

УДК.625.8

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ЖОРСТКИХ ПОКРИТТІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ЗАВДЯКИ ВИКОРИСТАННЮ ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ

ENSURING THE DURABILITY OF RIGID PAVEMENTS TO HIGHWAYS THROUGH THE USE OF DISPERSED REINFORCEMENT

Процюк В.О., к.т.н., Андрійчук О. В., к.т.н., доц., Шимчук О.П., к.т.н., доц. (Луцький національний технічний університет, Луцьк),

Protsiuk V.O., candidate of technical sciences, Andriichuk O. V., candidate of technical sciences, associate professor, Shymchuk O.P., candidate of technical sciences, associate professor (Lutsk National Technical University, Lutsk),

Наведено досвід застосування фібри для отримання дисперсно армованих бетонів. Проаналізовано застосування дисперсно армованих бетонів в країнах Західної Європи та США при влаштуванні покриттів жорсткого типу. Наведено методику розрахунку жорсткого дорожнього одягу армованого фіброю.

The development of highway construction began in the late XIX century in Germany, Scotland, France and the United States. According to the XXI World Road Congress, the length of the cement concrete roads network in the United States is 35% of the total length and 60% of the highways length.

One of the main disadvantages of cement-concrete pavement is the of temperature stresses occurrence that lead to the formation of transverse cracks in the monolithic pavement. To prevent this, the transverse expansion and contraction seams are cut in the pavement and the pavement is reinforced. Reinforcement of concrete leads to a corresponding increase in tensile strength of the material. The use of reinforcement in road construction leads to a significant increase in the cost of the pavement structure. That is why there is a problem of maximum metal consumption reduction and its rational use in road structures. One of the ways to reduce costs in the cement-concrete pavements construction is the use of reinforced synthetic fibers (fiber concrete).

The method of rigid pavement calculation reinforced with fiber is given. The calculation technology and cement-concrete pavement construction is a complex process. The calculation is performed on the limit states that determine the loss of the structure performance, based on the calculation schemes.

During the calculation, the pavement thickness and the base layers, the distance between the expansion seams and the diameter of the pins in the seams are determined.

Rigid pavement, as well as elastic pavement is calculated by the reliability coefficient. When calculating rigid pavement for repeated action of moving short-term loads, the duration of the stress-strain state is assumed to be equal to 0.1 s. Therefore, the calculations take the values of the materials mechanical characteristics and subgrade soil for a load lasting 0.1 s.

Ключові слова: жорсткий дорожній одяг, автомобільна дорога, дисперсне армування, розтяг, напружено-деформований стан.

Rigid pavement, highway, disperse reinforcement, tension, stress-strain.

Вступ. Якісна та добре розгалужена мережа автомобільних доріг та швидкісних магістралей є важливим фактором розвитку економічної і промислової могутності країни. Зменшення часу доставки вантажів та товарів, а також висока мобільність населення надає перевагу регіону або країни перед її сусідом. Про це можна переконатись на приклад багатьох країн світу, які розбудувавши мережу автомобільних доріг і також її інфраструктуру зуміли в короткий термін суттєво покращити рівень економіки своєї країни і, відповідно, благополуччя своїх співвітчизників. Хорошим прикладом може послугувати досвід США, яка у 30-ті роки ХХ століття найбільше постраждала від «великої економічної депресії». Після капітуляції у Другій світовій війні Німеччина і Японія зуміли не тільки відродити свої економіки, але і вийти у світові лідери завдяки розбудові автобанів, а Китай за три десятиліття зумів перетворитися із бідної аграрної країни у країну-лідера світової економіки. Важливим сигналом для економічного зростання цих країн було прийняття державних програм з розбудови мереж швидкісних магістралей і вливання значним грошових ресурсів.

Визначення мети та завдання дослідження. В будівництві автомобільних доріг можна виділити дві стратегії розвитку дорожнього господарства – це будівництво нежорстких дорожніх одягів (асфальтобетонні покриття) і жорстких (цементобетонні монолітні покриття, збірні залізобетонні покриття, а також асфальтобетонні покриття на жорсткій основі). Виникає питання – який тип дорожнього одягу краще обрати? Звісно, у жорсткого і нежорсткого типу покриття є свої як переваги так і недоліки. Одним із головних недоліків цементобетонного покриття є виникнення температурних напружень, що призводять до утворення поперечних тріщин в монолітному покритті. Для запобігання цьому в покритті нарізають поперечні шви розширення та звуження та армують покриття.

Армування бетонів призводить до відповідного підвищення міцності матеріалу на розтяг. Застосування армування в дорожньому будівництві

призводить до значного здороження конструкції покриття. Саме тому, постає проблема максимального скорочення витрат металу та раціонального його використання в дорожніх конструкціях.

Одним із шляхів зменшення витрат при будівництві цементобетонних покриттів є застосування нових ефективних матеріалів. Досвід будівельних компаній Великобританії, Італії, Німеччини, США, Франції та Японії показує, що перспективним напрямком розвитку будівельної індустрії є застосування бетонів, армованих синтетичними волокнами (фібробетонів), для конструкцій різного призначення [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Історія розвитку фібробетону нараховує більше століття. В 1874 році англійський будівельник А. Берард запатентував добавку до бетону, яка представляла собою неоднорідну суміш різних матеріалів. [2].

Перші роботи, щодо застосуванням сталевोї фібри для отримання дисперсно армованих бетонів, пов'язують з ім'ям В.П.Некрасова, який в 1907 р. провів комплекс робіт і описав результати випробувань бетонних матеріалів регулярно і хаотично дисперсно армованих відрізками дроту малих діаметрів [1].

Дослідженням дисперсно армованого бетону також присвячені роботи американського вченого Г.Ф. Портера (1910 рік), британця В. Фейкліна (1914 рік), а також французького вченого Х. Альфсена. В 1918 році Альфсен винайшов метод армування за допомогою сталевих або дерев'яних волокон.

Крім вже згаданих вчених, великий внесок у розвиток науки про сталевіфібробетон зробили вчені із Австрії, Австралії, Бельгії, Німеччини, Нідерландів, Іспанії, Канади, Китаю, Польщі, США, Франції, Чехії, Швейцарії, Японії, та інших країн. Серед них слід відмітити J.P. Romualdi, V. Gordon, G.B. Watson, I.A. Mandel, I.L. Carson, W.F. Chen, D.I. Hannant, B. Kelly, P.S. Mangat, A.E. Naaman, R.N. Swamy, D. Colin Johnston, D.R. Lankard, V. Ramakrishnan, G. Ruffert, K. Kordina, W.A. Marsden, J. Vodichka та ін. [3].

А ось вперше застосування сталевіфібробетону для влаштування дорожніх покриття в США було виконано в 1971 році [4]. З цього часу було побудовано значну кількість покриттів армованих фіброю, що підкреслює універсальність сталевіфібробетону та його здатність щодо застосування практично замість будь-якого бетонного покриття.

Останніх 10-ть років в Україні значно активізувалися дослідження не тільки фібробетону, як будівельного матеріалу, але й тонкостінних фібробетонних конструкцій, що підтверджує доцільність його застосування. Значна кількість науково-дослідних робіт проведена в Луцькому НТУ [5-8].

Результати дослідження. Дорожній одяг автомобільних доріг необхідно розраховувати з урахуванням складу транспортного потоку, а також і перспективної інтенсивності руху до реконструкції чи наступного капітального ремонту, ґрунтових і природо-кліматичних умов. Розрахунок виконують по граничних станах, що визначають втрату працездатності

конструкції, на основі розрахункових схем, використовуючи нормовані розрахункові характеристики згідно з методикою, що прописана в [9].

Відповідно до методики розрахунку проводять перевірку заздалегідь призначеної конструкції дорожнього одягу, а саме перевіряють:

- за міцністю верхніх шарів дорожнього одягу;
- за стійкістю незв'язних матеріалів в шарах основи і ґрунту земляного полотна на зсув;
- за накопиченням уступів у поперечних швах цементобетонного покриття;
- за стійкістю дорожнього одягу до впливу морозного здимання;
- за здатністю дренажувального шару основи відводити вологу.

Під час розрахунку дорожнього одягу жорсткого типу із дисперсного армованого бетону вихідні дані повинні також включати:

- параметри транспортного навантаження (розрахункове навантаження, розрахункова інтенсивність);
- параметри автомобільної дороги (технічна категорія дороги, ширина проїзної частини, термін служби дорожнього одягу до капітального ремонту);
- параметри земляного полотна дорожньої конструкції та умови роботи земляного полотна (тип місцевості за характером зволоження, тип та різновиди ґрунтів земляного полотна та рівень ґрунтових вод);
- дорожньо-кліматичний район проектування дорожнього одягу.

Під час розрахунку визначається товщина покриття і шарів основи, відстань між швами розширення та діаметр штирів у швах.

Дорожній одяг жорсткого типу, так як і нежорсткого розраховують за коефіцієнтом надійності. Необхідний коефіцієнт надійності K_n , що визначає мінімальне значення коефіцієнта міцності $K_{мц}$, який дорожній одяг повинний мати до кінця строку служби між капітальними ремонтами, нормований у залежності від категорії дороги з врахуванням капітальності дорожнього одягу та врахуванням досягнутого рівня якості [9].

Під час розрахунку жорсткого дорожнього одягу на багаторазову дію рухомих короткочасних навантажень, тривалість напружено-деформованого стану приймається рівною 0,1 с. Тому у розрахунках приймають значення механічних характеристик матеріалів і ґрунту земляного полотна згідно з [10] за навантаження тривалістю 0,1 с.

Прогнозовану інтенсивність руху транспортних засобів необхідно привести до рівноцінної інтенсивності впливу розрахункового навантаження на одну смугу руху проїзної частини за добу. При цьому середньодобова, приведена до розрахункового навантаження Q_p кількість проїздів всіх пар коліс, у межах однієї смуги проїзної частини з приведеною розрахунковою інтенсивністю N_p (одиниць/добу) впливу навантаження, визначається згідно з [10] за формулою:

$$N_p = f_1 \cdot f_2 \cdot N \cdot \sum \delta_n \cdot S_n, \quad (1)$$

де N – очікувана інтенсивність руху в обох напрямках різних вантажних і пасажирських транспортних засобів, авт/добу;

f_1 – коефіцієнт, що враховує число смуг і розподілення проїздів по них, який приймається для найбільш напруженої смуги ;

f_2 – коефіцієнт, що враховує ширину смуги руху та дорівнює: 1,0 – при ширині смуги 3,75 м і більше; 1,1 – при ширині смуги від 3,25 м до 3,75 м; 1,4 – при ширині смуги від 2,75 м до 3,25 м; 1,8 – при ширині смуги від 2,50 м до 2,75 м;

δ_n – частка n -го транспортного засобу у складі руху вантажного і пасажирського транспорту (у долях одиниці);

S_n – сумарний коефіцієнт для приведення за руйнівною дією на дорожній одяг n -го транспортного засобу до розрахункового навантаження;

n – загальна кількість різних марок вантажних і пасажирських транспортних засобів у складі вантажного транспортного потоку.

Сумарний коефіцієнт приведення S_n за руйнівною дією на дорожній одяг n -го транспортного засобу, що рухається, очікувану добову інтенсивність руху N в обох напрямках різних вантажних і пасажирських транспортних засобів і розрахункову сумарну повторність N_{pt} розрахункових навантажень за добової інтенсивності N_p визначають за розрахунками згідно з [9]:

$$N_{pt} = N_p \cdot n_c \cdot \frac{(q^t - 1)}{(q - 1)}, \quad (2)$$

де n_c – кількість днів року з позитивною температурою повітря (приймається за довідковими даними);

q – знаменник, що описує щорічний приріст інтенсивності руху;

t – термін служби дорожнього одягу до капітального ремонту, роки.

Розрахунки фібробетонного покриття проводять шляхом перевірки умови:

$$m_d \leq m_u, \quad (3)$$

де m_d – розрахунковий згинальний момент у розглянутому січенні плити покриття;

m_u – граничний згинальний момент у розглянутому січенні плити покриття;

Розрахункові значення згинальних моментів, кН·м/м, на одиницю ширини січення однорідних жорстких фібробетонних покриттів слід визначити за формулою:

$$m_d = m_{c.\max} \cdot k \cdot k_N, \quad (4)$$

де $m_{c.\max}$ – максимальний згинальний момент при центральному завантаженні плит, кН·м/м, який враховується, як найбільший сумарний момент, який створюється колесами рухомого автомобіля в розрахункових перерізах плити, перпендикулярних осям x або y , визначають за формулою:

$$m_{c.\max} = F_d \cdot f(\alpha), \quad (5)$$

де $f(\alpha) = f(R_c / l)$ – функція;

F_d – розрахункове навантаження на колесо, кН, визначається за формулою:

$$F_d = F_n \cdot k_d \cdot \gamma_f \quad (6)$$

де F_n – нормативне навантаження на колесо розрахункового автомобіля, кН;

k_d – коефіцієнт динамічності, що залежить від тиску в шинах колеса, для тиску $p = 0,80 - 0,90$ МПа $k_d = 1,2$;

γ_f – коефіцієнт розвантаження, враховує рух транспортних засобів, для ділянок – перегонів $\gamma_f = 1$, для стоянок $\gamma_f = 0,85$.

R_c – радіус розрахункового відбитку колеса, у метрах, обчислюють за формулою (6):

$$R = \sqrt{\frac{F_d}{0,1 \cdot p \cdot \pi}}, \quad (7)$$

де p – внутрішній тиск в шинах колеса, МПа, приймається із таблиці додатку Б ДБН В.2.3-4:2015;

l – пружна характеристика плити, м, визначається за формулою:

$$l = \sqrt[4]{\frac{B}{K_s}}, \quad (8)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт постелі однорідної ґрунтової основи, МН/м³; для багат шарової ґрунтової основи, а також для штучних основ, не оброблених в'язучим, в розрахунок вводиться значення еквівалентного коефіцієнта постелі K_{se} ;

B – жорсткість перерізу плити фібробетонного покриття, МПа·м⁴/м, віднесена до одиниці ширини її перерізу та визначена за формулою:

$$B = 0,085 \cdot E_b \cdot t^3, \quad (9)$$

де E_b – початковий модуль пружності фібробетону, МПа, приймається за таблицею А.2 додатку А ГБН В.2.3-37641918-557;

t – товщина плити, м.

Граничний згинальний момент m_u , кН·м/м, на одиницю ширини перерізу для фібробетонного покриття слід визначити за формулою:

$$m_u = \gamma_c \cdot R_{tb} \cdot t^2 / 6 \cdot k_u, \quad (10)$$

γ_c – коефіцієнт умовної роботи жорсткого фібробетонного покриття. Для І дорожньо-кліматичної зони на ділянках перегону в розрахунках необхідно приймати 0,90 (для стоянки – 1,0), для інших дорожньо-кліматичних зон на перегонах приймається 0,85 (для стоянки – 0,95);

R_{tb} – розрахункові опори фібробетону розтягуванню при згині, МПа, приймається за таблицею А.2 додатку А ГБН В.2.3-37641918-557:2016;

k_u – коефіцієнт, що враховує розрахункову кількість прикладань колісних навантажень транспортних засобів за проектний термін служби покриття, який визначається за формулою:

$$k_u = 2 - \lg N_{pr} / 6. \quad (11)$$

Варто зазначити, що для нашої держави дуже важливим завданням є вирішення загальних проблем створення транспортної інфраструктури, а саме зниження затрат при будівництві та збільшення терміну безремонтної експлуатації жорстких покриттів на автомобільних дорогах. Розвиток дисперсного армування бетонів для застосування дорожніх покриттів дає можливість розвивати мережу автомобільних доріг в Україні із жорстким типом покриттям, які мають більшу несучу здатність та довговічність в порівнянні із нежорстким асфальтобетонним покриттям.

1. Довженко О.О. Застосування фібробетону в Україні. Властивості дисперсно армованих бетонів / О.О. Довженко, І.А. Юрко, В.В. Кравченко // Научно-технический сборник "Коммунальное хозяйство городов". Выпуск 90. Серия: "Архитектура и технические науки" – 2009. – С.267-272.

Dovzhenko O.O. Zastosuvannya fibrobetonu v Ukrayini. Vlastyvosti dyspersno armovanykh betoniv / O.O. Dovzhenko, I.A. Yurko, V.V. Kravchenko // Nauchno-tekhnicheskyy sbornyk "Kommunal'noe khozyaystvo horodov". Vypusk 90. Seryya: "Arkhytektura y tekhnicheskyye nauky" – 2009. – S.267-272.

2. Зотов А.Н. Структура и свойства модифицированных меклозернистых бетонов с полипропиленовой фиброй : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Кострома, 2016. 22 с.

Zotov A.N. Struktura i svoystva modifitsirovannykh meklozernistykh betonov s polipropilenovoy fibroy : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk :05.23.05. Kostroma, 2016. 22 s.

3. Талантова К.В. Строительные конструкции с заданными свойствами на основе сталефибротетона : автореф. дис. ... док. техн. наук : 05.23.01. Ростов-на-Дону, 2013. 36 с.

Talantova K.V. Stroitel'nyye konstruksii s zadannymi svoystvami na osnove stalefibrotetona : avtoref. dis. ... dok. tekhn. nauk : 05.23.01. Rostov-na-Donu, 2013. 36 s.

4. ACI Committee 544. 2008. *Guide for Specifying, Proportioning, and Production of Fiber-Reinforced Concrete*. ACI 544.3R-08. American Concrete Institute, Farmington Hills, MI.

5. Андрійчук О.В. Сталефібробетонні безнапірні труби / О.В. Андрійчук, Є.М. Бабич // Монографія. - Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. - 150 с.

Andriichuk O.V. Stalefibrobotonni beznapirni truby / O.V. Andriichuk, Ye.M. Babych // Monohrafiya. - Lutsk: LNTU, 2012. - 150 s.

6. Бабич Є.М. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталефібробетону / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Рекомендації. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 32.

Babych Ye.M. Proektuvannya ta vyhotovlennya beznapirnykh trub iz stalefibrobotonu / Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk // Rekomendatsiyi. – Lutsk: LNTU, 2012. – S. 32.

7. Бабич Є.М. Використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – К., КНУБА, 2014. Випуск № 54. – С. 33–41.

Babych Ye.M. Vykorystannya stalefibrobetonu dlya dorozhno-transportnykh sporud / Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk, I.M. Yasyuk // Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. – K., KNUBA, 2014. Vypusk № 54.–S. 33-41.

8. Андрійчук О.В. Методика експериментального дослідження дисперсно-армованих придорожніх лотків водовідведення / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Вісник Одеської національної академії будівництва та архітектури: збірник наукових праць. – Одеса: ОНАБА. 2015. Випуск 58. – С. 11 – 18.

Andriichuk O.V. Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennya dyspersno-armovanykh prydorozhnykh lotkiv vodovidvedennya / O.V. Andriichuk, I.M. Yasyuk // Visnyk ONABA: zbirnyk naukovykh prats. – Odesa. 2015. Vypusk 58. – S. 11-18.

9. ГБН В.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Вид. офіц. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2016. 71 с.

HBN V.2.3-37641918-557:2016. Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyu. Proektuvannya. Vyd. ofits. Kyuyiv : Ministerstvo infrastruktury Ukrayiny, 2016. 71 s.

10. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Вид. офіц. Київ : Міністерство інфраструктури України, 2019. 59 с.

HBN V. 2.3-37641918-559:2019. Avtomobil'ni dorohy. Dorozhniy odyah zhorstkyu. Proektuvannya. Vyd. ofits. Kyuyiv : Ministerstvo infrastruktury Ukrayiny, 2019. 59 s.