

## БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 625.7/8

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.0.81

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДОБАВОК КАТІОННОГО ЛАТЕКСУ ТА БАЗАЛЬТОВОЇ ФІБРИ НА РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ ІЗ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ, ЗМІЦНЕНИХ ЦЕМЕНТОМ

Сунь Цзянь<sup>1</sup>, Жданюк В. К.<sup>2</sup><sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет<sup>2</sup>Харбінський технічний університет

*Анотація.* Досліджено вплив добавок водних катіонних латексів різної концентрації та базальтової фібри різної довжини, що додають до складу щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом, на показники межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуль пружності як розрахункової характеристики. Визначено, що додавання катіонних латексів серії Vitonal до складу щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом помірно збільшує значення межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуль пружності, як порівняти з матеріалом без латексів. Експериментально визначено більш суттєве збільшення значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності фібро-армованих матеріалів із щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом, як порівняти з матеріалами, модифікованими катіонними латексами.

*Ключові слова:* щебенево-піщана суміш, залізисті кварцити, катіонний латекс, базальтові волокна, межа міцності під час розтягування в процесі згинання, модуль пружності.

**Вступ**

Під час будівництва автомобільних доріг І–ІІІ технічних категорії застосування в конструктивних шарах дорожнього одягу неукріплених в'язучими щебенево-піщаних матеріалів, виготовлених способом розклинювання, забороняється чинними в Україні державними будівельними нормами [1]. Замість них використовують щебенево-піщані суміші як зміцнені так і не зміцнені в'язучими. Для облаштування шарів основи дорожніх одягів переважно застосовують щебенево-піщані суміші із гранітних гірських порід. Властивості таких дорожньо-будівельних матеріалів, як гранітних щебенево-піщаних сумішей, на сьогодні є більш дослідженими, на відміну від щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, які утворюються в технологічному процесі

видобування залізної руди на залізорудних підприємствах після процесу магнітної сепарації. Використання щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом як дорожньо-будівельного матеріалу для створення конструктивних шарів дорожнього одягу дозволить не тільки зберегти ресурс кондиційних природних кам'яних матеріалів для наступних поколінь, а й знизити вартість будівництва автомобільних доріг та зменшити рівень забруднення довкілля. Тому дослідження можливості використання щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів як відходів гірничо-збагачувальних комбінатів під час будівництва шарів основи дорожніх одягів мають велике практичне значення.

### Аналіз публікацій

За результатами досліджень [2] визначено, що показники межі міцності за одноосьового стискання за непрямого розтягування під час стискання зразків-циліндрів вздовж твірної збільшуються за умови збільшення вмісту цементу у складі матеріалу із щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. У випадку одночасного використання водного латексу як органічного в'язкого та цементу як мінерального в'язкого в технології зміцнення щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів отриманий матеріал визначається високими показниками міцності та підвищеної тривалої морозостійкості.

Експериментально доведено, що продукти гідратації цементу та латексу утворюють в матеріалі зі щебенево-піщаних сумішей дві просторові структури зі зв'язками кристалізаційного та коагуляційного типів, які протинають одна одну. Наявність латексу під час гідратації цементу сприяє утворенню більш щільної структури матеріалу з меншою кількістю дефектів у ній, що забезпечує йому більший термін експлуатації у конструкції дорожнього одягу [2–5].

В Україні процес розраховування нежорстких дорожніх одягів здійснюється згідно з [6]. З цією метою використовують вихідні дані щодо розрахункових параметрів матеріалів, які передбачені проектом у шарах конструкції дорожнього одягу. До розрахункових параметрів належать модуль пружності та міцність за розтягування під час згинання. Проте на сьогодні розрахункові параметри матеріалів із щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом і латексом, а також фіброармованих ще не досліджені.

### Мета та постановка завдання

Додавання до складу будь-якого будівельного матеріалу добавки, що модифікує, як нового складника здійснюється з метою

покращення певних його властивостей. Водночас кожна добавка, що модифікує, має своє функціональне призначення. Добавки-фібри традиційно здійснюють функцію армування. Відомо [7], що додавання полімерної фібри до ґрунту, зміцненого цементом, сприяє підвищенню показників межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності як розрахункових характеристик. Оскільки розрахункові параметри матеріалів із щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом, а вплив на них фіброармування та полімерних добавок не досліджені, ці матеріали не можна використовувати для створення конструктивних шарів дорожнього одягу.

Метою роботи є дослідження впливу добавок катіонних латексів та базальтової фібри різної довжини на розрахункові параметри матеріалів із щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом.

### Виклад основного матеріалу

Для здійснення досліджень як мінеральне в'язуче використовували цемент марки М400 виробництва Сіньцзянського цементного заводу Qingsong, технічні параметри якого наведено в таблиці 1. Як складник композиційного в'язучого (цемент + латекс) були використані катіонні латекси Butonal NS 198 та Butonal 5126 виробництва компанії BASF (Німеччина), технічні параметри яких наведені в таблиці 2. Для фіброармування щебенево-піщаної суміші із залізистих кварцитів, зміцненої цементом, використовували базальтові волокна виробництва Zhejiang Haining Anjie Composites Company, технічні параметри яких наведені в табл. 3.

### Проктування випробувань і виготовлення зразків

**Проктування випробувань.** Під час випробувань використовували щебенево-піщану суміш із залізистих кварцитів з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм

ЩПС.Кр.Ц.М20 згідно з [8], гранулометричний склад якої наведено на рис. 1. Концентрація цементу у складі ЩПС40 складала 4 % за

масою, що забезпечувало отримання зміцненого матеріалу марки М20.

Таблиця 1 – Фізико-механічні властивості цементу

Властивості	Час схоплювання (хв)		Міцність за стиску (МПа)		Міцність за вигину (МПа)	
	Час початкового схоплювання	Час остаточного схоплювання	3 дні	28 днів	3 дні	28 днів
Вимірне значення	176	213	26.3	49.3	4.3	6.9

Таблиця 2 – Властивості катіонних латексів

Назва	Зовнішній вигляд	Вміст твердої речовини, %	pH	В'язкість (мПа·с)	Питома вага (г/см <sup>3</sup> )	Температура склування Tg(DSC) (°C)
Butonal NS 198	Водна дисперсія білого кольору	64	5.3	300	0.96	-53
Butonal 5126	Водна дисперсія білого кольору	50	7.5	200	1.00	-24

Таблиця 3 – Технічні властивості базальтового волокна

Щільність (г/см <sup>3</sup> )	Діаметр волокна (µm)	Міцність на розривання (МПа)	Модуль пружності (Гра)	Подовження на розривання (%)	Стійкий до лугів, (рівень збереження міцності на розривання) (%)
2.65	18±2	3500	100	3.8	92.3

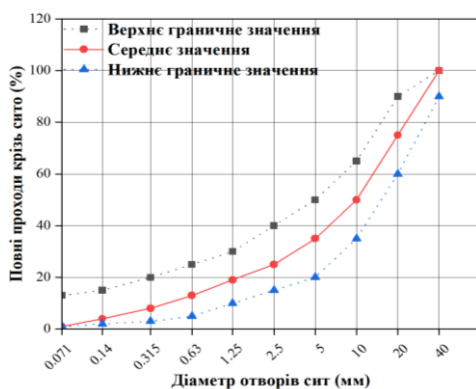


Рис. 1. Гранулометричний склад суміші ЩПС40 із залістистих кварцитів

Перший етап досліджень полягав у визначенні впливу вмісту двох катіонних латексів на значення межі міцності на розтягування під час згинання та модуля пружності матеріалу з ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених цементом. Вміст латексу Butonal NS 198 і Butonal 5126 у складі ЩПС40 становив 0, 3, 5 і 10 % від маси оптимальної кількості води за максимальної щільності суміші з цементом. На другому етапі досліджували вплив довжини базальтових волокон за їхнього вмісту 0,05 % від маси щебенево-піщаної суміші на значення межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності

матеріалу з ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених цементом.

**Виготовлення зразків.** Для визначення впливу різного вмісту латексу та різної довжини базальтових волокон на значення межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності матеріалу з ЩПС40, зміцнених цементом, із сумішей були виготовлені зразки-балки розміром  $100 \times 100 \times 400$  мм (рис. 2 і 3). Заформовані зразки зберігали в гідравлічній ванні та випробовували на 28 добу твердіння. Розрахункові параметри визначали за методикою, поданою в [9].



Рис. 2. Виготовлення зразків



Рис. 3. Загальний вигляд зразків-балок

### Результати та обговорення

**Вплив добавок латексів на розрахункові параметри.** Наведені на рис. 4 залежностей демонструють, що додавання катіонних латексів до складу ЩПС40 з цементом призводить до незначного збільшення значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання, на відміну від матеріалу без добавок латексів. Протягом 28 днів значення межі міцності на розтягування під час згинання матеріалу з вмістом 3, 5 і 10 % катіонного латексу Butonal NS 198 збільшується на 9,8; 14,1 і 8,7 % та на 7,6; 15,2 і 5,4 % з аналогічними концентраціями катіонного латексу Butonal 5126, як

порівняти з матеріалом без латексу. Найбільшим є значення межі міцності під час розтягування в процесі згинання в матеріалах з концентрацією 5 % латексів, що дорівнює критичній концентрації міцелоутворення розчину у воді.

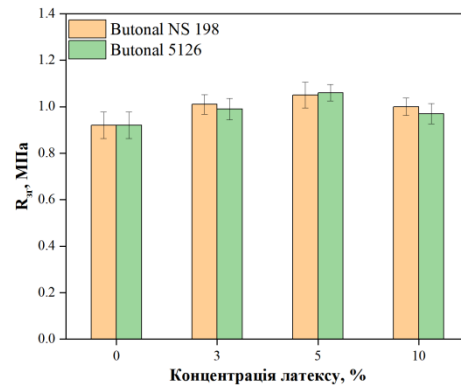


Рис. 4. Залежність межі міцності на розтягування під час згинання від концентрації катіонного латексу у воді

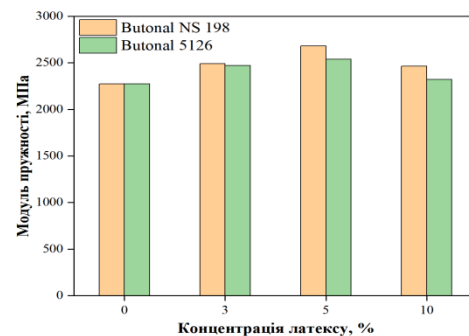


Рис. 5. Залежність модуля пружності від концентрації катіонного латексу у воді

Залежності модуля пружності від концентрації катіонного латексу (рис. 5) демонструють, що зазначений розрахунковий параметр теж помірно збільшується через збільшення вмісту досліджуваних латексів у складі щебенево-піщаної суміші ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених 4 % цементу. Згідно з рис. 5, додавання до складу ЩПС40 з цементом катіонного латексу Butonal NS 198 у кількості 3, 5 і 10 % від маси води збільшує значення модуля пружності в 1,10; 1,18 і 1,08 раза та в 1,09; 1,12 і 1,02 раза з аналогічними концентраціями катіонного латексу Butonal 5126,

як порівняти з матеріалом без латексу. Згідно з результатами визначення межі міцності під час розтягування в процесі згинання, найбільше значення модуля пружності властиве матеріалам з концентрацією 5 % латексів.

**Вплив базальтової фібри на розрахункові параметри.** Результати дослідження впливу довжини базальтових волокон за їхньої концентрації 0,05 % від маси щебенево-піщаної суміші із залістистих кварцитів на міцність під час розтягування в процесі згинання та модуль пружності матеріалу з ЩПС40, зміцненого цементом, наведені на рис. 6 і 7.

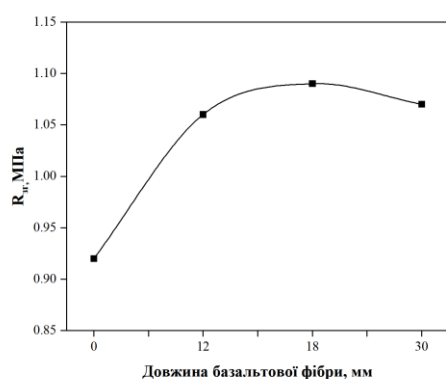


Рис. 6. Залежність межі міцності під час розтягування в процесі згинання від довжини базальтових волокон

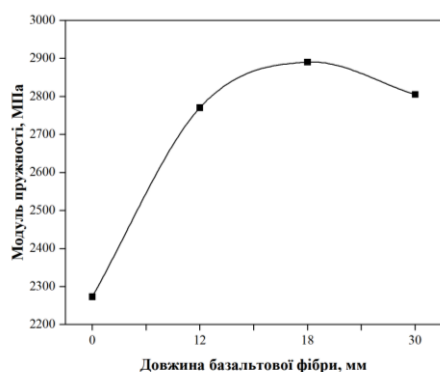


Рис. 7. Залежність модуля пружності від довжини базальтових волокон

Згідно з наведеними на рис. 6 і 7 залежностями, залежності межі міцності під час розтягування в процесі згинання і модуля пружності від довжини базальтової фібри, яку

містить матеріал з ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених цементом, мають екстремум. Аналіз залежності межі міцності під час розтягування в процесі згинання від довжини фібри вказує на те, що додавання до матеріалу 0,05 % базальтових волокон довжиною 12 мм; 18 мм і 30 мм призводить до збільшення значень міцності на 15,2 %; 18,5 % і 16,3 %. На відміну від межі міцності під час розтягування в процесі згинання значення модуля пружності матеріалу з ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених цементом, збільшилися на 21,8 %; 27,1 % і 23,4 % за вмісту в його складі 0,05 % базальтових волокон аналогічної довжини. Під час випробувань було визначено, що екстремальні значення межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності властиві матеріалу з довжиною базальтових волокон, що дорівнює 18 мм. Значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності матеріалу з довжиною базальтових волокон 30 мм можуть помітно зменшуватись через погіршення рівномірного розподілення фібри в об'ємі фіброармованої щебенево-піщаної суміші.

### Висновки

(1) За результатами випробувань визначено, що додавання досліджуваних катіонних латексів серії Butonal до складу щебенево-піщаних сумішей із залістистих кварцитів з цементом сприяє помірному збільшенню значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності, на відміну від матеріалу без добавки латексів. За вмісту 5 % латексу, який дорівнює критичній концентрації міцелоутворення у водному розчині, максимально збільшується межа міцності під час розтягування в процесі згинання на 14–15 %. За аналогічних умов значення модуля пружності збільшується на 12–18 %.

(2) Додавання 0,05 % базальтової фібри за масою до складу щебенево-піщаних сумішей із залістистих кварцитів, зміцнених

цементом, сприяє збільшенню значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності, як порівняти з матеріалом без фібри. Максимальне збільшення межі міцності під час розтягування в процесі згинання (на 18,5 %) та модуля пружності (на 27,1 %) властиве матеріалу з довжиною базальтової фібри 18 мм.

(3) Збільшення значень межі міцності під час розтягування в процесі згинання та модуля пружності фіброармованих матеріалів, як порівняти з матеріалами, модифікованими катіонними латексами, свідчить про більшу ефективність впливу базальтової фібри, порівнюючи з дослідженими катіонними латексами, на розрахункові параметри матеріалу з ЩПС40 із залістистих кварцитів, зміцнених цементом.

### Література

1. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина I. Проектування. Частина II. Будівництво. Зміна № 1.
2. Sun J., Zhdanuk V., Wang S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [J]. *Advanced Engineering Forum*. 2023. 48: 31–43.
3. Lv S., Peng X., Yuan J. et al. Stress path investigation of fatigue characteristics of cement stabilized macadam [J]. *Construction and Building Materials*. 2021. 292(5): 123446.
4. Argane R., Benzaazoua M., Hakkou R. et al. Reuse of base-metal tailings as aggregates for rendering mortars: Assessment of immobilization performances and environmental behavior [J]. *Construction & Building Materials*. 2015. 96 (oct.15). 296–306.
5. Osinubi K. J., Yohanna P., Eberemu A. O. Cement modification of tropical black clay using iron ore tailings as admixture [J]. *Transportation Geotechnics*, 2015. 5: 35–49.
6. ГБН В.2.3-37641918-559:2019. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування.
7. Панасюк Е.И. Совершенствование технологии укрепления грунтов цементом для строительства автомобильных дорог: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.11. Харьков, 2013. - 18 с.
8. ДСТУ 9177-3:2022. Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими. Київ, 2022.
9. М 218-02070915-645:2008. Методика лабораторного визначення та встановлення розрахункових характеристик дорожньо-будівельних матеріалів і ґрунтів.

### References

1. DBN B.2.3-4:2015. Highways. Part I. Designing. Part II. Construction. Amendment No. 1 [In Ukrainian].
2. Sun, J., Zhdanuk, V., Wang, S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [J]. *Advanced Engineering Forum*, 2023. 48: 31–43.
3. Lv, S., Peng, X., Yuan, J. et al. Stress path investigation of fatigue characteristics of cement stabilized macadam[J]. *Construction and Building Materials*. 2021. 292(5): 123446.
4. Argane R, Benzaazoua M, Hakkou R, et al. Reuse of base-metal tailings as aggregates for rendering mortars: Assessment of immobilization performances and environmental behavior[J]. *Construction & Building Materials*. 2015. 96 (oct.15). 296–306.
5. Osinubi, K. J., Yohanna, P., Eberemu, A. O. Cement modification of tropical black clay using iron ore tailings as admixture [J]. *Transportation Geotechnics*. 2015. 5: 35–49.
6. GBN B.2.3-37641918-559:2019. Roads. Non-rigid pavement. Design [In Ukrainian].
7. Ya.I. Panasiuk .Improving technology strengthening soils with cement for construction of highways: autoref. thesis Ph.D. technical Sciences: 05.22.11 Kharkiv, 2013. – 18 p.
8. DSTU 9177-3:2022. Crushed stone and gravel materials for road construction. Technical specifications. Part 3. Materials reinforced with mineral binders [In Ukrainian].
9. М 218-02070915-645:2008. Methodology for laboratory determination and establishment of calculated characteristics of road construction materials and soils [In Ukrainian].

Сунь Цзянь<sup>1</sup>, аспірант, кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг, 1586118851@qq.com, тел.+380638649819, <sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого, 25, м. Харків, 61002, Україна.

Жданюк Валерій Кузьмич<sup>2</sup>, д.т.н., професор, Школа транспортної науки та інженерії, vk.zhanuk@gmail.com, тел.+380679632807,

<sup>2</sup>Харбінський технологічний університет, вул. Західні-Дажі, 92, м. Харбін, 150090, Хейлунцзян, Китаї 150090.

### Studying the influence of additives of cationic latex and basalt fiber on the calculated characteristics of stone-sand mixtures made of iron tailings reinforced with cement

**Abstract. Problem.** As a major industrial solid waste, iron tailings not only occupy a lot of agricultural land, but also pollute the environment. It is necessary to study the effect of adding different concentrations of aqueous cationic latex and different lengths of basalt fibers to the composition of crushed stone-sand mixtures of iron tailings and cement on the parameters of flexural ultimate tensile strength and the characteristics of the modulus of elasticity calculation.

**Goal.** The effect of additives of aqueous cationic latexes of different concentrations and basalt fiber of different lengths in the composition of crushed stone-sand mixtures of iron tailings with cement on the flexural tensile strength and the elastic modulus as design characteristics was investigated. **Methodology.** The first stage of the study was to determine the effect of the content of two cationic latexes on the values of the tensile strength in flexion and the elastic modulus of the material from CSM-40 made of iron tailings reinforced with cement. The content of Butonal NS 198 and Butonal 5126 latexes in the composition of CSM-40 was 0, 3, 5, and 10 % by weight of the optimal amount of water at the maximum density of the mixture with cement. At the second stage, the influence of the length of basalt fibers at their content of 0.05 % by weight of the crushed stone and sand mixture on the

values of the flexural tensile strength and the elastic modulus of the material from the cement-reinforced iron tailings CSM-40 was studied. It has been established that the addition of cationic latexes of the Butonal series to the composition of crushed stone-sand mixtures of iron tailings with cement causes a moderate increase in the values of the flexural tensile strength and the elastic modulus, compared to the material without the addition of latexes. Experimentally, a more significant increase in the values of the flexural tensile strength and elastic modulus of fiber-reinforced materials made of crushed stone-sand mixtures of iron tailings with cement was found compared to materials modified with cationic latexes. **Conclusions:** 1. When the latex content is 5% (equivalent to the critical concentration of micelle formation in aqueous solution), the flexural tensile strength can be increased by a maximum of 14–15 %. Under similar conditions, the elastic modulus value increases by 12–18 %. 2. The addition of 0.05 % (by weight) basalt fiber to the crushed stone and sand mixture of rust-colored quartzite reinforced with cement improves the bending strength and elastic modulus values compared to the non-fiber material. The largest increases in flexural tensile strength (18.5%) and elastic modulus (27.1 %) are for materials with basalt fiber lengths of 18 mm.

**Keywords:** crushed stone-sand mixture, iron tailings, cationic latex, basalt fibers, flexural tensile strength, modulus of elasticity.

**Sun Jian**<sup>1</sup>, PhD student, Department of Automobile Road Construction and Maintenance, 1586118851@qq.com, tel. +380638649819,

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine.

**Zhdanuk Valerii Kuzmych**<sup>2</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, School of transportation science and engineering, vk.zhanuk@gmail.com, tel. +380679632807,

<sup>2</sup>Harbin Institute of Technology, 92, Xidazhi Str, Harbin 150090, Heilongjiang, China