

УДК 625.84

Онищенко А. М., *д-р техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Цепелев С. Ю., <https://orcid.org/0000-0001-7232-4651>

Чиженко Н. П., *канд. техн. наук, доц.*, <https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>

Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

ПРОГНОЗУВАННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЦЕМЕНТОБЕТОННОГО ПОКРИТТЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ВІД ДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Анотація

Вступ. В останні роки на автомобільних дорогах в усьому світі спостерігається тенденція збільшення інтенсивності руху транспортних засобів, зростає частка великовантажних автомобілів та автопоїздів із збільшеною кількістю осей, загальною вантажопідйомністю, підвищеним тиском у пневматиках.

Проблематика. При проектуванні дорожнього одягу необхідний запас міцності матеріалу шару на повторність дії навантаження повинен призначатися залежно від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, його розподілу по ширині проїзної частини, строку служби дороги і від здатності матеріалу чинити опір руйнуванню від втоми.

Мета. Розробити метод прогнозування довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг від дії транспортних засобів.

Результати. На основі наведених теоретичних досліджень пропонується визначати міру пошкодження структури цементобетонного покриття від дії транспортних засобів. .

Висновки. Для прогнозування довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг від дії транспортних засобів запропоновано аналітичну залежність, яка враховує сумарну інтенсивність руху, що визначається за методикою ГБН В.2.3-37641918-557 та гранично допустимую кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого напруження при згині.

Ключові слова: автомобільна дорога, втома, довговічність, напруження, покриття, транспортний засіб, тріщиностійкість, цементобетон.

Актуальність роботи

За останню чверть століття збільшення обсягу перевезень і підвищення вантажопідйомності автотранспортних засобів призвели до того, що на строк служби дорожнього одягу разом з кліматичними умовами істотно впливає дія транспортних засобів. Втома матеріалів під дією повторних навантажень стала основною причиною виникнення тріщин при згині цементобетонних покриттів. При проектуванні дорожнього одягу необхідний запас міцності матеріалу шару на повторність дії навантаження повинен призначатися залежно від інтенсивності руху, складу транспортного потоку, його розподілу по ширині проїзної частини, строку служби дороги та від здатності матеріалу чинити опір руйнуванню від втоми

Розрахунок цементобетонних покриттів на основі теорії пружності вперше фундаментальний внесок у методи розрахунку був розроблений американським вченим Вестергард Г. М. (Harold Malkolm Westergaard), в якому застосовувалася модель Фусса-Вінклера, і характеризується коефіцієнтом основи. Фусс розв'язав задачу про згин плити на вінклерівській основі за різного розташування навантаження: у центральній частині плити, на краю і в куті. Він

запропонував формулу для напружень і вертикальних переміщень, неодноразово вдосконалюючи своє рішення [1–3]. Також з Вестергард Г. М. цінний внесок в теорію розрахунку внесли такі зарубіжні вчені, як Бредбері, Харджер, Ольдер, Вільямс, Вільсон та інші [2].

Тривалий час розрахунок дорожнього одягу із цементобетонним покриттям виконувався за методом граничних станів. Завдання розрахунку полягало в тому, щоб забезпечити запас міцності для запобігання настання в період експлуатації під впливом транспортних навантажень і природно-кліматичних факторів граничного стану. Перша теорія ґрунтується на такій гіпотезі: у момент настання граничного стану конструкція не здатна чинити опір зовнішнім впливам, що призводить до втрати несної здатності. Несна здатність покриття забезпечувалася умовою:

$$M_p \leq M_{пр}, \quad (1)$$

де M_p — розрахунковий момент в перерізі плити при найбільш не вигідному положенні коліс;

$M_{пр}$ — гранично допустимий для даного перетину згинальний момент.

Згідно з діючим нормативно-технічним документом ГБН В.2.3-37641918-557 та ВБН В.2.3-218 цементобетонні покриття розраховують на тріщиностійкість від дії транспорту згідно першої теорії міцності, яка базується на зіставленні розрахункової міцності бетону на розтяг при згині і напруженні, що виникають внаслідок прикладання навантаження і температури. Напруження розтягу в разі згину визначають для розрахунку товщини покриття за умови гарантованого повного контакту плити з основою за рахунок стійкості земляного полотна і відсутності нерівномірних осідань або випирань [9]. Згідно з даним нормативним методом вимагається, щоб напруження, що виникають у покритті дорожнього одягу при прогині від дії повторних короткочасних навантажень, не викликали порушення структури цементобетону, не утворювались тріщини, тобто повинна забезпечуватись умова:

$$K_{пр} \leq \frac{R_{роз}}{\sigma_{pt}}, \quad (2)$$

де $K_{пр}$ — коефіцієнт міцності;

$R_{роз}$ — розрахункова міцність бетону на розтяг при згині;

σ_{pt} — напруження розтягнення при вигині, що виникають в бетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити.

У разі, коли напруження перевищать міцність при згині, настане руйнування цементобетонного покриття. Виникнення напружень в бетонному покритті пов'язано з такими факторами, як: тимчасове навантаження; коливання температури; зміна вологості цементобетону; зміна властивостей ґрунтів земляного полотна під впливом намочування і висушування; спучування ґрунту земляного полотна під впливом промерзання. Під час дії навантажень на подошві цементобетонному покритті виникають максимальні напруження у центрі поздовжнього зовнішнього краю за довжиною плити. Але постійна дія навантаження саме в цьому набагато менша і становить декілька відсотків від розрахункового числа проїздів для центральної частини плити (в методі РАС прийнято 6 %) [3].

Критеріями стійкості основи є стійкість незв'язних матеріалів в шарах основи і ґрунту земляного полотна зсуву; стійкість до недопустимих деформацій під торцями плит і недопустимих уступів між плитами. Для доріг I–III категорій величину гранично допустимих деформацій або висоту уступів між плитами у поперечних швах встановлюють не більше ніж 0,3 см. Друга теорія

міцності ґрунтується на такій гіпотезі: під час розрахунку за критерієм недопустимих уступів між плитами (висотою не більше ніж 0,3 см) стійкість вважають забезпеченою за умови:

$$q_{\text{роз}} \leq q_{\text{доп}}, \quad (3)$$

де $q_{\text{роз}}$ — розрахунковий тиск (МПа) на основі під час навантаження обох кутів плит біля поперечного шва;

$q_{\text{доп}}$ — допустимий тиск (МПа) на основу визначається за формулою.

Третя теорія міцності ґрунтується на такій гіпотезі: під час розрахунку конструкції у пружній стадії за заданого рівня надійності стійкість основи вважається забезпеченою за умови [3, 9]:

$$K_{\text{пр}} \leq T_{\text{доп}} / T_{\text{акт}}, \quad (4)$$

де $T_{\text{доп}}$ та $T_{\text{акт}}$ — активні та допустимі напруження зсуву, визначають згідно з [13] із урахуванням, що у зоні швів покриття розрахунковий модуль пружності $E_{\text{роз}}$ цементобетонного покриття набуде значень, які наведені у табл. 2.3 [3, 9].

Однак, вище зазначені теорії міцності можна застосовувати тільки за крихкого руйнування. І не можуть враховувати одночасно міру пошкодження монолітної структури цементобетонного покриття автомобільних доріг від дії усадки цементобетону при твердінні, зміни спільного впливу річних і добових температур, та дії пневматичних коліс транспортних засобів.

Під дією пневматичних коліс транспортних засобів у цементобетонному покритті виникають деформації згину при відповідному часі дії навантаження, а при зміні температури покриття — деформація стиск, розтяг і згин. Тривалість деформації залежить від часу дії навантаження або температури [11]. Виходячи із існуючих теоретичних положень про властивості матеріалів на основі неорганічних в'язучих (цементобетону), зрозуміло, що для забезпечення їх суцільності необхідно мати дещо іншу умову тривалої міцності, що враховує характер руйнування при змінному в часі напруженні і змінній в часі температурі. Тому що для збереження суцільності матеріалів на неорганічному в'язучому, що виявляють пружні, в'язко-пластичні властивості, недостатньо, як було сказано вище, традиційних для пружних матеріалів вимог (напруження в будь-який момент менші межі міцності матеріалу), а варто ще врахувати закономірності попередньої зміни напруження.

Для вирішення поставлених задач, необхідно мати умову міцності, що враховує часовий характер руйнування цементобетонного покриття при змінних в часі напружень і температурі.

Вихідною інформацією про міцнісні властивості цементобетонного покриття автомобільних доріг при вивченні тривалої міцності є, як відомо, результат випробування на довговічність при постійному навантаженні (наприклад, в умовах осьового розтягу) і постійній температурі T . При цьому визначають, як правило, залежність часу до руйнування t^* від напруження та температури, що витримує зразок, від часу дії постійного навантаження і від температури:

$$t^* = t^*(\sigma, T). \quad (5)$$

Найчастіше використовують степеневий або експонентний вираз для цих залежностей [3]:

$$t^*(\sigma, T) = B_t \sigma^{-b}, \quad (6)$$

де B_t та b — постійні, що залежать від температури.

Формула (6) — відома залежність Бартенева Г.М., розглянемо застосування якої до бетонів.

У даному випадку для оцінки довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг з урахуванням характеру дії навантаження транспортних засобів зміни температури та усадки бетону, пропонується визначати граничний стан яким можна описувати умову довготривалої міцності Іллюшина чи Бейлі відповідно [3]:

$$\int_0^{t_p} \frac{d\sigma(t)}{\sigma^*(\sigma(t_p - t), T(t))} \leq 1; \quad (7)$$

$$\int_0^{t_p} \frac{dt}{t^*(\sigma(t), T(t))} \leq 1, \quad (8)$$

- де t_p — час до руйнування (розтріскування) покриття;
 t^* — функція довговічності цементобетону;
 σ^* — граничне напруження цементобетону;
 $\sigma(t)$ — напруження в цементобетоні;
 $T(t)$ — температура цементобетону.

Як відомо з результатів наукових досліджень [1–7], що правило лінійного підсумовування, як критерій Бейлі, більш простіший і зручний у застосуванні, особливо в інженерних розрахунках, порівняно із критерієм Іллюшина. Враховуючи, що критерій Бейлі можна використовувати для прогнозування довговічності цементобетонного покриття [10,11]. Тому на практиці існують різні варіанти конструкції жорсткого дорожнього одягу, для руху сучасних транспортних засобів.

Пропонується варіант (рис. 1) конструкції жорсткого дорожнього одягу з різними шарами основи під цементобетонне покриття, а саме: щербинь гранітний за способом заклинки та (або) пісний бетон, асфальтобетон. Розрахункове місце прикладення навантаження до цементобетонного покриття дорожнього одягу — поздовжній зовнішній край у центрі по довжині плити.

Між шаром цементобетонного покриття й укріпленої основи для можливості вільного переміщення плити при температурних деформаціях використовується геотекстильний прошарок або поліетиленової плівки (рис. 1). Цей принцип використовується для подальшого розрахунку жорсткого дорожнього одягу.

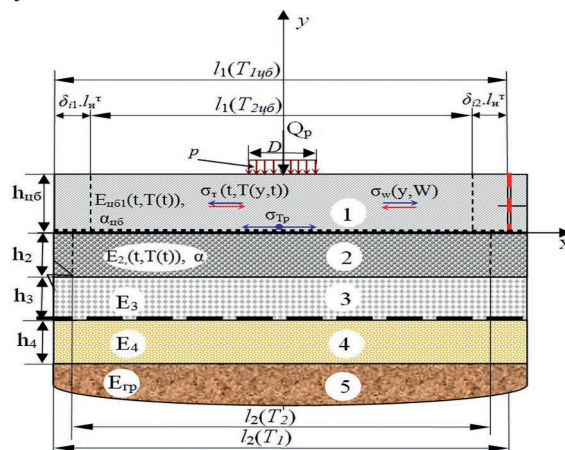


Рисунок 1 — Розрахункова схема цементобетонного покриття автомобільної дороги з урахуванням спільного впливу усадки цементобетону при твердінні, зміни температури і дії пневматичних коліс транспортних засобів

Конструкція дорожнього одягу (рис. 1) включає в себе: 1 — цементобетонне покриття (завтовшки від $h_{\text{цб}} = (17-28)$ см); розділюючий прошарок із геотекстилю або поліетиленової плівки; 2 — щебінь гранітний фр. 20-40 мм за способом заклинки та (або) пісний бетон та (або) асфальтобетон; 3 — щебінь гранітний фр. 40-70 мм, за способом заклинки; геосинтетичний розділюючий матеріал; 4 — шар піску дрібнозернистого; 5 — ґрунт земляного полотна; $\Leftrightarrow \sigma_w(y, W)$ — напруження від усадки цементобетону; $\Leftrightarrow \sigma_t(t, T(y, t))$ — температурні напруження; $\sigma_{\text{Гр}}$ — горизонтальні нормальні напруження; $\delta_{i2} \cdot l_{\text{н}}^{\text{Г}}$, $\delta_{i1} \cdot l_{\text{н}}^{\text{Г}}$ — довжина, на яку скорочується цементобетонне покриття; $\delta_{i1} \cdot l_{\text{н}}^{\text{Г}}$, $\delta_{i2} \cdot l_{\text{н}}^{\text{Г}}$ — довжина на яку скорочується цементобетонне покриття, де $\delta_{i1} + \delta_{i2} = 1$; $l_1(T_{\text{цб}})$, $l_2(T_1)$ — довжина цементобетонного покриття та основи до початку температурного скорочення; $l_1(T_{2\text{цб}})$, $l_2(T_2)$ — довжина відповідно цементобетонного покриття та основи, після температурного скорочення; $\alpha_{\text{цб}}$, α — коефіцієнт лінійного температурного розширення цементобетону та основи; $E_{\text{цб1}}(t, T(t))$, $E_2(t, T(t))$ — модуль пружності цементобетону та основи, який залежить від часу дії навантаження; E_3 , E_4 , $E_{\text{Гр}}$ — модуль пружності відповідних шарів основи.

Проведені багаточисленні результати випробувань Малеванським Г. В., Радовським Б. С., дорожньо-будівельних матеріалів, що містять неорганічні в'язучі (цемент) речовини, підтверджуються, що опірність цих матеріалів повторним навантаженням описується однотипним рівнянням [3]. Тому значення N встановлюється за аналітичною залежністю:

$$N(t) = \left(\frac{K_p \cdot R_i^p}{\sigma_p(t)} \right)^m, \quad (9)$$

де K_p — комплексний коефіцієнт, рівний $K_p = 1,65$ для доріг I-а категорії, $K_p = 1,60$ — I-б — II, $K_p = 1,55$ — III та $K_p = 1,50$ для доріг IV–V категорії;
 R_i^p — розрахункова міцність цементобетону на розтяг при згині визначається згідно з [10]:

$$R_i^p = B_{\text{tb}} \cdot K_M \cdot K_y \cdot K_{\text{морз}}, \quad (10)$$

де B_{tb} — клас бетону за міцністю на розтяг при згині;
 K_M — коефіцієнт набору міцності цементобетону залежно від температури повітря;
 K_y — коефіцієнт втоми цементобетону за повторного навантаження;
 m — показник втоми цементобетону (приймається 0,063) або за експериментальними даними;
 $K_{\text{морз}}$ — коефіцієнт морозостійкості цементобетону (приймається 0,96) або визначається за залежністю:

$$K_{\text{морз}} = \frac{R_{\text{btb}}^n}{R_{\text{btb}}}, \quad (11)$$

де R_{btb} , R_{btb}^n — міцність на розтяг при згині цементобетонних зразків-балочок відповідно до i , після n циклів заморожування та відтавання;
 R_i^p — розрахункова міцність на розтяг при згині залежно від коефіцієнт міцності заданої надійності та дії розрахункового транспортного навантаження;
 $\sigma_p(t)$ — розрахункове напруження розтягу при згині з урахуванням коефіцієнт міцності заданої надійності, що виникають у цементобетонному покритті від дії навантаження з урахуванням перепаду температури по товщині плити.

На основі вище наведених теоретичних досліджень пропонується визначати міру пошкодження структури цементобетонного покриття від дії транспортних засобів. Як відомо із вище наведеного аналізу, що модуль пружності цементобетонного покриття на автомобільних дорогах змінний від часу дії навантаження, а також підтверджено, результатами теоретичних та експериментальних досліджень таких вчених як Солодкого С. Й., Левіцького Е. Ф., Чернігова В. А., Радовського Б. С., Мозгового В. В., Шейкіна А. Е. та ін. Тому від дії транспортних засобів у цементобетонному покритті автомобільних доріг виникають розтягуючі напруження і з часом відбуваються втомні пошкодження. У зв'язку з тим, що з кожним роком збільшується навантаження великовагових транспортних засобів призводить до збільшення тиску в шині колеса, що передається на цементобетонне покриття автомобільних доріг.

У нашому випадку на цементобетонне покриття, автомобільної дороги діє колісне навантаження, яке викликає розтягуючі напруження, тому міра пошкодження від зміни напружень та дії транспортних засобів приймається за виразом $M_{T_p}(t)$.

Як показують дослідження багатьох авторів, питання про величину коефіцієнта динамічності суперечливі та дискусійні. На основі узагальненого експериментального і теоретичного матеріалу було встановлено [11], що «рухомі автомобілі передають на дорожній одяг короткочасний вплив, величина якого, в залежності від швидкості руху, більше статичного у 1,55–1,8 рази навіть при нерівностях, що залишаються на знову влаштованих покриттях».

Розвитку динамічних розрахунків жорстких дорожніх одягів при впливі рухливих автомобільних навантажень, що не використовуються присвячені роботи Біруля О. К., Булавко А. Г., Глушкова Г. І., Защепіна А. Н., Коганзона М. С., Смирнова А. В., Самойленко Б. Б., Ярового В. Є. та ін. авторів. Другий спосіб розрахунку жорстких дорожніх одягів виконується із використанням динамічних значень модулів пружності дорожньо-будівельних матеріалів, що наближає роботу дорожніх одягів до реальних умов при короткочасному впливі транспорту, що рухається.

У роботі для розрахункової схеми (див. **рис. 1**) згідно з ГБН В.2.3-37641918-557 напруження σ_{pt} , які виникають від розтягу при згині визначають для розрахунку товщини покриття при умові гарантованого повного контакту плит з основою за рахунок стійкості земляного полотна і відсутності нерівномірних осідань або здимання.

Також для оцінювання міцності цементобетонного покриття згідно з нормативним документом [8, 9] пропонується визначати напруження розтягу σ_p в разі згину для обчислення товщини покриття за умови гарантованого повного контакту плити з основою і відсутності нерівномірних осідань або випирань за залежністю:

$$\sigma_p = K_{mc} \cdot \sigma_{pt}, \quad (12)$$

де K_{mc} — коефіцієнт міцності з урахуванням заданого рівня надійності (приймається за [173]);

σ_{pt} — напруження розтягу при згині, що виникають у бетонному покритті від дії навантаження, з урахуванням перепаду температури по товщині плити приймається за [173] або визначається за допомогою моделювання методом скінчених елементів, що наведено нижче.

$$\sigma_{pt} = \frac{Q_p \cdot K_M \cdot 60 \cdot K_{ymb} \cdot K_{шт} \cdot (0,0592 - 0,09284 \cdot \ln(\frac{R}{l_{np}}))}{h^2 \cdot K_t}, \quad (13)$$

де Q_p — розрахункове навантаження, кН, приймається згідно з табл. Б ДБН В.2.3-4;

- h — товщина цементобетонної плити, м;
- D — діаметр кола, рівновеликого за площею відбитку колеса, см;
- K_M — коефіцієнт, що враховує вплив місця розташування навантаження: для неармованих покриттів $K_M = 1,5$; для покриттів з крайовим армуванням або майданчиків з розташуванням смуг накату не ближче ніж 0,8 м; зовнішнього поздовжнього краю покриття — $K_M = 1,0$ для поздовжнього напрямку і $K_M = 1,5$ для поперечного;
- $K_{умв}$ — коефіцієнт, що враховує умови роботи, рівний 0,66;
- $K_{шт}$ — коефіцієнт, що враховує вплив штирових з'єднань на умови контакту плит з основою: при наявності у поперечних швах штирів $K_{шт} = 1$, при відсутності штирів $K_{шт} = 1,05$;
- R — радіус відбитка колеса, см;
- $l_{пр}$ — пружна характеристика плити, см;
- K_t — коефіцієнт, що враховує вплив температурного короблення плит і визначається за таблицею 6.3 [77].

Оскільки характеристики міцності цементобетону залежать як від температури, так і від часу дії навантаження, проявляючи кінетичний характер руйнувань, то граничне прикладання навантаження на цементобетонне покриття на автомобільних дорогах визначали з використанням феноменологічного підходу у вигляді сумарної міри пошкодження структури цементобетону $M_{п}$ за час t зміни напруження, що відповідають певному рівню напружень для розрахункової схеми (див. **рис. 1**) [11].

Міра пошкодження від дії транспортних засобів залежить від часу (t) і визначається за аналітичною залежністю (14):

$$M_{Tp}(t) = \frac{N_{pt}}{N(t)}, \quad (14)$$

- де N_{pt} — сумарна інтенсивність руху, яку визначають за методикою ГБН В.2.3-37641918-557;
- $N(t)$ — гранично допустима кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого напруження σ_p при згині.

Міру пошкодження цементобетонного покриття від зміни напружень від транспортних засобів визначають за такою залежністю:

$$M_{Tp}(t) = \frac{N_p \cdot n_c \cdot \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)}}{\left(\frac{K_p \cdot B_{tb} \cdot K_M \cdot K_y \cdot L_{морз}}{Q_p \cdot K_M \cdot 60 \cdot K_{умв} \cdot K_{шт} \cdot (0,0592 - 0,09284 \cdot \ln(\frac{R}{l_{пр}}))} \right) \cdot \frac{K_{мц}}{h^2 \cdot K_t}} \right)^m, \quad (15)$$

- де n_c — кількість днів року з позитивною температурою повітря (приймається за довідковими даними);
- q — знаменник, що описує щорічний приріст інтенсивності руху;

t — строк служби цементобетонного покриття автомобільної дороги до капітального ремонту.

У даному випадку під пошкодженістю розуміють формальне кінетичне поняття незворотних розривів ушкоджень зв'язків у цементобетонному покритті автомобільної дороги, що накопичуються у часі за визначеного характеру впливу основних факторів. Міра пошкодження у даному випадку — відносний параметр, що характеризує ступінь ушкодження структури цементобетону при впливі руйнівних факторів, порівняно із максимально можливим значенням пошкодження (у даному випадку руйнування).

Висновки

Для прогнозування довговічності цементобетонного покриття автомобільних доріг від дії транспортних засобів запропоновано аналітичну залежність (14), яка враховує сумарну інтенсивність руху, що визначається за методикою ГБН В.2.3-37641918-557 та гранично допустиму кількість розрахункового навантаження, що може витримати цементобетонне покриття при дії горизонтального розтягуючого напруження при згині.

Список літератури

1. Радовский Б.С. Цементобетонные покрытия в США: конструкции. *Автомобильные дороги*. США, 2015. № 2. С. 48–57.
2. Радовский Б.С. Прочность и расчет бетонных покрытий в США. *Бетон и Железобетон*. Киев, 2011. Вып. 2. С. 2–14.
3. Радовський Б.С. Проблеми механіки дорожньо-строительних матеріалів і дорожніх одягів. Київ, 2003. 240 с.
4. Солодкий С. Й., Думич І. Ю. Вплив типу основи на витривалість монолітних цементобетонних дорожніх покриттів. *Автошляховик України*. 2014. № 2. С. 23–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2014_2_8 (дата звернення: 02.02.2021).
5. Солодкий С. Й., Думич І. Ю. Деякі аспекти конструювання монолітних цементобетонних дорожніх покриттів за критерієм динамічної стійкості. *Автошляховик України*. 2015. № 1-2. С. 81–83. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_1-2_24 (дата звернення: 02.02.2021).
6. Солодкий С. Й., Томачев С. М. Зміна тріщиностійкості дорожнього бетону в експлуатаційній стадії. *Вісник ОДАБА*. Одеса, 2014. № 55. С. 230–235.
7. Солодкий С. Й., Русин Р. М. Модифіковані бетони на композиційних цементах для влаштування жорстких дорожніх одягів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. Київ, 2004. Вип. 72. С. 89–94.
8. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2016. 104 с. (Інформація та документація).
9. ГБН В.2.3-37641918-557:2016 Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 75 с. (Інформація та документація).
10. Онищенко А. М., Худолій С. М., Чиженко Н. П. Числове моделювання впливу розташування транспортного навантаження на цементобетонне покриття автомобільних доріг. *Вісник НТУ. Серія «Технічні науки»*. Київ, 2020. Вип. 46. С. 237–253.
11. Чиженко Н. П. Удосконалення методу оцінювання цементобетонного покриття автомобільних доріг: дис. канд. техн. наук Київ, 2021. 282 с.

References

1. Radovsky B.S. Tsementobetonnyye pokrytiya v SShA: konstruktzii [Cement concrete coatings in the United States: structures]. *Roads*. 2015. №2. P. 48–57 [in Russian].
2. Radovsky B.S. Prochnost i raschet betonnykh pokrytiy v SShA [Strength and calculation of concrete coatings in the United States]. *Concrete and Reinforced Concrete*. 2011. № 2. P. 2–14. [in Russian].
3. Radovsky B.S. Problemy mekhaniki dorozhno-stroitelnykh materialov i dorozhnykh odezhd [Problems of mechanics of road-building materials and road clothes]. *Concrete and Reinforced Concrete*. Kyiv, 2003. 240 p. [in Russian].
4. Solodkyy S. Y., Dumych I. Yu. Vplyv typu osnovy na vytryvalist monolitnykh tsementobetonnykh dorozhnykh pokryttiv [Influence of the base type on the durability of monolithic cement-concrete pavements]. *Motorway of Ukraine*. 2014. № 2. P. 23–26. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2014_2_8 (Last accessed: 02.02.2021) [in Ukrainian].
5. Solodkyy S. Y., Dumych I. Yu. Deyaki aspekty konstruyuvannya monolitnykh tsementobetonnykh dorozhnykh pokryttiv dlya kryteriyem dynamichnoyi stiykosti [Some aspects of construction of monolithic cement-concrete road coverings by the criterion of dynamic stability]. *Avtoshlyakhovyk Ukrainy*. 2015. № 1-2. P. 81–83. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/au_2015_1-2_24 (Last accessed: 02.02.2021) [in Ukrainian].
6. Solodkyy S. Y., Tomachev S.Y. Zmina tryvozhnosti dorozhn'oho betonu v sluzhboviiy stadiyi [Change of crack resistance of road concrete in the operational stage]. *Bulletin of ODABA*. Odesa, 2014. № 55. P. 230–235 [in Ukrainian].
7. Solodkyy S.Y., Rusyn R.M. Modyfikovani betony na kompozytsiynnykh tsementakh dlya rehulyuvannya zhorstkykh dorozhnykh odyahiv [Modified concretes on composite cements for the device of rigid pavements]. *Motor roads and road construction*. Kyiv, 2004. Issue 72. P. 89–94 [in Ukrainian].
8. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannya. Chastyna II. Budivnytstvo [State Building Norms (DBN V.2.3-4:2015) Highways. Part I. Design. Part II. Building]. Kyiv, 2016. 104 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. HBN V.2.3-37641918-557:2016 Avtomobilni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyy. Proektuvannya [Industry Building Norms (HBN V.2.3-37641918-557:2016) Roads. Road clothes are hard. Designing]. Kyiv, 2016. 75 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
10. Onyshchenko A.M., Khudoliy S.M., Chyzhenko N.P. Numerical modeling of the influence of the location of the transport load on the cement-concrete pavement of highways. *Bulletin of NTU. Series «Technical Sciences»*. Kyiv, 2020. N 46. P. 237–253 [in Ukrainian].
11. Chyzhenko N.P. Improvement of the method of evaluation of cement-concrete pavement of highways [Scientific bases of improvement of the method of evaluation of cement-concrete pavement of highways] : thesis (Cand.teh.Sc.). Kyiv, 2021. 282 p. [in Ukrainian].

Artur Onyshchenko, D.Sc., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-1040-4530>

Sergii Tsepelev, <https://orcid.org/0000-0001-7232-4651>

Nataliia Chyzhenko, Ph.D., Associate Prof., <https://orcid.org/0000-0002-9152-2474>

National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

FORECASTING THE DURABILITY OF CEMENT CONCRETE ROAD PAVEMENT FROM VEHICLES

Abstract

Introduction. In recent years, there has been a tendency to increase the intensity of vehicle traffic on highways around the world, the share of trucks and road trains with an increased number of axles, total load capacity, increased tire pressure is growing.

Problems. When designing pavement, the required margin of strength of the layer material to repeat the load should be assigned depending on traffic intensity, traffic flow, its distribution across the width of the roadway, road life and the ability of the material to resist destruction from fatigue.

Goal. Develop a method for predicting the durability of cement concrete pavement from the action of vehicles.

Results. On the basis of the given theoretical researches it is offered to define a degree of damage of structure of a cement concrete covering from action of vehicles. As is known from the above analysis, the modulus of elasticity of cement concrete pavement on highways is variable from the time of loading, and also confirmed by the results of theoretical and experimental studies of scientists such as Solodkoy S. Y., Levitsky E. F., Chernigova V. A., Radovsky B. S., Mozgovoy V. V., Sheikina A. E etc. Therefore, tensile stresses arise from the action of vehicles in the cement-concrete pavement of highways and fatigue damage occurs over time. Due to the fact that the load of heavy vehicles increases every year, the pressure in the tire increases, which is transmitted to the cement-concrete pavement of highways.

Conclusions. To predict the durability of cement-concrete pavement of roads from the action of vehicles, an analytical dependence is proposed, which takes into account the total traffic intensity determined by GBN B.2.3-37641918-557 and the maximum allowable amount of design load that can withstand cement-concrete pavement under horizontal tension. when bending.

Keywords: road, fatigue, durability, stress, pavement, vehicle, crack resistance, cement concrete.