

УДК 666.972

ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІПРОПІЛЕНОВОЇ ФІБРИ ТА БАЗАЛЬТОВОЇ ФІБРИ У ДОРОЖНІХ БЕТОНАХ

Толмачов С. М.¹, Бєліченко О. А.¹, Дорошенко М. А.¹, Покуса Ю. П.¹

¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. Широке застосування фібробетонів у будівництві обумовлено низкою їх переваг. Однак, незважаючи на багаторічні дослідження в цьому напрямі, вчені різних країн описують дані, одержані експериментально, результати яких відрізняються. У деяких випадках отримані результати відрізняються як чисельно, так і принципово. В основному це фібри штучного походження, які застосовують для виготовлення фібробетонів. Найчастіше застосовують металеву, полімерну, базальтову, скляну фібру. У меншій мірі використовують вуглецеву та поліамідну фібру. Слід зазначити, що ефективність поліамідної фібри дуже сумнівна, насамперед через схильність цього виду фібри до набухання. В даний час вартість вуглецевої фібри досить висока, що є основною перешкодою її широкого застосування в бетонах. Металева та скляна фібра піддаються корозії, а це негативно впливає на властивості бетонів. Оскільки дорожні та аеродромні бетони експлуатують в агресивних умовах, то зазначені недоліки не дозволяють застосовувати в них металеву, скляну, вуглецеву та поліамідну фібру. Проте, з аналізу літератури випливає, що найбільші протиріччя стосуються використання базальтової та поліпропіленової фібри. Немає єдиної думки, яка з цих видів фібри більш ефективна для застосування в бетонах. Яку кількість фібри слід вводити у бетонну суміш для досягнення максимального результату також невідомо. Це призвело до того, що в дорожніх та аеродромних бетонах базальтову та поліпропіленову фібру застосовують дуже рідко. У статті наведено аналіз результатів застосування поліпропіленової та базальтової фібри у бетонах, отриманих дослідниками у різних країнах. Показано експериментальні дані, отримані авторами. Основну увагу приділено порівняльній ефективності застосування цих видів фібри. Як критерії оцінки ефективності прийняті міцність, морозостійкість і стираність дорожніх бетонів. Встановлено кількісні інтервали застосування кожного виду фібри. Проведені дослідження показали, що за міцністю та морозостійкістю, а також за економічними показниками, застосування поліпропіленової фібри в дорожніх бетонах є більш ефективним, ніж базальтової.

Ключові слова: фібробетон, базальтова фібра, поліпропіленова фібра, міцність, морозостійкість, стираність.

COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE APPLICATION OF POLYPROPYLENE AND BASALT FIBER IN ROAD CONCRETE

S. Tolmachov¹, O. Belichenko¹, M. Doroschenko¹, Yu. Pokusa¹

¹Kharkov national automobile und highway university

Abstract. The widespread use of fiber-reinforced concrete in construction is due to a number of their advantages. However, despite many years of research in this direction, scientists from different countries describe data obtained experimentally, the results of which differ. In some cases, the results obtained differ not only numerically, but also fundamentally. Basically, these are fibers of artificial origin, which are used for the manufacture of fiber-reinforced concrete. The most commonly used metal, polymer, basalt, glass fibers. To a lesser extent, carbon and polyamide fibers are used. It should be noted that the effectiveness of polyamide fiber is very doubtful, primarily because of the tendency



of this type of fiber to swell. At present, the cost of carbon fiber is quite high, which is the main obstacle to its widespread use in concrete. Metal and glass fibers are subject to corrosion, and this adversely affects the properties of concrete. Since road and airfield concretes are used in aggressive conditions, these shortcomings do not allow the use of metal, glass, carbon and polyamide fibers in them. However, it follows from the analysis of the literature that the greatest controversy concerns the use of basalt and polypropylene fibers. The greatest controversy concerns the use of basalt and polypropylene fibers. There is no consensus which of these types of fiber is more effective for use in concrete. What amount of fiber should be introduced into the concrete mixture to achieve the maximum result is also unknown. This has led to the fact that basalt and polypropylene fibers are used very rarely in road and airfield concrete. The article presents an analysis of the results of the use of polypropylene and basalt fibers in concrete, obtained by researchers in different countries. The experimental data obtained by the authors are shown. The main attention is paid to the comparative efficiency of the use of these types of fibers. Strength, frost resistance and abrasion of road concrete are taken as criteria for evaluating the effectiveness. Quantitative intervals for the use of each type of fiber are established.

Keywords: fiber-reinforced concrete, basalt fiber, polypropylene fiber, strength, frost resistance, abrasion.

1 ВСТУП

Знання властивостей бетону, таких як міцність, модуль пружності, теплове розширення, тепловиділення, усадка та повзучість є важливими при проектуванні дорожнього покриття. Високоєфективний фібробетон в даний час періодично використовують за кордоном для будівництва покриттів автомобільних доріг, майданчиків, злітно-посадкових смуг, тротуарів. Але, в основному, фібробетон широко застосовують при будівництві будівель і споруд, а також у конструкціях, які схильні до дії стираючих, згинаючих, циклічних, ударних і термічних впливів. Також його використовують для ремонтів і там, де потрібний ранній початок експлуатації укладеного фібробетону. В Україні фібробетон практично не застосовують у дорожньому та аеродромному будівництві. Причинами цього є його висока вартість порівняно зі звичайним бетоном. У фібробетоні рекомендується використовувати цемент високих марок, що також може призвести до подорожчання бетонної суміші. Застосування високомарочного цементу призводить до проблем у масивних конструкціях із тепловиділенням. Ще однією причиною є відмінність показників міцності, морозостійкості та стираних бетонів з базальтовою та поліпропіленою фіброю, одержуваних різними дослідниками. Ці види фібри рекомендовані до застосування у дорожніх та аеродромних бетонах деякими нормативними документами України. Однак, оскільки відсутня єдина думка про ефективність застосування цих видів фібри в дорожніх бетонах, метою даного дослідження є: порівняльна оцінка ефективності застосування поліпропіленої і базальтової фібри та дослідження їх впливу на властивості дорожніх бетонів.

2 АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

На початковому етапі досліджень було проведено аналіз літератури, в якій описано результати застосування базальтової та поліпропіленої фібри у важких бетонах. Основна увага в аналізі була приділена впливу фібри на міцнісні властивості бетонів, їх морозостійкість і стираних, оскільки ці показники визначають довговічність дорожніх і аеродромних покриттів.

Наприклад, у роботі [1] показано, що введення в бетон 2% за об'ємом базальтових волокон дозволяє підвищити його міцність. Збільшення цієї кількості призводить до зниження міцності бетону. Значного впливу на інші фізико-механічні властивості бетону (крім зносостійкості та тріщиностійкості) застосування базальтової фібри не мало.

Дослідження міцності, проведені під керівництвом Л. Й. Дворкіна на піщаних бетонах складу Ц: П=1:3 показують, що при введенні 1,0 кг/м³ базальтової фібри міцність бетону за згином зростає на 55%, а за стиском – на 16% (табл. 1) [2].

Таблиця 1

Міцність піщаного бетону з базальтовою фіброю довжиною 12 мм (за даними Л. Й. Дворкіна [2])

№ з/п	Вид та кількість фібри	Міцність за згином, МПа, у віці 28 діб	Міцність за стиском, МПа, у віці 28 діб
1	без фібри	22,6	4,9
2	базальтова – 1,0 кг/м ³	26,2	7,6
3	базальтова – 5,0 кг/м ³	22,6	5,8
4	базальтова – 10,0 кг/м ³	14,7	5,6

У той же час додавання базальтової фібри в кількості, що перевищує 1 кг/м^3 , призводить до різкого зниження показників міцності. Так, наприклад, збільшення витрати базальтової фібри до 5 кг/м^3 (приблизно 1% від маси цементу), призводить до того, що міцність за стиском фібробетонів не зростає, а приріст міцності за згином знижується до 18%. Збільшення кількості базальтової фібри до 10 кг/м^3 (приблизно 2% від маси цементу) призводить до різкого (на 35%) падіння міцності за стиском та подальшого зниження міцності за згином.

У цьому дослідженні також було показано, що збільшення довжини базальтової фібри з 12 до 24 мм не призводить до зміни властивостей міцності піщаних і дрібнозернистих бетонів.

Дослідження, проведені в ДерждорНДІ у рамках виконання науково-дослідної роботи (спільно з ХНАДУ) щодо оцінки впливу різних видів фібри, показали, що максимальна ефективність застосування базальтової фібри в піщаних бетонах досягається при витраті фібри на рівні 2% від маси цементу (приблизно 10 кг/м^3) [3].

При цьому міцність бетонів за згином у віці 28 діб зростає на 43%, а за стиском – на 37%. Але вже при збільшенні витрати базальтової фібри понад 2% від маси цементу (до 4% від $m_{\text{ц}}$) відбувається різке зниження міцності піщаних бетонів за стиском до рівня міцності бетонів без фібри. Приріст міцності за згином фібробетонів також знижується до 19%. Однак, у цьому ж дослідженні було встановлено, що при подальшому збільшенні витрати базальтової фібри до 6% від $m_{\text{ц}}$ знову спостерігається збільшення міцності фібробетонів до 24% за стиском і до 40% за згином (у порівнянні з бетонами без фібри).

Дослідження впливу фібри на властивості сумішей та бетонів показали, що матеріал, розміри та характер розподілу волокон відіграють важливу роль [4].

Для отримання міцних композитів необхідно, щоб:

- волокна були рівномірно розподілені в об'ємі суміші і не повинні торкатися один до одного;

- матеріал бетону був хімічно інертним щодо відношення до матеріалу волокон;

- волокна мали вищий у порівнянні з бетоном та розчином модуль пружності.

Там же зазначено, що зі зменшенням довжини фібри її кількість, яка може бути введена в бетонну суміш без погіршення однорідності, зростає і навпаки. Звертає увагу те, що при збільшенні кількості фібри, довжини волокон і зменшенні їх діаметра зручнукладальність бетонної суміші знижується. Однак цей вплив можна зменшити за рахунок збільшення водоцементного відношення або об'єму розчинної частини бетону, а також застосуванням пластифікаторів.

Загалом, як вважають автори, фібробетон повинен відрізнятися від звичайного вищим вмістом цементу, витрата якого має бути $350 \dots 550 \text{ кг/м}^3$. Однак, у цьому дослідженні не сказано, які характеристики повинні бути критеріями одержання якісного фібробетону.

Аналогічна думка висловлена у дослідженнях, проведених під керівництвом В. М. Дерев'янка [5].

Наприклад, висловлено думку про те, що бетон з базальтовою фіброю дозволяє на 30...40% зменшити товщину покриття підлог без втрати міцності, збільшити термін його служби в 2...4 рази. Застосування цього виду фібри в кількості 0,1...0,4%, крім міцності, дозволяє підвищити зносостійкість. Також зазначено, що при збільшенні довжини волокон або зменшенні їх діаметра підвищується В/Ц суміші. Оптимізація показників базальтової фібри щодо цих параметрів дозволила авторам вважати оптимальними для застосування в бетонах класу В25 з високорухомих сумішей (Р4), базальтові волокна довжиною 12 мм діаметром 20 мкм при їх вмісті 0,4%. На жаль, автори не вказують її точної кількості.

У роботі [6] щодо оцінки впливу поліпропіленої фібри на властивості бетонів було показано, що міцність фібробетонів за стиском порівняно з бетонами без фібри незначно підвищується. Але міцність за згином при введенні 1 кг/м^3 поліпропіленої фібри зростає на 40%. Крім того, було встановлено, що запровадження поліпропіленових волокон сприяє значному підвищенню енергії руйнування бетонів.

Позитивний вплив поліпропіленої фібри було показано у дослідженнях, проведених під керівництвом С. Й. Солодкого [7]. У цій роботі було розглянуто два види фібри: звичайна, гладка та фігурна. Було встановлено оптимальну кількість двох видів фібри: $0,7...1,35 \text{ кг/м}^3$ для звичайної фібри та $3,5...7,0 \text{ кг/м}^3$ для фігурної фібри. Відмічено, що міцність на приведенні поліпропіленої фібри до складу дрібнозернистого бетону ($D_{\text{max}}=20\text{мм}$) міцність за стиском може зростати на $6...22\%$, а за згином – на $17...23\%$. Підвищенню міцності за стиском сприяє фігурна фібра, що створює структурний каркас усередині бетону. А підвищення міцності за згином обумовлено впливом звичайної фібри. При цьому зазначено, що модуль пружності фібробетонів із звичайною фіброю зростає в 1,5 рази, а в комбінації обох видів фібр – у 2 рази. На $20...40\%$ збільшується тріщиностійкість і збільшується енергія руйнування фібробетонів.

Підвищення тріщиностійкості та зниження величини внутрішнього напруження в бетонах з поліпропіленою фіброю показано в роботі [8]. Така фібра запобігає седиментації великого заповнювача, розшарування суміші, знижує пластичну усадку на початковому етапі та вологе усадку при твердінні бетону. Кількість фібри варіювалася $0,9...2,7 \text{ кг/м}^3$. Однак при цьому відзначено значне зниження міцності бетону за стиском – до $20...30\%$, а міцність за згином зростала лише на 8% .

У дослідженнях, присвячених впливу базальтової фібри, було показано, що при введенні її в кількості $2...6\%$ від маси цементу міцність бетонів за стиском не змінюється, але значно підвищується міцність за згином – на $15...33\%$ [9]. Дещо знижується стиранисть бетонів (на 13%).

Протилежні результати отримані у роботі [10], автори якої показали, що при введенні 1% від маси цементу базальтової фібри міцність бетону за стиском збільшується на 16% .

Отримано різні результати впливу фібри на морозостійкість. В роботі [11] відмічено зниження морозостійкості бетону при введенні поліпропіленої фібри. Зниження міцності бетонів при введенні поліпропіленої фібри відзначено також у роботі [12].

3 ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даного дослідження є: порівняльна оцінка ефективності застосування поліпропіленої і базальтової фібри та дослідження їх впливу на властивості дорожніх бетонів.

4 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У дослідженнях використовували цемент ПЦ П/А-Ш-400 виробництва ПАТ «ЮГцемент». В якості заповнювачів для бетонів застосовували пісок кварцовий $M_{\text{кр}}=2.2$, а також щебінь гранітний фр. 5-10 мм виробництва ТОВ «Корпорація Бугські кар'єри», Миколаївської області. У дослідженнях застосовували добавку Fk 59 полікарбоксилатного типу виробництва Німецької фірми MC-Bauchemie.

Для виготовлення зразків бетонів використовували поліпропіленову фібру товщиною 50 мкм і довжиною 12 мм виробництва ТОВ МТС «Спецснаб», м. Дніпро, а також базальтову фібру товщиною 0,2 мм і довжиною 12 мм виробництва фірми Баутех-Україна.

Зовнішній вигляд фібри представлено на рис. 1.



Рис. 1. Зовнішній вигляд поліпропіленової і базальтової фібри
(а – поліпропіленова; б – базальтова)

Розплив конуса розчинних сумішей з фіброю визначали на струшувальному столику відповідно до ДСТУ Б В.2.7-187.

Міцність піщаного і дрібнозернистого бетонів за стиском та за згином визначали на зразках-призмах (балках) розміром 4x4x16 см згідно з ДСТУ Б В.2.7-224, та ДСТУ Б В.2.7-214. Склади бетонів: піщаного – ц: п=1 : 3, дрібнозернистого вказано нижче.

Морозостійкість бетону визначали за третім прискореним методом для бетонів дорожніх і аеродромних покриттів відповідно до ДСТУ Б В.2.7-47 і ДСТУ Б В.2.7-49.

Стиранність бетону визначали згідно ДСТУ Б В.2.7-212 на установці типу «Коло стирання» ЛКІ-3 на зразках-кубах з ребром 70 мм. Морозостійкість та стиранність оцінювали на зразках з дрібнозернистих бетонів складу: ц – 350 кг/м³, п – 590 кг/м³, щ – 1290 кг/м³.

В дослідженнях оцінювали міцність бетонів за стиском і за згином. Для оцінки впливу фібри на міцність проводили дослідження на бетонах, в яких вміст базальтової фібри варіювали від 1 до 2% від маси цементу (від 6 до 12 кг/м³ для піщаного, і від 3,5 до 7 кг/м³ для дрібнозернистого бетонів), а поліпропіленової – від 0,6 до 1,2 кг/м³.

Дослідження впливу фібри на властивості піщаних бетонів показали, що збільшення витрати базальтової фібри в межах 1...2% веде до підвищення їх міцності (табл. 2). Так, при витраті базальтової фібри 1% від маси цементу міцність піщаних бетонів на згин і на стиск практично не збільшується. Значне збільшення міцності відзначається при витраті базальтової фібри 2% від маси цементу. Міцність за згином при цьому зростає на 16% і 18 у віці 7 та 28 діб відповідно, порівняно з бетонами без фібри. При цьому міцність за стиском також зростає, але значно менше, чим за згином: на 8% у віці 7 та 28 діб.

У той же час, в бетонах, що містять поліпропіленову фібру міцність на згин зростає на 12 і 15% у віці 7 і 28 діб вже при витраті цього виду фібри 0,6 кг/м³ (табл. 2). Міцність на стиск також зростає на 12%.

При витраті поліпропіленової фібри 1,2 кг/м³ приріст міцності за згином збільшується до 36%. Міцність за стиском також збільшується на 25%.

Підвищення міцності за стиском піщаних бетонів із поліпропіленовою фіброю є важливим позитивним моментом. У той же час, такого значного збільшення міцності за стиском в бетонах з базальтовою фіброю не відбувається.

Таблиця 2

Властивості піщаного фібробетону з різною фіброю

№ з/п	Вид та кількість фібри	Міцність за згином, МПа, у віці, діб.		Міцність за стиском, МПа, у віці, діб	
		7	28	7	28
1	без фібри	4,22	5,03	19,4	23,4
2	базальтова – 1,0 % від $m_{ц}$	4,30	5,21	19,6	22,8
3	базальтова – 1,5 % від $m_{ц}$	4,50	5,54	21,2	24,6
4	базальтова – 2,0 % від $m_{ц}$	4,88	5,92	21,0	25,4
5	поліпропіленова – 0,6 кг/м ³	4,71	5,78	21,6	26,2
6	поліпропіленова – 0,9 кг/м ³	5,03	6,25	23,0	27,8
7	поліпропіленова – 1,2 кг/м ³	5,74	6,86	23,0	29,2

- в усі склади вводили суперпластифікатор полікарбоксилатного типу Fk59 в кількості 0,5% від маси цементу,
- розплів конусу розчинних сумішей з різною фіброю був однаковий ($R_K = 125 \dots 130$ мм)

5 ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Результати наших досліджень показують, що вплив поліпропіленової фібри на міцність піщаних бетонів є більш ефективним, ніж вплив базальтової.

Одним із питань застосування фібробетонів є питання про співвідношення довжини фібри та максимальної крупності заповнювача. Наші дослідження показали, що для піщаних бетонів з максимальною крупністю зерен заповнювача 5 мм оптимальною є фібра довжиною 12 мм. Але фібра такої довжини також добре працює у дрібнозернистих бетонах, про що свідчать експериментальні дані різних авторів. Тому на наступному етапі досліджень (дрібнозернисті бетони з $D_{max} = 5$ мм) була прийнята фібра довжиною 12 мм. Дослідження, проведені на дрібнозернистих фібробетонах показали, що введення 2% базальтової фібри призводить до збільшення міцності за згином на 7%, але міцність за стиском при цьому дещо знижується (на 4%) (табл. 3).

Таблиця 3

Міцність дрібнозернистих фібробетонів

№ з/п	Склад	Кількість фібри	Міцність, МПа, у віці 28 діб
1	без фібри	-	$R_{зг} = 5,7 / R_{ст} = 35,8$
2	з базальтовою фіброю	2,0 % від $m_{ц}$	$R_{зг} = 6,1 / R_{ст} = 34,4$
3	з базальтовою фіброю	4,0 % від $m_{ц}$	$R_{зг} = 6,3 / R_{ст} = 33,2$
4	з поліпропіленовою фіброю	0,9 кг/м ³	$R_{зг} = 7,0 / R_{ст} = 36,4$
5	з поліпропіленовою фіброю	1,2 кг/м ³	$R_{зг} = 7,3 / R_{ст} = 37,2$

- в усі склади вводили суперпластифікатор Fk59 в кількості 0,5 % від маси цементу

Збільшення кількості базальтової фібри до 4% призводить до зростання міцності за згином на 10%, але міцність за стиском при цьому продовжує знижуватися (на 7% порівняно з бетоном без фібри).

Застосування поліпропіленової фібри у кількості 0,9 кг/м³ призводить до підвищення міцності бетонів за згином на 23%. Але міцність за стиском дрібнозернистих бетонів при цьому не знижується. Збільшення витрати поліпропіленової фібри до 1,2 кг/м³ дозволяє підвищити міцність бетонів за згином до 28%, а міцність за стиском – на 4%.

Одним з важливих показників бетонів транспортного призначення є їх зношувальність під дією транспортних засобів. Проведені експериментальні дослідження показали, що введення фібри до складу дрібнозернистих бетонів дозволяє суттєво знизити стиральність (табл. 4). При цьому очевидно, що введення до складу дрібнозернистого бетону фібри обох видів призводить приблизно до однакових результатів - стиральність фібробетонів знижується на 52...58 % в порівнянні з бетонами без фібри. Це стосується як водонасичених, так і сухих бетонів.

Таблиця 4

Стиральність бетонів з різними видами фібри

№ з/п	Склад бетону	Стиральність, г/см ²	
		Водонасичених	Сухих
1	Без фібри	0,192	0,160
2	З поліпропіленою фіброю	0,121	0,105
3	З базальтовою фіброю	0,132	0,112

Головним показником довговічності дорожніх бетонів є їх морозостійкість, яку визначають при заморожуванні і відтаванні в хлористих солях. Дослідження показали, що фібробетони з різними видами фібри мають високу морозостійкість, яка перевищує марку F200 (табл. 5).

Таблиця 5

Морозостійкість дрібнозернистих бетонів з фіброю

№ з/п	Вид фібри	Кількість фібри, кг/м ³	Коефіцієнт морозостійкості бетону після кількості циклів заморожування-відтавання (за прискореною методикою за температури – 50 °С)				
			5	10	20	30	35
1	Базальтова	2	1,03	0,99	0,97	0,95	0,91
2	Поліпропіленова	0,9	1,01	1,03	1,00	0,97	0,96

- Випробуванню піддавали бетони класу за міцністю В25, в складі яких вводили суперпластифікатор Fk59 в кількості 0,5 % від маси цементу

Однак, коефіцієнт морозостійкості бетонів з базальтовою фіброю після 35 циклів прискореного випробування менше, ніж мінімально допустимий ($K_{мрз}$ повинен бути вище ніж 0,95). У той же час, бетони з поліпропіленою фіброю мають коефіцієнт морозостійкості що перевищує мінімальний, навіть після 35 циклів випробування. Очевидно, що бетони з поліпропіленою фіброю мають більш високу морозостійкість, ніж бетони з базальтовою фіброю. Вона відповідає марці F300.

6 ВИСНОВКИ

1. Аналіз літературних джерел показав, що експериментальні дані, застосування поліпропіленої та базальтової фібри у важких бетонах, у тому числі й дорожніх, одержані різними авторами, суттєво відрізняються. Це відноситься, насамперед, до кількості базальтової фібри, яку необхідно вводити в бетонну суміш.

2. Отримані нами результати показують, що застосування базальтової фібри в бетонах є ефективним при її витраті не менше 2% від маси цементу (7...10 кг/м³ бетону). При цьому міцність бетонів з цим видом фібри зростає на 7...18% за згином та на 4...8% за стиском. Міцність за згином бетонів з поліпропіленою фіброю зростає на 28...36%, а за стиском – на 4...25%, залежно від максимальної крупності заповнювача та витрати цементу. При цьому витрата поліпропіленої фібри майже на порядок менша, ніж базальтової.

3. Стираність бетонів з обома видами фібри менше, ніж у бетонів без фібри на 52...58%, а морозостійкість бетонів не менше марки F200, що відповідає вимогам нормативних документів для дорожніх бетонів.

4. Проведені дослідження показали, що за міцністю та морозостійкістю, а також за економічними показниками, застосування поліпропіленової фібри в дорожніх бетонах є більш ефективним, ніж базальтової.

Література

1. Tehmina Ayub, Nasir Shafiq, M. Fadhil Nuruddin Mechanical Properties of High-Performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers. *Procedia Engineering*, 2014. №77. pp. 131–139.
2. Дворкін Л. Й. та ін. Високоміцні швидкотвердуючі бетони та фібро бетони. Рівне: НУВГП, 2017. 331 с.
3. Толмачов С. М., Харченко С. З., Гревцев А. К., Кондратьєва І. Г. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробити технологію використання поліпропіленової фібри при виготовленні монолітних і збірних цементобетонних конструкцій». Х/Т № 140 /38-47-08. Укравтодор, 2008. 38 с.
4. Возный С. П., Дорошенко Ю. М. Анализ влияния различных факторов на цементобетонное покрытие автомобильных дорог. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*, 2016. Вип. 96. С. 50–60.
5. Деревянко В. Н., Саламаха Л. В. Дисперсно-армированные бетоны для устройства полов. Будівельні конструкції «Сучасні технології бетону», 2009. №72. С. 488–492.
6. Bosnjak J., Sharma A., Grauf K. Temperature-dependent behavior of fiber reinforced concrete. 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015. Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar, 2015. pp. 1236–1243.
7. Markiv T., Turba Yu., Solodkyu S. The influence of polypropylene fibres on fracture parameters of concrete. 20 Internationale Baustofftagung, 20-22 September 2018. Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar, 2018. pp. 2263–2269.
8. Зайченко Н. М., Лахтарина С. В. Самоуплотняющиеся бетоны, дисперсно-армированные полимерными волокнами. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 2011. №22. С. 63–70.
9. Коваль П. М., Бабяк І. П., Гримак О. Я. Дослідження впливу базальтової фібри на властивості бетону для транспортного будівництва. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 2011. №22. С. 93–100.
10. Ксеншкевич Л. Н., Барабаш И. В., Даниленко А. В. Влияние базальтовой фибры на прочность цементного камня. Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди, 2011. №31. С. 163–167.
11. Piotr Berkowskia, Marta Kosior-Kazberuk Effect of fiber on the concrete resistance to surface scaling due to cyclic freezing and thawing. *Procedia Engineering*, 2015. №111. pp. 121–127.
12. Malgorzata Pajak Investigation On Flexural Properties of Hybrid Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete. *Procedia Engineering*, 2016. №161. pp. 121–126.

References

1. Ayub, T., Shafiq, N., Nuruddin, M. Fadhil (2014). Mechanical Properties of High-Performance Concrete Reinforced with Basalt Fibers. *Procedia Engineering*. 2014. 77. 131–139.
2. Dvorkin, L. J. ta in. (2017). *Visokomicni shvidkotverdnuyuchi betoni ta fibrobetoni* [High-strength fast-hardening concretes and fiber concretes]. Rivne: NUVGP. 2017. [in Ukraine].
3. Tolmachov, S. M., Harchenko, S. Z., Grevcev, A. K., Kondrat'jeva, I. G. (2008). *Zvit pro naukovo-doslidnu robotu «Rozrobiti tekhnologiyu vikoristannya polipropilenovoi fibri pri vigotovlenni monolitnih i zbirnih cementobetonnih konstrukcij»* [Report on the research work «Develop the technology of using polypropylene fiber in the manufacture of monolithic and prefabricated cement concrete structures»]. h/t № 140 /38-47-08. Ukravtodor. 2008. [in Ukraine].
4. Voznyj, S. P., Doroshenko, Yu. M. (2016) *Analiz vliyaniya razlichnyh faktorov na cementobetonnoe pokrytie avtomobil'nyh dorog* [Analysis of the influence of various factors on the cement-concrete pavement of roads]. *Avtomobil'ni dorogi i dorozhne budivnictvo*. 96. 50–60. [in Russian].

5. Derevyanko, V. N., Salamaha, L. V. (2009) Dispersno-armirovannyye betony dlya ustrojstva polov [Dispersion-reinforced concrete for flooring]. *Budivel'ni konstrukcii «Suchasni tekhnologii betonu»*. 72. 488–492. [in Russian].
6. Bosnjak, J., Sharma, A., Grauf, K. (2015). Temperature-dependent behavior of fiber reinforced concrete. 19 Internationale Baustofftagung, 16-18 September 2015. *Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar*. 2015. 1236–1243.
7. Markiv, T., Turba, Yu., Solodkyy, S. The influence of polypropylene fibres on fracture parameters of concrete. 20 Internationale Baustofftagung, 20-22 September 2018. *Bundesrepublik Deutschland: Tagungsbericht. Weimar*. 2018. 2263–2269.
8. Zajchenko, N. M., Lahtarina, S. V. (2011). Samouplotnyayushchiesya betony, dispersno-armirovannyye polimernymi voloknami [Self-compacting concrete, dispersion-reinforced with polymer fibers]. *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi*. 22. 63–70. [in Russian].
9. Koval', P. M., Babyak, I. P., Grimak, O. Ya. (2011). Doslidzhennya vplivu bazal'tovoї fibri na vlastivosti betonu dlya transportnogo budivnictva [Study of the effect of basalt fiber on the properties of concrete for transport construction]. *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi*. 22. 93–100. [in Ukraine].
10. Ksenschkevich, L. N., Varabash, I. V., Danilenko, A. V. (2011). Vliyanie bazal'tovoj fibry na prochnost' cementnogo kamnya [Effect of basalt fiber on the strength of cement stone]. *Resursoekonomni materialy, konstrukcii, budivli ta sporudi*. 31. 163–167. [in Russian].
11. Berkowskia, P., Kosior-Kazberuk, M. (2015). Effect of fiber on the concrete resistance to surface scaling due to cyclic freezing and thawing. *Procedia Engineering*. 111. 121–127.
12. Pajak, M. (2016). Investigation On Flexural Properties of Hybrid Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete. *Procedia Engineering*. 161. 121–126.

Толмачов Сергій Миколайович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
д.т.н., професор
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків 61002, Україна
Tolmachov.serg@gmail.com
ORCID: 0000-0003-1011-3861

Беліченко Олена Анатоліївна

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
к.т.н., старший науковий співробітник
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків 61002, Україна
Olena.belichenko@gmail.com
ORCID: 0000-0002-7444-8188

Дорошенко Микита Андрійович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
магістрант
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків 61002, Україна
Tolmachov.serg@gmail.com

Покуса Юрій Петрович

Харківський національний автомобільно-дорожній університет
магістрант
вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків 61002, Україна
Tolmachov.serg@gmail.com

Для посилань:

Толмачов С. М., Беліченко О. А., Дорошенко М. А., Покуса Ю. П. Порівняльна характеристика застосування поліпропіленової фібри та базальтової фібри у дорожніх бетонах. *Механіка та математичні методи*, 2022. Т. 4. №. 2. С. 65–74.

For references:

Tolmachov S., Belichenko O., Doroschenko M., Pokusa Yu. (2022). Comparative characteristics of the application of polypropylene and basalt fiber in road concrete. *Mechanics and Mathematical Methods*. 4 (2). 65 – 74.