

УДК 625.7/.8

Арінушкіна О. О., <https://orcid.org/0009-0007-6870-3764>Костін Д. Ю., канд. техн. наук, доцент, <https://orcid.org/0000-0002-4278-2990>*Харківський національний автомобільно-дорожній університет (ХНАДУ), м. Харків, Україна*

ВПРОВАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВЛАШТУВАННЯ КРУПНОЗЕРНИСТИХ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ УКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТОМ АРМОВАНИХ ПОЛІПРОПІЛЕНОВИМИ ФІБРОВОЛОКНАМИ

Анотація

Вступ. Останнім часом широкої популярності під час проведення ремонтно-будівельних робіт на дорожній мережі України набувають укріплені мінеральними в'язучими крупнозернисті щебенево-піщані суміші, переважно низьких марок за міцністю. В якості в'язучого в цих сумішах застосовуються мінеральні в'язучі в чистому вигляді, в більшості випадків це цементи або шлакопортландцементи, у кількості від 2 % до 4 % від маси суміші. Цього дозування, як правило, достатньо для забезпечення нормативних значень показників міцності та морозостійкості, що вимагаються чинними стандартами.

Проблематика. Однак крім вищезазначених переваг, ці матеріали мають і певні недоліки такі як, низька морозостійкість яка властива саме для низьких марок за міцністю. Найпростішим шляхом підвищення морозостійкості є підвищення вмісту мінерального в'язучого у складі суміші та підвищення марки за міцністю, але це в подальшому негативно відображається на тріщиностійкості шару основи дорожнього одягу та появі відображених температурних тріщин на шарі дорожнього покриття. Раніше виконаними дослідженнями встановлено, що одним із варіантів підвищення міцностних показників та морозостійкості є введення до складу укріплених щебенево-піщаних сумішей фіброволокон.

Мета роботи. Виробнича перевірка отриманих попередньо результатів дослідження впливу мікроармування поліпропіленовими фіброволокнами крупнозернистої щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом на змішувачі примусової дії, подальше укладання та ущільнення отриманого матеріалу в шарі основи дорожнього одягу.

Матеріали і методи. Для виробництва армованої щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом було використано щебенево-піщану суміш С7 виробництва ТОВ «Кривбас-щебінь» з гранітної сировини. У якості в'язучого було використано шлакопортландцемент ПЦ ІІ/Б-Ш 400 виробництва ТОВ «Мінеральні порошки та суміші» у кількості 3,5 % від маси мінеральної частини. Для забезпечення якісного ущільнення, забезпечувалась оптимальна вологість суміші з зальним вмістом води 8,0 % від маси кам'яного матеріалу. Для мікроармування суміші використовувалось волокно армуюче поліпропіленове довжиною 18 мм.

Результати. Після набуття зразками віку у 28 діб, було проведено випробування зразків результати показали, що введення поліпропіленових фіброволокон до складу крупнозернистої щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом марки М20 в виробничих умовах, дозволило підвищити міцність матеріалу на стиск на 19 % та міцність на непрямий розтяг на 90 % від значень показників для суміші без поліпропіленових фіброволокон. Також після 10 циклів заморожування-відтавання суміш з вмістом поліпропіленових фіброволокон суттєво збільшилась морозостійкість. У дослідженому випадку, коефіцієнт морозостійкості за міцності на стиск підвищився на 24 %, а за непрямого розтягу на 34 %.

Висновки. Впровадження технології фіброармування крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом марки за міцністю М20, підвищує всі фізико-механічні показники. Міцність на стиск отримала приріст на 19 %, а міцність на непрямий розтяг зросла на 90 %. Також це дозволило підвищити морозостійкість щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом за умови випробування зразків на стиск на 24 %, а за непрямого розтягу на 34 %. При спостереженні за процесом укладання армованих фіброволокнами щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом за

допомогою асфальтоукладача та їх ущільнення додаткових складнощів або труднощів виявлено не було. Однак для більш широкого промислового застосування даної технології, є необхідність розробки додаткової системи дозування фіброволокон, її синхронізації з бортовим обладнанням установки та її подальше включення в загальний цикл роботи.

Ключові слова: автомобільна дорога, дорожній одяг, шари основи, цемент, щебенево-піщана суміш, міцність, фіброволокна, тріщиноутворення.

Вступ

Останні десятиліття, науковці багатьох наукових установ та Харківського національного автомобільно-дорожнього університету (ХНАДУ), займаються питаннями впровадження новітніх технологій та удосконалення сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, що застосовуються під час проведення ремонтно-будівельних робіт дорожньої мережі України. Сучасна тенденція прийняття проектних рішень при конструюванні дорожніх одягів автомобільних доріг, все частіше показує застосування в конструктивних шарах основи укріплених крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей. В якості в'язучого в таких сумішах, в більшості випадків, застосовуються мінеральні в'язучі в чистому вигляді, як правило, цементи або шлакопортландцементи, у кількості від 2 % до 4 %, чого досить часто достатньо для забезпечення нормованих показників міцності, що вимагаються ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими» [1]. Відповідно, перевагою таких матеріалів, є їх відносно невелика вартість та простота виготовлення у виробничих умовах. Альтернативою є отримання такого матеріалу методом змішування на дорозі з застосуванням дорожніх фрез або ресайклерів. Однак, приймаючи до уваги переваги цих матеріалів вони мають і певні недоліки такі як, низька тріщиностійкість, яка властива для високих марок та низька морозостійкість яка властива для низьких марок за міцністю.

Раніше виконаними дослідженнями встановлено [2], що одним із варіантів підвищення міцностних показників є введення фіброволокон до складу укріплених щебенево-піщаних сумішей. При введенні до складу таких сумішей фіброволокон, є можливість підвищити міцність на стиск до 30 % та міцність на розтяг при вигині або міцність на розкол по твірній до 50 %.

Перевірка отриманих результатів в виробничих умовах є одним із основних завдань, перед подальшим застосуванням технології укріплення щебенево-піщаних сумішей армованих фіброволокнами в більших масштабах.

Мета і завдання роботи. Перевірка попередньо отриманих результатів армування поліпропіленовими фіброволокнами щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом в виробничих умовах на змішувачі примусової дії, подальше укладання та ущільнення отриманого матеріалу в шарі основи дорожнього одягу.

Основна частина

Додавання фіброволокон (поліпропіленових, базальтових, целюлозних, сталевих, скловолокна та ін.) у склад будівельних матеріалів дозволяють створити міцний та стійкий до утворення мікротріщин та усадки матеріал. Цей спосіб покращення властивостей набув широкого використання в інших будівельних матеріалах, які також застосовуються при будівництві дорожніх одягів. Визначенням впливу різних фіброволокон різної довжини та у різній концентрації в матеріалах, що використовуються для влаштування шарів основ дорожніх одягів займалися Бражнік Г. В., Гамеляк І. П., Жданюк В. К., Оніщенко А. В., Панасюк Я. І., Сунь Дзянь, Толмачов С. М. та інші.

Перевірка раніше отриманих результатів досліджень [2] у виробничих умовах, дозволить встановити можливість застосування запропонованої технології покращення фізико-механічних показників укріплених мінеральними в'язучими щебенево-піщаних сумішей, а також виявити проблеми та недоліки, які можуть виникнути під час виконання робіт.

Впровадження технології армування поліпропіленовими фіброволокнами щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом виконувалось на виробничій базі ТОВ «Автомобільна-Південь» в м. Дергачі (Харківська область). Отримана під час впровадження суміш, в подальшому була

використана для влаштування шару основи дорожнього одягу на підходах до мосту через річку Волоська Балаклійка на автомобільній дорозі Р-79 Харків – Зміїв – Балаклія – Гороховатка км 85+580.

Для виробництва армованої щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом було використано щебенево-піщану суміш С7 виробництва ТОВ «Кривбас-щебінь» з гранітної сировини. Властивості суміші представлені в **табл. 1**.

Таблиця 1

Властивості щебенево-піщаної суміші С7

Назва показника, що визначається (згідно НД)	Одиниця виміру	Значення показника		НД на методи випробувань	Відповідність вимогам НД
		Відповідно до вимог НД	Фактичне значення		
Зерновий склад за ДСТУ 9177-2:2022 [3] Повні залишки на ситі 40 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 0 до 15 вкл.	1,4	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 20 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 20 до 40 вкл.	25,6	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 10 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 40 до 65 вкл.	43,1	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 5 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 55 до 80 вкл.	55,0	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 2,5 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 65 до 90 вкл.	66,7	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 0,63 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 85 до 95 вкл.	91,0	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 0,16 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 95 до 100 вкл.	98,8	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Повні залишки на ситі 0,05 мм	%	п. 7.4 табл. 7.2 від 95 до 100 вкл.	99,6	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.3	Відповідає
Насипна щільність	кг/м ³	Фактичне значення	1590	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.17	-
Вологість	%	Фактичне значення	4,5	ДСТУ 9179:2022 [4] п. 5.19	-

У якості в'язучого було використано шлакопортландцемент ПЦ ІІ/Б-Ш 400 виробництва ТОВ «Мінеральні порошки та суміші» у кількості 3,5 % від маси мінеральної частини. Для забезпечення якісного ущільнення, забезпечувалась оптимальна вологість суміші з зальним вмістом води 8,0 % від маси кам'яного матеріалу.

Для мікроармування суміші використовувалось волокно армуюче поліпропіленове довжиною 18 мм виготовлені за ТУ У 24.7-32781078-001:2006 «Волокно армуюче поліпропіленове (ВАП)» [5].

Застосована щебенево-піщана суміш, за гранулометричним складом відповідає вимогам ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими» [1]. Вміст цементу та води у складі сумішей підбирався фахівцями ТОВ «Автомагістраль Південь», а оптимальний вміст поліпропіленових фіброволокон встановлений у кількості 0,03 % від маси мінеральної частини, було попередньо досліджено в лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ [2] та підтверджено для суміші, яка застосовувалась під час впровадження.

Для виготовлення укріпленої щебенево-піщаної суміші використовувалась установка MARINI coldFALT600 (рис. 1).



Рисунок 1 — Установа MARINI coldFALT600

Під час проведення виробничого експерименту, було виготовлено два види суміші, перша без фіброволокон, друга з поліпропіленовими фіброволокнами. Введення суміші відбувалося в ручному режимі безпосередньо на стрічковий конвеєр перед системою дозування накопичувальних бункерів вручну (рис. 2).



Рисунок 2 — Введення фіброволокон до складу суміші

Під час випуску суміші було відібрано проби укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей з фіброволокнами та без них, після чого в лабораторії ТОВ «Автомагістраль-Південь» заформовано циліндричні лабораторні зразки безпосередньо на виробничій базі за допомогою гіраторного ущільнювача, для подальших порівняльних досліджень фізико-механічних показників після набрання зразками міцності у віці 28 діб. Після виготовлення зразки були загорнуті в стрейч-плівку (кожен окремо) та перші три доби зберігались в лабораторії ТОВ «Автомагістраль-Південь», після чого були передані до випробувальної лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ.

Наступним етапом було завантаження автосамоскидів приготовленими сумішами та транспортування їх на об'єкт будівництва. Укладання виготовлених сумішей виконувалось за допомогою асфальтоукладача Bomag BF 800C (рис. 3) окремо по смугах руху відповідно вимог ДСТУ 9178:2022 «Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебенеми, гравійних та укріплених матеріалів» [6].



Рисунок 3 — Укладання укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей

Ущільнення суміші, після укладання, виконувалося групою котків з різними типами робочих органів. Першим виконував ущільнення коток на пневматичних шинах Bomag BW24 RH загальною вагою 24 тонни. Наступним виконував ущільнення гладковальцевий коток Bomag BW161 AD масою 10 тонн, Завершував ущільнення гладковальцевий коток Bomag BW202 AD масою 12,3 тонни. Процес ущільнення (рис. 4).



Рисунок 4 — Ущільнення укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей

Після набуття зразками віку у 28 діб, зразки було піддано випробуванню. Досліджувалися наступні показники: «Міцність на стиск», «Міцність на непрямий розтяг» та «Коефіцієнт морозостійкості» Результати виконаних випробувань представлені в **табл. 2**.

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей

Позначення суміші	Міцність на стиск <i>R_{CT}</i> , МПа	Міцність на непрямий розтяг <i>R_p</i> , МПа	Коефіцієнт морозостійкості (за стику)	Коефіцієнт морозостійкості (за непрямого розтягу)
ЩПС.Кр.Ц.М20. ДСТУ 9177-3:2022	3,35	0,50	0,55	0,44
ЩПС.Кр.Ц.М20. ДСТУ 9177-3:2022 + Фібра	3,98	0,95	0,68	0,59

Результати випробувань зразків показали, що введення поліпропіленових фіброволокон довжиною 18 мм до складу крупнозернистої щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом марки М20 в виробничих умовах, підвищує міцність на стиск на 19 %, а міцність на непрямий розтяг на 90 % від значень показників для суміші без поліпропіленових фіброволокон. Також наявність в суміші поліпропіленових фіброволокон суттєво підвищує морозостійкість. У даному випадку, коефіцієнт морозостійкості за стиску підвищився на 24 %, а за непрямого розтягу на 34 %, що свідчить про суттєву ефективність фіброармування в виробничих умовах.

Висновки

Результати впровадження технології фіброармування крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом суттєво покращує всі фізико-механічні показники. Введення до складу щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом поліпропіленових волокон підвищує міцність на стиск на 19 %, міцність на непрямий розтяг на 90 %. Введення поліпропіленових волокон, також дозволяє підвищити морозостійкість щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом за умови випробування зразків за стиску на 24 %, а за непрямого розтягу на 34 %.

У процесі укладання за допомогою асфальтоукладача та ущільнення армованих фіброволокнами щебенево-піщаних сумішей укріплених цементом додаткових складнощів або труднощів виявлено не було.

Однак варто зазначити, що для більш широкого промислового застосування даної технології, необхідно розробити додаткову систему дозування фіброволокон, її синхронізацію з бортовим обладнанням установки та її подальше включення в загальний цикл роботи.

Список літератури

1. ДСТУ 9177-3:2022 Матеріали щебеневої та гравійної для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими. ДП «УкрНДНЦ». 2023, 20 с. (Інформація та документація).
2. Аринушкіна О. О., Костін Д. Ю. Дослідження оптимальної концентрації поліпропіленових фіброволокон у крупнозернистих щебенево-піщаних сумішах, укріплених цементом. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, ЛНТУ. 2025. Випуск 23. С. 19–30. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-02](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-02).
3. ДСТУ 9177-2:2022 Матеріали щебеневої та гравійної для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 2. Матеріали неукріплені. ДП «УкрНДНЦ». 2023, 17 с. (Інформація та документація).

4. ДСТУ 9179:2022 Щебінь та гравій зі щільних гірських порід і металургійних шлаків для дорожнього будівництва. Методи фізико-механічних випробувань. ДП «УкрНДНЦ». 2023, 65 с. (Інформація та документація).
5. ТУ У 24.7-32781078-001:2006. Волокно армуюче поліпропіленове (ВАП). URL: <http://plastificator.com.ua/cert/Fibers.pdf> (дата звернення: 28.04.2017).
6. ДСТУ 9178:2022 Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебеневих, гравійних та укріплених матеріалів. ДП «УкрНДНЦ». 2022, 28 с. (Інформація та документація).

References

1. DSTU 9177-3:2022. Materialy shchebenevi ta hraviini dlia dorozhnoho budivnytstva. Tekhnichni umovy. Chastyna 3. Materialy, ukripleni mineralnymi viazhuchymy. (DSTU 9177-3:2022 Crushed stone materials and gravel materials for the road building industry specifications/ Part 3. The materials bound by the mineral binders). Kyiv, 2023. 20 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
2. Arinushkina O. O., Kostin D. Y. Doslidzhennia optymalnoi kontsentratsii polipropilenovykh fibrovolokon u krupnozernistykh shchebenevo-pishchanykh sumishakh, ukriplenykh tsementom (Research of the optimal concentration of polypropylene fibers in coarse-grained crushed stone-sand mixtures reinforced with cement). *Suchasni tekhnolohii ta metody rozrakhunkiv u budivnytstvi*. Luts'k, LNTU. 2025. No. 23. P. 19–30. DOI: [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-02/](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-02/) [in Ukrainian].
3. DSTU 9177-2:2022. Materialy shchebenevi ta hraviini dlia dorozhnoho budivnytstva. Tekhnichni umovy. Chastyna 2. Materialy neukripleni. (DSTU 9177-2:2022 Crushed stone materials and gravel materials for the road building industry specifications. Part 2. Unbound materials). Kyiv, 2023. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
4. DSTU 9179:2022 Shchebin ta hravii zi shchilnykh hirs'kykh porid i metalurhiinykh shlakiv dlia dorozhnoho budivnytstva. Metody fizyko-mekhanichnykh vyprobuvan (DSTU 9179:2022 Natural crushed stone and gravel of denserocks and metallurgical slags for road building. Methods of physical and mechanical tests). Kyiv, 2023. 65 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
5. ТУ У 24.7-32781078-001:2006 Волокно армуюче поліпропіленове (ВАП). URL: <http://plastificator.com.ua/cert/Fibers.pdf>. (Last accessed: 28.04.2017) [in Ukrainian].
6. DSTU 9178:2022 Nastanova z ulashtuvannia shariv dorozhnoho odiahu z shchebenevykh, hraviinykh ta ukriplenykh materialiv. (DSTU 9178:2022 Guide on construction of layers of road pavement from crushed stone materials, gravel materials and bound materials). Kyiv, 2023. 28 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Olena Arinushkina, <https://orcid.org/0009-0007-6870-3764>

Dmytro Kostin, Ph.D., Associate Professor, <https://orcid.org/0000-0002-7879-6614>

Kharkiv National Automobile and Highway University, Kharkiv, Ukraine

IMPLEMENTATION OF THE TECHNOLOGY OF COARSE-GRADED CRUSHED STONE AND SAND MIXTURES REINFORCED WITH CEMENT AND POLYPROPYLENE FIBERS APPLICATION

Abstract

Introduction. Recently, coarse-grained crushed stone and sand mixtures reinforced with mineral binders, mainly of low strength grades, have become widely popular during repair and construction work on the road network of Ukraine. As a binder in these mixtures, mineral binders are used in pure form, in most cases cements or slag Portland cements are used, in an amount of 2 % to 4 % of the mixture weight. This dosage is usually sufficient to ensure the normative values of strength and frost resistance required by current standards.

Problems. However, in addition to the advantages, these materials also have certain disadvantages, such as low frost resistance, which is characteristic of low strength grades. The easiest way to increase frost resistance is to increase the content of mineral binder in the mixture, but this subsequently negatively affects the crack resistance of the base layer of the road surface and the appearance of reflected temperature cracks in the road surface layer. Previously performed studies have established that one of the options for increasing strength and frost resistance is the introduction of fiber fibers into the composition of reinforced crushed stone-sand mixtures.

Purpose of the work. Production verification of the previously obtained results of the study of the influence of polypropylene fiber reinforcement of coarse-grained crushed stone-sand mixture reinforced with cement on a forced-action mixer, further laying and compaction of the resulting material in the base layer of the road surface.

Materials and methods. For the production of reinforced crushed stone-sand mixture reinforced with cement, crushed stone-sand mixture C7 produced by LLC «Kryvbas-shchebin» from granite raw materials was used. Slag Portland cement PC II/B-Sh 400 produced by LLC «Mineral powders and mixtures» was used as a binder in the amount of 3.5 % of the mass of the mineral part. To ensure high-quality compaction, the optimum moisture content of the mixture was ensured with a total water content of 8.0 % by weight of the stone material. For micro-reinforcement of the mixture, polypropylene reinforcing fiber with a length of 18 mm was used.

The results. After the samples reached the age of 28 days, the samples were tested. The results showed that the introduction of polypropylene fibers into the composition of a coarse-grained crushed stone-sand mixture reinforced with M20 cement under production conditions, allowed to increase the compressive strength of the material by 19 % and the indirect tensile strength by 90 % of the values of the indicators for the mixture without polypropylene fibers. Also, after 10 freeze-thaw cycles, the frost resistance of the mixture containing polypropylene fibers significantly increased. In the studied case, the frost resistance coefficient in compression increased by 24 %, and in indirect tension by 34 %.

Conclusions. The introduction of fiber reinforcement technology for coarse-grained crushed stone-sand mixtures reinforced with cement of strength grade M20 increases all physical and mechanical indicators. Compressive strength increased by 19 %, and indirect tensile strength increased by 90 %. This also allowed to increase the frost resistance of the crushed stone-sand mixture reinforced with cement when testing samples in compression by 24 %, and in indirect tension by 34 %. Observation of the process of laying fiber-reinforced crushed stone-sand mixtures reinforced with cement using an asphalt paver and their compaction revealed no additional difficulties or difficulties. However, for a wider industrial application of this technology, there is a need to develop an additional fiber dosing system, synchronize it with the on-board equipment of the installation, and further include it in the overall work cycle.

Keywords: highway, road surface, base layers, cement, gravel-sand mixture, strength, fiber, cracking.