструювання дорожнього асфальтобетонного покриття на металевих ортотропних плитах автодорожніх мостів наведено в [13].

Розрахунок термопружності дорожнього покриття на металевих ортотропній плиті автодорожніх мостах від зміни річної та добової температури

Суть розрахунку полягає у визначенні граничної температури, що призводить до утворення тріщин в дорожньому покритті на металевих автодорожніх мостах відповідно до (рис. 3). При проектуванні дорожнього асфальтобетонного покриття в залежності від категорії дороги розрахункові значення коефіцієнту надійності та коефіцієнту запасу міцності за критерієм температурної тріщиностійкості покриття повинні відповідати вимогам (табл. 1). Розрахункові значення міцнісних характеристик (міцність на розтяг при згині) конструктивних шарів визначають через нормативні значення цих характеристик, використовуючи залежність:

$$M_p = \overline{M_p} \cdot (1 - \nu_t \cdot t), \quad (4)$$

де M_p — розрахункове значення міцнісної характеристики;

$\overline{M_p}$ — нормативне значення даної характеристики;

t — коефіцієнт нормованого відхилення M_p при допустимому рівні надійності згідно з (табл. 1);

ν_t — коефіцієнт варіативного відхилення.

Таблиця 1
Розрахункові значення коефіцієнту надійності та коефіцієнту запасу міцності за критерієм термопружності дорожнього покриття

Категорія дороги	Тип дорожнього одягу	Коефіцієнт надійності, K_n	Коефіцієнт запасу міцності, $K_{мц}$, за критерієм граничного стану міцність при згині асфальтобетону	Коефіцієнт варіативного відхилення, t
I-a	Капітальний	0,97	1,45	2,19
I-б - II	Капітальний	0,95	1,35	1,71
III - V	Капітальний	0,90	1,30	1,32

Розрахункові значення міцності на розтяг при згині в залежності від температури наведено в (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристики асфальтобетонів при розрахунку на розтяг при згині

Вид асфальтобетону	Марка бітуму	Нормативні значення при згині R_T^i , МПа, за температури T , °C						
		10	0	-5	-10	-15	-25	-35
АЛГ-10	БМПА 40/60-57	4,23	6,16	6,68	7,20	7,56	6,99	6,85
	БМПА 60/90-53	3,68	5,63	5,93	6,80	7,14	6,60	6,47
АЛГ-15	БМПА 40/60-57	3,93	5,96	6,45	6,93	7,28	6,73	6,60
	БМПА 60/90-53	3,44	5,01	5,76	6,67	7,00	6,48	6,35
РМА-10	БМПА 40/60-57	5,54	8,66	10,18	11,03	11,58	10,71	10,50
	БМПА 60/90-53	5,10	8,22	9,68	10,17	10,68	9,87	9,81
РМА-15	БМПА 40/60-57	5,33	8,39	9,86	10,45	10,97	10,15	9,95
	БМПА 60/90-53	4,88	8,01	9,27	9,45	9,92	9,35	9,37
РМА-20	БМПА 40/60-57	4,75	8,13	9,38	9,68	10,16	9,51	9,46
	БМПА 60/90-53	4,15	7,48	9,02	9,23	9,69	9,16	9,08
ЕПА-10		6,15	8,10	10,05	11,57	12,09	12,7	13,95

Примітка. Нормативні значення для епоксiasфальту при згині R_i , МПа, за температури T , °C встановлювались на основі даних [13].

Визначення мінімальної температури асфальтобетонного покриття на автодорожніх мостах даного регіону згідно з ДБН В.2.3-4 розраховується за залежністю «Supergave» [13]:

$$T_n^{\min} = 0,859 \cdot T_{\min} + 1,7, \quad (5)$$

де $T_n^{\min}$ — мінімальна добова температура асфальтобетонного покриття на автодорожньому мосту, °C;

$T_{\min}$ — середня мінімальна температура повітря в році установлена на основі метеорологічних даних і приймається згідно з діючими нормативами документами, °C.

Визначається значення міцності на розтяг при згині R_T^i , що відповідає температурі $T_n^{\min}$ (табл. 2).

Міцність асфальтобетону на розтяг при згині при конкретній температурі визначають за формулою:

$$R_{\text{зг}} = R_T^i \cdot k_{mp} \cdot k_T (1 - \nu_R \cdot t), \quad (6)$$

де R_T^i — нормативне значення міцності на розтяг при згині при розрахунковій температурі, МПа, приймають за даними (табл. 2);

k_{mp} — коефіцієнт, який враховує температурну тріщиностійкість матеріалу згідно з (табл. 3);

k_T — коефіцієнт, який враховує зниження міцності матеріалу покриття в результаті температурно-усадкових впливів ($k_T = 0,90$);

ν_R — коефіцієнт варіативного відхилення міцності на розтяг при згині, приймають згідно з (табл. 3).

Таблиця 3

Розрахункові значення коефіцієнта варіації міцності на розтяг при згині і коефіцієнта, який враховує температурну тріщиностійкість матеріалу

Вид асфальтобетону	Коефіцієнт варіативного відхилення, ν_R	Коефіцієнт температурної тріщиностійкості, k_{mp}
АЛГ-10	0,10	0,90
АЛГ-15	0,13	0,95

Вид асфальтобетону	Коефіцієнт варіативного відхилення, V_R	Коефіцієнт температурної тріщиностійкості, $k_{тр}$
PMA-10	0,10	0,85
PMA-15	0,10	0,89
PMA-20	0,11	0,92
ЕПА-10	0,10	0,88

Якщо дорожній покриття складається з двох шарів асфальтобетону (рис. 2), що відрізняються за крупністю щебеню, міцність на розтяг R_T^i при згині покриття за розрахункової температури визначають як середнє арифметичне значення міцності на розтяг при згині верхнього та нижнього шару (табл. 2). У дорожньому покритті на металевих автодорожніх мостах термонапруження, що виникають при охолодженні покриття, не повинні викликати пошкодження структури матеріалу й призводити до утворення тріщин, тобто повинна бути забезпечена умова:

$$K_{мц}^T \leq \frac{R_{зг}}{\sigma_T^0(t)}, \quad (7)$$

де $K_{мц}^T$ — необхідний коефіцієнт запасу міцності з урахуванням нормативного коефіцієнта надійності, (табл. 1);

$R_{зг}$ — розрахункова міцність матеріалу шару на розтяг при згині, МПа, визначають за формулою (6);

$\sigma_T^0(t)$ — найбільше розтягуюче температурне напруження в асфальтобетонному шарі при зміні температури впродовж доби самого холодного місяця та часу дії навантаження s МПа, обчислюють формулою (8, 9).

Розрахункові розтягуючі термонапруження визначають, за формулою:

— у випадку, коли дорожній покриття складається з одного шару:

$$\sigma_T^0(t) = (\alpha_{аб} \cdot k_{аб}^0 - \alpha_{орт.пл} \cdot k_{орт.пл}^0) \cdot R_{аб}(t) \cdot k_{II}, \quad (8)$$

— у випадку, коли дорожній покриття складається з двох шарів:

$$\sigma_T^0(t) = \left(\frac{\alpha_{аб1} + \alpha_{аб2}}{2} \cdot k_{аб}^0 - \alpha_{орт.пл} \cdot k_{орт.пл}^0 \right) \cdot \overline{R_{аб}}(t) \cdot k_{II}, \quad (9)$$

де $\alpha_{аб}, \alpha_{аб1}, \alpha_{аб2}, \alpha_{орт.пл}$ — коефіцієнти лінійного температурного розширення одношарового дорожнього покриття, верхнього і нижнього шару та металевої плити (табл. 4);

$k_{аб}^0, k_{орт.пл}^0$ — коефіцієнт добової швидкості охолодження дорожнього покриття та металевої плити, град, С/год;

$R_{аб}(t)$ — функція релаксації асфальтобетону залежить від часу дії навантаження і температури, МПа обчислюється за формулою (10);

$\overline{R_{аб}}(t)$ — середньо-інтегральне значення функції релаксації, визначають за формулою (11);

k_{II} — коефіцієнт, який враховує зміну температурних напружень залежно від товщини покриття, обчислюють за формулою (12).

Таблиця 4

Значення температурного коефіцієнту лінійного розширення ($\alpha \cdot 10^{-5}$)
для асфальтобетону

Тип	Коефіцієнт лінійного розширення ($\alpha \cdot 10^{-5}$) в інтервалі температур, $^{\circ}\text{C}^{-1}$				
	+20	+10	0	-10	-20 (-30)
АЛГ-10	3,46	3,54	3,59	3,68	3,43
АЛГ-15	3,26	3,34	3,38	3,47	3,24
РМА-10	3,21	3,28	3,33	3,41	3,18
РМА-15	3,09	3,13	3,16	3,25	3,04
РМА-20	3,03	3,10	3,14	3,22	3,00
ЕПА-10	3,69	3,77	3,82	3,92	3,66

$$R_{a\bar{o}}(t) = E_{\bar{o}z} + (E_{mm} - E_{\bar{o}z}) \cdot \left(1 + \frac{\frac{e^{p(Q+k_{a\bar{o}}^{\bar{o}} \cdot t_{\bar{o}} - T_0)} - 1}{p \cdot k_{a\bar{o}}^{\bar{o}}} (e^{-p \cdot k_{a\bar{o}}^{\bar{o}} \cdot (t_{\bar{o}} - \tau)} - 1)}{\eta} \right)^{-\lambda}, \quad (10)$$

де $E_{\bar{o}z}, E_{mm}$ — відповідно довготривалий і миттєвий модуль пружності асфальтобетонного покритву, МПа, приймають за додатком Б;
 λ, η, p — постійні, що приймають за додатком Б;
 T_0, Q — температура відповідно поточна та приведена, згідно таблиці Б.1 додатку Б;
 $t_{\bar{o}}$ — час, рівний 24 год;
 τ — приведений час.

$$\overline{R_{a\bar{o}}}(t) = \left(\sum_{i=1}^n R_{a\bar{o}i}(t) \cdot h_{a\bar{o}i} \right) \div \sum_{i=1}^n h_{a\bar{o}i}, \quad (11)$$

де $R_{a\bar{o}i}(t)$ — функція релаксації i -го шару дорожнього покритву;
 n — кількість шарів асфальтобетону;
 $h_{a\bar{o}i}$ — товщина i -го шару дорожнього покритву ($i = 2$).

$$k_{II} = 8,3 \cdot e^{-0,02 \cdot H}, \quad (12)$$

де H — товщина дорожнього покритву, мм.

Розрахунок строку служби дорожнього асфальтобетонного покритву на металевих автодорожніх мостах

Розрахунок проводять на строк служби не менший ніж строк експлуатації дорожнього покритву на металевих ортотропній плиті автодорожніх мостів з позиції термopружності між капітальними ремонтами згідно з [8, 13]. При розрахунку необхідно забезпечити виконання умови термopружності дорожнього асфальтобетонного покритву на автодорожніх мостах за показником пошкодженості:

$$M_T \leq C_{TP}, \quad (13)$$

де C_{TP} — гранично допустиме значення міри пошкодженості асфальтобетонного покритву, приймають рівним 1,0 [13];

M_T — міра пошкодженості від температурних напружень при коливанні температури (M_T).

Якщо виконана умова (13), проводять перевірку на відповідність розрахункового строку служби дорожнього покриття, що визначений за критерієм термопружності, нормативному строку служби:

$$T_{роз} > T_H, \quad (14)$$

де $T_{роз}$ — розрахунковий строк служби асфальтобетонного покриття, роки визначають за формулою (14);

T_H — нормативний строк служби асфальтобетонного покриття на металевих автодорожніх мостах, становить 15 років згідно з ДБН В.2.3-22 [8, 13].

$$T_{роз} = \frac{C_{TP}}{M_T} \cdot T_{ут}, \quad (15)$$

де $T_{ут}$ — уточнюючий строк служби асфальтобетонного покриття, для розрахунків приймають один рік.

Визначають міру пошкодженості від температурних напружень за коливання температури:

$$M_T = \int_0^{t_{ca}} \frac{(\sigma_T^p(t) + \sigma_T^d(t))^{-b(T)}}{B(T)} dt, \quad (16)$$

де B, b — параметри функції довговічності, наведені в **табл. 5**.

Визначають розрахункові розтягуючі температурні напруження протягом року за формулою:

$$\sigma_T^p(t) = (\alpha_{аб} \cdot k_{аб}^p - \alpha_{орт.пл} \cdot k_{орт.пл}^p) \cdot [E_{дз} + (E_{мт} - E_{дз})] \cdot \int_0^{t_p} \left(1 + \frac{1}{p \cdot k_{аб}^p \cdot \eta} \cdot e^{p(T_0 - Q + k_{аб}^p \cdot t_p)} - \frac{1}{p \cdot k_{аб}^p \cdot \eta} e^{p(T_0 - Q + k_{аб}^p \cdot \tau)}\right) \cdot k_{II} dt, \quad (17)$$

де $k_{аб}^p, k_{орт.пл}^p$ — коефіцієнт річної швидкості охолодження дорожнього покриття та металевої ортотропної плити, град, с/год;

Таблиця 5

Значення параметрів функції довговічності асфальтобетонів

Вид асфальтобетону	Марка бітуму	Нормативні значення параметрів функції довговічності, отриманих при температурі 0, °C	
		b	B
АЛГ-10	БМПА 40/60-57	7,15	12,91
	БМПА 60/90-53	6,71	11,89
АЛГ-15	БМПА 40/60-57	7,43	13,49
	БМПА 60/90-53	6,97	12,37
РМА-10	БМПА 40/60-57	6,91	11,07
	БМПА 60/90-53	6,40	10,08
РМА-15	БМПА 40/60-57	6,82	10,89
	БМПА 60/90-53	6,35	10,03
РМА-20	БМПА 40/60-57	6,65	10,70
	БМПА 60/90-53	6,25	9,92
ЕПА-10	БМПА 60/90-53	7,31	13,15

Для розрахунку термонапружень визначають параметри температурного режиму асфальтобетонного покриття наступним чином. Амплітуду річних коливань описують за формулою:

$$A_{np} = 0,5(T_{n,max} + T_{n,min}), \quad (18)$$

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

Швидкість охолодження визначають за залежностями:

— при добових коливаннях температури:

$$k_o = \frac{4A_o}{t_o}, \quad (19)$$

де t_o — період добових коливань температури ($t_o = 24$ год).

— при річних коливаннях температури:

$$k_p = \frac{4A_p}{t_p}, \quad (20)$$

де t_p — період річних коливань температури ($t_p = 8\,760$ год).

Середню температуру дорожнього покриття визначають за емпіричною залежністю:

$$T_c = -0,56\varphi + 41,91, \quad (21)$$

де φ — географічна широта місцевості.

Амплітуду добових коливань визначають за емпіричною залежністю:

$$A_o(z=0) = -0,47\varphi + 32,43, \quad (22)$$

де φ — географічна широта місцевості.

У випадку не виконання умови (13), необхідно замінити матеріал покриття і знову виконати розрахунок у наведеній послідовності.

Приклад розрахунку термопружності дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах наведено в методиці [13].

Висновки

Запропонована методика дозволяє розраховувати дорожнього покриття на металевих отротропних плитах автодорожніх мостів України з урахуванням кліматичних умов підвищеної довговічності з позиції термопружності.

Вона базується на сучасних дослідженнях, ураховує матеріалознавчі та конструктивні особливості дорожнього асфальтобетонного покриття, експлуатаційні умови і передовий світовий досвід, що дозволяє підвищити ефективність проєктних рішень. Застосування цієї методики сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик конструкцій дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах, підвищенню їхньої тріщиностійкості, стійкості до навантажень та довговічності. Це, у свою чергу, дасть змогу зменшити ризик передчасного утворення тріщин, скоротити витрати на ремонткування та експлуатаційне утримування дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах, а також забезпечити більш раціональне використання матеріально-технічних ресурсів у сфері дорожнього будівництва.

Впровадження методики розрахунку термонапружень конструкції дорожнього одягу мостового полотна сприятиме підвищенню його якості та довговічності на металевих автодорожніх мостах автомобільних доріг в Україні, що відповідає сучасним вимогам розвитку дорожньої інфраструктури та міжнародним стандартам.

Таким чином, впровадження вдосконаленого методу розрахунку термопружності дорожнього покриття на металевих автодорожніх мостах, використання новітніх матеріалів і технологій дозволить підвищити ефективність проєктування, будівництва та експлуатаційного утримування дорожнього покриття на мостах а і суттєво покращити його довговічність.

Список літератури

1. Богомолів В. О., Жданюк В. К., Разніцин І. Л., Богомолів С. В., Цинка А. О. Критерій довговічності асфальтобетонних шарів дорожніх одягів, *Вісник ХНАДУ*. 2017. Вип. 76. С. 74–79. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2017_76_14.
2. Гуляєв В. І., Шлюнь Н. В. Математичне моделювання внутрішньоструктурних термонапружень, що викликаються полями змінної температури в композитах зі стрижневою арматурою. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 28. С. 58–69. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.068>.
3. Гайдачук В. В., Мозговий В. В., Густелєв О. О., Шевчук Л. В. Аналіз деформування дорожнього покриття на металевій плиті південного моста. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2019. № 1. С. 31–39.
4. Густелєв О. О., Гуляєв В. І., Гайдачук В. В., Мозговий В. В., Заєць Ю. О., Шевчук Л. В., Шлюнь Н. В. Термопружний стан багатошарових дорожніх покриттів. Монографія/ Київ, 2018. 252 с.
5. Джигіт С. Г., Родін Ю. Л., Гнатюк Е. М., Кузьміна Н. А. Застосування нових технологій і матеріалів з метою забезпечення довговічності мостових споруд. *Автошляховик України*. № 3, Київ. 2000. С. 76–77.
6. Коваль П. М. Характеристика технічного стану існуючих мостів України. *Дороги і мости*. Вип. 1. Київ, 2003. С. 15–22.
7. Батракова А. Г., Урзик С. М. Методи оцінювання впливу тріщин на показники міцності та деформативності дорожнього одягу нежорсткого типу. *Науковий вісник будівництва*. № 1(103). Харків, 2021. С. 213–221.
8. ДБН В.2.3-22:2009 Мости та труби. Основні вимоги проектування. Київ. 2009, 52 с. (Інформація та документація).
9. Mozgoviy V., Onishchenko A., Nevinglovsky V. Investigation of Modified with a Polymer Latex Butonal NS 104 the Bitumen Preparation Parameters Influence on the Paving Bitumen Properties. *Former Soviet Union Area Workshop on Pavement Technologies*. 2010. P. 1–9.
10. Онищенко А.М. Теоретичні та практичні методи оцінювання надійності і довговічності транспортних споруд: монографія, Київ, 2024, 164 с. (ISBN 978-617-555-233-9)
11. 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
12. Онищенко А. М. Метод розрахунку міцності зчеплення асфальтобетонного покриття з проїзною частиною мосту при зсуві від дії екстреного гальмування транспортного засобу. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця, 2016. С. 12–19.
13. М 42.1-37641918-767:2017 Методика розрахунку асфальтобетонного покриття металевих автодорожніх мостів на довговічність. Київ, 2017, 34 С. (Інформація та документація).
14. М 02071168-708:2012 Методика розрахунку тонких асфальтобетонних шарів на жорсткій основі з урахуванням термопластичних властивостей асфальтобетону. Київ, 2012. 65 с. (Інформація та документація).
15. М 02070915-750:2016 Методика проектування асфальтобетонного покриття залізобетонних автодорожніх мостів. Київ, 2016. 23 С. (Інформація та документація).
16. А Д 2.4-37641918-003:2015 Альбом типових конструкцій дорожнього одягу мостового полотна. Київ, 2015. 45 с. (Інформація та документація).
17. Довідник № 2 розрахункових характеристик асфальтобетонів. Київ. 2018 43 с. (Інформація та документація).
18. Marchuk A. V., Onyshchenko A. M., Plazii I. P. (2021) Stability analysis of functionally graded plates based on the three-dimensional theory of elasticity. *Composites Part C: Open Access*. 2021. Issue 6. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100200>.
19. Onyshchenko, A., Gibalenko, O., Klymenko, N., Plazii, I., Semko, O. Evaluation Criteria the Corrosion Protection of Structures by Actual Condition. *Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. Lecture Notes in Civil Engineering*, vol 299. Springer, Cham. 2022. P. 243–252. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_20.

References

1. Bohomolov V. O., Zhdaniuk V. K., Raznitsyn I. L., Bohomolov S. V., Tsynka A. O. Kryterii dovhovichnosti asfaltobetonnykh shariv dorozhnikh odiahiv (Durability criterion of asphalt concrete layers of road surfaces), *Visnyk KhNADU*. 2017. Issue 76. P. 74–79. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vhad_2017_76_14 [in Ukrainian].
2. Huliaiev V. I., Shliun N. V. Matematychnе modeliuвання vnutrishnostrukturnykh termonapruzhen, shcho vyklykaiutsia poliamy zminnoi temperatury v kompozytakh zi stryzhnevoiu armaturoiu (Mathematical modeling of intrastructural thermal stresses caused by variable temperature fields in composites with rod reinforcement). *Dorohy i mosty*. Kyiv, 2023. Issue 28. P. 58–69. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.28.068> [in Ukrainian].
3. Haidaichuk V. V., Mozghovyi V. V., Hustieliev O. O., Shevchuk L. V. Analiz deformuvannya dorozhnoho pokryttia na metalevii plyti pivdennoho mosta. Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy (Analysis of deformation of the road surface on the metal slab of the southern bridge). 2019. No. 1. P. 31–39 [in Ukrainian].
4. Hustieliev O. O., Huliaiev V. I., Haidachuk V. V., Mozghovyi V. V., Zaiets Yu. O., Shevchuk L. V., Shliun N. V. Termopruzhenyi stan bahatosharovykh dorozhnikh pokryttiv (Thermoelastic state of multilayer road surfaces). Monohrafiia Kyiv, 2018. 252 p. [in Ukrainian].
5. Dzhyhit S. H., Rodin Yu. L., Hnatiuk E. M., Kuzmina N. A. Zastosuvannya novykh tekhnolohii i materialiv z metoiu zabezpechennia dovhovichnosti mostovykh sporud (Application of new technologies and materials to ensure the durability of bridge structures). *Avtoshliakhovyk Ukrainy*. No. 3, Kyiv. 2000. P. 76–77 [in Ukrainian].
6. Koval P. M. Kharakterystyka tekhnichnoho stanu isnuiuuchykh mostiv Ukrainy (Characteristics of the technical condition of existing bridges of Ukraine). *Dorohy i mosty*. Issue 1. Kyiv, 2003. P. 15–22 [in Ukrainian].
7. Batrakova A. H., Urzyk S. M. Metody otsiniuvannya vplyvu trishchyn na pokaznyky mitsnosti ta deformatsynosti dorozhnoho odiahu nezhorstkoho typu (Methods for assessing the impact of cracks on the strength and deformability of non-rigid road surfaces). *Naukovyi visnyk budivnytstva*. No. 1(103). Kharkiv 2021. P. 213–221 [in Ukrainian].
8. DBN V.2.3-22:2009 Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannya (DBN V.2.3-22:2009 Bridges and pipes. Basic design requirements). Kyiv. 2009. 52 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
9. Mozgoviy V., Onishchenko A., Nevinglovsky V. Investigation of Modified with a Polymer Latex Butonal NS 104 the Bitumen Preparation Parameters Influence on the Paving Bitumen Properties/ Former Soviet Union Area Workshop on Pavement Technologies. 2010. P. 1–9 [in English].
10. Onyshchenko A. M. Teoretychni ta praktychni metody otsiniuvannya nadiinosti i dovhovichnosti transportnykh sporud: monohrafiia (Theoretical and practical methods for assessing the reliability and durability of transport structures: monograph), Kyiv. 2024. 164 p. (ISBN 978-617-555-233-9) [in Ukrainian].
11. A. M. Onyshchenko, I. O. Mirchuk. Ensuring increased durability of pavement on reinforced concrete road bridges (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 [in English].
12. Onyshchenko A. M. Metod rozrakhunku mitsnosti zcheplennia asfaltobetonnoho pokryttia z proiznoi chastynoi mostu pry zsuvi vid dii ekstretnoho halmuvannya transportnoho zasobu (Method for calculating the adhesion strength of asphalt concrete pavement to the roadway of a bridge during displacement from the action of emergency braking of a vehicle). *Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu*. Vinnytsia, 2016. P. 12–19 [in Ukrainian].
13. M 42.1-37641918-767:2017 Metodyka rozrakhunku asfaltobetonnoho pokryttia metalevykh avtodorozhnikh mostiv na dovhovichnist (M 42.1-37641918-767:2017 Method for calculating asphalt concrete pavement of metal road bridges for durability). Kyiv. 2017. 34 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
14. M 02071168-708:2012 Metodyka rozrakhunku tonkykh asfaltobetonnykh shariv na zhorstkii osnovi z urakhuvanniam termoplastychnykh vlastyvostei asfaltobetonu (M 02071168-708:2012 Method for calculating thin asphalt concrete layers on a rigid base taking into account the thermoplastic properties of asphalt concrete). Kyiv. 2012. 65 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].

15. М 02070915-750:2016 Metodyka proektuvannia asfaltobetonnoho pokryttia zalizobetonnykh avtodorozhnikh mostiv (M 02070915-750:2016 Methodology for designing asphalt concrete pavement of reinforced concrete road bridges). Kyiv, 2016. 23 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
 16. A D 2.4-37641918-003:2015 Albom typovykh konstruksii dorozhnoho odiahu mostovoho polotna (A D 2.4-37641918-003:2015 Album of typical designs of road surface of bridge deck). Kyiv, 2015. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
 17. Dovidnyk No. 2 rozrakhunkovykh kharakterystyk asfaltobetoniv (Handbook No. 2 of calculated characteristics of asphalt concretes). Kyiv. 2018 43 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
 18. Marchuk A. V., Onyshchenko A. M., Plazii I. P. (2021) Stability analysis of functionally graded plates based on the three-dimensional theory of elasticity. *Composites Part C: Open Access*. 2021. Issue 6. P. 1–8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100200> [in English].
 19. Onyshchenko, A., Gibalenko, O., Klymenko, N., Plazii, I., Semko, O. (2022) Evaluation Criteria the Corrosion Protection of Structures by Actual Condition. Proceedings of the 4th International Conference on Building Innovations. ICBI 2022. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Issue 299. Springer, Cham. P. 243–252. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-17385-1_20 [in English].
-

Roman Lisnevskiy¹, <https://orcid.org/0000-0003-1128-913X>

Artur Onyshchenko², D.Sc., Professor, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

¹Municipal Enterprise «Directorate for the Construction of Road and Transport Facilities of Kyiv», Ukraine

²National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

METHODOLOGY FOR CALCULATING THERMAL STRESSES IN THE ROAD SURFACE ON THE METAL SLAB OF HIGHWAY BRIDGES

Abstract

Introduction. The article presents a methodology for calculating thermal stresses in asphalt concrete road pavement on metal orthotropic highway bridges for durability. This methodology takes into account materials science and design approaches, which allows designing road pavement on metal highway bridges with increased crack resistance to the effects of annual and daily temperatures.

Issues. Highway bridges are an important component of the transport network not only of cities, but also of the entire state. Every year, thousands of new vehicles appear in Ukraine, which leads to a change in the composition of traffic flows, an increase in load capacity and speed. In most European countries, restrictions have been introduced on the movement of heavy vehicles on the bridge deck design in order to ensure a longer service life of the pavement and structural elements of bridges, because the road pavement on metal highway bridges operates in more adverse conditions and, accordingly, higher requirements are imposed on it than on non-rigid road surfaces of highways. The road surface on metal road bridges must be resistant to cracking from temperature fluctuations. In connection with the listed conditions, there is an urgent need to develop an improved calculation method that would meet modern road construction requirements, contribute to increasing the durability of the road surface on metal road bridges, and ensure the rational use of economic resources.

Purpose of the work. The modern development of road construction requires constant improvement of approaches to the design and calculation of road surfaces on metal road bridges, in particular, to determine more optimal rational design solutions for the bridge deck. Taking into account the latest research, modern materials and innovative technologies allows to increase the durability of asphalt concrete road surface on metal road bridges, reduce the risk of thermal cracks and optimize the costs of their repair and operational maintenance.

The purpose of the work is to inform road specialists about the latest trends, methods and developments in the field of designing asphalt concrete road surface on metal slabs of road bridges. The proposed methodology is aimed at increasing the efficiency of design solutions, adapting existing methods to modern operating conditions and ensuring economically justified use of material and technical resources.

Materials and methods. The study used a comprehensive approach based on the analysis of scientific and technical developments in the field of asphalt concrete road pavement design on metal road bridges, as well as practical experience in its arrangement. In particular, the results of research conducted by the National Transport University and Kharkiv Automobile and Road University, which are based on many years of experience in providing services in the field of road construction, were taken into account.

The methodological basis of the work is the analysis of current construction codes and national standards of Ukraine, as well as their comparison with relevant foreign regulatory documents and technical literature. To ensure the comprehensiveness of the study, domestic and international experience gained during the design and installation of asphalt concrete pavement on orthotropic highway bridges was taken into account.

Analytical and experimental methods were applied using the provisions of the theory of elasticity, the theory of viscoelasticity, the kinetic theory of the strength of solids, standardized and special methods for studying the properties of asphalt concrete. Analysis of the results allows us to substantiate improved approaches to the design and implementation of effective design solutions on the bridge deck of highway bridges.

Results. Within the framework of the study, this methodology was developed on the basis of scientific research, an analysis of technical literature and current regulatory documents on the use of asphalt concrete pavement on metal highway bridges. The methodology is based on experimentally established calculation parameters of waterproof materials, namely: mastic asphalt, goose asphalt, epoxy asphalt, cast asphalt, thermal resistance studies, as well as developed analytical dependencies for calculating the durability of asphalt concrete pavement from the position of temperature crack resistance.

Updated approaches to calculating the thermoelasticity of the road surface on a metal orthotropic slab of highway bridges are based on modern scientific research, international experience and practical data, which allows to increase the durability of the asphalt concrete pavement, reduce the risk of uncontrolled cracking and improve the operational characteristics of bridge deck structures.

Conclusions. The proposed method of thermal stresses in asphalt concrete road pavement on a metal orthotropic slab of highway bridges improves existing approaches to design the design of a bridge deck of increased durability is a continuous process of calculating the coating for strength and frost resistance with a feasibility study of options. It is based on modern research, takes into account the material science and design features of asphalt concrete road pavement, operating conditions and advanced world experience, which allows to increase the effectiveness of design solutions. The use of this method will contribute to improving the operational characteristics of road pavement structures on metal highway bridges, increasing their crack resistance, load resistance and durability. This, in turn, will reduce the risk of premature cracking, reduce the cost of repair and operational maintenance of the road pavement on metal highway bridges, and also ensure more rational use of material and technical resources in the field of road construction.

The introduction of a method for calculating thermal stresses in the design of a road bridge deck will contribute to improving the quality and durability of asphalt concrete pavement on metal highway bridges in Ukraine, which meets modern requirements for the development of road infrastructure and international standards.

Keywords: road surface, bridge deck design, metal orthotropic bridge slab, highway bridge, thermoelastic deformations, asphalt concrete, temperature, durability, thermo-viscoelastic properties.