

УДК 625.7

Краюшкіна Катерина Вікторівнакандидат технічних наук,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри дизайну інтер'єру
ORCID: 0000-0002-5942-5658
ekrayushkina15@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ БАЗАЛЬТОВИХ МАТЕРІАЛІВ У КОНСТРУКЦІЯХ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ І АЕРОДРОМІВ

Автомобільні дороги і аеродроми є головними складовими транспортної системи України.

Соціально-економічний розвиток країни, її інтеграція у світове співтовариство значною мірою залежить від транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг і аеродромів.

Саме з розвитку цих складових починався розвиток економіки в багатьох країнах світу. Так США, Німеччина та Японія, які у свій час визначили розвиток транспортних засобів серед основних пріоритетів економічної політики. В результаті отримали не лише розвинений сегмент транспортної інфраструктури, але й стимулювали зростання практично всіх галузей промислового виробництва.

Але ефективно функціонування автомобільних доріг буде тільки у тому випадку, якщо забезпечений пропуск навантажень, на які вона була розрахована при проектуванні.

Кожна дорога служить десятки років і тому неможливо заздалегідь точно спрогнозувати та врахувати параметри автомобілів, що будуть їздити по ній у майбутньому. В економічному плані недоцільно будувати дороги з надлишковим запасом міцності, розрахованим на багато років уперед. Елементи автомобільних доріг при проектуванні, як правило, пристосовуються до існуючих стандартів на габарити та інші параметри автомобілів.

Ключові слова: автомобільна дорога, аеродромна конструкція, базальтове волокно, фібра, геосітка.

Kateryna Krayushkina

Ph.D.

National Aviation University,

Docent of the Design Interior Department

ORCID: 0000-0002-5942-5658

ekrayushkina15@ukr.net

USE OF BASALT MATERIALS IN CONSTRUCTIONS OF ROADS AND AIRPORTS

Highways and airfields are the main components of Ukraine's transport system.

Socio-economic development of the country, its integration into the world community largely depends on the transport and operational condition of roads and airfields.

It is with the development of these components began the development of the economy in many countries. So the United States, Germany and Japan, which at one time identified the development of vehicles among the main priorities of economic policy. As a result, we received not only a developed segment of transport infrastructure, but also stimulated the growth of virtually all branches of industrial production.

But the effective functioning of roads will be only if the passage of loads for which it was designed during the design is provided.

Each road lasts for decades and therefore it is impossible to accurately predict and take into account the parameters of cars that will drive on it in the future. In economic terms, it is impractical to build roads with excess strength, designed for many years to come. Elements of highways in the design, as a rule, are adapted to existing standards for dimensions and other parameters of cars.

Key words: *highway, airfield construction, basalt fiber, fiber, geogrid.*

ВСТУП

Протягом останніх років різко змінився склад автомобільних потоків, що рухаються автомобільними дорогами України. Вигідне геополітичне положення нашої країни призвело до збільшення

потоків вантажів із Західної Європи, що перевозяться сучасними автопоїздами підвищеної ваги. Це спричинило до зростання в транспортному потоці кількості транспортних засобів з великим навантаженням на вісь.

Дорожній одяг, сконструйований і побудований згідно вимог діючих нормативних документів в більшості випадків не витримує завданого строку служби.

Діяльність підрозділів цивільної авіації і особливо, аеродромів, теж потребує постійного удосконалення і оновлення. Особисто це актуально в наш час, коли суттєво збільшились обсяги перевезень пасажирів і вантажів, кількість злітно-посадкових операцій, з'явилися нові типи повітряних суден, що призвело до незадовільного стану багатьох елементів аеродромів і невідповідності несучої здатності покриття злітно-посадкових смуг сучасним типам літаків.

Таким чином, однією з найбільш гострих і масштабних проблем в країні є забезпечення якості і довговічності автомобільних доріг і аеродромів.

Довготривалу роботу дорожніх і аеродромних покриттів із забезпеченням високих міцнісних і деформативних характеристик можна забезпечити використанням сучасних матеріалів, що вводяться як добавки до асфальтобетону і цементобетону, забезпечують їм підвищені будівельно-технічні властивості.

Одним із таких матеріалів є базальтові волокна (БВ), які використовуються для дисперсного (хаотичного) та направленого армування традиційних дорожньо-будівельних матеріалів.

В теперішній час будівельна галузь активно розвивається і має потребу і нових матеріалах, особливо композиційних. Матеріали на основі базальтових волокон є одними з найбільш перспективних для застосування в будівництві, ремонтах та експлуатаційному утриманні автомобільних доріг та аеродромів.¹

До таких матеріалів відносяться безперервні базальтові волокна, композиційні матеріали, армовані базальтовими

¹ Дубровський В.А., Махова А.Ф., Ричко В.А. Деякі галузі застосування базальтового штапельного волокна. Зб. «Волоконні матеріали з базальтів України». Київ : «Техніка», 1971. С. 325–329.

волокнами, теплозвукоізоляційні матеріали, антикорозійні та захисні покриття.

Базальтові волокна (БВ) виробляються з базальтових порід вулканічного походження, які мають високі природні термічні властивості, хімічну стійкість, є природною екологічно чистою сировиною. Тому БВ мають високу вихідну міцність, стійкість до дії агресивних середовищ, мають високі термостійкість, тепло- і звукоізоляційні характеристики, низьку гігроскопічність. Це визначає високі експлуатаційні якості матеріалів з додаванням БВ: висока міцність, довговічність і стійкість до дії природних факторів, високих температур, агресивних середовищ, стійкість до дії вібрацій, абсолютну негорючість, що вигідно відрізняє ці матеріали від скловолокна і мінеральних волокон.

Проведений аналіз показує, що БВ мають найкраще співвідношення показника «ціни і якості» серед інших неорганічних волокон (скляних, вуглецевих).

До теперішнього часу накопичений достатньо великий досвід застосування матеріалів з БВ в автомобільній промисловості і ряді суміжних галузей авіації, суднобудівництві, вагонобудівництві та інших галузях.

Базальтове волокно отримують шляхом розплаву базальтової крихти при температурі 1450–1550°C і витягуванням через спеціальні фільтри з отриманого розплаву.²

На сьогоднішній день існує декілька різновидів базальтових волокон, які можуть бути застосовані для армування асфальто-цементобетонів. В залежності від діаметру базальтові волокна поділяються на: мікротонкі, діаметром менше 0,6 мкм; ультра тонкі 0,6–1,0 мкм; супертонкі 1,0–3,0 мкм; тонкі 9–15 мкм; потовщені 15–25 мкм; грубі – діаметром 50–500 мкм.

Враховуючи, що в Україні базальтова сировина доступна і практично необмежена (запаси базальтової гірської породи складають

² Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Монографія. М. : Основи производства базальтовых волокон и изделий. Теплоэнергетик, 2002. 416 с.

мільйони тон), матеріал необхідно використовувати в дорожній і аеродромній галузі.

В цивільному будівництві базальтове волокно вже широко застосовується і підтвердило високу ефективність при виробництві конструкцій житлових будівель, підлог складів, торговельних центрів, майданчиків.

На початку 21 ст. почалось використання базальтових виробів в дорожній галузі. В аеродромних конструкціях в Україні на жаль базальтові вироби ще не використовувались.

Класифікація базальтових волокон і галузі їх використання наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Класифікація БН за діаметром волокон, призначенню і галузі застосування матеріалів

Первинні матеріали БВ	Матеріали та вироби на основі БН	Галузь застосування
1	2	3
Діаметр БВ 6–10 мм		
Комплексні кручені нитки для текстильної промисловості. Ровінги	Тонкі електроізоляційні тканини, стрічки, багат шарові плати для електронних пристроїв і комп'ютерів, тканини для виробництва композитів, ткани і неткані фільтри	Електротехнічна промисловість, авіабудівництво і автомобілебудівництво; хімічна, біологічна і медична галузі промисловості
Діаметр БВ 12–14 мм		
Ровінги, директ-ровінги, комплексні кручені нитки, рублене волокно	Тканини з кручених ниток, ровінгові тканини, рудонні і облицювальні пластини, основа м'якої покрівлі та гідроізоляції, несучі троси, профілі складної форми, будівельна арматура і труби малих діаметрів, балони високого тиску, рублені волокна об'ємного армування пластмас,	Електротехнічна і електронна галузі; енергетика; машинобудування, автомобілебудування; виробництво композитів (армуючі матеріали); будівельна галузь; дорожнє будівництво

Закінчення таблиці 1

1	2	3
	базальтовий папір, геотекстильні матеріали, дорожні сітки, конструкційні тканини для армування дорожніх покриттів, холости для теплозвукоізолюючих матеріалів	
Діаметр БВ 15–18 мм		
Ровінги, рублені волокна	Будівельна арматура, армуючі сітки, профілі, труби різних діаметрів, композитні конструкції, щільні ровінгові тканини, голкопробивні холости, рублені волокна для армування асфальто-і цементобетонів, геотекстильні матеріали – сітки для армування дорожніх конструкцій, укріплення насипів, земляних валів та антиерозійного укріплення ґрунтів	Машинобудівництво; Промисловість будівельних матеріалів; Промислове і дорожнє будівництво; Берегоукріплення і портове будівництво
Діаметр БВ 19–20 мм		
Рублене волокно	Рублені волокна для об'ємного армування бетонів і асфальто-бетонних дорожніх покриттів	Промислове і дорожнє будівництво

Загальний вигляд базальтового мікротонкого волокна наведений на рис. 1.

Хімічний склад базальтової гірської породи наведений в таблиці 2.

Фізико-механічні властивості базальтового волокна наведені в таблиці 3.



Рисунок 1 – Структура мікротонкого базальтового волокна

Таблиця 2 – Хімічний склад базальтової гірської породи

Найменування оксида	Кількість у волокні, %
SiO ₂	46,5–51,5
Al ₂ O ₃	15,0–19,0
MgO	4,0–10,5
CaO	7,5–11,5
FeO+Fe ₂ O ₃	8,0–12,0
K ₂ O+Na ₂ O	3,0–6,0
TiO ₂	0,3–2,5
Cr ₂ O ₃	0,02–0,05
MnO	< 0,1
інші	до 100

Таблиця 3 – Фізико-механічні властивості базальтового волокна

Найменування показників	Фізико-механічні властивості базальтового волокна
Середній діаметр волокна, мкм	8–25
Кількість неволоконних добавок, %	2–3
Щільність, г/см ³	2,8–3,3
Температурний інтервал застосування, °C	-269 – +700
Водостійкість, %	99,6

Закінчення таблиці 3

Хімічна стійкість, %	
0,5N NaOH	93,4
2N NaOH	77,3
2N H ₂ S O ₄	98,5
Гіроскопічність, %	до 1,0
Механічна міцність, МПа	1800–4100
Модуль пружності, МПа	110–120
Подовження при розриві, %	3,1

У даній роботі наведені дані про результати проведених досліджень по застосуванню матеріалів на основі базальтових безперервних волокон (БНВ) в дорожньому будівництві: рубленого волокна для армування асфальтобетонних і бетонних покриттів автомобільних доріг (дисперсне армування), дорожніх сіток, базальтопластикової арматури композиційних базальтових виробів у вигляді: профілів-відбійників огороження доріг і стовпів для освітлення, дорожніх знаків на заміну традиційних виробів з металу.^{3, 4}

Проведені комплексні дослідження, результати яких наведені в таблицях 1 і 2 свідчать, що базальтове волокно (БВ) отримане із базальтової гірської породи магматичного походження має високі характеристики за міцністю, хімічній і термічній стійкості та займає перше місце в порівнянні із скляними волокнами (СВ) і вуглецевим волокном (ВВ).

Завдяки хімічному складу базальтової гірської породи БВ добре суміщується з в'язучим, нафтовим бітумом, при приготуванні асфальтового бетону і портландцементом при приготуванні цементобетону. Суміш отримується однорідна, без комків, тобто БВ є технологічним матеріалом.

Низька гіроскопічність, доступність у видобуванні і переробці з меншими енерговитратами додає переваг базальтовому волокну.

³ Krayushkina K., Beljatynskij A. Perspectives of Usage of Seamless and fiber basalt filament for construction and rehabilitation of motor roads and airfields/ Procedia Engineering Volume 120 (2020) Environmental engineering 2020: Proceedings of the 11th International Scientific Conference VGTU, Vilnius, Lithuania.

⁴ Jian Sun, Beljatynskij A., Akmalidina O., Krayushkina K. Research of properties on graphite conductive slag in asphalt concrete/ E3S Web Conf. Volume 175, 11015 (2020). XIII International Scientific and Practical conference "Interagromash 2020".

Надає можливість використання в складних умовах експлуатації – під агресивним впливом зовнішнього середовища і транспортного навантаження.

Використання БВ в конструкціях дорожніх одягів дозволяє підвищити стійкість всіх шарів і особливо покриття до впливу транспортних навантажень і погодно-кліматичних факторів, збільшити міжремонтні строки і експлуатаційні характеристики, знизити витрату матеріалів при будівництві і ремонті автомобільних доріг.

Дисперсне армування асфальтового бетону.

Для дисперсного армування асфальто- і цементобетону використовуються базальтове волокно у вигляді відрізків (фібри) довжиною не більше 80 мм діаметром 4-6 мкм.

В асфальтобетонній суміші фібра із базальтового волокна виконує функції регулятора в'язкості бітуму і армуючого наповнювача.

Функції волокна як регулятора в'язкості і армуючого наповнювача залежать на самперед, від його діаметра і довжини, а також кількості волокна, доданого в бітум. Досвід показав, що оптимальними розмірами волокон є діаметр 4–6 мкм і довжина 4–5 мм. Більш тонкі волокна легко ламаються, що призводить до створення дуже коротких волокон, які майже не впливають на в'язкість, більш тонкі викликають складності при перемішуванні.⁵

Дослідження проводились з двома типами асфальтобетонної суміші: гаряча дрібнозерниста і холодна дрібнозерниста.^{6, 7}

Для проведення досліджень була вибрана гаряча асфальтобетонна суміш типу «Б» як найбільш розповсюджена для улаштування верхнього шару покриття використовувались такі матеріали:

⁵ Krayushkina K., Khimerik T. Basalt fiber concrete as a new construction material for roads and airfields Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings 20–22 November 2019, Kharkiv, Ukraine IOP Conference Series: Materials Science and Engineering № 708, Number 1

⁶ Krayushkina K., Khimerik T. Modern technologies for improving operational reliability of roads 22th Conference for Lithuanian Junior Researchers "Science – Future of Lithuania. Transport Engineering and Management", Lithuania, November 22–23, 2019, s. 124–131.

⁷ Krayushkina K., Khumerik T., Dubik A. Increasing transport – operational status of roads by using modern materials. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «ABIA-2019». К.: НАУ, 2019. С. 21.6–21.11.

- фібра базальтова вводилась на заміну вапнякового мінерального порошку в кількості 0,5%, 1,0%, 2,0%. Необхідно відмітити, що при незмінній кількості мінеральної частини при введенні 0,5% і 1,0% фібри кількість бітуму в суміші складала 7,0%, а при 2,0% фібри – 7,5% бітуму;
- гранітний щебінь фр. 5–20 мм 42,5%;
- гранітний відсів фр. 5–0 мм 50,5%;
- мінеральний порошок вапняковий 7,0%;
- бітум марки БНД 60/90 7,2%;
- полімерні добавки в бітум: УДОМ-2 і Butonal NS198.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей асфальтобетону з базальтовою фіброю наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Результати досліджень фізико-механічних властивостей асфальтобетону з базальтовою фіброю

Тип суміші	Середня щільність, г/см ³	Водонасичення, %	Набрякання, %	Міцність при стиску, МПа			Міцність на розтяг при згині, МПа	Коефіцієнт водостійкості, Кв
				R ₂₀	R ₅₀	R ₀		
Дрібнозернистий асфальтобетон тип «Б» з вапняковим мінеральним порошком (контрольний)	2,36	2,13	3,17	2,6	1,4	10,5	4,8	0,90
Дрібнозернистий асфальтобетон тип «Б» з базальтовою фіброю в кількості, %								
0,5	2,35	2,52	0,79	3,8	1,9	9,6	4,9	0,92
1,0	2,34	3,44	1,21	4,2	3,2	10,3	5,2	0,90
2,0	2,32	4,21	2,07	4,6	3,8	10,9	6,6	0,86

При аналізі даних таблиці 4 стає очевидним, що фізико-механічні властивості покращуються введенням дисперсно-армуючої добавки – базальтової фібри.

Особливу увагу слід звернути на значне підвищення міцності при стиску при температурі 50°C, що свідчить про достатній опір колеєутворенню на дорожніх покриттях в умовах високих літніх температур.

Лабораторні дослідження холодної асфальтобетонної суміші проводились з використанням таких же матеріалів, як і для горячого щільного дрібнозернистого асфальтобетону типу «Б». Бітум використовувався марки СГ 70/130 з модифікуючою добавкою Wetfix-BE.

Підбір оптимального складу виконувався для холодної асфальтобетонної дрібнозернистої суміші типу ВХ ІІ марки з додаванням базальтової фібри 1,0 % і 2,0 %, так як це найбільш розповсюджений для проведення робіт з ямкового ремонту. Для порівняння використовувався еталонний склад з вапняковим мінеральним порошком. Склади суміші наведені в таблиці 5.

Результати досліджень фізико-механічних властивостей холодної асфальтобетонної суміші, дисперсно-армованої базальтовою фіброю наведені в таблиці 6.

При аналізі даних таблиці 6, стає очевидним, що дисперсне армування підвищує міцність холодної асфальтобетонної суміші порівняно з неармованою на 40–45 % до прогрівання і після прогрівання, зменшуються значення водонасичення і набрякання.⁸

Як свідчать проведені дослідження, додавання фібри із базальтового волокна сприяє покращенню зсувостійкості і тріщиностійкості асфальтового бетону, тобто в наявності позитивний вплив фібри на структурно-механічні властивості асфальтобетонної суміші. Кількість бітуму не збільшується. А залишається на рівні як і для традиційної суміші. Тобто, введення фібри не призведе до збільшення вартості виконаних робіт.

⁸ Краюшкіна К., Паєранд К., Зорін О., Євтушок Я., Химерик Т. Ю. Використання сучасних матеріалів на дорогах України. Зб. тез міжнародної конференції "Політ-2019", 22–24 квітня 2019 р.

Таблиця 5 – Склади асфальтобетонних сумішей

Номер складу	Найменування компонентів суміші	Склад у%, за масою	Склад в кг
I	Гранітний щебінь фр. 5-10 мм	34,5	328,5
	Гранітний відсів фр. 0-5 мм	59,0	562,0
	Вапняковий мінеральний порошок	5,5	52,0
	Фібра базальтова	1,0	9,5
	Бітум СГ 70/130 з додаванням	5,0	48,0
	Witfix-VE в кількості 0,3 % від маси бітуму		
	Всього	105	1000
II	Гранітний щебінь фр. 5-10 мм	34,5	327,0
	Гранітний відсів фр. 0-5 мм	59,0	559,0
	Вапняковий мінеральний порошок	4,5	43,0
	Фібра базальтова	2,0	19,0
	Бітум СГ 70/130 з додаванням	5,5	52,0
	Witfix-VE в кількості 0,3 % від маси бітуму		
	Всього	105,5	1000

Примітка. Склад холодної асфальтобетонної суміші наданий у відсотках і кілограмах для можливості використання при проведенні ремонтних робіт.

Необхідно відмітити, що фібру із базальтового волокна в асфальтовому бетоні краще використовувати після проходження БВ технологічного етапу замаслювання (обробка волокна спеціальними розчинами), що забезпечує її рівномірний розподіл в суміші і хімічну взаємодію з активними складовими бітуму.^{9; 10}

При приготуванні горячого асфальтового бетону базальтову фібру краще подавати в мінеральний порошок з наступним змішуванням з бітумом. Приготування холодних асфальтобетонних сумішей

⁹ Краюшкіна К.В., Химерик Т.Ю. Современные технологии повышения эксплуатационной надежности автомобильных дорог. Сб. международной научно-технической конференции «Автомобильные дороги: безопасность и надежность», м. Минск, 22–23 ноября 2018 г., с. 235–239.

¹⁰ Краюшкіна Е.В. Перспективы применения армирующих и композитных материалов для строительства и реабилитации автомобильных дорог и мостовых конструкций. Сб. международной научно-технической конференции “1st International Conference on Long Term Performance and Safety of Mountain Transport Infrastructure”, China, 2-5.11.2018.

Таблиця 6 – Результати досліджень фізико-механічних властивостей холодної асфальтобетонної суміші

Найменування показників	Вимоги АСТУ Б В.2.7-119-2003	Вид асфальтобетонної суміші		
		Еталонний без фібри	3 фіброю в кількості 1%	3 фіброю в кількості 2%
1 Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом	20,0	19,0	18,5	18,0
2 Залишкова пористість, % за об'ємом	6-10	9,5	8,0	7,5
3 Водонасичення до прогрівання, % за об'ємом	5-9	7,8	6,0	6,0
4 Набрякання до прогрівання, % за об'ємом, не більше	2,0	1,5	1,2	1,2
5 Границя міцності при стиску МПа, при температурі 20° С до прогрівання, не менше після прогрівання, не менше	1,3 1,6	2,5 3,2	3,8 4,5	4,0 4,6
6 Коефіцієнт водостійкості до прогрівання, не менше після прогрівання, не менше	0,60 0,80	0,70 0,85	0,76 0,88	0,76 0,90
7 Злежуваність за кількістю ударів, не більше	10,0	9,0	8,5	8,5

здійснюється при $t^{\circ} - 95-100^{\circ}\text{C}$ з подачею волокон до мінеральної частини суміші і перемішуванням протягом 4–5 хвилин. Після цього подається бітум, і час перемішування складає 6–8 хвилин.

Покращення якості асфальтобетону відбувається в результаті того, що при змішуванні фібри з бітумом утворюються граничні шари, які перешкоджають відшаруванню бітумного в'язучого з поверхні волокон і проникненню води під час експлуатації.

Важливим фактором є можливість застосування холодних асфальтобетонних сумішей дисперсно-армованих базальтовою фіброю для аварійного ремонту доріг, який проводиться в складних погодних умовах – пониженій температурі і підвищеній вологості, для забезпечення безперерйного руху транспорту протягом року.

Дисперсне армування цементобетону.

Значними перевагами жорстких дорожніх одягів з використанням цементобетону в шарах основи і покриття автодоріг та аеродромів є висока міцність, достатня шорсткість, невеликі експлуатаційні втрати і значно збільшені міжремонтні строки.

Цементобетонне покриття витримує багатократні циклічні транспортні навантаження, чинить опір напругам, які виникають в дорожній плиті від зміни температури і вологості, а також від систематичного замерзання і відтаювання води в порах цементобетону в осінньо-зимовий період, витримує напруги, які викликані деформаціями плит внаслідок морозного пучення ґрунтової основи. Але під впливом погодно-кліматичних факторів і навантажень покриття не завжди витримують нормативний строк служби.

Фізико-механічні властивості цементобетону можна покращити введенням різних добавок, зокрема базальтової фібри і створенням так званих композиційних цементів.

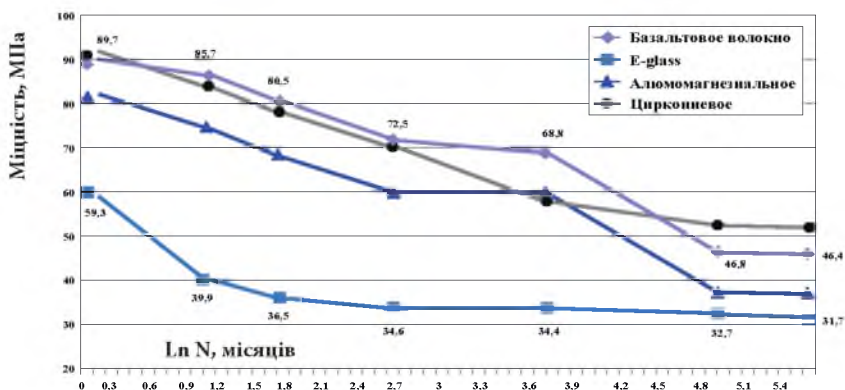
Головними особливостями цементного каменю армованого базальтовими волокнами є його висока міцність при всіх видах напружених станів і здатність витримувати значні деформації в пружньому стані. При цьому відносна деформація цементного каменю без утворення тріщин досягає 0,7–0,9%. Така деформація в 35–45 разів перевищує граничне подовження неармованого цементного каменю. Значне збільшення деформативності

стійкості, міцності і зносостійкості цементного каменю відбувається за рахунок зменшення дисперсним армуванням базальтовим волокном впливу концентрації напруг в локальних місцях, послаблених структурними дефектами цементного каменю (раковинами, мікротріщинами, розшаруванням).

В результаті введення армуючих волокон в цементобетонну суміш виробники отримують так званий фібробетон, який має збільшену тріщиностійкість, ударну в'язкість, високий опір стираності та інші позитивні якості.

Для армування бетону використовують різні металеві і неметалеві волокна. З неметалевих волокон можуть використовуватися скляні, поліамідні, азбестові, базальтові. В останній час також використовуються комбінації різних волокон. Наприклад, металевих і полімерних, металевих і базальтових, але найкращі результати отримуються при використанні фібри із базальтового волокна (рис. 2).

Результати багаточисельних експериментів підтверджують можливість широкомасштабного використання як безперервних



Часова залежність втрати міцності базальтових і скляних волокон в середовищі твердого порцелянцемента

Рисунок 2 – Порівняльна часова залежність втрат міцності волокон різних типів в твердуючому порцелянцементі

базальтових волокон, так і грубих волокон в якості армуючих добавок в бетонних сумішах при будівництві чи ремонтах. Однак дослідженнями встановлено, що чим менше діаметр базальтового волокна, тим більше зниження його міцності в цементному середовищі. Найбільш інтенсивно це відбувається протягом 3–6 місяців, потім процес зниження міцності уповільнюється. Самий високий рівень втрати міцності спостерігається в волокнах Е-скла і алюмомагнезіальному, у зв'язку з цим такі волокна застосовувати не рекомендується.

Підвищення міцності бетонів залежить від кількості введеної базальтової фібри (дозування) і довжини фібри. Проведені дослідження міцності бетонів, армованих базальтовою фіброю в залежності від дозування базальтовою фіброю різної довжини. За результатами проведених випробувань визначалась міцність бетону. Міцність бетону на розтяг при згині проводилась згідно чинних нормативних документів.

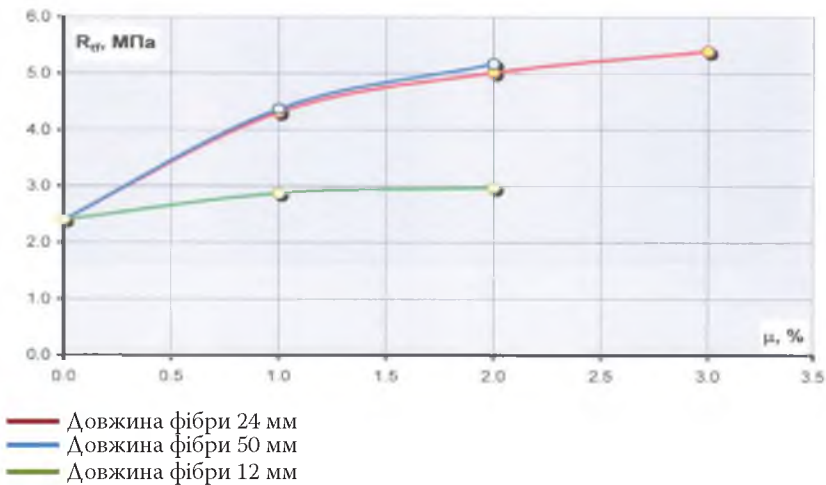


Рисунок 3 – Графіки залежності підвищення міцності бетонів, армованих базальтовою фіброю Φ 15–16 мкм довжиною 12, 24 і 50 мм.

Аналіз результатів проведених випробувань показує, що для армування бетонів найбільш підходить базальтова фібра довжиною 24 мм. Узагальнення і систематизація даних результатів випробувань на міцність показує, що вміст базальтової фібри довжиною 24 мм повинно бути в межах 2–3 %. Вміст базальтової фібри дозується у відсотковому співвідношенні від ваги сухої суміші цементу і піску. При такому армуванні бетону міцність на розтяг (осьова і при згині) підвищується в 1.79–2.24 рази і супроводжується переходом до пластичного характеру руйнування].^{11; 12}

Базальтова фібра може мати широке застосування для армування залізобетонних виробів для дорожнього будівництва: лотків, труб, колодязів, залізобетонних шпал, конструкцій розділювальних смуг і огороджуючих конструкцій доріг.

Зовнішній вигляд фібри, що використовується для дисперсного армування цементобетону наведений на рисунку 4 і лабораторний армований зразок бетону наведений на рисунку 5.

Випробування проводились з фіброю базальтовою, яка являє собою високоякісне мікротонке волокно.

Після випробування базальтових волокон переходили до випробування сумішей: цементобетонної і асфальтобетонної з фіброю.

Для проведення досліджень цементобетонної суміші з фіброю використовувались наступні матеріали:

- фібра базальтова – довжиною 4–5 мм, діаметром 160,0 мкм в кількості 2,0 і 4,0 % від маси цементобетона;
- портландцемент М 500 з нормальною густиною 26 % – 650 кг;
- пісок річковий з модулем крупності $M_k = 2,60$, вміст пилюватих і глинистих часток – 2 %, насипною щільністю 1260 кг/м³ 1300 кг;
- щебінь фракції (5–20) мм;
- хімічні добавки: пластифікуючі та повітряутягуючі.

¹¹ Крайшкіна К.В., Химерик Т.Ю. Екологічний дизайн як один із сучасних напрямків благоустрою навколишнього середовища III Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – XXI ст». Архітектура. Будівництво. Дизайн. 14–16 березня 2018. Київ, Україна, 18–20 квітня 2018. Холм, Польща. К., НАУ. 2018. С. 197–203.

¹² Krayushkina K., Khymerik T., Skrypchenko O., Moshkovskiy I., Pershakov V. Investigation of fiber concrete for road and bridge building *Procedia Engineering* Volume 187 (2017) *Transbaltica* 2017: Proceedings of the 10th International Scientific Conference VGTU, Vilnius, Lithuania. P. 620–627.



Рисунок 4 – Базальтове рублене волокно (базальтова фібра). Діаметр елементарних волокон 16 мікрон, довжина 12 мм



Рисунок 5 – Дисперсне об'ємне армування бетонів і асфальтобетонів

Змішування цементобетонної суміші з додаванням базальтової фібри виконується в змішувачі гравітаційного принципу дії. Ущільнення суміші проводилось в стандартних формах на лабораторному вібростолі з частотою 3000 коливань за хвилину.

Фізико-механічні властивості визначались після твердіння зразків на 7-му та 28-му добу. Були використані найбільш розповсюджені технології введення базальтової фібри в цементобетонну суміш.

Перша: фібра вводиться в змішану суміш цементу, води і наповнювачів в останню чергу.

Друга: змішуються спочатку заповнювачі і фібра, а потім додаються цемент, вода і добавки.

Дослідження бетонної суміші з додаванням базальтової фібри проводились з визначенням міцності на стиск (R_{ct}) і міцності на розтяг при згині (R_{gr}). Результати досліджень наведені в таблиці 7.

Аналізуючи дані таблиці 7 можна зробити висновок, що зразки з двома відсотками фібри мають більшу міцність на стиск і на розтяг при згині, ніж контрольні зразки і зразки з фіброю у кількості 4%, тобто 2,0%. Кількість фібри (від маси бетону) – оптимальна кількість додавання базальтової фібри в цементобетонну суміш.

Таблиця 7 – Результати досліджень бетонної суміші з додаванням базальтової фібри

№ п/п	Найменування зразків бетону	Кількість фібри, % від маси бетону	Міцність на стиск, МПа, у віці		Прочність на растяжение при изгибе, МПа, в возрастe	
			7 діб	28 діб	7 діб	28 діб
Перша технологія						
1	Контрольні	–	19,8	22,4	4,6	5,9
2	З базальтовою фіброю	2,0	20,8	28,3	6,8	9,1
3	З базальтовою фіброю	4,0	18,8	23,2	4,9	7,2
Друга технологія						
4	Контрольні	–	19,9	22,2	4,6	5,9
5	З базальтовою фіброю	2,0	20,9	28,4	6,9	9,2
6	З базальтовою фіброю	4,0	18,6	23,3	5,0	7,1

Фізико-механічні властивості цементобетону з додаванням базальтової фібри наведені в таблиці 8.

Аналізуючи дані таблиці 8 очевидно, що введення базальтової фібри покращує якість і довговічність цементобетону. За рахунок формування щільної, міцної структури бетону зменшуються показники водопоглинання, підвищуються показники водонепроникності і морозостійкості.

Таким чином, введення фібри із дисперсних рублени базальтових волокон забезпечує об'ємне армування бетонів. Відомий досвід використання для армування бетонів сталеві фібри, целюлози не дав позитивних результатів внаслідок впливу навколишнього середовища, перепадів температур, інтенсивних навантажень, а також в умовах лужного середовища, яке мають бетони. Базальтова фібра не піддається корозії і має в 2–2,5 рази більш високі показники міцності порівняно з металевою. Тільки базальтові рублені волокна (базальтова фібра) має високу міцність, не витягується під дією навантажень, має хімічну і термічну стійкість до перепадів

температур та інтенсивних знакоперемінних навантажень, а також має невисоку вартість.

Таблиця 8 – Фізико-механічні властивості цементобетону з додаванням базальтової фібри

№ п/п	Найменування зразків бетону	Кількість фібри, % від маси бетону	Коефіцієнт морозостійкості після (кількість циклів)			Водопроникність, МПа	Водопоглинання, %
			100	200	300		
Перша технологія							
1	Контрольні	–	0,840	0,760	0,710	4,8	5,3
2	З базальтовою фіброю	2,0	0,960	0,910	0,830	8,0	2,1
3	З базальтовою фіброю	4,0	0,901	0,860	0,792	8,0	2,3
Друга технологія							
4	Контрольні	–	0,850	0,750	0,680	4,3	5,5
5	З базальтовою фіброю	2,0	0,980	0,880	0,840	7,5	2,4
6	З базальтовою фіброю	4,0	0,890	0,840	0,790	7,0	2,7

Примітка: зразки досліджувались на морозостійкість 100, 200, 300 циклів заморожування і відтанення в 5 % розчині NaCl.

Необхідно враховувати також, що при дисперсному армуванні в кожному см³ бетону розподіляється по декілька десятків елементарних рублених волокон. При такому об'ємному армуванні базальтовою фіброю бетон суттєво збільшують міцність при стиску і згині, підвищують ударну міцність, тріщиностійкість дорожніх покриттів, стійкість до навантажень і ресурс їх експлуатації. Це відкриває широкі можливості використання в дорожній і аеродромній галузях.

Напряме армування

Відомо, що конструкції доріг постійно піддаються негативному впливу зовнішніх факторів, таких як: вплив агресивного середовища,

гідрогеологічні умови, слабкі і неоднорідні ґрунти основи, підземні комунікації, автомобілі і важкий транспорт. Все це може призводити до деформацій і руйнувань асфальтобетонного покриття і, як наслідок, скороченню строку служби всього дорожнього одягу. Для того, щоб цього уникнути, в конструкцію дорожнього одягу вводять армуючий прошарок.

Згідно вимог ГБН В.2.3-37641918-544:2014 армуючі прошарки можуть виготовлятися із хімічних (полімерних) волокон, скловолокна, базальтового волокна і використовуватись для армування всіх шарів нежорсткого дорожнього одягу, ґрунтів земляного полотна, відкосів насипів та виїмок у вигляді геосіток (геоґратоки), геотекстилю чи геокомпозиту.

Геосітка – матеріал, виконаний прядінням на ткацьких станках жгутів синтетичних волокон або волокон із скла і базальту, а також способом лиття із розплаву полімеру. В даній роботі наведені результати використання в дорожній галузі України сітки марки ПСБД-1 (полотно сітчасте базальтове дорожнє) і суцільного полотна НПБ-550 (ниткопрошивне полотно базальтове щільністю 550 г/м²), які призначені для армування і підсилення шарів покриття, основи і земляного полотна (робочий шар) нежорстких дорожніх одягів.

Розміщення армуючи матеріалів в шарах дорожніх конструкцій і функцій, які вони виконують наведено наведено в таблиці 9.

Основна задача використання армуючи прошарків є армування асфальтобетонного покриття, яке заключається в рівномірному перерозподілі навантажень, що діють на покриття, в збільшенні його міцності, і, як наслідок, зниження навантаження на основу. Як відомо, асфальтобетон погано працює на розтяг, тому внаслідок регулярного впливу автотранспорту на покриття дороги, на ньому можуть утворюватися тріщини, що, в свою чергу, буде негативно впливати на ґрунт земляного полотна. При проникненні вологи в утворені тріщини відбувається вимивання ґрунту і насичення його водою. Найбільшу небезпеку вода, яка проникає в тріщини, представляє в регіонах, де температура коливається в районі 0°C. При замерзанні і переході в твердий агрегатний стан

вода розширюється і витісняє частки ґрунту. Все це призводить до зниження міцності конструкції нежорсткого дорожнього одягу і прискорює його руйнування.

Таблиця 9 – Місцерозташування армуючі матеріалів в шарах дорожньої конструкції

Шари дорожньої конструкції	Найменування матеріалу		Функції базальтових матеріалів
	Сітка ПСБД-1	Полотно НПБ-550	
Асфальтобетонне покриття 2х шарове Верхній шар 5–6 см Нижній шар 7–10 см	Між шарами покриття Між нижнім шаром покриття і основою		Армування
Щебенева основа 30–40 см із ЦПСЦ Нижній шар щебеню фр. 20–40	Між шарами основи	Між нижнім шаром і ґрунтом земляного полотна	Армування Розділення шарів підвищенням стабільності (укріплення) основи, попередження нерівномірної усадки і провалів, зменшення товщини шарів основи
Земляне полотно робочий шар 18–20 см Висота насипу > 35–40 м		Між робочим шаром і тілом насипу Між шарами насипу	Розділення шарів Підвищення зсувостійкості ґрунту Загальне укріплення при використанні слабких ґрунтів

Крім цього, існує проблема утворення колійності при експлуатації доріг. З приводу того, що рух автомобілів регулюється розміткою і місця прикладання навантажень з часом не змінюються, на смугах руху автомобілів настає втома матеріалу, внаслідок чого утворюється колія. Введення армуючої прошарку дозволяє ефективно вирішувати всі ці проблеми. Вона сприймає розтягуючі напрути і дозволяє розподілити зовнішнє навантаження по більшій площі і, як наслідок, попереджує появу тріщин, колійності і смуг накату.

В Україні напряме армування нежорстких дорожніх конструкцій було розпочато в 1998 році дослідженнями відділу експлуатації доріг ДерждорНДІ, коли вперше на дорозі Колочава-Нижні ворота була використана скляна сітка марки СП для армування асфальтобетонного покриття при капітальному ремонті. Результат був позитивний.

За ініціативою ДерждорНДІ в 2000 році на заводі Теплозвукоізоляції був організований випуск дослідної партії сітки із базальтового волокна ПСБД-1 і укладена під час ремонтних робіт на дорогах Львів-Чоп, Київ-Одеса в місцях, які найбільш піддаються процесам утворення дефектів і деформацій, а також на зупинках міського транспорту в м.Київ. Армування асфальтобетонних покриттів показало позитивні результати в процесі експлуатації починаючи з 2001 року. Комплексні випробування показали, що використання цих геосіток зменшує ймовірність появи тріщин, просядок, руйнувань у вигляді вибоїн і колій, при цьому міжремонтний строк служби збільшується в 1,5–2,0 рази.

Основні технічні характеристики дорожньої сітки і полотна на основі базальтових волокон (ровінгів) наведені в таблиці 10.

Головними конкурентами базальтових матеріалів на внутрішньому ринку в нашій країні є вироби із скловолокна та полімерних волокон, але дорожні сітки в процесі експлуатації витримують значні навантаження, а також вплив соляних розчинів, а в бетонах – лужного середовища. Характеристики сіток БНВ повністю відповідають цим вимогам, мають необхідну міцність, стійкість до дії агресивних середовищ, навколишнього середовища і довговічність експлуатації.

Таблиця 10 – Технічні характеристики базальтової сітки і полотна

ПСБ-Д		
Розривне навантаження не менше, кг	по ширині	120
	по довжині	120
Щільність, гр/м ²		250+-10
Подовження під дією навантаження, %		1–1.5
Просочення сітки спеціальним складом, який забезпечує її жорсткість, негорючість, кислото-лужну стійкість.		
НПБ-550 К		
Розривне навантаження не менше, кг	по ширині	600
	по довжині	600
Щільність, гр/м ²		550+-10

Переваги дорожніх сіток на основі БНВ порівняно з сітками із хімічних волокон – не витягуються під дією навантажень, не критичні до високих і низьких температур. Порівняно з сітками із скловолокна – не руйнуються під дією лужних середовищ і навколишнього середовища, мають більш високу міцність.

Технічні можливості заводу НВП ЗАТ Теплозвукоізоляція мають можливість виготовляти сітки з різними розмірами отворів, що є важливим показником, так як надає можливість підібрати розмір отворів сітки відповідно до типу асфальтового бетону і забезпечити щільне з'єднання прошарку з шаром асфальтового бетону. Взагалі, згідно існуючого досвіду можна визначити, що для міцного з'єднання шарів з прошарком необхідно, щоб розмір отворів сітки був у 1,5–2,0 рази більше найбільшого розміру зерен мінерального матеріалу.

Зразки базальтових сіток, що виготовляються в Україні і загальний вигляд ділянки дороги з сіткою ПСБД-1 наведені на рисунках 6 і 7.

Геотекстильні матеріали з БВ мають перспективу широкого застосування в дорожньому і гідротехнічному будівництві, при рекультивациі та ерозійному захисті земель, при виконанні протизсувних та інших робіт.

Через прокладену і закріплену на поверхні землі сітку з БВ проростають трава, кущі і дерева. Такий метод укріплення найбільш ефективний, економічний, відповідає вимогам екології.

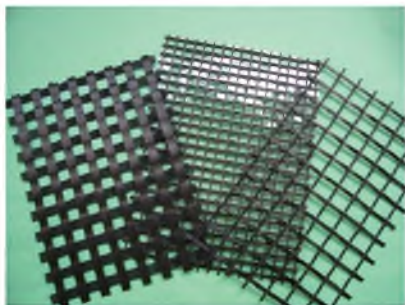


Рисунок 6 – Зразки дорожніх сіток



Рисунок 7 – Укладання дорожньої сітки між шарами асфальтобетонного покриття



Рисунок 8 – Застосування базальтових сіток при будівництві доріг



Рисунок 9 – Укріплення насипів дорожніми сітками

Характеристика асфальтобетону, армованого сіткою ПСБД свідчить, що базальтоволоконна сітка має високу адгезію з бітумом. Водно-фізичні властивості асфальтобетону, армованого геосіткою (водонасичення, набрякання, середня щільність) суттєво не змінюються. Армування сіткою ПСБД-1 асфальтобетонних покриттів підвищує міцність на згин в 1,5–2 рази.

Проведені дослідження дозволяють використовувати сітку на автомобільних дорогах у всіх дорожньо-кліматичних зонах.

Армування шарів дорожньої конструкції наведено на рисунку 10.



Рисунок 10 – Заклинювання щебеню в отворах геосітки

Загальний вигляд ділянок дороги Київ-Одеса та Львів-Чоп, армованих сіткою ПСБД-1 після 5 років експлуатації наведені на рисунку 11.



Рисунок 11 – Загальний вигляд ділянок дороги Київ-Одеса та Львів-Чоп

Проведені дослідження показали, що армуючі ділянки доріг знаходяться задовільному стані, тріщин і колійності не виявлено.

Технологія улаштування.

Сітка та полотно можуть бути укладені в дорожні конструкції:

- зверху земляного полотна для підвищення його несучої здатності, особливо при підвищеній вологості і сезонних змінах водно-теплового режиму;

- під основу з матеріалів крупних фракцій (щебеню, гравію). Отвори сіток блокують частки щебеню і обмежують їх вертикальні і горизонтальні переміщення, розподіляючи навантаження по площі дорожньої конструкції;
- на основах доріг з матеріалів крупних фракцій чи цементобетону в якості тріщиноперериваючого прошарку.

Завдяки високим технічним якостям базальтової композитної арматури суттєво знижується вартість будівельних конструкцій з її застосуванням – 8 мм базальтової композитної арматури замінюють 10 мм металеві. Також менший діаметр композитної арматури, довгий строк експлуатації значно скорочує необхідність проведення ремонтних робіт.

Загальний вигляд базальтової композитної арматури наведений на рисунку 12.

Для кріплення тоннелів розроблені спеціальні анкери з отворами (рис. 13).



Рисунок 12 – Базальтова композитна арматура



Рисунок 13 – БПА – польє анкери для кріплення тоннелей

Базальтова тканина – це особливий вид базальтового композитного виробу (рис. 14).

Сплетені з безперервної базальтової нитки, ці тканини являють собою полотно різної товщини, ваги, рисунку і типу плетіння, виготовлене відповідно експлуатаційним вимогам.



Рисунок 14 – Базальтова тканина

Базальтова тканина має наступні властивості:

- висока адгезія до будь якого типу покриття;
- висока міцність на розрив;
- зберігає цілісність при температурі до 982°C;
- стійкість до електромагнітного випромінювання.

Вироби з базальтової тканини користуються попитом і широко застосовуються в різних сферах, починаючи з будівельної індустрії до пошиву одягу. Із базальтової тканини виготовляють:

- протипожежні штори для захисту від вогню і локалізації пожежі, для захисту покрівель від руйнівної дії вогню;
- фільтраційний матеріал для заводських димових труб;
- захист даху від руйнування вогнем;
- вогнестійкий одяг;
- електромагнітні екрани.

Взагалі, базальтові композитні матеріали в силу своїх характеристик і вартості активно витісняють матеріали з сталі в машинобудуванні та інших галузях. Тому широке застосування композитних матеріалів і виробів в дорожньому будівництві також є актуальною задачею. До теперішнього часу вже розроблені, виготовлені зразки і знаходять застосування цілий ряд композитних матеріалів та виробів на основі БВ для дорожнього будівництва: композитні троси для вантових мостов, опори освітлення (фото 15–17), корпуси колекторів, дорожні знаки, відбійники – обмежувачі, люки колекторів і підземних комунікацій.

Основою міцності композитних матеріалів та виробів є БВ, які в складі композитів складають 75–78 %.



Рисунок 15 – Композитні опори для освітлення



Рисунок 16 – Композитна конструкція колектора підземних комунікацій



Рисунок 17 – Композитні люки (заміна сталевих і литих чавунних виробів).

ВИСНОВКИ

Матеріали на основі базальтових волокон в силу своїх характеристик і вартості знаходять все більш широке застосування в дорожньому будівництві.

Застосування матеріалів БВ дозволяє суттєво підвищити якість, фізико-механічні і експлуатаційні характеристики, строки експлуатації асфальтобетонних і бетонних дорожніх покриттів.

Перспективно широке застосування композитних матеріалів і виробів на основі БВ в дорожньому будівництві.

Геосітка з базальтового волокна є вигідною альтернативою

традиційній сітці і має ряд переваг перед іншими композитними матеріалами. Базальтова сітка не розтягується під навантаженням, витримує високі і низькі температури, стійка до корозії, має високу міцність і оптимальне співвідношення ціни і якості. У сукупності ці фактори показують, що базальтоневолокно найбільш вигідний і перспективний матеріал для використання при будівництві доріг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Джигирис Д.Д., Махова М.Ф. Основы производства Базальтовых волокон и изделий : монография. – М. : Теплоэнергетик, 2002. – 416 с.
2. Дубровський В.А., Махова А.Ф., Ричко В.А. Деякі галузі застосування базальтового штапельного волокна. Зб. «Волоконні матеріали з базальтів України». Київ : «Техніка», 1971.
3. Jian Sun, Beljatyński A., Akmalidina O., Krayushkina K. Research of properties on graphite conductive slag in asphalt concrete/ E3S Web Conf. Volume 175, 11015 (2020). XIII International Scientific and Practical conference «Interagromash 2020».
4. Krayushkina K., Beljatyński A. Perspectives of Usage of Seamless and fiber basalt filament for construction and rehabilitation of motor roads and airfields/ Procedia Engineering Volume 120 (2020) Environmental engineering 2020: Proceedings of the 11th International Scientific Conference VGTU. Vilnius, Lithuania.
5. Krayushkina K., Khimerik T. Basalt fiber concrete as a new construction material for roads and airfields Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings 20–22 November 2019, Kharkiv, Ukraine IOP Conference Series: Materials Science and Engineering № 708, Number 1.
6. Krayushkina K., Khimerik T., Modern technologies for improving operational reliability of roads 22th Conference for Lithuanian Junior Researchers «Science – Future of Lithuania. Transport Engineering and Management», Lithuania, November 22–23, 2019, стр. 124–131.
7. Krayushkina K., Khymerik T., Dubik A. Increasing transport – operational status of roads by using modern materials. Матеріали XIV міжнародної науково-технічної конференції «АВІА-2019». К. : НАУ, 2019. С. 21.6–21.11.
8. Краюшкіна К., Паєранд К., Зорін О., Євтушок Я., Химерик Т. Ю. Використання сучасних матеріалів на дорогах України. Зб. тез міжнародної конференції «Політ – 2019», 22–24 квітня 2019 р., НАУ
9. Краюшкіна К.В., Химерик Т.Ю. Современные технологии повышения эксплуатационной надежности автомобильных дорог. Сб.

международной научно-технической конференции «Автомобильные дороги: безопасность и надежность», м. Минск, 22–23 ноября 2018 г., с. 235–239.

10. Краюшкіна Е.В. Перспективы применения армирующих и композитных материалов для строительства и реабилитации автомобильных дорог и мостовых конструкций. Сб. международной научно-технической конференции “1st International Conference on Long Term Performance and Safety of Mountain Transport Infrastructure”, China, 2-5.11.2018.
11. Краюшкіна К.В., Химерик Т.Ю. Екологічний дизайн як один із сучасних напрямків благоустрою навколишнього середовища III Міжнародний науково-практичний конгрес «Міське середовище – XXI ст». Архітектура. Будівництво. Дизайн. 14–16 березня 2018., Київ Україна, 18–20 квітня 2018, Холм, Польща – К., НАУ. – 2018. – С. 197–203.
12. Krayushkina K., Khymerik T., Skrypchenko O., Moshkovskiy I., Pershakov V. Investigation of fiber concrete for road and bridge building *Procedia Engineering Volume 187 (2017) Transbaltica 2017: Proceedings of the 10th International Scientific Conference VGTU. Vilnius, Lithuania*, p. 620–627.

REFERENCES

1. Dubrovskiy V.A., Mahova A.F., Rychko V.A. Deyaki galusi zastosovannya basaltovoho shtapelnoho volokna. Sb. «Volokonny materyaly z basaltiv Ukrainy». Kyiv. «Technika» 1971.
2. Dgihiris D.D., Mahova A.F. Monohrafiya. M. : Osnovy proizvodstva basaltovich volokon i izdeliy. Teploenerhetic, 2002. 416 c.
3. Krayushkina K., Beljatyanskiy A. Perspectives of Usage of Seamless and fiber basalt filament for construction and rehabilitation of motor roads and airfields / *Procedia Engineering Volume 120 (2020) Environmental engeneering 2020: Proceedings of the 11th International Scientific Conference VGTU. Vilnius, Lithuania*.
4. Jian Sun, Beljatyanskiy A., Akmalidnova O., Krayushkina K. Research of properties on graphite conductive slag in asphalt concrete / *E3S Web Conf. Volume 175, 11015 (2020). XIII International Scientific and Practical conference «Interagromash 2020»*.
5. Krayushkina K., Khimerik T. Basalt fiber concrete as a new construction material for roads and airfields Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings 20–22 November 2019, Kharkiv, Ukraine IOP Conference Series: Materials Science and Engineering № 708, Number 1
6. Krayushkina K., Khimerik T., Modern technologies for improving operational reliability of roads 22th Conference for Lithuanian Junior Researchers

- «Science – Future of Lithuania. Transport Engineering and Management», Lithuania, November 22–23, 2019, s. 124–131.
7. Krayushkina K., Khymeryk T., Dubik A. Increasing transport – operational status of roads by using modern materials. Materialy XIV mignarodnoi naukovo-technichnoi konferencii «AVIA-2019» – K. : HAU, 2019. C. 21.6–21.11.
 8. Krayushkina K., Paerand K., Zorin O., Evtushok Y., Chimerik T. Vykorystannya suchasnych materyaliv na dorogah Ukrainy. Sb. tez mignarodnoi konferencii «Polit – 2019», 22–24 kvitnya 2019 p., HAU.
 9. Krayushkina K., Chimerik T. Sovremennye technologii povishenia ekspluatacionnoi nadeznosti avtomobilnich doroh. Sb. mignarodnoi naukovo-technichnoi konferencii «Avtomobilnie dorohy: besopasnost i nadezhnost», m. Minsk, 22–23 noyabrya 2018 g., s. 235–239.
 10. Krayushkina K., Perspektivy prymereneniya armyuyushich i kompositnykh materyalov dlya stroitelstva i rehabilitacii avtomobilnich doroh i mostovykh konstrukcii. Sb. mignarodnoi naukovo-technichnoi konferencii “1st International Conference on Long Term Performance and Safety of Mountain Transport Infrastructure”, China, 2-5.11.2018.
 11. Krayushkina K., Chimerik T. Ekologichnii disayn yak odyn z suchasnykh napryamkiv blahoustroyu navkolichnyoho seredovicha III Mignarodnyi naukovo-practichnii kongres «Miske seredovische-XXI st». Architektura. Budivnictvo. Disayn. 14-16 beresnya 2018, Kyiv, Ukraina, 18–20 kvitnya 2018., Holm, Polcha – K., HAU. – 2018. – C. 197–203.
 12. Krayushkina K., Khymerik T., Skrypchenko O., Moshkovskiy I., Pershakov V. Investigation of fiber concrete for road and bridge building Procedia Engineering Volume 187 (2017) Transbaltica 2017: Proceedings of the 10th International Scientific Conference VGTU. Vilnius, Lithuania, p. 620–627.