

УДК 625.848

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.105.0.92

РОЗРАХУНКОВЕ ПРИЗНАЧЕННЯ ВІДСТАНІ МІЖ ШВАМИ РОЗШИРЕННЯ ЦЕМЕНТОБЕТОННИХ ПОКРИВІВ ДОРІГ

Толмачов С. М.¹, Толмачов Д. С.²

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

²Харківський національний університет міського господарства

Анотація. У статті розглядаються актуальні питання щодо підвищення ефективності та якості будівництва цементобетонних покриттів автодоріг. Чинні в Україні нормативи рекомендують скорочені відстані між швами розширення, що призводить до уповільнення темпів будівництва доріг. Розрахунок та практика показали можливість збільшення відстані між швами до 100...300.

Ключові слова: цементобетон, цементобетонне покриття, шви стиску, шви розширення, коефіцієнт лінійного температурного розширення, деформація.

Вступ

Будівництво автомобільних доріг високих технічних категорій, особливо за підвищеної інтенсивності руху та переважного руху важкого транспорту, у всьому світі виконують із покриттями з цементного бетону. С. Гарбер зазначає, що в США вважають, що завдяки довговічності цементобетонних покриттів їх особливо доцільно будувати в густонаселених районах, а також на напружених маршрутах, таких як швидкісні дороги, що, наприклад, з'єднують східне та західне узбережжя [1]. Необхідно зауважити, що переважна більшість витрат у будівництві дорожнього одягу з цементобетонним покритвом припадає на облаштування покриттів. Звідси впливає важливість економії витрат під час таких робіт. Нарізання швів стиску та влаштування швів розширення є досить витратним етапом технології. Тому скорочення кількості швів без зниження експлуатаційних властивостей покриття може забезпечити економію матеріальних витрат, що є актуальним завданням.

Аналіз публікацій

У п. 8.3.7 ДБН В.2.3-4:2015 «Автомобільні дороги. Ч. 1. Проектування. Ч. 2. Будівництво» зазначено: «Довжину плит у монолітному покритті (відстань між поперечними швами стиску) на укріпленій основі й на стабільному земляному полотні призначають за розрахунками, але не більше ніж 25 товщин покриттів» [2]. Тобто відстань між поперечними швами стиску не має перевищувати 6,5 м, якщо плити лежать на укріпленій основі та товщина плити дорівнює 26 см. Це відповідає вимогам нормативних документів для товщини покриттів і відстані між швами стиску під час будівництва автомобільних доріг I технічної категорії. Нарізка швів на меншій

відстані (зменшення розмірів плит у плані за довжиною) не сприятиме поліпшенню роботи всього покриття, але суттєво збільшить трудомісткість і собівартість виробництва. Це станеться унаслідок збільшення кількості операцій з нарізки, очищення, підготовлення та заливання швів; збільшення витрати на амортизацію обладнання; збільшення витрат на диски для нарізувача швів, а також витрат на мастику для заливання швів. Крім того, збільшаться витрати на зарплату й відповідні нарахування. Однак, незважаючи на це, у будівництві ділянки автомобільної дороги II технічної категорії (Н-14) у районі с. Восіятського Миколаївської обл. та в будівництві ділянки дороги I технічної категорії (М-14) на підході до м. Миколаєва у проектній документації передбачено влаштування швів стиску на відстані 4,8 м. Це означає, що кожні 100 м покриття необхідно нарізати приблизно 20 швів стиску.

Поряд зі швами стиску, що необхідні для можливого скорочення плит покриття під час охолодження бетону, передбачена можливість розширення плит покриття в процесі його нагрівання. Для цього передбачають виготовлення швів розширення. Відстань між ними призначають кратною відстані між швами стиску. У п. 5.3.5 (табл. 5.1) ГБН В.2.3-37641918-557:2016 «Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування» зазначено, що за умови розрахункової температури нагріву цементобетонних плит покриття в літній період приблизно 40 °С і товщини покриття понад 20 см відстань між швами розширення не має перевищувати дев'ять плит, а в разі влаштування контрольних швів – десять плит. Отже, в разі призначеної ширини плит 4,8 м відстань між швами розширення не має перевищувати 48 м. Якщо

взяти до уваги, що цементобетонні покриття на дорогах I та II технічних категорій укладають за допомогою комплексу бетоноукладальних машин, то для виконання цієї умови необхідно, щоб цей комплект зупинявся через кожні 48 м. З огляду на те, що бетоноукладач не може зупинитися миттєво, йому потрібна якась відстань для зупинки. Зазвичай, це приблизно 1,5...2,0 м.



Рис. 1. Обрізання країв бетонної смуги після зупинки укладача

Після зупинки укладачу потрібна якась відстань, щоб він зміг почати нормальне укладання бетону з необхідними показниками. Така відстань також становить приблизно 1,5...2,0 м. Після припинення роботи укладача бракований бетон обрізають з обох боків укладеної смуги (рис. 1). Зважаючи на те, що під час запуску та зупинки бетонна суміш продовжує виходити з-під шнека укладача, у разі кожної зупинки цієї машини доводиться викидати мінімум 3...4 пог. м бетонної суміші. Якщо товщина покриття 26 см та ширина 7,5 м, обсяг викинутої суміші становитиме 5,85...7,8 м. Відповідно до вартості 1 м бетонної суміші близько 3 тис. грн, матеріальні втрати становитимуть 17,55...23,4 тис. грн на одну зупинку укладача. Отже, на 1 пог. км за такої технології укладання втрати становитимуть (у разі двох зупинок укладача на кожні 100 пог. м покриття) 175,5...234 тис. грн. Це величезні фінансові втрати. Крім того, швидкість будівельного потоку внаслідок таких зупинок різко зменшується. А це не дає змогу прискорити початок експлуатації автомобільної дороги [4, 5].

Крім того, зазначено, що за температури бетонування понад 20 °C відстань між швами розширення (див. табл. 5.1 зазначеного нормативу) не нормується. Очевидно, що відсутність нормування відстані між швами розширення пов'язана з необхідністю призначення цієї відстані з огляду на конкретний випадок будівництва об'єкта.

З іншого боку, у ВСН 139-80 (табл. 4), яка вже втратила чинність в Україні, зазначено,

що для неармованих цементобетонних покриттів за умови їх товщини 24 см та температури укладання бетонної суміші від +10 до +25 °C відстань між швами розширення рекомендується призначати 80...90 м [6]. За температури укладання бетонної суміші понад +25 °C відстань між швами розширення рекомендується 90...110 м. Крім того, ця відстань скорочується зі зменшенням товщини цементобетонної плити покриття. Якщо проінтерполювати ці рекомендовані відстані на товщину шару покриття 26 см, то за температури укладання бетону від +10 до +25 °C відстань між швами розширення може досягати 98 м, а в разі температури укладання бетонної суміші понад +25 °C ця відстань становитиме 119 м. Зважаючи на те, що укладання бетонної суміші в покриття здійснюють у період, коли температура повітря становить +10...+30 °C, шви розширення можна влаштовувати через 100 м.

Мета та постановка завдання

Мета – розрахувати розширення цементобетонного покриття під час нагрівання в експлуатаційних умовах. Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- 1) вивчити стан питання про можливість збільшення відстані між швами розширення;
- 2) розрахувати відстані між швами в реальних умовах виробництва;
- 3) перевірити влаштування таких швів у будівництві покриттів автошляхів.

Виклад основного матеріалу

Беручи до уваги, що влаштування покриттів проводять у період, коли денні температури перевищують + 20 °C, визначення цієї відстані відіграє важливу роль. Найбільш просто визначити відстань між швами розширення можна з огляду на можливі максимальні деформації плит уздовж довжини в плані. Проведемо теплофізичний розрахунок, що дасть змогу визначити відстань між швами розширення.

А. Для затверділого важкого цементного бетону, тобто бетону покриття, величина коефіцієнта лінійного температурного розширення (КЛТР) дорівнює 0,000012 м/м °C (1/°C). Тому подовження бетону в процесі його нагрівання на 1 °C на 1 м довжини плити становить 0,012 мм.

Б. Приймемо, що в середній частині бетону температура становить + 20 °C (хоча зазвичай у середній частині бетону температура в літній період перевищує + 20 °C).

В. Прийmemo, що на поверхні бетону температура може досягати + 50 °С (що реально для високих літніх температур). Різниця температур для таких екстремальних умов може становити + 30 °С. Тоді простий теплофізичний розрахунок показує, що в процесі нагрівання бетону від + 20 °С до + 50 °С для смуги завдовжки 100 м подовження бетону може становити $0,000012 [1/°C] \times 100 [м] \times 30 [°C] = 0,036 м = 36 мм$. Тобто максимальна деформація смуги завдовжки 100 м досягатиме 36 мм. Для смуги 48 м (якщо прийняти, що ширина плити – відстань між швами стиску – дорівнює 4,8 м) ця деформація становитиме 17,3 мм.

Перевіримо, чи достатня сумарна ширина швів розширення та стиску для сприйняття цієї максимальної деформації.

Відповідно до вимог нормативних документів ширина шва стиску становить 4...6 мм (залежно від товщини диска на нарізувачі швів). У нижній частині шва стиску ширина його розкриття сягає мінімум 2...3 мм. Якщо навіть прийняти, що кількість плит між швами розширення 10 шт., тобто довжина смуги з цих плит становитиме 48 м, то кількість швів стиску між двома швами розширення – 9 шт., а їх загальна ширина дорівнюватиме $2 [мм] \times 9 = 18 мм$. За умови 3 мм розкриття шва в нижній частині плити вона становитиме 27 мм.

Розрахунок показує, що в разі довжини плити 4,8 м та їх кількості 10 шт., навіть тільки за рахунок розкриття швів стиску, буде забезпечено розширення смуги завдовжки 48 м за зазначених екстремальних літніх умов на 18...27 мм. Водночас максимальна розрахункова ширина розширення смуги цементобетону завдовжки 48 м становить 17,3 мм (див. розрахунок).

А якщо взяти, що довжина смуги дорівнює 100 м (унаслідок розрахунку під час визначення максимальної деформації такої смуги), то кількість плит завдовжки 4,8 м на цій відстані становитиме приблизно 100 м: $4,8 м = 20,83 \sim 21 шт$. Загальна ширина швів стиску становитиме, відповідно, $2...3 [мм] \times 21 = 42...63 мм$. Отже, максимальне розширення бетонної смуги за вищевказаних умов забезпечується тільки з допомогою роботи швів стиску.

Г. Перевіримо, чи забезпечує сумарна ширина швів розширення можливість вільного деформування смуги завдовжки 48...100 м. Прийmemo, що відстань між швами розширення становить 100 м.

Ширина шва розширення дорівнює 40...60 мм. Прийmemo, що таких швів 2 шт. (по краях смуги завдовжки 100 м). Кожен шов завширшки в середньому не менший ніж 40 мм (що доведено на практиці) забезпечує можливість максимального подовження смуги завдовжки 100 м на 80 мм. У цьому разі максимальна деформація смуги в умовах, окреслених вище (див. розрахунок вище), становить 36 мм за вказаних температур.

Але, крім цих двох швів, на смузі завдовжки 100 м наявний 21 шов стиску, їх загальна ширина становить (як було показано вище) 42...63 мм. Сумарна ширина 21 шва стиску і 1 шва розширення за умови довжини смуги 100 м, що містить 21 плиту завдовжки по 4,8 м, становитиме $40 мм + 42 мм = 82 мм$ або $40 мм + 63 мм = 103 мм$. А якщо розрахувати, що на смузі завдовжки 100 м є два шви розширення по краях, то загальна можливість розширення цієї смуги може становити $2 \times 40 мм + 42 мм = 122 мм$ або $2 \times 40 мм + 63 мм = 143 мм$.

Такий запас розширення дає змогу (теоретично) влаштовувати шви розширення не через розрахункові 100 м, а через 300 м, тобто через 61 плиту завдовжки 4,8 м.

Щоб забезпечити нормальну роботу швів стиску та розширення у розглянутих умовах, доцільно влаштовувати на смузі завдовжки 300 м подвійні шви розширення. Відстань між швами в подвійному шві розширення можна влаштовувати через 1,5 м один від одного. Подвійні шви необхідно розташовувати по краях смуги бетону, що укладається.

Якщо провести аналогічний теплофізичний розрахунок, то матимемо такі результати:

- максимальне можливе розширення на ділянці завдовжки 300 м за допомогою подвійних швів розширення становить $4 \times 40 мм = 160 мм$;

- максимальне можливе розширення на ділянці завдовжки 300 м за допомогою швів стиску становить $3 \times 21 \times 2...3 мм = 126...189 мм$;

- максимальне розширення ділянки бетону завдовжки 300 м за умови температурного перепаду +30 °С (+50 °С на поверхні і +20 °С усередині бетону покриття) становить $0,000012 [1/°C] \times 100 [м] \times 30 [°C] \times 3 = 0,108 м = 108 мм$.



Рис. 2. Подвійний шов розширення, влаштований на покритві автомобільної дороги Н-14

Розрахунок показує, що влаштування подвійного шва розширення по обидва боки ділянки цементобетонного покриття завдовжки до 300 м дає змогу розширюватися бетону з певним запасом довжини. У цьому разі в бетоні відсутні внутрішні напруги, які можуть викликати утворення тріщин або руйнування покриття.

Наведені розрахунки перевірені під час будівництва ділянок покриттів автомобільної дороги Н-14 в обхід с. Восіятське та на підході до м. Миколаєва. Ширина шва становила 1,5 м. На рис. 1 показано влаштування подвійного шва розширення на ділянці дороги біля с. Восіятське. Внутрішню частину шва заповнювали фібробетоном, що дозволило також відмовитись від застосування арматурних каркасів, які планували укласти в такі шви [6]. Для виготовлення фібробетону використовували поліпропіленову фібру, оскільки її витрата в кілька разів менша, ніж базальтова, а ефективність боротьби з тріщинами значно вища [7]. Відстань між подвійними швами розширення становила 101 м. Ця ділянка дороги була укладена 2019 р. Спостереження за нею протягом двох з половиною років показало, що шви розширення працюють нормально, спучування плит на всій ділянці дороги завдовжки 8,5 км не було виявлено.

Також не було виявлено ознак тріщиноутворення або усадкових тріщин.

Аналогічний за конструкцією шов влаштовували на підході до м. Миколаєва. Ширина шва також була 1,5 м. Але в цьому разі в шов укладали арматурну сітку для заповнення шва й використали звичайний важкий бетон, з якого будували покриття автомобільної дороги.

Різниця полягала в тому, що ці подвійні шви влаштовували наприкінці робочої зміни. Протягом робочої зміни укладали цементобетонний покриття такої довжини, щоб вона

була кратна кількості швів стиску. Тому загальна довжина ділянок становила від 298 м (кількість плит завдовжки 4,8 м – 62 шт.) до 312 м (кількість плит завдовжки 4,8 м – 65 шт.). Цю ділянку укладали влітку–восени 2021 р.

На жаль, війна не дала змоги детально спостерігати за цією ділянкою. Аналіз її роботи, проведений будівельниками, показав, що жодного тріщиноутворення, підйомів та руйнувань покриття за період до 2024 р. не відбулося.

Висновки

1. Аналіз літератури показав, що в нормативних документах різних років подано неоднакові рекомендації щодо відстані між швами стиску та розширення в процесі влаштування цементобетонних покриттів.

2. Проведений теплофізичний розрахунок довів, що в процесі розширення цементобетонного покриття за високих температур частина лінійної деформації може сприймати шви стиску. У разі зменшення відстані між швами стиску величина компенсованого розширення збільшується.

3. Розрахунковим способом встановлено, що внаслідок влаштування подвійних швів розширення довжина ділянки цементобетонного покриття, що укладається, без швів розширення може бути збільшена до 300 пог. м.

Література

1. Гарбер С. Посібник з комплексних рішень для покриття на основі цементу / С. Гарбер, Р.О. Расмусен, Д. Харрінгтон // Інститут транспорту, Державний університет Айови, США, 2011. 58 с.
2. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Ч. 1. Проектування. Ч. 2. Будівництво. [Чинний від 2016-01-04]. Вид офіц. Київ. Мінрегіонбуд України. 2016. 91 с.
3. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Чинний від 2017-01-04]. Вид. офіц. Київ. Мінінфраструктури України. 2017. 70 с.
4. Толмачов С.М., Солодкий С.Й. До питання початку експлуатації цементобетонних покриттів і основ. *Автошляховик України*. 2020. № 2 (262). С. 29–35.
5. Толмачов С.М., Петрович В.В. Скорочення терміну початку експлуатації цементобетонних покриттів. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. 2019. Вип. 105. С. 75–81.
6. Толмачов С.М., Беліченко О.А., Дядюшко Р.В. Вплив поліпропіленової фібри X-Mesh на властивості дорожнього бетону. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2021. Вип. 198. С. 58–65.
7. Толмачов С.М., Беліченко О.А., Дорошенко М.А., Покуса Ю.П. Порівняльна характери-

стика застосування поліпропіленової фібри та базальтової фібри у дорожніх бетонах. *Механіка та математичні методи*. 2022. Т. 4. № 2. С. 65–74.

References

1. Harber S. Complete Solution Guide for Cement Based Pavement / S. Harber, R.O. Rasmusen, D. Harrington // Institute of Transport, Iowa State University, USA, 2011. – 58 p.
2. Highways. Part 1. Design. Part 2. Budivnitstvo. DBN V.2.3-4:2015. from 1st April 2017. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2015. 91 p. [in Ukrainian].
3. Highways. Rigid road clothing. Design. GBN V.2.3-37641918-557:2016 from 1st April 2017. Kyiv: Ministry of Infrastructure of Ukraine. 2017. 70 p. [in Ukrainian].
4. Tolmachov S.M., Solodkiy S.Y. Before starting the operation of cement-concrete pavements and foundations. *Avtoshlyakhovik of Ukraine*. 2020. No. 2 (262). pp. 29–35.
5. Tolmachov S.M., Petrovich V.V. Shortening the start of exploitation of cement-concrete pavements. *Highway and road construction*. 2019. Vol. 105. pp. 75–81.
6. Tolmachov S.M., Belichenko O.A., Dyadyshko R.V. The influence of polypropylene fiber X-Mesh on the properties of road concrete. *Collection of scientific works of UkrDUZT*, 2021. Vol. 198. pp. 58–65.
7. Tolmachov S.M., Belichenko O.A., Doroshenko M.A., Pokusa Yu.P. Comparative characteristics of the use of polypropylene fiber and basalt fiber in road concrete *Mechanics and mathematical methods*, 2022. Vol. 4. No. 2. pp. 65–74.

Толмачов Сергій Миколайович, д.т.н., професор, професор кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, Україна, Харків, 61002, вул. Ярослава Мудрого, 25, тел. +380503036848, e-mail: tolmachov.serg@gmail.com,

Толмачов Дмитро Сергійович, к.т.н., докторант Харківський національний університет міського господарства, Навчально-науковий інститут підготовки кадрів вищої кваліфікації (м. Харків, Україна), Україна, Харків, 61002, вул. М. Бажанова, 17, тел. +380979500978, e-mail: tdsbuild77@gmail.com.

Calculated purpose of the distance between the expansion joints of cement concrete pavements of roads

Abstract. Formulation of the problem. The article discusses current issues of increasing the efficiency and quality of construction of cement concrete pavements for highways. It is shown that the regulatory documents in force in Ukraine recommend reducing the distances between compression joints and expansion

joints during the construction of roads made of cement concrete. But such a reduction leads to a slowdown in the pace of road construction and a significant increase in construction costs. The increase in cost occurs due to frequent stoppages of a set of concrete-laying machines and the formation of a large amount of concrete waste. The cost of this waste can reach 200 thousand hryvnia per 1 kilometer of road. In addition, frequent stops of a set of machines when laying cement concrete pavements of highways slow down the time it takes to put roads into operation. **Purpose of the work:** to calculate the expansion of cement concrete pavement when heated under operating conditions. **Methodology:** The work used formulas for thermophysical calculations during thermal expansion of concrete. The paper presents the results of thermophysical calculations of the expansion of cement concrete pavements of highways during their operation at elevated temperatures. It has been shown that when there are a large number of compression joints, they can partially compensate for the space required for concrete expansion. At the same time, they can act as compression joints during low temperatures. A design of double expansion seams has been proposed, which allows increasing the distance between them. The joint work of compression and expansion seams makes it possible to increase the distance between expansion seams. Due to this, it is possible to reduce their number, while simultaneously increasing the speed of construction and maintaining the quality indicators of the coating concrete. **Originality:** The article presents the results of a production test of thermophysical calculations. It is shown that two experimental sections of road surfaces were built. The concept of the maximum value of thermal expansion of concrete was further developed. **Practical value:** On one of them, the distance between expansion joints was 101 m, and on the other - about 300 meters. In this case, the distance between the expansion joints in the double seam was 1.5 meters. These parameters were sufficient for efficient and high-quality operation of double expansion joints.

Keywords: cement concrete, cement concrete pavement, compression joints, expansion joints, linear thermal expansion coefficient, deformation.

TolmachovSergiy, doctor of sciences, professor, professor of the Department of Road Construction Materials Technology, Kharkiv National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. + 380503036848, e-mail:tolmachov.serg@gmail.com

TolmachovDmitro, candidate of technical sciences, doctoral student, Educational and Scientific Institute for Training Highly Qualified Personnel of Kharkiv National University of Urban Economy, 17, M. Bazhanov str., Kharkiv, 61002, Ukraine, tel. +380979500978, e-mail:tdsbuild77@gmail.com.