

**КОНСТРУЮВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ЖОРСТКИХ ПОКРИТТІВ НА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРОГАХ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ**

**DESIGN AND CALCULATION OF HIGHWAYS RIGID PAVEMENTS WITH THE USE OF DISPERSED REINFORCEMENT**

**Процюк В.О., к.т.н., ORCID: 0000-0003-2644-9490; Шимчук О.П., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-0564-2673; Андрійчук О.В., к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0002-6275-097X (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Protsiuk V.O., Ph.D., Shymchuk O.P., Ph.D., Associate Professor, Andriichuk O.V., Ph.D., Associate Professor, (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

**У статті представлено досвід використання фібри для отримання дисперсного залізобетону. Проаналізовано застосування дисперсного залізобетону в країнах Європи та США при влаштуванні дорожнього покриття жорсткого типу. Наведено переваги використання фібробетонного покриття в порівнянні з асфальтобетонним покриттям.**

**The article presents an analysis of the fiber use for the production of dispersed reinforced concrete. Considerable attention is paid to the use of dispersed reinforced concrete in the construction of road surfaces. Works on the beginning of the 20th century are devoted to the study of dispersed reinforced concrete. One of the promising ways to increase the strength of concrete is disperse reinforcement. Today, to increase the strength there is a need for the use of quality aggregates, highly active cements, low water-cement ratios, as well as dispersed reinforcement with fiber.**

**The purpose of the design is to select the layers of the structure and their thicknesses in order to make the best use of the mechanical and thermophysical properties of the materials and to ensure the strength, stability, manufacturability and cost-effectiveness of the pavement structure. The method of calculation of rigid type of fiber-reinforced coating is not improved in the article. The calculation takes into account the average daily intensity, the calculated values of bending moments and the standard load on the wheel of the calculation car.**

**Ключові слова:** фібробетон, армування, жосткий армований дорожній одяг, напруженодеформований стан

fiber concrete, reinforcement, rigid reinforced pavement, tensely deformed condition.

Вступ.

Розгалужена мережа якісних і швидкісних автомобільних доріг є запорукою розвитку промисловості зокрема і економіки країни в цілому. Про це свідчить досвід багатьох країн Світу, які завдяки розбудові мережі автомобільних доріг і дорожньої інфраструктури зуміли стрімко підняти рівень своєї економіки і благополуччя своїх громадян. Яскравим прикладом є США, яка найбільше постраждала від великої депресії 30-х років ХХ століття, Німеччина і Японія – країни, які капітулювали у Другій світовій війні, Китай, який перетворився із бідної аграрної країни у країну-лідера світової економіки, перегнавши США. Важливим поштовхом для відбудови цих країн було прийняття державних програм по розбудові 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 під час будівництва 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

Історія розвитку фібробетону нараховує вже майже півтора століття. В 1874 році англійський будівельник А. Берард запатентував добавку до бетону, яка представляла собою неоднорідну суміш різних матеріалів. [2].

Перші роботи, що стосуються отримання дисперсно армованих бетонів із застосуванням сталевих фібри, пов'язують з ім'ям В.П.Некрасова, який ще 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 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 того, великий внесок у розвиток науки про сталеві фібробетон зробили вчені із Австрії, Австралії, Бельгії, Німеччини, Нідерландів, Іспанії, Канади, Китаю, Польщі, США, Франції, Чехії, Швейцарії, Японії, України та інших країн. Серед них слід відмітити J.P. Romualdi, B. 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. [3-5].

Вперше застосування сталеві фібробетону для влаштування покриття в США було виконано в 1971 році на залізничній станції в штаті Огайо [6]. З цього часу було побудовано значну кількість покриттів армованих фіброю, що підкреслює універсальність сталеві фібробетону та його здатність щодо застосування практично замість будь-якого бетонного покриття.

#### Результати дослідження

*Удосконалення в конструюванні, армуванні та влаштуванні покриттів жорсткого типу*

Розвиток дорожньої інфраструктури в Україні передбачає будівництво сучасних автомагістралей із високими транспортно-експлуатаційними характеристиками, що є надзвичайно актуальним завданням для інтеграції нашої країни в Європейську спільноту.

В умовах значного приросту інтенсивності та вантажнапруженості автомобільного руху виникає потреба будівництва дорожніх одягів підвищеної капітальності та довговічності, застосування сучасних будівельних матеріалів і технологій.

Однак, багаторічний досвід експлуатації цементобетонних покриттів на найбільших автомагістралях, а також аналіз зарубіжного досвіду дозволяють об'єктивно оцінити недоліки покриттів даного типу, головними з яких є руйнування поперечних швів і утворення великої кількості тріщин, що обумовлено саме невисокою міцністю бетону при вигині.

Одним з перспективних способів підвищення міцності бетону є дисперсне армування. На сьогодні, для підвищення міцності виникає необхідність в застосуванні якісних заповнювачів, високоактивних цементів, низьких водоцементних відношень, а також дисперсне армування фібровими волокнами. При цьому, відповідно до попередніх досліджень, ефективність

дисперсного армування бетону і будівельних розчинів безпосередньо залежить від правильного вибору виду волокон, відповідно до функціонального призначення армуючого матеріалу.

Під час виконання робіт з конструювання і армування покриттів необхідно дотримуватися законодавчих актів у сфері будівництва, будівельних норм щодо проектування конструкцій дорожній одягів нежорсткого і жорсткого типів [7, 8], проектування та будівництва автомобільних доріг [9].

Мета конструювання полягає у необхідності підбору шарів конструкції і їх товщин, щоб найкращим чином використати механічні і теплофізичні властивості матеріалів і забезпечити міцність, стійкість, технологічність і економічність конструкції дорожнього одягу [7].

В процесі конструювання дорожнього одягу жорсткого типу необхідно враховувати щоб армуючі волокна були рівномірно розподілені в бетонній матриці з урахуванням конструктивних особливостей покриття та зміни інтенсивності руху.

До основних задач з конструювання дорожнього одягу жорсткого типу ми виділили:

- призначення матеріалу покриття залежно від типу жорсткого дорожнього одягу для даної категорії дороги;
- вибір матеріалів для шарів основи, установлення числа шарів і їх орієнтованих товщин з врахуванням навантаження від технологічного будівельного транспорту під час раннього набору міцності;
- вибір заходів по забезпеченню морозостійкості та осушення дорожнього одягу, корозійної стійкості покриття і шарів основи.

Під час проектування шарів із дисперсно армованих сумішей необхідно враховувати технологію введення фібри бетонну суміш та змішування її для рівномірного розподілу.

*Удосконалення розрахунку жорсткого армованого покриття по граничних станах*

Під час проектування дорожнього одягу за розрахункові приймають нормовані навантаження згідно з таблицею Б [9], що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів згідно з [8].

В процесі проектування доріг з жорстким дорожнім одягом як розрахункові можуть бути прийняті навантаження від конкретних транспортних засобів, систематичний проїзд яких передбачається на даному об'єкті навесні і восени.

Відомо що, жорсткий дорожній одяг розраховують на багаторазову дію рухомих навантажень, при цьому тривалість напружено-деформованого стану від короткочасного навантаження приймається рівною 0,1 с. Згідно з цим, у розрахунок вводять значення механічних характеристик матеріалів і ґрунту земляного полотна при навантаженні тривалістю 0,1 с. Окрім того, дорожній одяг на зупинках автобусів і тролейбусів, автостоянках, у зоні перехрещень, на підходах до перехрещень з залізничними і трамвайними коліями слід

розраховувати на статичне навантаження тривалістю 600 с. При цьому, статична тривалість напруженодеформованого стану враховується відповідними значеннями розрахункових характеристик матеріалів згідно з ГБН В.2.3-37641918-559 [8] і коефіцієнтів при визначенні допустимого напруження зсуву в ґрунті.

Очікувану інтенсивність руху транспортних засобів різних марок слід приводити до рівноцінної інтенсивності впливу розрахункового навантаження на одну смугу проїзної частини за добу. Середньодобова, приведена до розрахункового навантаження  $Q_p$  кількість проїздів всіх коліс, розташованих по одному борту автотранспортних засобів, у межах однієї смуги проїзної частини з приведеною розрахунковою інтенсивністю  $N_p$  (одиниць/добу) впливу навантаження, визначається згідно з [7] за формулою (1):

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

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 за таблицею 1;

$f_2$  – 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;

$\delta_n$  – 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.

Таблиця 1

Значення коефіцієнта  $f_1$ , що враховує число смуг і розподілення проїздів по них

Загальна кількість смуг руху в обох напрямках	Значення $f_1$ для смуги, рахуючись справа за напрямом руху		
	1-й	2-й	3-й
1	1,00	-	-
2	0,55	-	-
3	0,50	0,50	-
4	0,35	0,20	-
5	0,30	0,20	0,01
бокові укріплені смуги	0,01	-	-

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 [7]:

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

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 (4):

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

де  $m_{c.\max}$  – максимальний згинальний момент при центральному завантаженні плит, кН·м/м, який вираховується, як найбільший сумарний момент, який створюється колесами рухомого автомобіля в розрахункових перерізах плити, перпендикулярних осям  $x$  або  $y$ , визначають за формулою (5):

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

де  $f(\alpha) = f(R_c / l)$  – функція, значення якої приведено в [10].

$F_d$  – розрахункове навантаження на колесо, кН, визначається за формулою (6):

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

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  $k_d = 1,2$ ;

$\gamma_f$  – 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 (7):

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

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 (8):

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

де  $K_s$  – розрахунковий коефіцієнт постелі однорідної ґрунтової основи, МН/м<sup>3</sup>; 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·м<sup>4</sup>/м, віднесена до одиниці ширини її перерізу та визначена за формулою (9):

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

де  $E_b$  – початковий модуль пружності фібробетону, МПа, приймається за таблицю 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 (10):

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

$\gamma_c$  – 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 таблицю А.2 додатку А ГБН В.2.3-37641918-557;

$k_u$  – коефіцієнт, що враховує розрахункову кількість прикладань колісних навантажень транспортних засобів за проектний термін служби покриття, який визначається за формулою (11):

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

### **Висновки.**

Широке застосування фібробетону при будівництві аеродромних покриттів обґрунтоване високими навантаженнями на них. Сталева фібра значно покращує ударну міцність бетону, робить його придатним матеріалом для конструкцій, схильних до динамічним навантаженням. Фібробетон сприймає навантаження за рахунок гнучкості. Такі покриття забезпечують економію палива для важких транспортних засобів в порівнянні з асфальтобетонними та цементобетонними покриттями. Всі ці фактори дозволяють припустити, що фібробетонні покриття є найбільш вигідним типом дорожнього покриття, як з технічної сторони так і з економічної.

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. Zastosuvannia fibrobetonu v Ukraini. Vlastyvosti dyspersno armovanykh betoniv / O.O. Dovzhenko, I.A. Yurko, V.V. Kravchenko // Nauchno-tekhnycheskyi sbornyk "Kommunalnoe khoziaistvo horodov". Выпуск 90. Seryia: "Arkhytektura y tekhnnycheskye 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 y svoistva modyfytsyrovannykh meklozernystykh betonov s polypropylenovoi fybroi : avtoref. Dys 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. Stroytelnye konstruksyy s zadannymy svoistvamy na osnove stalefybrotetona : avtoref. dys. ... dok. tekhn. nauk : 05.23.01. Rostov-na-Donu, 2013. 36 s.

4. Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk, D.YaKysliuk, V.V. Savitskiy, M.V.Ninichuk. Results of experimental research of deformability and crack-resistance of two span continuous reinforced concrete beams with combined reinforcement. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – MSE, 2019. Volume 708, Number 1, 012043, p. 1-8.

5. Andriichuk, O., Yasiuk, I., Uzhehov, S., Palyvoda, O. Experimental research of strength characteristics of steel fiber reinforced concrete gutters and modeling of their work using the finite element method. Lecture Notes in Civil Engineering this link is disabled, 2021, 100 LNCE, pp. 1–8.

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

7. ГБНВ.2.3-37641918-557:2016. Автомобільні дороги. Дорожній одяг жорсткий. Проектування. Київ, 2016. 71 с.

НБНВ.2.3-37641918-557:2016. Avtomobilnidorohy. Dorozhnii odiah zhorstkyi. Proektuvannia. Kyiv, 2016. 71 s.

8. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. Київ, 2019. 59 с.

НБН В.2.3-37641918-559:2019. Avtomobilni dorohy. Dorozhnii odiah nezhorstkyi. Proektuvannia. Kyiv, 2019. 59 s.

9. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. Київ, 2015. 104 с.

DBN V.2.3-4:2015. Avtomobilni dorohy. Chastyna I. Proektuvannia. Chastyna II. Budivnytstvo. Kyiv, 2015. 104 s.

10. Рекомендации по расчету, конструированию и технологии строительства фибробетонных слоев усиления цементобетонных покрытий аэродромов авиации ВС. М., РФ, 2004. 44с.

Rekomendatsyy po raschetu, konstruyrovanyiu y tekhnolohyy stroytelstva fyfrobetonnykh sloev usyleniya tsementobetonnykh pokrytyi aэodromov avyatsyy VS. M., RF, 2004. 44s.

11. Ключев А.В. К вопросу применения фибробетонных покрытий автомобильных дорог / А.В. Ключев, А.В. Нетребенко, А.В. Дураченко // Искусствоведение, архитектура и строительство – Современные строительные технологии и материалы. 2014.

Kliuev A.V. K voprosu pryumeneniya fyfrobetonnykh pokrytyi avtomobylnykh doroh / A.V. Kliuev, A.V. Netrebenko, A.V. Durachenko // Yskusstvovedenye, arkhytektura y stroytelstvo – Sovremennyye stroytelnye tekhnolohyy y materyaly. 2014.