

УДК 625.7/8

Зеленовський В. А.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>Райковський В. Ф.<sup>1</sup>, канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>Рибальченко С. А.<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>Гамеляк І. П.<sup>2</sup>, д-р техн. наук, проф., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561><sup>1</sup>Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна<sup>2</sup>Національний транспортний університет (НТУ), м. Київ, Україна

### УДОСКОНАЛЕННЯ ПІДХОДІВ ДО РОЗРАХУНКУ ВІДСТАНІ МІЖ ДЕФОРМАЦІЙНИМИ ШВАМИ В ДОРОЖНЬОМУ ЦЕМЕНТОБЕТОННОМУ ПОКРИВІ

#### *Анотація*

**Вступ.** Деформаційні шви є невід’ємною складовою конструкції дорожнього цементобетонного покриття, оскільки вони забезпечують компенсацію температурних та усадкових деформацій, запобігаючи неконтрольованому утворенню тріщин. Рациональне проектування відстані між деформаційними швами є одним із ключових факторів, що впливає на довговічність і несну здатність дорожнього покриття. Неправильний розрахунок цих параметрів може призвести до передчасного руйнування конструкції, зниження її експлуатаційної надійності, збільшення витрат на ремонткування і технічне обслуговування [1 – 6].

У цій статті розглядається питання удосконалення підходів до розрахунку відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті на основі проекту ДСТУ «Настанова з проектування жорсткого дорожнього одягу» (далі — проект ДСТУ), що наразі знаходиться на стадії розроблення ДП «НІРІ» за участі Національного транспортного університету. Запропоновані методи розроблені з урахуванням передового вітчизняного та світового досвіду проектування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом, аналізу чинних нормативно-правових актів, будівельних норм, науково-технічної літератури, а також сучасних дорожньо-будівельних матеріалів і технологій. Особливу увагу приділено особливостям дорожньо-кліматичних районів України, що дозволяє адаптувати методiku до реальних умов експлуатування дорожнього покриття.

**Проблематика.** Проектування жорсткого дорожнього одягу є складним інженерним завданням, що потребує точного урахування всіх експлуатаційних факторів, зокрема визначення оптимальної відстані між деформаційними швами. Невідповідність існуючих методик реальним умовам експлуатування може спричинити передчасне руйнування цементобетонного покриття, появу неконтрольованих тріщин та збільшення витрат на ремонткування і експлуатаційне утримування автомобільних доріг.

Сучасний підхід до проектування повинен уніфікувати та вдосконалити методiku розрахунку відстані між деформаційними швами, урахуовуючи фізико-механічні властивості цементобетону, температурно-вологісний режим, тип і інтенсивність транспортного навантаження, особливості дорожньо-кліматичних районів України. Визначення відповідних параметрів має здійснюватись на основі достовірних вихідних даних, що дозволить підвищити довговічність дорожнього покриття та забезпечити ефективне використання матеріально-технічних ресурсів.

Отже, нагальною є потреба в розробленні удосконаленої методики, яка б відповідала сучасним вимогам дорожнього будівництва, сприяла підвищенню експлуатаційної надійності дорожнього цементобетонного покриття та забезпечувала економічно доцільне використання ресурсів.

**Мета роботи.** Сучасний розвиток дорожнього будівництва вимагає постійного вдосконалення підходів до проектування жорсткого дорожнього одягу, зокрема визначення оптимальних відстаней між деформаційними швами. Урахування новітніх наукових досліджень, сучасних матеріалів та

інноваційних технологій дозволяє підвищити довговічність і надійність цементобетонного покриття, зменшити ризик утворення тріщин та оптимізувати витрати на ремонтування і експлуатаційне утримування автомобільних доріг.

Метою роботи є інформування фахівців дорожнього господарства про новітні тенденції, методики та розробки у сфері проектування жорсткого дорожнього одягу, зокрема щодо удосконалення підходів до визначення раціональної відстані між деформаційними швами дорожнього цементобетонного покриття. Запропоновані рішення спрямовані на підвищення ефективності проєктних рішень, адаптацію існуючих методик до сучасних умов експлуатування та забезпечення економічно обґрунтованого використання матеріально-технічних ресурсів.

Матеріали і методи. Під час дослідження використано комплексний підхід, що базується на аналізі науково-технічних напрацювань у сфері проектування жорсткого дорожнього одягу, а також практичного досвіду його улаштування. Зокрема, ураховано результати досліджень, проведених ДП «НІРІ» та Національним транспортним університетом, 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 жорсткого дорожнього одягу.

Застосовано методи математичного моделювання для визначення оптимальних відстаней між деформаційними швами, оцінки напружено-деформованого стану цементобетонних плит та прогнозування їхньої поведінки за різних експлуатаційних умов. Аналіз результатів дозволяє обґрунтувати удосконалені підходи до проектування та впровадження ефективних рішень у дорожньому будівництві.

Результати. У межах дослідження, спрямованого на впровадження сучасних методів проектування автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом, було розроблено проєкт ДСТУ, який містить оновлені рекомендації щодо визначення відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті.

Запропонована методика ураховує різні конструктивні типи дорожнього цементобетонного покриття, зокрема:

- із штировим з'єднанням плит (ЦП-Ш);
- із армуванням і штировим з'єднанням плит (ЦП-АШ);
- із безперервним армуванням (ЦП-БА) за потреби такого розрахунку;
- із використанням укочуваних цементобетонних сумішей (ЦП-У) за потреби такого розрахунку.

Оновлені підходи до розрахунку відстані між деформаційними швами базуються на сучасних наукових дослідженнях, міжнародному досвіді та практичних даних, що дозволяє підвищити довговічність цементобетонного покриття, зменшити ризик утворення неконтрольованих тріщин і покращити експлуатаційні характеристики конструкцій дорожнього одягу.

Висновки. Запропонована методика проектування жорсткого дорожнього одягу на автомобільних дорогах удосконалює існуючі підходи та встановлює науково обґрунтовані вимоги до розрахунку відстані між деформаційними швами. Вона базується на сучасних дослідженнях, ураховує конструктивні особливості дорожнього цементобетонного покриття, експлуатаційні умови та передовий світовий досвід, що дозволяє підвищити ефективність проєктних рішень.

Застосування цієї методики сприятиме покращенню експлуатаційних характеристик конструкцій дорожнього одягу, підвищенню їхньої міцності, стійкості до навантажень та довговічності. Це, у свою чергу, дасть змогу зменшити ризик передчасного утворення тріщин, скоротити витрати на ремонтування та експлуатаційне утримування дорожнього покриття, а також забезпечити більш раціональне використання матеріально-технічних ресурсів у сфері дорожнього будівництва.

Впровадження удосконаленої методики проєктування сприятиме підвищенню якості та надійності цементобетонних доріг в Україні, що відповідає сучасним вимогам розвитку дорожньої інфраструктури та міжнародним стандартам.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, деформаційні шви, жорсткий дорожній одяг, експлуатаційна надійність, коефіцієнт теплового розширення, модуль пружності прокладки, розрахунок відстані між деформаційними швами, тріщиноутворення, цементобетонний покриття.

### Вступ

Проектування та будівництво автомобільних доріг із жорстким дорожнім одягом є складним інженерним процесом, що вимагає урахування багатьох чинників, зокрема механічних властивостей матеріалів, кліматичних умов, транспортного навантаження та довговічності конструкції [1 – 6]. Одним із ключових аспектів у цьому процесі є правильне визначення відстані між деформаційними швами, адже вони відіграють важливу роль у запобіганні утворенню неконтрольованих тріщин і забезпеченні рівномірного розподілу напружень у цементобетонних плитах.

На разі у сфері дорожнього будівництва застосовують підходи до розрахунку відстаней між швами, що базуються на нормативних вимогах висунутих на попередніх наукових дослідженнях. Однак розвиток технологій, поява нових дорожньо-будівельних матеріалів, а також зміни умов експлуатування потребують удосконалення існуючої методики. Важливим завданням є її адаптація до сучасних умов будівництва та експлуатування автомобільних доріг, що дозволить підвищити їхню надійність, довговічність і економічну ефективність.

У цій статті розглянуто актуальні питання, пов'язані з удосконаленням методики визначення оптимальної відстані між деформаційними швами, проаналізовано чинні нормативні документи, світовий і вітчизняний досвід проєктування жорсткого дорожнього одягу. Запропонований підхід базується на математичних розрахунках, експериментальних дослідженнях та результатах практичного застосування новітніх технологій у будівництві цементобетонних доріг.

Результати досліджень дозволяють сформулювати рекомендації щодо оптимізації розрахунків і визначення ключових параметрів розміщення деформаційних швів, що сприятиме підвищенню якості дорожнього покриття, зниженню витрат на його експлуатаційне утримування та забезпеченню високої експлуатаційної надійності.

### Виклад основного матеріалу

Традиційні методи визначення відстані між деформаційними швами в цементобетонному покритті автомобільних доріг базуються переважно на емпіричних формулах, які були розроблені з урахуванням стандартних умов експлуатування. Проте із розвитком сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, удосконаленням технологій будівництва та змінами в інтенсивності руху постала необхідність перегляду та модернізації цих підходів.

Визначення оптимальної відстані між швами є багатофакторним завданням, яке залежить від низки параметрів, що характеризують як фізико-механічні властивості цементобетону, так і зовнішні впливи, зокрема температурні коливання та навантаження від транспортних засобів.

Основні фактори, що впливають на розрахунок відстані між деформаційними швами:

— зміна температури (температурні коливання впливають на розширення та стискання цементобетонних плит, що може спричиняти неконтрольовані тріщини. Основними показниками є амплітуда сезонних і добових температурних змін у цементобетонній плиті на глибині 10 см та коефіцієнт теплового розширення цементобетону, який визначає зміну лінійних розмірів плити під впливом температурних коливань);

— механічні властивості цементобетону (модуль пружності, що визначає деформаційну здатність матеріалу, межа міцності на розрив, яка впливає на здатність плити протидіяти виникненню тріщин, усадочні характеристики, що є критичним параметром, оскільки цементобетон схильний до зменшення об'єму під час тверднення, що може спричиняти розтягувальні напруження);

— товщина цементобетонної плити (під час збільшенні товщини плити жорсткість покриття зростає, що може зменшити потребу в частому розташуванні швів. Однак надмірне збільшення

товщини може підвищити внутрішні напруження, що потребує ретельного аналізу її впливу на загальну напругу в конструкції);

- параметри основи (тип основи (жорстка, напівжорстка або нестійка) визначає розподіл навантаження по площі плити, а також модуль пружності основи / коефіцієнт постелі ґрунтової основи є важливими факторами, що впливають на довговічність цементобетонного покриття);

- інтенсивність руху та навантаження від транспорту (у сучасних умовах значна кількість транспортних засобів, зокрема перевантажених вантажівок, створює підвищене напруження на покриття. Для уникнення надмірної деформації дорожнього цементобетонного покриття в зонах інтенсивного руху доцільно скорочувати крок улаштування деформаційних швів);

- технологічні фактори (температура повітря під час укладання цементобетонної суміші впливає на початкові усадочні процеси та термін схоплювання бетону, а час розрізання швів після укладання цементобетону (зазвичай 6–12 годин) є критичним для запобігання утворенню тріщин до моменту введення дорожнього покриття в експлуатацію).

#### ***Проблема традиційних підходів до визначення відстані між деформаційними швами***

Деформаційні шви в цементобетонному покритті автомобільних доріг виконують важливу роль у запобіганні неконтрольованому утворенню тріщин і передчасному його руйнуванню. Однак традиційні підходи до визначення оптимальної відстані між ними базуються здебільшого на емпіричних формулах та нормативних рекомендаціях, які не ураховують усі чинники, що впливають на довговічність дорожнього одягу.

Згідно з чинними нормативними документами для автомобільних доріг загального користування відстань між поперечними швами стискання приймається в межах (4 – 6) м для покриття аеродромів – (6 – 8) м. Та хоча ці вимоги є загальноприйнятими, вони мають низку таких недоліків:

- універсальність підходу без урахування реальних умов експлуатації (температурні коливання, вологість, тип ґрунтової основи, навантаження від транспортних засобів суттєво впливають на поведінку цементобетонного покриття, але ці фактори часто не ураховуються в розрахунках під час проектування);

- занадто мала відстань між швами (призводить до зростання вартості будівництва через необхідність більшої кількості швів та викликає збільшення обсягів ремонтних робіт у майбутньому);

- занадто велика відстань між швами (спричиняє хаотичне утворення тріщин, що знижує несну здатність дорожнього покриття, призводить до нерівномірного розподілу напружень та прискореного його руйнування).

#### ***Запропоноване удосконалення методики***

Для подолання зазначених проблем пропонується впровадження більш точного підходу до визначення оптимальної відстані між деформаційними швами. Новий метод базується на:

- використанні сучасних моделей прогнозування поведінки цементобетонного покриття, які ураховують температурні деформації, циклічні навантаження та фізико-механічні характеристики матеріалу;

- застосуванні параметричних досліджень (аналізу взаємозв'язку між ключовими параметрами покриття), що дозволяє визначити найбільш ефективні конструктивні рішення;

- обліку реальних умов експлуатації (включаючи кліматичні фактори, тип конструкції дорожнього одягу та рівень навантаження від транспортних засобів).

#### ***Очікувані результати впровадження нового підходу***

Запропоноване удосконалення підходу до розрахунку відстані між деформаційними швами в дорожньому цементобетонному покритті дозволить:

- підвищити довговічність дорожнього покриття за рахунок зменшення ризику утворення неконтрольованих тріщин;

- оптимізувати витрати на будівництво та ремонтування шляхом вибору економічно доцільної частоти розміщення деформаційних швів;

- підвищити експлуатаційну надійність автомобільних доріг і зменшити ймовірність передчасних руйнувань дорожнього цементобетонного покриття.

**Оптимізація відстані між швами на основі розрахункових параметрів**

Для визначення довжини плит цементобетонного покриття (відстані між поперечними швами стискання) застосовують розрахункові методи. При цьому довжина плити не повинна перевищувати  $6l$ , а співвідношення її довжини до ширини має залишатись в межах 1:1,25.

Під час призначення довжини плити необхідно урахувати швидкість руху бетоноукладального комплексу та відповідно дискретність довжини плити з наступним урахуванням у проєкті виконання робіт, зокрема в технологічних картах.

Розрахунок відстані між швами розширення виконується з урахуванням температурних умов бетонування та максимальної температури дорожнього цементобетонного покриття на глибині 10 см.

Основні обмеження щодо розрахунку відстані між поперечними швами стискання:

- для неармованих плит (ЦП-Ш, ЦП-У) усіх товщин — (4,5 – 6,5) м (за розрахунком);
- для плит із армуванням (ЦП-АШ, ЦП-БА) — 12 м за товщини (170 – 200) мм, 14 м за товщини більше ніж 200 мм.

Відстань між поперечними швами розширення, які улаштовують у вигляді двох дошок з технологічними розривами шириною не більше ніж 30 мм, заповненими податливим матеріалом, і за умов улаштування у найбільш гарячий тиждень у вечірні години або вночі, приймають не більше ніж:

- для неармованих плит (ЦП-Ш, ЦП-У) усіх товщин — 140 м;
- для плит із армуванням (ЦП-АШ, ЦП-БА) — 120,0 м у літній період, 60 м у весняний.

Вплив віражів на розміщення швів:

- на ділянках із радіусами менше 700 м шви можуть влаштовуватись під кутом до осі автомобільної дороги;
- для неармованого покриття (ЦП-Ш, ЦП-У) на віражах рекомендується зменшення відстані між швами до 3,0 м;
- для армованого покриття (ЦП-АШ, ЦП-БА) із радіусами кривої менше ніж 700 м відстань між швами стискання має бути вдвічі меншою за розрахункове значення, а для менших радіусів – утричі;
- поздовжні шви повинні відповідати радіусу кривої в плані для запобігання нерівномірного розподілу напружень.

Таким чином, застосування нових підходів до визначення відстані між деформаційними швами дозволяє досягти оптимального балансу між витратами на будівництво та довговічністю дорожнього цементобетонного покриття, підвищуючи його експлуатаційну стійкість і запобігаючи передчасному утворенню тріщин.

**Розрахунок допустимої температурної напруги для збереження міцності у разі улаштування швів розширення**

Шви розширення улаштовують за умови збереження міцності, яку визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\phi} < \sigma_t^{\text{доп}}. \quad (1)$$

Допустиму температурну напругу в цементобетонній плиті  $\sigma_t^{\text{доп}}$  визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031 \cdot \sqrt{E_{cm} \cdot \gamma \cdot h}. \quad (2)$$

За умови збереження міцності ЦБ величина  $\sigma_t^{\text{доп}}$  у зоні швів не повинна перевищувати  $2f_r$ .

Фактичну температурну напругу  $\sigma_t^{\phi}$  визначають за формулою:

$$\sigma_t^{\phi} = a \cdot E_{cm} \cdot (T_{\text{макс}} - T_{\text{вих}}), \quad (3)$$

- де  $a$  — коефіцієнт лінійної температурної деформації ЦБ,  $a$  приймають  $1 \cdot 10^{-5} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$  [10];  
 $T_{\text{макс}}$  — максимальна річна температура ЦБ на глибині 10 см від поверхні плити,  $T_{\text{макс}}$  приймають за даними спостережень;  
 $T_{\text{вих}}$  — вихідна температура ЦБ,  $T_{\text{вих}}$  визначають, як температуру під час бетонування або приймають за довідковими даними, як середньомісячну, згідно з ДСТУ–Н Б В.1.1–27 [7].



### **Розрахунок відстані між швами розширення**

Відстань між швами розширення  $L_p$  визначають за формулою:

$$L_p = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{пр}}{\sigma_t - \frac{\sigma_{пр} \cdot h_{пр}}{h}}, \quad (4)$$

де  $\Delta b_{пр}$  — деформацію стиску прокладки шва розширення,  $\Delta b_{пр}$  визначають за формулою:

$$\Delta b_{пр} = \frac{2 \cdot b_{пр} \cdot \sigma_{пр}}{E_{пр}}. \quad (5)$$

Модуль пружності прокладки  $E_{пр}$  приймають для прокладок з: деревини м'яких порід — 8 МПа за 25 % лінійної пружної деформації; для полімерних матеріалів — залежно від типу матеріалу та міцності на стискання за 10 % лінійної пружної деформації, МПа.

Значення обтиснення шва розширення (напруги на стиск)  $\sigma_{пр}$  приймають для прокладок з: деревини м'яких порід — 2 МПа; полімерних матеріалів — залежно від типу матеріалу та міцності на стискання за 10 % лінійної пружної деформації, МПа.

Висоту прокладки  $h_{пр}$  визначають за формулою:

$$h_{пр} = h - 0,04. \quad (6)$$

Мінімальну ширину шва розширення визначають через характеристику спільного переміщення плит  $\Delta L$  за формулою:

$$\Delta L = 100 \cdot C \cdot L_p \cdot (A \cdot \Delta T + \varepsilon_{yc}), \quad (7)$$

де  $C$  — коефіцієнт обмеження тертя плити / основи,  $C$  приймають у разі використання:

- матеріалів, укріплених в'язучими, що забезпечує зчеплення між шарами — 0,65;
- прошарку у вигляді полімерної плівки або геотекстильних матеріалів, що дозволять вільне переміщення плит — 0,90.

Коефіцієнт теплового розширення  $A$  приймають згідно з пунктом 6.3 [8].

Максимальний температурний діапазон роботи ЦБ  $\Delta T$  визначають з урахуванням [10] за формулою:

$$\Delta T = (T_{вих} - T_{мін}). \quad (8)$$

Коефіцієнт усадки ЦБ  $\varepsilon_{yc}$  приймають згідно з пунктом 6.4 [7].

Перевіряння умови улаштування ширини шва стискання здійснюють за формулою:

$$2 \cdot h_{пр} > \Delta L. \quad (9)$$

### **Розрахунок відстані між швами стискання**

Довжину плити (максимальну відстань між поперечними швами стискання) на основі з матеріалів, укріплених в'язучими, та на стабільному земляному полотні визначають за формулою:

$$L_c = 6 \cdot l. \quad (10)$$

Співвідношення довжини та ширини плити не повинно перевищувати 1:1,25 з кроком у 10 см у менший бік.

### **Розрахунок відстані між поздовжніми швами**

Ширина плити (відстань між поздовжніми швами) повинна становити не більше 23  $h$ .

### **Приклад розрахунку деформаційних швів**

Вихідні дані:

- товщина плити — 27 см;
- температура улаштування — 27 °С;
- максимальна температура цементобетону на глибині 10 см — 44 °С;
- мінімальна температура цементобетону на глибині 10 см — мінус 30 °С;
- матеріал прокладки — дошка з м'яких порід / екструдований пінополістирол.

Допустиму температурну напругу в цементобетонній плиті  $\sigma_t^{\text{доп}}$  визначають за формулою (2):

$$\sigma_t^{\text{доп}} = 0,031 \cdot \sqrt{E_{cm} \cdot \gamma \cdot h} = 0,031 \cdot \sqrt{33000 \cdot 2,4 \cdot 0,27} = 4,78 \text{ МПа.}$$

За умови збереження міцності цементобетону величина  $\sigma_t^{\text{доп}}$  у зоні швів не повинна перевищувати  $2f_r = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ МПа}$ .

Фактичну температурну напругу  $\sigma_t^{\Phi}$  визначають за формулою (3):

$$\sigma_t^{\Phi} = a \cdot E_{cm} \cdot (T_{\text{макс}} - T_{\text{вих}}) = 1 \cdot 10^{-5} \cdot 33000 \cdot (44 - 28) = 5,28 \text{ МПа.}$$

Шви розширення влаштовують за умови збереження міцності, яку визначають за формулою (1):

$$\sigma_t^{\Phi} < \sigma_t^{\text{доп}}, \quad 5,28 < 4,78.$$

**Умова не виконується** — потрібно влаштовувати шви розширення.

Розрахунок відстані між швами розширення.

Відстань між швами розширення  $L_{\text{розш}}$  визначають за формулою (4) з урахуванням властивостей матеріалу прокладки:

дошка з м'яких порід

$$L_{\text{розш}} = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{\text{пр}}}{\sigma_t^{\Phi} - \frac{\sigma_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}}{h}} = \frac{33000 \cdot 0,015}{5,28 - \frac{2 \cdot 0,23}{0,27}} = 94,03 \text{ м,}$$

екструдований пінополістирол

$$L_{\text{розш}} = \frac{E_{cm} \cdot \Delta b_{\text{пр}}}{\sigma_t^{\Phi} - \frac{\sigma_{\text{пр}} \cdot h_{\text{пр}}}{h}} = \frac{33000 \cdot 0,006}{5,28 - \frac{2 \cdot 0,23}{0,27}} = 37,61 \text{ м,}$$

де  $\Delta b_{\text{пр}}$  — деформація стиску прокладки шва розширення,  $\Delta b_{\text{пр}}$  визначають за формулою (5) у розрахунку приймаємо 2 шви шириною по 30 мм:

дошка з м'яких порід

$$\Delta b_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot b_{\text{пр}} \cdot \sigma_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 2}{8} = 0,015 \text{ м,}$$

екструдований пінополістирол

$$\Delta b_{\text{пр}} = \frac{2 \cdot b_{\text{пр}} \cdot \sigma_{\text{пр}}}{E_{\text{пр}}} = \frac{2 \cdot 0,03 \cdot 1,8}{18} = 0,006 \text{ м.}$$

Висоту прокладки  $h_{\text{пр}}$  визначають за формулою (6):

$$h_{\text{пр}} = h - 0,04 = 0,27 - 0,04 = 0,23 \text{ м.}$$

Мінімальну ширину шва розширення визначають через характеристику спільного переміщення плит  $\Delta L$  за формулою (7):

$$\Delta L \cdot 100 \cdot C \cdot L_{\text{розш}} \cdot (A \cdot \Delta T + \varepsilon_{\text{ус}}) = 100 \cdot 0,65 \cdot 68,48 \cdot (0,0000095 \cdot 58 + 0,00031) = 5,27 \text{ см} = 0,053 \text{ м;}$$

$$\Delta T = (T_{\text{вих}} - T_{\text{мін}}) = (28 - (-30)) = 58 \text{ }^{\circ}\text{C.}$$

Перевіряння умови влаштування ширини шва стиснення:

$$2 \cdot h_{\text{пр}} > \Delta L, \quad 2 \cdot 0,03 = 0,06 > 0,053 \text{ м.}$$

У разі зниження температури укладання цементобетонної суміші відстань між швами розширення буде становити:

- за 30 °C –  $L_{розш} = 107,50$  м;
- за 28 °C –  $L_{розш} = 94,03$  м;
- за 24 °C –  $L_{розш} = 75,10$  м;
- за 20 °C –  $L_{розш} = 62,60$  м.

Дані розрахунків підтверджують обмеження наведені вище.

### **Умова виконується**

Розрахунок відстані між швами стискання.

Довжину плит (максимальна відстань між поперечними швами стискання) на укріпленій основі і на стабільному земляному полотні визначають за формулою (10):

$$L_{стис} = 6 \cdot l = 6 \cdot 1,04 = 6,24 \text{ м.}$$

Співвідношення довжини плити і ширини не повинно перевищувати 1:1,25 — тоді приймаємо  $(3,75 + 0,5)1,25 = 5,30$  м.

### **Висновки**

Розроблення та удосконалення методики розрахунку відстані між деформаційними швами є одним із ключових аспектів у забезпеченні довговічності та надійності дорожнього цементобетонного покритву автомобільних доріг. Проведене дослідження дозволило встановити основні чинники, що впливають на визначення оптимальної відстані між деформаційними швами, зокрема:

- температурні чинники (аналіз фактичних даних про температурний режим цементобетонного покритву на глибині 10 см);
- конструктивні параметри (товщина цементобетонної плити, яка впливає на її стійкість до температурних і механічних навантажень);
- фізико-механічні властивості (коефіцієнт теплового розширення цементобетону, який визначає зміну розмірів плити залежно від температури);
- матеріал деформаційного шва (вибір матеріалу прокладок у шві розширення, який забезпечує ефективну компенсацію температурних деформацій).

Інтеграція новітніх методів моделювання, аналізу кліматичних даних, інноваційних матеріалів і систем моніторингу за зміною температури та напружень у цементобетонній плиті дозволить оптимізувати проєктні рішення, знизити витрати на будівництво та підвищити експлуатаційну надійність доріг та аеропортів.

Подальша оптимізація цементобетонного покритву може бути досягнута за рахунок таких інноваційних підходів як використання модифікованих цементобетонів (застосування сучасних добавок до цементобетонних сумішей (мікрволокна, суперпластифікатори) буде сприяти зменшенню усадки цементобетону, підвищенню його міцності та, відповідно, збільшенню допустимої відстані між швами), а також застосування алгоритмів автоматизованого аналізу історичних даних про дорожні роботи, кліматичні умови та властивості цементобетону, що дозволить прогнозувати оптимальну відстань між швами з урахуванням специфіки конкретного проєкту.

Таким чином, впровадження вдосконаленого методу розрахунку, використання новітніх матеріалів і цифрових технологій дозволить не лише підвищити ефективність проєктування, будівництва та експлуатаційного утримування цементобетонного покритву, а й суттєво покращити довговічність автомобільних доріг у складних кліматичних умовах.

### **Список літератури**

1. Про автомобільний транспорт: Закон України від 23.02.2006 № 3492-IV, в редакції від 28.06.20024 № 3778-IX // База даних Законодавство України / Верховна рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (дата звернення: 23.09.2024).



2. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 48 с. (Інформація та документація).
3. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Київ, 2015. 68 с. (Інформація та документація).
4. ДБН В.2.3-15:2007 Споруди транспорту. Автостоянки і гаражі для легкових автомобілів. Київ, 2007. 53 с. (Інформація та документація).
5. ДБН В.2.6-98:2009 Конструкції будинків і споруд. Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення. Київ, 2009. 62 с. (Інформація та документація).
6. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Автомобільні дороги. Нежорсткий дорожній одяг. Проектування. Київ, 2019. 43 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ–Н Б В.1.1–27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. (Інформація та документація).
8. Довідник № 1 розрахункових характеристик ґрунтів, матеріалів дорожнього одягу та навантаж від транспортних засобів. Харків. 2017. 45 с. (Інформація та документація).
9. Довідник № 5 Кліматичні характеристики та кліматичне районування території України для розрахунку нежорсткого дорожнього одягу. Харків. 2019. 49 с. (Інформація та документація).
10. ACI 440.1R-15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p.

### References

1. Pro avtomobilnyi transport: Zakon Ukrainy (On road transport: Law of Ukraine) vid 23.02.2006 No. 3492-IV, v redatsii vid 28.06.20024 No. 3778-IKh // Baza danykh Zakonodavstvo Ukrainy / Verkhovna rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text> (data zvernennia: 23.09.2024) [in Ukrainian].
2. DBN V.2.3-4:2015 Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo (Motor roads. Part I. Design. Part II. Construction). Kyiv, 2015. 48 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
3. DBN V.2.3-5:2018 Vulytsi ta dorohy naselenykh punktiv (Streets and roads of settlements). Kyiv, 2015. 68 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
4. DBN V.2.3-15:2007 Sporudy transportu. Avtostoianky i harazhi dlia lehkovykh avtomobiliv (Transport structures. Parking lots and garages for cars). Kyiv, 2007. 53 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
5. DBN V.2.6-98:2009 Konstruktsii budynkiv i sporud. Betonni ta zalizobetonni konstruktsii (Structures of buildings and structures. Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions.). Osnovni polozhennia. Kyiv, 2009. 62 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
6. HBN V.2.3-37641918-559:2019 Avtomobilni dorohy. Nezhorstkyi dorozhnii odiah. Proektuvannia (Automobile roads. Soft road clothing. Designing.). Kyiv, 2019. 43 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
7. DSTU–N B V.1.1-27:2010 Zakhyst vid nebezpechnykh heolohichnykh protsesiv, shkidlyvykh ekspluatatsiinykh vplyviv, vid pozhezhi. Budivelna klimatolohiia. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
8. Dovidnyk No. 1 rozrakhunkovykh kharakterystyk gruntiv, materialiv dorozhnoho odiahu ta navantah vid transportnykh zasobiv (Handbook No. 1 of calculated characteristics of soils, road surface materials and vehicle loads.). Kharkiv. 2017. 45 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
9. Dovidnyk No. 5 Klimatychni kharakterystyky ta klimatychne raionuvannia terytorii Ukrainy dlia rozrakhunku nezhorstkoho dorozhnoho odiahu (Handbook No. 5 Climatic characteristics and climatic zoning of the territory of Ukraine for the calculation of non-rigid road wear.). Kharkiv. 2019. 49 p. (Informatsiia ta dokumentatsiia) [in Ukrainian].
10. ASI 440.1R–15. Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars. American Concrete Institute, 2006. 40 p. [in USA].

**Volodymyr Zelenovsky<sup>1</sup>**, <https://orcid.org/0000-0001-5834-5456>

**Vitaliy Raykovskiy<sup>1</sup>**, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-6391-7647>

**Sergii Rybalchenko<sup>1</sup>**, <https://orcid.org/0000-0002-4628-9546>

**Ihor Gamelyak<sup>2</sup>**, D.Sc., Prof., <https://orcid.org/0000-0001-9246-7561>

<sup>1</sup>State Enterprise «National Institute for Development Infrastructure» (SE «NIDI»), Kyiv, Ukraine

<sup>2</sup>National Transport University (NTU), Kyiv, Ukraine

## **IMPROVEMENT OF APPROACHES TO CALCULATING THE DISTANCE BETWEEN EXPANSION JOINTS IN ROAD CEMENT CONCRETE PAVEMENT**

### ***Abstract***

**Introduction.** Expansion joints are an integral part of the design of a cement-concrete road surface, as they provide compensation for temperature and shrinkage deformations, preventing uncontrolled crack formation. Rational design of the distance between expansion joints is one of the key factors affecting the durability and load-bearing capacity of the road surface. Incorrect calculation of these parameters can lead to premature failure of the structure, a decrease in its operational reliability, and an increase in repair and maintenance costs [1 – 6].

This article considers the issue of improving approaches to calculating the distance between expansion joints in a cement-concrete surface based on the DSTU draft “Guidelines for the design of rigid road surfaces”, which is currently being developed by the SE “NIDI” with the participation of the National Transport University. The proposed methods were developed taking into account the advanced domestic and international experience in designing highways with rigid road surfaces, analysis of current regulatory legal acts, building codes, scientific and technical literature, as well as modern road construction materials and technologies. Special attention is paid to the peculiarities of road and climatic regions of Ukraine, which allows adapting the methodology to real conditions of operation of the road surface.

**Problem statement.** Designing rigid road surfaces is a complex engineering task that requires accurate consideration of all operational factors, in particular, determining the optimal distance between expansion joints. The inconsistency of existing methods with real operating conditions can lead to premature destruction of the cement concrete surface, the appearance of uncontrolled cracks, and an increase in costs for repair and operational maintenance of highways.

A modern approach to design should unify and improve the methodology for calculating the distance between expansion joints, taking into account the physical and mechanical properties of cement concrete, temperature and humidity conditions, type and intensity of traffic load, and the characteristics of road and climatic regions of Ukraine. The determination of the relevant parameters should be carried out on the basis of reliable initial data, which will increase the durability of the road surface and ensure the efficient use of material and technical resources.

Therefore, there is an urgent need to develop an improved methodology that would meet modern requirements for road construction, contribute to increasing the operational reliability of cement concrete road surfaces, and ensure economically feasible use of resources.

**Objective.** The modern development of road construction requires constant improvement of approaches to the design of rigid road surfaces, in particular, the determination of optimal distances between expansion joints. Taking into account the latest scientific research, modern materials and innovative technologies allows to increase the durability and reliability of cement concrete pavement, reduce the risk of cracking and optimize the costs of repair and operational maintenance of highways.

The purpose of the work is to inform road specialists about the latest trends, methods and developments in the field of rigid road surface design, in particular, regarding the improvement of approaches to determining the rational distance between expansion joints of cement concrete road surfaces. The proposed solutions are 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 designing rigid road surfaces, as well as practical experience in its arrangement. In particular, the results of research conducted by the SE «NIDI» and the National Transport 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 building 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 arrangement of rigid road surfaces was taken into account.

Mathematical modeling methods were used to determine the optimal distances between expansion joints, assess the stress-strain state of cement concrete slabs and predict their behavior under various operating conditions. Analysis of the results allows us to substantiate improved approaches to design and implement effective solutions in road construction.

**Results.** As part of the study aimed at implementing modern methods for designing highways with rigid road surfaces, a DSTU project was developed, which contains updated recommendations for determining the distance between expansion joints in cement concrete pavement.

The proposed methodology takes into account various structural types of cement concrete road pavement, in particular:

- Jointed Plain Concrete Pavements (JPCP);
- Jointed Reinforced Concrete Pavements (JRCP);
- Continuously Reinforced Concrete Pavements (CRCP) if such a calculation is required;
- Roller Compacted Concrete Pavement (RCCP) if such a calculation is required.

Updated approaches to calculating the distance between expansion joints are based on modern scientific research, international experience and practical data, which allows increasing the durability of cement concrete pavement, reducing the risk of uncontrolled cracking, and improving the performance characteristics of road surface structures.

**Conclusions.** The proposed methodology for designing rigid road surfaces on highways improves existing approaches and establishes scientifically based requirements for calculating the distance between expansion joints. It is based on modern research, takes into account the design features of cement concrete road pavements, operating conditions and advanced world experience, which allows to increase the effectiveness of design solutions.

The use of this methodology will contribute to improving the operational characteristics of road surface structures, increasing their strength, resistance to loads and durability. This, in turn, will make it possible to reduce the risk of premature cracking, reduce the cost of repairing and maintaining the road surface, as well as ensure more rational use of material and technical resources in the field of road construction.

The implementation of an improved design methodology will contribute to improving the quality and reliability of cement concrete roads in Ukraine, which meets modern requirements for the development of road infrastructure and international standards.

**Keywords:** highway, rigid pavement, cement concrete pavement, expansion joints, coefficient of thermal expansion, elastic modulus of the lining, calculation of the distance between expansion joints, crack formation, operational reliability.