

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СУНЬ ЦЗЯНЬ

УДК 625.7/8

ДИСЕРТАЦІЯ

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ШАРІВ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ
ВЛАШТОВАНИХ З ВИКОРИСТАННЯМ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ
СУМІШЕЙ ІЗ ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТІВ

192 Будівництво та цивільна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктор філософії.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

孙健 Сунь Цзянь

Науковий керівник: Жданюк Валерій Кузьмович, доктор технічних наук,
професор

Харків – 2025

АНОТАЦІЯ

Сунь Цзянь. Підвищення довговічності шарів дорожнього одягу влаштованих з використанням щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія – Харківський національний автомобільно-дорожній університет Міністерства освіти і науки України, Харків, 2025 р.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню важливої науково-практичної задачі щодо підвищення довговічності шарів дорожніх одягів автомобільних доріг за критеріями міцності, морозостійкості і тріщиностійкості, що влаштовані з використанням щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом з додаванням комплексу добавок різного функціонального призначення.

В роботі теоретично обґрунтовано і експериментально підтверджено, що структура і властивості матеріалу зі зміцнених цементом ЩПС із залізистих кварцитів визначаються співвідношенням крупного і дрібного заповнювачів, вмістом цементу, видом використаних модифікуючих добавок до них. Показано, що у матеріалі з ЩПС з високим вмістом цементу можуть виникати значні внутрішні напруження, викликані деформаціями зсідання цементного каменю під час набору міцності, та формуватись структура з підвищеним рівнем дефектності. Застосування різних за функціональним призначенням модифікуючих добавок, під час проектування складу ЩПС із залізистих кварцитів, зміцненої цементом, забезпечує можливість будівництва шарів дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності з високими показниками модуля пружності, міцності за розтягу під час вигину, структурної міцності, індексу температурної тріщиностійкості,

морозостійкості і низьким показником дефектності структури матеріалу в шарі.

Експериментально встановлено, що додавання добавки водного катіонного латексу до води покращує змочування нею мінеральної поверхні зерен ЩПС із залізистих кварцитів і цементу за рахунок зменшення величини поверхневого натягу та крайового кута змочування. Експериментально визначено, що за концентрації катіонного латексу у воді, яка є близькою до критичної концентрації міцелоутворення, оптимальна вологість ЩПС із залізистих кварцитів з цементом, що необхідна для досягнення максимальної щільності під час її ущільнення у шарі дорожнього одягу, зменшується більше ніж на 15 %, порівняно з використанням чистої води.

Встановлено, що збільшення концентрації цементу у складі ЩПС із залізистих кварцитів різного гранулометричного складу за оптимальної їхньої вологості призводить до закономірного зростання міцнісних показників матеріалу. Зростання значень границі міцності за стиску та за розколу по твірній відбувається у разі збільшення, як максимального розміру, так і загального вмісту зерен щебеню, у складі ЩПС із залізистих кварцитів, за однакового вмісту цементу. Встановлено, що меншу кількість цементу необхідно додавати до ЩПС для отримання однакових марок матеріалу за міцністю у разі збільшення у його складі вмісту щебеню.

Сучасними фізико-хімічними методами встановлено, що хімічної взаємодії між складниками матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом спільно з катіонним латексом, не відбувається. Показано, що матеріалу, зміцненому одночасно цементом і катіонним латексом, властива більш щільна структура, оскільки за присутності латексу в продуктах гідратації цементу формуються більш дрібні кристалогідрати, які позитивно впливають на формування структури з меншою кількістю мікродефектів. Зі збільшенням концентрації катіонного латексу у складі ЩПС із залізистих

кварцитів, зміцнених цементом, значення показників міцності (за стиску, за розколу по твірній, за розтягу під час вигину, модуля пружності) матеріалу демонструють тенденцію незначного зростання до критичної концентрації міцелоутворення, порівняно з матеріалом без добавок латексу. За концентрації катіонного латексу, більшої за критичну концентрацію міцелоутворення, значення показників міцності дещо знижуються, що є наслідком розуцільнення структури цементного каменю. Встановлено, що за додавання катіонного латексу величина максимальної структурної міцності, індексу температурної тріщиностійкості і морозостійкості матеріалу з ЩПС, зміцненого цементом, зростає, а показника дефектності структури зменшується, порівняно з матеріалом без латексу, що свідчить про його підвищений опір тріщиноутворенню.

За залежностями коефіцієнта морозостійкості, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості від довжини волокон базальтової фібри у складі ЩПС, зміцненої цементом, встановлено, що їхні максимальні значення властиві матеріалу, що вміщує 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм. За оптимального вмісту і довжини базальтових волокон коефіцієнт морозостійкості зростає на 33 %, показник максимальної структурної міцності на 36 %, індекс температурної тріщиностійкості на 31 %, порівняно з матеріалом без фібри.

Експериментально доведено, що за спільного додавання катіонного латексу і базальтової фібри до складу ЩПС із залізистих кварцитів, зміцненої цементом, спостерігається зростання значень границі міцності за стиску, за розколу по твірній, за розтягу під час вигину, модуля пружності, коефіцієнта морозостійкості, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалу, порівняно з індивідуальним впливом латексу і фібри. Зменшення показника дефектності структури матеріалу спостерігається як за індивідуального додавання латексу або фібри, так і комплексу цих

модифікуючих добавок, порівняно з матеріалом без добавок.

Здійснено впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничих умовах ТОВ «Геомакс» в технологію приготування кондиційних ЩПС із відходів залізистих кварцитів Полтавського ГЗК, а також дослідно-виробничу перевірку в дорожньо-будівельних організаціях під час будівництва і відновлення дорожніх одягів та розроблено рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів основи дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками.

Ключові слова: структура, довговічність, тріщиностійкість, морозостійкість, міцність, щебенево-піщана суміш, відновлення, цемент, щебінь, модифікуюча добавка, латекс, базальтова фібра, шари основи, дорожній одяг, автомобільна дорога, деградація, модуль пружності, фізико-механічні характеристики.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Sun J., Zhdaniuk V., He Y., Bieliatynskyi A. Study on Application of Iron Tailings in Cement Stabilized Macadam [J]. Key Engineering Materials. 2023. № 944. С. 231-246. <https://doi.org/10.4028/p-3et972>. (Scopus Q4)

2. Sun J., Zhdaniuk V., Huang Y., Kostin D., Yu R., Li S. Study on the effect of cationic latex on the properties of cement stabilized iron tailings [J]. Journal of Building Engineering. 2023. 108337. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108337>. (Web of Science Q1)

3. Sun J., Huang Y., Kostin D., Liu Y., Yu R., Zhang C. Experimental research on the properties of basalt fiber reinforced cement stabilized iron tailings [J]. Road Materials and Pavement Design. 2025. P. 1-17. <https://doi.org/10.1080/14680629.2025.2479217>. (Web of Science Q1)

Статті у фахових виданнях:

4. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу Butonal NS 198 і базальтової фібри на морозостійкість матеріалу з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. № 20. С. 135-143. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-15).

5. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу та базальтової фібри на розрахункові характеристики щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2024. № 1(104). С. 81-87. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.81>.

6. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу комплексу добавок на

властивості зміцнених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». 2024. № 1(115). С. 57-66. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-057-066>.

7. Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Сунь Ц. Дослідження морозостійкості щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. № 1(103). С. 198-204. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.1.198>.

8. Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Тетера В.С., Сунь Ц. Вплив генезису вихідної сировини на морозостійкість крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей, укріплених цементом. Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. 2024. №. 4. С. 342-347. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/53>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Сунь Ц., Жданюк В.К. Укріплені цементом щебенево-піщані суміші з відходів сухої магнітної сепарації залізистих кварцитів для будування шарів основи дорожніх одягів. Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури». Київ. 2022. С.160-161.

10. Сунь Ц., Жданюк В.К. Щебенево-піщані суміші із залізистих кварцитів для будування дорожніх одягів автомобільних доріг. Міжнародна конференція «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво». Київ. 2022. С.418-420.

11. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження показників міцності і морозостійкості укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів. Інноваційні процеси в галузі дорожнього

будівництва. Луцьк. 2022. С.56-58.

12. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу мікроармування базальтовою фіброю піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом на показники міцності. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку». Луцьк. 2023. С.97-99.

13. Sun J., Zhdaniuk V., Wang S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [C]. Advanced Engineering Forum. 2023. № 48.C. 31 - 43. <https://doi.org/10.4028/p-52pn15>.

14. Sun J., Zhdaniuk V. Research of influence of aqueous cationic latex Butoanl 5126X on strength of cement treated stone sand mixtures of iron ore talings. Третя міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури». Київ. 2023. <https://insat.org.ua/other/news/141223/>.

15. Сунь Ц., Жданюк В.К. Щебенево-піщані суміші із залізистих кварцитів для будування дорожніх одягів автомобільних доріг. Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи». Київ.2024. С.657-659.

ABSTRACT

Sun Jian. Increasing the durability of pavement layers constructed using crushed stone and sand mixtures of iron tailings - Qualification scientific work on the rights of a manuscript. Scientific work on the identification of manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 192 - Civil Engineering - Kharkiv National Automobile and Highway University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2025.

The dissertation is devoted to solving an important scientific and practical problem of increasing the durability of highway pavement layers in terms of strength, frost resistance and crack resistance, which are constructed using iron tailings sand and gravel mixture stabilized with cement with the addition of a complex of additives for various functional purposes.

The paper theoretically substantiates and experimentally confirms that the structure and properties of the material from cement stabilized iron tailings (CSIT) are determined by the ratio of coarse and fine aggregates, cement content, and the type of modifying additives used. It has been shown that significant internal stresses caused by cement stone shrinkage deformations during strength gain can occur in the material from high cementitious aggregates and form a structure with an increased level of defects. The use of modifying additives of various functional purposes in the design of the composition of CSIT asphalt pavement provides the possibility of constructing layers of high-durability road pavements with high elastic modulus, tensile strength in bending, structural strength, temperature cracking index, frost resistance and low defect rate of the material structure in the layer.

It has been experimentally established that the addition of an aqueous cationic latex additive to water improves the wetting of the mineral surface of iron tailings and cement grains by reducing the surface tension and the wetting edge angle. It has been experimentally determined that at a cationic latex concentration in water close

to the critical micelle formation concentration, the optimal moisture content of CSIT, which is necessary to achieve maximum density during its compaction in the pavement layer, decreases by more than 15 % compared to the use of pure water.

It has been established that an increase in the cement concentration in the composition of CSIT of different granulometric composition at their optimal moisture content leads to a natural increase in the strength properties of the material. The increase in the values of the compressive and split tensile strengths along the generative line occurs when both the maximum size and the total content of crushed stone grains in the composition of CSIT are increased at the same cement content. It was found that a smaller amount of cement should be added to the CSIT to obtain the same strength grades of the material in case of increasing the content of crushed stone in its composition.

Modern physicochemical methods have established that there is no chemical interaction between the components of the material of CSIT with cationic latex. It is shown that the material reinforced with both cement and cationic latex has a denser structure, since in the presence of latex in the cement hydration products, smaller crystalline hydrates are formed, which positively affect the formation of a structure with fewer microdefects. With an increase in the concentration of cationic latex in the composition of CSIT, the values of strength indicators (compressive, split along the generic line, flexural, modulus of elasticity) of materials show a tendency to a slight increase to the critical micelle formation concentration is somewhat lower compared to materials without latex additives. At a cationic latex concentration higher than micelle-forming critical concentration, the values of strength indicators decrease slightly, which is a consequence of the loosening of the cement stone structure. It has been demonstrated that the addition of cationic latex, the value of the maximum structural strength, temperature cracking resistance index, and frost resistance of the material increases, and the defectiveness index of the structure decreases, compared to the material without latex, which indicates its increased

resistance to cracking.

According to the dependences of the frost resistance coefficient, maximum structural strength, and temperature cracking index on the length of basalt fiber in the CSIT, it was found that their maximum values are inherent in the material containing 0,05 % basalt fiber with a length of 18 mm. With the optimal content and length of basalt fibers, the frost resistance coefficient increases by 33 %, the maximum structural strength by 36%, and the temperature cracking index by 31 % compared to a material without fiber.

It has been experimentally proven that the joint addition of cationic latex and basalt fiber to CSIT results in an increase in the values of the compressive strength, splitting strength, flexural strength, elastic modulus, frost resistance coefficient, maximum structural strength and temperature cracking index of the material compared to the individual addition of latex and fiber. A decrease in the defect rate of the material structure is observed both with the individual addition of latex or fiber and a complex of these modifying additives compared to the material without additives.

The results of the dissertation research were implemented in the production conditions of Geomax TOV in the technology of preparation of conditioned CSM from waste iron tailings of Poltava GOK, as well as pilot testing in road construction organizations during the construction and restoration of pavement base layers and recommendations on the technology of preparation and construction of pavement layers using CSIT and modifying additives were developed.

Keywords: structure, durability, crack resistance, frost resistance, strength, crushed stone-sand mixture, restoration, cement, aggregate, modification, latex, basalt fiber, base layers, pavement, highway, degradation, elastic modulus, physical and mechanical characteristics.

LIST OF PUBLISHED WORKS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

Scientific works in which the main scientific results of the dissertation are published:

Articles in international scientific databases:

1. Sun J., Zhdaniuk V., He Y., et al. Study on Application of Iron Tailings in Cement Stabilized Macadam [J]. Key Engineering Materials. 2023. №. 944. P. 231 - 246. <https://doi.org/10.4028/p-3et972>. (Scopus Q4)

2. Sun J., Zhdaniuk V., Huang Y., Kostin D., Yu R., Li S. Study on the effect of cationic latex on the properties of cement stabilized iron tailings [J]. Journal of Building Engineering. 2023. 108337. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108337>. (Web of Science Q1)

3. Sun J., Huang Y., Kostin D., Liu Y., Yu R., Zhang C. Experimental research on the properties of basalt fiber reinforced cement stabilized iron tailings [J]. Road Materials and Pavement Design. 2025. P. 1-17. <https://doi.org/10.1080/14680629.2025.2479217>. (Web of Science Q1)

Articles in Ukraine professional publications:

4. Sun J., Zhdaniuk V.K. Investigation of the effect of additives of cationic latex Butonal NS 198 and basalt fiber on the frost resistance of the material from crushed stone and sand mixtures of cement stabilized iron tailings. Modern technologies and calculation methods in construction. 2023. №. 20. P. 135-143. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-15).

5. Sun J., Zhdaniuk V. K. Investigation of the influence of cationic latex and basalt fiber additives on the design characteristics of crushed stone and sand mixtures of cement stabilized iron tailings. Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University. 2024, №. 1(104). P. 81-87. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.81>.

6. Sun J., Zhdaniuk V.K. Research of complex additive influence on properties of cement treated granular mixes of iron tailings. Scientific journal “Automobile Roads and Road Construction”, 2024. №. 1(115). P. 57-66. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-057-066>.

7. Kostin D.Y., Arinushkina O.O., Sun J. Investigation of frost resistance of cement-reinforced crushed stone-sand mixtures. Bulletin of Kharkiv National Automobile and Highway University, 2023, №. 1(103). P. 198-204. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.1.198>

8. Kostin D.Y., Arinushkina O.O., Tetera V.S., Sun J. Influence of the genesis of the initial raw materials on the frost resistance of coarse gravel-sand mixtures reinforced with cement. Scientific notes of V.I. Vernadsky Taurida National University. 2024. №. 4. P. 342-347. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/53>.

Scientific works certifying the testing of the dissertation materials:

9. Sun J., Zhdaniuk V.K. Cement-reinforced crushed stone-sand mixtures from waste of dry magnetic separation of iron tailings for the construction of pavement base layers. All-Ukrainian scientific and practical conference “Prospects for the development of road transport and infrastructure”. Kyiv. 2022. P.160-161.

10. Sun J., Zhdaniuk V.K. Crushed stone-sand mixtures of iron tailings for the construction of road pavements of highways. Kyiv. International conference “Implementation of innovative materials and technologies in the design, construction and operation of transport infrastructure facilities within the framework of the Big Construction program”. Kyiv. 2022. P.418-420.

11. Sun J., Zhdaniuk V.K. Investigation of strength and frost resistance of cement-reinforced crushed stone-sand mixtures of iron tailings. International scientific and practical Internet conference of young scientists and students. Innovative processes in the field of road construction. Lutsk. 2022. P.56-58.

12. Sun J., Zhdaniuk V., Wang S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [J]. Advanced Engineering

Forum. 2023. №. 48. P. 31-43. <https://doi.org/10.4028/p-52pn15>.

13. Sun J., Zhdaniuk V.K. Investigation of the influence of micro-reinforcement with basalt fiber of sand mixtures of iron tailings with cement on strength parameters. International scientific and practical Internet conference “Modern problems of urban planning. Prospects and priorities of development”. Lutsk. 2023. P.97-99.

14. Sun J., Zhdaniuk V. Research of influence of aqueous cationic latex Butoanl 5126X on strength of cement treated stone sand mixtures of iron ore talings. Third International Scientific and Practical Conference “Prospects for the Development of Road Transport and Infrastructure”. Kyiv. 2023. <https://insat.org.ua/other/news/141223/>

15. Sun C., Zhdaniuk V.K. Crushed stone-sand mixtures from ferruginous quartzites for the construction of road pavements. International scientific and practical conference “Innovative approaches to the restoration of transport infrastructure in special conditions of martial law: challenges and prospects”. Kyiv. 2024. C.657-659.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	18
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТЯННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	25
1.1 Основні напрямки комплексної утилізації відходів залізорудних підприємств	25
1.2 Застосування щебенево-піщаних сумішей в технології влаштування шарів дорожніх одягів автомобільних доріг	30
1.3 Сучасний стан досліджень щодо застосування в дорожньому будівництві цементовмісних матеріалів модифікованих полімерними добавками.....	33
1.4 Сучасний стан досліджень фіброармованих цементовмісних матеріалів	35
1.5 Висновки по розділу. Мета та задачі дослідження.....	42
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	47
2.1 Вплив складників та послідовності технологічних етапів приготування на процеси структуроутворення і довговічність матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом.....	47
2.2 Програма експериментальних досліджень.....	55
2.3 Висновки по розділу.....	56
РОЗДІЛ 3 ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	58
3.1 Характеристика матеріалів прийнятих для дослідження.....	58
3.2 Методи та обладнання прийняті для дослідження.....	68
3.3 Висновки по розділу.....	78
РОЗДІЛ 4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	80
4.1 Дослідження впливу вмісту води та латексу на щільність ЩПС із залізистих	

кварцитів.....	80
4.2 Дослідження впливу вмісту цементу на міцнісні властивості матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів різної гранулометрії	86
4.3 Дослідження впливу генезису складників ЩПС на показники міцності і морозостійкість матеріалу зміцненого цементом.....	88
4.4 Дослідження впливу добавок катіонного латексу на процеси структуроутворення та властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом.....	97
4.5 Результати дослідження впливу добавок базальтової фібри на міцнісні характеристики ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом	105
4.6 Дослідження комплексного впливу добавок базальтової фібри і катіонного латексу на показники міцності матеріалу з ЩПС зміцненого цементом.....	113
4.7 Дослідження впливу модифікуючих добавок на низькотемпературні властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом ..	116
4.7.1 Дослідження впливу добавок катіонного латексу на низькотемпературні властивості	117
4.7.2 Дослідження впливу базальтової фібри на низькотемпературні властивості	122
4.7.3 Дослідження комплексного впливу добавок катіонного латексу і базальтової фібри на низькотемпературні властивості	126
4.8 Висновки по розділу.....	130
РОЗДІЛ 5 ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	135
5.1 Рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками.....	135
5.2 Технологічний регламент виготовлення щебіню і піску з кварцитів	

Полтавського гірничо-збагачувального комбінату та щебенево-піщаних сумішей з них для будівельних робіт.....	151
5.3 Висновки по розділу.....	180
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	181
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	184
ДОДАТОК А ФОТОЗНІМКИ СТАНУ ЗРАЗКІВ ПІСЛЯ ВПЛИВУ ЦИКЛІВ ЗАМОРОЖУВАННЯ-ВІДТАВАННЯ.....	200
ДОДАТОК Б ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	204
ДОДАТОК В СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ.....	209

ВСТУП

Актуальність роботи. В технологічному процесі видобування залізної руди на залізо-рудних підприємствах попутно утворюється значна кількість залізистих кварцитів, як відходів виробництва, після проходження ними магнітної сепарації. Традиційно ці відходи представляють собою нефракціоновані відсівы у вигляді щебенево-піщаних сумішей (ЩПС) з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм. Вказаним відсівам властивий не стабільний гранулометричний склад, тому у вихідному стані такі ЩПС, як самостійний дорожньо-будівельний матеріал, не знаходить застосування під час будування дорожніх одягів автомобільних доріг. Відомо також, що в технології будування шарів основи нежорстких і жорстких дорожніх одягів знаходять широке застосування ЩПС нормованого зернового складу із гранітних гірських порід. Однак в умовах все більш високої вартості видобутку кондиційних кам'яних матеріалів важливим є розширення номенклатури ЩПС меншої вартості, порівняно з гранітними. Для багатьох країн актуальним завданням є розроблення ефективної технології широкого використання в дорожній галузі ЩПС із залізистих кварцитів замість ЩПС із кондиційних кам'яних матеріалів.

Кондиційні ЩПС є відносно дешевими дорожньо-будівельними матеріалами які використовують переважно у дискретному стані для будування шарів основи дорожніх одягів. Проте в останні роки спостерігається стійка тенденція влаштування шарів основи сучасних конструкцій дорожніх одягів автомобільних доріг з використанням ЩПС зміцнених мінеральними в'язучими матеріалами. Шарам основи дорожнього одягу, влаштованим з таких матеріалів, властива відносно висока міцність і жорсткість. Одночасно їм притаманна недостатньо висока тріщиностійкість і морозостійкість. Це зменшує довговічність конструкцій дорожніх одягів за зростаючої інтенсивності руху транспортних засобів та величини навантажень, які сприймаються ними. На сьогодні застосування ЩПС із залізистих кварцитів

зміцнених в'язучими для влаштування шарів основи дорожніх одягів обмежується сукупністю проблем пов'язаних з відсутністю розрахункових характеристик і комплексних досліджень їхньої довговічності за критеріями морозостійкості і тріщиностійкості. Зазначене свідчить про актуальність дисертаційного дослідження.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана згідно основних положень «Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» (розпорядження Кабінету міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р), а також згідно планів науково-дослідних і проєктно-конструкторських робіт Державного агентства відновлення та розвитку інфраструктури України під час виконання теми № 93/35-73-21 (державний реєстраційний № 0121U112781) «Провести дослідження морозостійкості кам'яних матеріалів, укріплених мінеральними в'язучими, та розробити Зміну №1 до ДСТУ 9178:2022 «Настанова з улаштування шарів дорожнього одягу з щебенових, гравійних та укріплених матеріалів»», та науково-дослідних робіт Харківського національного автомобільно-дорожнього університету під час виконання тем: № 35-31-20 «Дослідження фізико-механічних властивостей та розрахункових характеристик щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів та амфіболітів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату не укріплених і укріплених цементом та встановлення їх відповідності вимогам чинних стандартів», № 35-42-20 «Визначення морозостійкості матеріалу із щебенево-піщаної суміші укріпленої цементом», № 35-52-20 «Визначення властивостей щебенево-піщаних сумішей».

Мета дослідження. Розробка науково обґрунтованих технологічних рішень зміцнення матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів для будівництва шарів дорожніх одягів підвищеної довговічності на основі встановлення закономірностей впливу цементу спільно з комплексом добавок на процеси структуроутворення та їхні властивості.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети вирішували

наступні завдання:

1. Виконати аналіз сучасних напрямків застосування щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, як відходів гірничо-збагачувальних підприємств, в будівельній галузі; розглянути існуючі дослідження щодо впливу модифікуючих добавок до щебенево-піщаних сумішей на властивості шарів дорожнього одягу побудованих з їхнім використанням.

2. Обґрунтувати критерії та методи оцінювання довговічності матеріалів в шарах дорожнього одягу з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом з модифікуючими добавками; теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити закономірності процесів структуроутворення в матеріалах з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом спільно з модифікуючими добавками катіонних латексів і базальтової фібри.

3. Експериментально дослідити вплив крупності зерен щебеню та гранулометричного складу щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, а також вмісту добавок за різного їхнього функціонального призначення, на показники міцності матеріалів зміцнених цементом.

4. Комплексно дослідити залежності термодинамічних властивостей від концентрації водних катіонних латексів у воді та їхнього впливу на показники максимальної щільності і оптимальної вологості щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом.

5. Виконати комплексні експериментальні дослідження залежностей показників міцності, морозостійкості, максимальної структурної міцності, індексу тріщиностійкості і дефектності структури матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом, від вмісту водного катіонного латексу і базальтової фібри, як індивідуальних і комплексних модифікуючих складників.

6. Розробити технологічний регламент приготування щебенево-піщаних сумішей із відходів залізрудних підприємств. За результатами досліджень підготувати рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням щебенево-піщаних сумішей із залізистих

кварцитів, зміцнених цементом. Виконати виробниче перевіряння отриманих результатів дослідження.

Об'єкт дослідження. Технологія зміцнення ЩПС із залізистих кварцитів цементом спільно з добавками базальтової фібри та катіонного водного латексу.

Предмет дослідження. Вплив зміцнення ЩПС із залізистих кварцитів цементом спільно з комплексом добавок на процеси структуроутворення, властивості і довговічність матеріалу в шарах дорожніх одягів автомобільних доріг.

Методи дослідження. У роботі використані стандартні методи експериментального визначення фізичних і механічних властивостей матеріалів з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом та методи статистичної обробки експериментальних даних. Для розрахунку значень модуля пружності і границі міцності за розтягу під час вигину, як розрахункових характеристик, використовували метод експериментального визначення деформаційних і міцнісних властивостей. Для оцінювання структури матеріалів використовували метод рентгенофазового аналізу, електронної скануючої мікроскопії та інфрачервоної спектроскопії.

Наукова новизна отриманих результатів:

- дістали подальшого розвитку теоретичні і експериментальні дослідження впливу в'язучих мінерального походження та комплексних модифікуючих добавок різного функціонального призначення на властивості матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів для влаштування шарів дорожніх одягів автомобільних доріг;

- дістали подальшого розвитку дослідження щодо впливу водорозчинних катіонних латексів на поверхневий натяг і кут змочування мінеральної поверхні їхніми розчинами у воді. Підтверджено, що збільшення вмісту катіонного водного латексу у воді призводить до зменшення величини поверхневого натягу і крайового кута змочування мінеральної поверхні їхніми розчинами. Встановлено, що збільшення вмісту латексу, у перерахунку на

тверду речовину у складі катіонного водного латексу, призводить до зменшення величини поверхневого натягу водного розчину, за постійного значення критичної концентрації міцелоутворення;

- вперше комплексно досліджено індивідуальний і спільний вплив цементу, катіонного водного латексу і базальтової фібри на структурну міцність, індекс температурної тріщиностійкості, морозостійкість, модуль пружності та показник дефектності структури матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Встановлено, що зміцнення матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів за одночасного додавання цементу, водного латексу та базальтової фібри, забезпечує найбільше зростання показників морозостійкості і тріщиностійкості.

Практичне значення отриманих результатів полягає у вирішенні важливого прикладного завдання, що пов'язане з розширенням можливостей використання ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом, в конструктивних шарах дорожніх одягів автомобільних доріг та зниженням вартості будівництва, а також зменшенням видобування кондиційних кам'яних матеріалів з метою сталого розвитку регіонів. Результати дисертаційної роботи впроваджені у навчальний процес у Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті у лекційних курсах «Технологія будівництва автомобільних доріг» і та у дипломне проєктування для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Особистий внесок здобувача. Всі результати, що наведені в дисертаційній роботі, одержані здобувачем особисто або за його безпосередньою участю. За матеріалами дисертації у співавторстві опубліковано 8 статей у фахових виданнях. Здобувачем особисто виконані експериментальні дослідження показників міцності матеріалів з ЩПС різного зернового складу із залізистих кварцитів зміцнених цементом; досліджено індивідуальний вплив добавок катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» на властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом; визначені термодинамічні властивості водних розчинів

катионних латексів «Butonal NS 198» і «Butonal 5126»; експериментально досліджено сумісний вплив добавок базальтової фібри та катионного латексу на показники міцності, тріщиностійкості і морозостійкості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом; визначені розрахункові характеристики матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом; виконана статистична обробка результатів; досліджено вплив добавок різного походження на структуру матеріалів; розроблені рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом з модифікуючими добавками.

Обґрунтованість та достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів підтверджена достатнім обсягом експериментальних досліджень, що отримані з використанням сучасних методів та лабораторного обладнання, апробацією результатів досліджень та перевіркою у виробничих умовах.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні результати дисертаційної роботи доповідались і обговорювались: на міжнародній конференції «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво», (Київ, 2022); Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури», (Київ, 2022); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції молодих учених та студентів «Інноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва», (Луцьк, 2022); Міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку», (Луцьк, 2023); Третій міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури», (Київ, 2023).

Публікації. Результати наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковані в 15 друкованих працях, із них: 5 у періодичних фахових виданнях, що входять до переліку МОН України (включені до міжнародної наукометричної бази Scholar Google); 3 стаття у виданні, що включене до

наукометричної бази SCOPUS; 7 у збірках праць за матеріалами наукових конференцій.

Структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, бібліографії з 155 найменувань і 3 додатків. Загальний обсяг роботи складає 212 сторінок, у тому числі 158 сторінок основного тексту, 62 рисунків, 30 таблиць.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТЯННЯ, МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Основні напрямки комплексної утилізації відходів залізорудних підприємств

З розвитком чорної металургії та гірничодобувної промисловості, велика кількість залізистих кварцитів накопичується в якості відходів. Склади відходів залізистих кварцитів не тільки займають землю, а й завдають серйозного забруднення і шкоди середовищу проживання людини, порушують екологічну рівновагу і впливають на громадську безпеку [1-3]. Тому утилізація відходів залізистих кварцитів, що утворюються в процесі видобутку залізної руди, стало актуальним завданням. Вчені з різних країн активно шукають шляхи розв'язання цієї проблеми і досягли певних успіхів [4-7].

Зокрема, починаючи з 1970-х років, в економічно розвинених країнах було сформовано низку законів і нормативних актів з охорони довкілля на шахтах, що призвело до значного поліпшення екологічної ситуації в регіонах розташування шахт і хвостосховищ [8-13]. Було також досягнуто практичних результатів щодо вилучення цінних металів і неметалевих елементів із залізовмісних відходів, запропоновано використовувати залізисті кварцити для виробництва будівельних матеріалів, застосовувати тонкодисперсні залізисті кварцити як ґрунтополіпшувачі, були розроблені заходи із загальної утилізації залізовмісних відходів хвостосховищ. Наприклад, у Німеччині, Канаді, США та Австралії великого значення надають рекультивації хвостосховищ, завдяки чому рівень рекультивації земель на шахтах сягнув 80 % [14-17].

На початку 1960-х років у колишньому СРСР почалися дослідження і виробництво із залізистих кварцитів будівельних матеріалів [18,19]. Наприклад, залізисті кварцити Криворізького залізорудного родовища запропоновано розділяти на фракції і потім використовувати як крупний і

дрібний заповнювачі в технології приготування цементобетонних сумішей. Були спроби використовувати піски із залізистих кварцитів для виробництва силікатних будівельних виробів [20], проте така технологія не набула масштабного розповсюдження. Були також спроби використовувати залізисті кварцити, що містили велику кількість силікату магнезії, як сировину для виготовлення магнезійних цементів і цементних виробів з них [21]. У Туреччині проведені дослідження щодо використання різних технологій магнітної і гравітаційної сепарації та флотації для отримання калієвого польового шпату із залізистих кварцитів, який запропонували використовувати у керамічній промисловості [22]. Було досягнуто отримання 61-65 % залізного концентрату із залізистих кварцитів з використанням гідроциклону і магнітної сепарації в Індії [23]. На збагачувальній фабриці Сівас-Діврігі (США) експериментально підтвердили, що за оптимальних умов флотації із відходів залізистих кварцитів можливо додатково виділити кобальт, нікель і мідь. Практично вдалося досягти вилучення із відходів залізистих хвостів 94,7 % від всього вмісту кобальту, 84,6% нікелю і 76,8% міді [24]. В Індії доведено, що використання залізистих кварцитів для виробництва керамічної плитки забезпечує їй вищу міцність і щільність, ніж у звичайної плитки, властивості якої відповідають більшості стандартів EN [25]. В Японії залізисті кварцити використовують у невеликій кількості, як один із складників, для отримання легких заповнювачів способом спікання [26]. В Україні залізисті кварцити класифікують за крупністю: крупніше за 0,14 мм використовують як будівельний пісок, дрібніше за 0,04 мм - для виробництва пористого скла і піноскла, а від 0,14 до 0,04 мм - як наповнювач для бетону і пінобетону [27]. В Канаді залізисті кварцити використовують для виготовлення стінових матеріалів, а подрібнені залізисті кварцити застосовують для випалювання вогнетривкої цегли [28].

Китайські дослідження в галузі комплексної утилізації залізистих кварцитів почали проводитися порівняно пізно, але швидко прогресували. Особливо з 1980-х років, коли дедалі більшу увагу почали приділяти економії кондиційних мінеральних ресурсів та екологічній безпеці, комплексне

використання залізистих кварцитів привернуло значну увагу відповідних відомств [29]. Згодом деякі науково-дослідні інститути, коледжі, університети та інші дослідницькі організації стали тісно співпрацювати з гірничодобувними підприємствами і досягли певних практичних результатів у сфері комплексної утилізації залізистих кварцитів [30] за наступними напрямками:

1. Рекультивація кар'єрів та шахт

Зворотня засипка - один із найефективніших способів прямої утилізації залізистих кварцитів. Заповнення порожнин кар'єрів та шахт залізистими кварцитами не тільки дає змогу використовувати місцеві матеріали та відходи, а й заощаджує витрати на розширення і будівництво додаткових хвостосховищ. Використання залізистих кварцитів для зворотної засипки - простий і економічно ефективний процес, що дає змогу знизити загальні витрати на видобуток корисних копалин [31]. Використання залізистих кварцитів для рекультивації кар'єрів та шахт дає змогу не тільки уникнути забруднення довкілля, а й запобігти геологічним катастрофам, як-от осіданню ґрунту, спричиненому гірничими роботами [32].

2. Використання як комплексного добрива для поліпшення ґрунтів

Залізисті кварцити часто містять такі мікроелементи як Zn, Mn, Cu, Mo, V, B тощо, які є необхідними мікроелементами для росту рослин [33]. Мааньшанський науково-дослідний інститут гірничої справи виступив ініціатором проведення досліджень з використання намагнічених залізистих кварцитів як ґрунтового кондиціонера. Після проведення порівняльних випробувань на малих площах посівів і демонстраційних випробувань на великих площах ефект підвищення врожайності виявився очевидним. У цьому дослідницькому інституті також вивчали вплив намагнічування, гранулювання та інших процесів, на отримання намагніченого комплексного добрива для сільського господарства. В екопоселенні Дангту Тайкан планується будівництво заводу з виробництва намагніченого комплексного добрива потужністю 10000 тонн в рік [34]. Вміст K_2O в залізистих кварцитах одного з

рудників у провінції Хубей становить 5 %, і наразі додаткові потужності цього рудника успішно виробляють калійно-кальцієве добриво з використанням цих залізистих кварцитів; Хейлунцзянська збагачувальна фабрика Ліхі з використанням залізистих кварцитів виробляє магнієві та калійні добрива; Хенаньська збагачувальна фабрика на основі залізистих кварцитів, як основної сировини, виробляє кальцієві, магнієві та фосфорні добрива [35].

3. Додаткова переробка відходів із залізистих кварцитів

З 1980-х років вторинне вилучення цінних металів із залізистих кварцитів є важливим аспектом їхньої комплексної утилізації. Багато залізорудних копалин Китаю, такі як Баотоу (Внутрішня Монголія), Паньчжихуа (провінція Сичуань), Дайе (провінція Хубей), Дунфен (провінція Чжецзян), а також залізисті кварцити деяких інших копалин містять різні цінні метали [36]. Вилучення з цих відходів цінних металів може забезпечити значний економічний і соціальний ефект.

4. Використання залізистих кварцитів для виготовлення будівельних матеріалів

а) Як будівельний матеріал для зведення стін

Дослідженнями встановлено, що за умови додавання 10 % залізистих кварцитів до сировини для виготовлення цегли можливо отримати матеріал залізисто-червоного кольору з міцністю за стиску 5,9-6,9 МПа [37]. Водночас у разі використання суміші залізистих кварцитів і глини у співвідношенні 1:1 міцність цегли за стиску може становити 6,87-7,85 МПа, що перевищує показники міцності звичайної глиняної цегли [38]. Яо Шуган з колегами розробили технологію виробництва стінових матеріалів з використанням залізистих кварцитів без випалювання, без пропарювання і без пресування [39].

б) Як складник для виробництва цементу

Використання залізистих кварцитів у виробництві цементу полягає в тому, що наявний у їхньому складі вміст заліза дозволяє забезпечити необхідний вміст оксидів заліза в складі цементу [40, 41].

в) Як складник сировини для виробництва декоративних матеріалів

Використання пісків із залізистих кварцитів для виробництва скла і будівельної кераміки стало вивчатися тільки в останні кілька років. Наприклад, у Китайській академії геологічних наук на основі використання пісків із залізистих кварцитів розроблено технологію виготовлення чорно-коричневої промислової кераміки та кераміки повсякденного попиту [42]. Залізисті кварцити також можуть бути використані для виробництва різноманітних кольорових глазурованих настиінних і підлогових плиток, а також декоративних плиток [43]. Cao Yongmin, Wang Lijiu та ін. розробили технологію виготовлення тротуарної цегли із залізистих кварцитів [44].

г) Як дорожньо-будівельний матеріал

Результати сучасних досліджень [46-52] показують, що перспективи застосування пісків із залізистих кварцитів у дорожньому будівництві залишаються вельми багатообіцяючими. У 1990-х роках науково-дослідний інститут гірничої справи Мааньшань і Північно-Східний університет провели дослідження щодо використання залізистих кварцитів в шарах дорожнього одягу [53]. Су Гун [54] на основі результатів випробувань залізистих кварцитів і практики їхнього дослідного застосування в конструкціях дорожнього одягу рекомендував застосовувати їх під час будівництва автомобільних доріг низьких технічних категорій. У Далянському технологічному університеті були проведені дослідження можливості використання піску із залізистих кварцитів, укріплених вапном і цементом, для будівництва та відновлення експлуатаційних характеристик дорожнього одягу, порівняно з глинистим ґрунтом, укріпленим вапном. Результати показали, що досліджений матеріал має хороші експлуатаційні характеристики і може знайти широке застосування для будівництва та відновлення дорожніх одягів автомобільних доріг [55].

Zeng Yauiqiong за результатами досліджень [56] запропонував використовувати залізисті кварцити замість деяких природних заповнювачів, що дало перспективний напрямок для застосування залізних хвостів у дорожньому будівництві для відновлення експлуатаційних властивостей

дорожніх одягів. Hu Guangwei [57] та інші розробили три матеріали основи, такі як пісок хвостосховища, укріплений вапном, пісок хвостосховища, стабілізований цементом, і пісок хвостосховища, укріплений цементом і вапном. Чжан Чжихао [58] досліджував границю міцності за стиску на 7 добу матеріалу із залізистих кварцитів, укріплених цементом, і встановив, що механічні властивості матеріалу відповідали стандартним вимогам до міцності. Сюй Шуай [59] на підставі випробувань стабілізованого вапном піску із залізистих кварцитів дійшов висновку, що за додавання 30 % вапна матеріал відповідає вимогам до шарів основи дорожнього одягу нижче II категорії.

1.2 Застосування щебенево-піщаних сумішей в технології влаштування шарів дорожніх одягів автомобільних доріг

Щебенево-піщана суміш (ЩПС) складається з відсіву і щебеню різних фракцій. Такий дорожньо-будівельний матеріал в сипкому стані знаходить широке застосування в дорожньому будівництві для влаштування та відновлення експлуатаційних властивостей дорожніх одягів всіх технічних категорій. Проте шари основи з дискретних ЩПС мають недостатньо високу міцність, порівняно з монолітними матеріалами. Тому ЩПС піддають зміцненню в'язучими матеріалами різного походження [60, 61].

Нині існує три основні способи зміцнення шарів основи дорожнього одягу що влаштовані з використанням щебенево-піщаних сумішей: додавання до ЩПС цементу, зміцнення органічними в'язучими і зміцнення комплексними в'язучими (одночасно додають органічний і мінеральний в'язучий матеріал).

Шар основи дорожнього одягу, що влаштований із ЩПС зміцненої цементом, має більшу міцність, більшу несну здатність, високу жорсткість тощо [62-69], порівняно з шаром влаштованим з використанням сипких ЩПС. При цьому шари основи зі зміцнених ЩПС мають більшу здатність до розподілення напружень від рухомого навантаження на більшу площу, що

покращує здатність асфальтобетонного покриття протистояти втомному руйнуванню від рушійних навантажень та дозволяє зменшити матеріалоемність усієї конструкції дорожнього одягу. З огляду на перераховані техніко-економічні переваги, шари основи дорожніх одягів із зміцнених ЩПС стали в різних країнах одним із розповсюджених складників конструкцій дорожнього одягу автомобільних доріг високих технічних категорій.

До основних причин, через які шари дорожнього одягу зі зміцнених ЩПС широко використовують в різних країнах [70-74], відносяться:

1. Збільшення навантаження на вісь транспортних засобів і зростання інтенсивності руху висувають дедалі вищі вимоги до несної здатності усієї конструкції дорожнього одягу. Шари дорожнього одягу з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом володіють високою міцністю за стиску та жорсткістю, мають достатню міцність за розтягу під час вигину, мають меншу деформативність та високу здатність до розподілу напружень від транспортних навантажень [75-77].

2. Завдяки підвищеній жорсткості і міцності шарів основи з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом деформативність асфальтобетонного покриття в конструкції дорожнього одягу є меншою, що покращує його втомнісні характеристики та стійкість до ушкоджень під час руху великовагових транспортних засобів.

3. У зв'язку з постійним зростанням попиту на мінеральну сировину в будівельній галузі джерела якісних кам'яних матеріалів скорочуються. Для приготування щебенево-піщаних сумішей зміцнених неорганічними в'язучими матеріалами, наприклад цементом, можна використовувати ЩПС нижчої якості або навіть місцевого виробництва, що позбавляє від необхідності транспортування великих обсягів високоякісних кам'яних матеріалів на великі відстані.

Хоча шари основи дорожнього одягу з ЩПС зміцнених цементом мають достатньо переваг, порівняно з шарами з дискретних ЩПС, в процесі багаторічного використання цього матеріалу з'ясувалося, що він має водночас і

деякі недоліки:

1. У разі перевантаження конструкції дорожнього одягу великоваговими транспортними засобами шари основи з ЩПС зміцнених малою кількістю цементу можуть швидко руйнуватися.

2. За відносно високого вмісту цементу у складі ЩПС матеріал в основі дорожнього одягу може набрати міцність більше 5-6 МПа, що викликає самовільне утворення в ньому усадкових або температурних тріщин. Тому підвищення тріщиностійкості монолітних шарів дорожнього одягу є актуальною практичною задачею [88-90].

3. Наявність тріщин в шарі основи стає причиною утворення віддзеркалених тріщин у верхніх асфальтобетонних шарах покриття. Поява віддзеркалених тріщин призводить до того, що вода стає загрозою для всієї конструкції дорожнього одягу, спричиняючи інші ушкодження [78-82], що, своєю чергою, позначається на стійкості конструкції дорожнього одягу, погіршуючи її експлуатаційні характеристики [83-87].

4. Потрапляння вологи в конструкцію дорожнього одягу через тріщини в покритті може призвести до подальшого руйнування і перетворення шару основи спільно з верхніми асфальтобетонними шарами на окремі блоки.

5. Використання випадкового зернового складу ЩПС зміцнених цементом, який суттєво відхиляється від стандартного, традиційно призводить до утворення маломіцного і пористого матеріалу в шарі основи дорожнього одягу. Такий матеріал в шарі основи має недостатню морозостійкість, особливо якщо знаходиться в зоні промерзання, що зі свого боку позначається на довговічності всієї конструкції дорожнього одягу [91, 92].

1.3 Сучасний стан досліджень щодо застосування в дорожньому будівництві цементовмісних матеріалів модифікованих полімерними добавками

Нині полімери, як модифікуючі складники, широко застосовують в технології приготування як асфальтобетонних, так і цементобетонних сумішей. Для модифікації цементобетонних сумішей найбільше використовують чотири основні типи полімерів: водорозчинні полімери, рідкі полімери, полімерні порошки, що редиспергуються, і полімерні латекси [93-97]. Полімермодифікований цементобетон, порівняно з традиційним цементобетоном, має кращі показники міцності за розтягу під час вигину, деформативності, зносостійкості, водонепроникності [98].

Результати експериментальних досліджень засвідчили, що полімерний латекс є ефективним модифікатором завдяки зменшенню поверхневого натягу водної фази. Під час змішування латекс рівномірно диспергуються в суміші завдяки присутності у його складі водної фази [99-102]. В цементобетоні полімерний складник сприяє утворенню меншої кількості пор, гідрофобізує внутрішній поровий простір та ефективно сповільнює швидкість дифузії вологи в тіло бетону [103-106].

За результатами досліджень [107] встановлено, що добавки латексів із серії «Butonal» підвищують міцнісні характеристики матеріалу отриманого ущільненням цементно-піщаної суміші. Міцність матеріалу під час розтягу за вигину, за додавання 0,15 % латексу «Butonal NS 104» від маси цементу, зростає майже на 57 %, порівняно з матеріалом з ущільненої цементно-піщаної суміші без латексу.

Певна кількість досліджень присвячена встановленню впливу полімерних добавок на фізико-механічні властивості матеріалів з ґрунтів зміцнених цементом [102, 108-110]. В роботі [108] наведені результати дослідження властивостей матеріалу з ґрунтів зміцнених цементом і добавками «RBI-81» та «InfraCrete». Встановлено, що за умови використання добавки «RBI-81»

показники міцності матеріалу з ґрунтів зміцнених цементом можуть зростати більше ніж на 20 %, а за умови додавання полімерної добавки «InfraCrete» від 5 % до 45 %. Значення досліджених показників суттєво залежить від кількості використаної полімерної добавки та різновиду прийнятого для досліджень ґрунту.

В роботі [102] експериментально встановлено, що введення до складу матеріалу з ґрунту зміцненого цементом 5 % латексу одночасно з 30 % механоактивованої целюлози забезпечує значення границі міцності за стиску 4,8 МПа, границі міцності за розтягу під час вигину 2,6 МПа та коефіцієнта тривалої водостійкості 0,87. В роботі відмічається, що аналогічного зростання показників фізико-механічних властивостей можна досягти введенням 6 % добавки «Реноліт» до ґрунту зміцненого цементом. Вплив комплексної органо-мінеральної добавки «КОМД-1» на фізико-механічні властивості матеріалу з ґрунту зміцненого цементом досліджено в роботі [109]. Досліджувана добавка складалася з висококальцієвої золи, латексу та неорганічного складника, який прискорює твердіння композиції. Встановлено, що додавання «КОМД-1» до складу матеріалу з ґрунту зміцненого цементом забезпечує зростання границі міцності за стиску та за розтягу під час вигину, порівняно з контрольним складом без добавки.

В роботі [110] наведені результати досліджень щодо впливу добавки водорозчинного високомолекулярного полімеру акрилового ряду на властивості матеріалу з супіщаного ґрунту зміцненого портландцементом. Показано, що за додавання 0,04 % поліакриламід у складу матеріалу з ґрунту зміцненого 10 % портландцементу його міцність за стиску зросла на 74 %, а за додавання 0,1 % досліджуваного водорозчинного полімеру міцність збільшилася у 2,05 рази, порівняно з міцністю матеріалу з того ж ґрунту зміцненого тільки портландцементом без добавки полімеру.

1.4 Сучасний стан досліджень фіброармованих цементовмісних матеріалів

З початку XX століття вченими були започатковані дослідження властивостей фіброармованих цементовміщуючих матеріалів [111-114]. Порте у США запропонував спосіб рівномірного розподілу сталевих волокон у бетоні і досяг підвищення властивостей матеріалу [115]. Gao J M, Sun W і Morino K et al в роботі [116] опублікували результати дослідження впливу армування сталевую фіброю цементобетону на величину його модуля пружності, коефіцієнта Пуассона і міцності за стиску та розтягу. Результати показали, що відношення міцності за стиску до міцності за розтягу під час вигину цементобетону зі сталевую фіброю значно зменшився. Автори встановили відчутний вплив армування сталевую фіброю на величину модуля пружності та коефіцієнта Пуассона цементобетону, порівняно з величиною його міцності за стиску, яка змінилася меншою мірою. В роботі відмічається, що водночас з підвищенням міцності за розтягу під час вигину, покращується ударна і втомна міцність, морозостійкість і тріщиностійкість цементобетону армованого сталевую фіброю. Однак у разі збільшення концентрації сталеві фібри в цементобетонній суміші збільшується її консистенція, погіршується рівномірний розподіл фібри в об'ємі матеріалу, що призводить до ускладнення процесу перемішування і, зрештою, до абразивного зносу змішувального обладнання, збільшення виробничих витрат і зниження якості цементобетону. Проте висока собівартість сталеві фібри призводить до суттєвого підвищення вартості сталеві фібробетону, тому сталеву фібру важко просувати та застосовувати у звичайних проєктах.

До середини XX століття, з розвитком промислових синтетичних матеріалів, Голд Файн та ін. [117] провели експериментальні дослідження характеристик цементобетону з 0,5 % за об'ємом поліпропіленових волокон і запропонували використовувати такий матеріал для будування вибухобезпечних споруд для інженерного корпусу армії США. Пізніше Фільо

та ін [118] досліджували властивості цементного розчину, армованого поліпропіленовою фіброю, і показали, що поліпропіленова фібра певною мірою зменшує усадку цементного розчину.

Dias та інші [119] провели комплексні експериментальні дослідження деформативності цементобетону, армованого базальтовими волокнами, і виявили, що додавання базальтової фібри в цементобетон призводить до збільшення його прогину без руйнування. У 1982 р. Kobayashi K. з колегами провели експериментальні дослідження комплексного впливу добавок сталевих і поліетиленових фібри на деформативні властивості цементобетону. За результатами досліджень було встановлено, що суміш волокон підвищує деформаційні і міцнісні властивості цементобетону [120]. У 1999 р. у Мічиганському технологічному університеті було проведено дослідження властивостей цементобетонів, армованих вуглецевими волокнами, яке показало, що зі збільшенням міцності цементобетону, армованого вуглецевими волокнами, підвищується його стійкість до деформації та втоми. Завдяки відносно високій міцності за розтягу вуглецевих волокон підвищувалася також здатність матеріалу до низькотемпературного тріщиноутворення [121].

Порівняно з чисельними експериментальними дослідженнями властивостей цементобетонів і цементних розчинів, армованих фіброю, менше експериментально дослідженими залишаються властивості щебеневих-піщаних сумішей одночасно укріплених цементом і армованих фіброю.

У 2003 році Хонгуй Ян та інші [122] з університету Чан'ань дослідили тріщиностійкість матеріалу із суміші ЦПС з вапняку зміцненої цементом і поліпропіленовими волокнами. Для проведення досліджень автори використовували ЦПС з вмістом зерен щебеню від 70 % до 50 %. Максимальний розмір зерен в ЦПС із вапняків складав 20 мм. Поліпропіленовій фібрі була властива щільність $0,91 \text{ г/см}^3$, міцність за розтягу 660 МПа, модуль пружності 350 МПа, коефіцієнт термічного розширення 5,8-10,2, температура плавлення 165°C . Зміцнення ЦПС здійснювали додаванням 5 % цементу до її складу і 0,05 % поліпропіленових волокон довжиною 5 мм.

За результатами досліджень встановлено, що додавання поліпропіленової фібри до складу ЩПС із вапняків, зміцненої цементом, значно зростає стійкість матеріалу до утворення температурних та усадкових тріщин.

У 2007 році Ма Інхуа та інші [123] з Чунцінського університету Цзяотун провели комплексне експериментальне дослідження міцності за розтягу під час вигину матеріалів із ЩПС з вапняків, зміцнених цементом із додаванням поліпропіленових волокон. Для досліджень була прийнята мінеральна частина ЩПС наступного зернового складу: 0-5 мм : 5-10 мм : 10-15 мм : 10-30 мм = 2 : 5 : 4 : 4. Співвідношення цемент : мінеральні матеріали становило 5 : 95. Оптимальна вологість суміші становила 6,1 %, максимальна щільність 2,256 г/см³. Армування ЩПС зміцнених цементом здійснювали додаванням до їхнього складу поліпропіленових моноволокон довжиною 19 мм за щільності 0,7 кг/м³. Дослідженнями було встановлено, що несна здатність матеріалу з ЩПС, зміцнених цементом із додаванням поліпропіленових волокон, на 10 % вища, ніж матеріалу з ЩПС із вапняків, зміцнених цементом без волокон. За результатами досліджень також було встановлено, що використання відповідних поліпропіленових волокон підвищує міцність за розтягу і тріщиностійкість матеріалу.

У 2007 році Пенг Чжан [124] досліджував тріщиностійкість ЩПС (заповнювач – 74 % вапняк, дрібний наповнювач – 26 % річковий пісок), зміцнених цементом із додаванням поліпропіленових волокон. Як армуючий складник використовували суміш поліпропіленових волокон різної довжини, рівномірно змішаних у певних пропорціях. В дослідженнях вміст цементу становив 5 %, а поліпропіленових волокон – 0,04 %, 0,06 %, 0,08 % і 0,1 % за об'ємом. Результати випробувань засвідчили, що міцність за розтягу під час вигину матеріалу з ЩПС зміцнених цементом підвищується в разі додавання поліпропіленових волокон. При поступовому збільшенні об'єму поліпропіленової фібри коефіцієнт лінійного температурного розширення матеріалу знижується, пригнічуючи тим самим тріщиноутворення в матеріалі з ЩПС зміцнених цементом.

Чжан Сяо Тянь та інші [125] з університету Нінся використовували поліефірні волокна для поліпшення властивостей регенованих асфальтобетонів, зміцнених цементом і золою-виносу. Під час випробувань регенований асфальтобетон подрібнювали і змішували зі щебенем, а потім у суміш додавали поліпропіленові волокна довжиною 12 мм, цемент, золу-виносу і воду. Результати показали, що досліджені співвідношення між складниками закономірно впливають на міцність за стиску, міцність за розколу по твірній та показник дефектності структури. Ступінь впливу на зростання міцності за стиску спостерігається в порядку зростання вмісту цементу, золи-виносу та фібри.

У 2014 році Бай Юнь [126] з університету Чан'ань провів серію досліджень з оптимізації дорожніх характеристик ЩПС із вапняків, укріплених цементом зі скловолокном. У ході випробування скловолокно додавали в ЩПС з вапняків, зміцнених цементом, при цьому вміст скловолокна становив 0,05 %, 0,15 % і 0,25 %, а довжина скловолокна - 6 мм, 12 мм і 18 мм відповідно. Концентрація цементу становила 4 %. Для досліджень була прийнята мінеральна часина ЩПС наступного зернового складу: 31,5-19 мм : 19-9,5 мм : 9,5-4,75 мм : 4,75-0 мм = 29 : 28 : 18 : 25. За результатами випробувань зроблено висновок, що при використанні скловолокна завдовжки менше ніж 18 мм зростання міцності, тріщиностійкості та морозостійкості матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом стає дедалі очевиднішим зі зростанням в досліджуваному діапазоні вмісту скловолокна. Найбільше зростання досліджуваних показників спостерігалось у випадку додавання у склад ЩПС із вапняків зміцнених цементом 0,15 % скловолокна завдовжки 18 мм.

У 2015 році Гуанцянь Лі [127] з Хебейського технологічного університету використовував целюлозне волокно, як армуючу добавку до ЩПС з вапняків, зміцнених цементом для дослідження її технічних властивостей. Целюлозна фібра мала наступні властивості – довжина 2,1 – 2,3 мм, номінальний діаметр 14 – 17 мкм, щільність 1,1 г/см³, міцність на розрив 600 – 900 МПа, модуль

пружності 8500 МПа. Максимальний розмір зерен щебеню у складі ЩПС з вапняків становив 26,5 мм, загальний вміст зерен щебеню – 61 %, вміст відсіву подрібнення – 39 %. Вміст цементу у складі ЩПС становив 5 %, кількість мікрофібри - 0, 0,03 %, 0,05 %, 0,07 %, 0,1 %. В дослідженнях тривалість процесу структуроутворення ЩПС з вапняків зміцнених цементом була прийнята - 7 діб, 28 діб, 90 діб і 180 діб. За результатами досліджень зроблено висновок, що міцність за стиску і міцність за розколу по твірній матеріалу з ЩПС з вапняків зміцнених цементом із додаванням целюлозних волокон збільшується зі збільшенням тривалості структуроутворення. Міцність за стиску і міцність за розколу по твірній на 7 добу структуроутворення матеріалу з мікрОВОЛОКНАМИ була здебільшого порівняною з міцністю матеріалу з ЩПС з вапняків зміцнених цементом без мікрОВОЛОКНАМИ. Проте вказані показники на пізніших стадіях структуроутворення (28, 90 і 180 доба) значно збільшилися. Коефіцієнт лінійного температурного розширення матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з мікрОВОЛОКНАМИ був значно нижчим, ніж без мікрОВОЛОКНАМИ. Автори констатували, що використання целюлозних мікрОВОЛОКНАМИ, як армуючого складника, може значно підвищити тріщиностійкість матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом.

У 2015 році Чжицзюнь Лю з китайського гірничо-технологічного університету [128] провів комплексні експериментальні дослідження матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з поліефірними волокнами. Поліефірна фібра мала наступні властивості: щільність 1,36 г/см³, міцність за розтягу 960 МПа, модуль пружності 9000 МПа, температура плавлення більше 250 °С, діаметр волокон 20 мкм, довжина волокон 50 мм. Вміст поліефірної фібри у складі ЩПС становив 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,09, 0,11, 0,13 і 0,15 %. Як в'язучий матеріал було використано 4 % цементу і 1 % золи-виносу за масою. Результати дослідження процесу усадки і фізико-механічних властивостей (коефіцієнт лінійного температурного розширення, міцність за стиску, міцність за розколу по твірній, модуль пружності) матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з додаванням волокон, дозволили авторам

запропонувати оптимальне об'ємне дозування поліефірних волокон на рівні 0,07 %.

У 2016 році Хе Яфей [129] з Чунцінського університету Цзяотун дослідив вплив добавок полівінілових спиртових волокон в ЩПС з вапняків зміцнених цементом на механічні властивості і тріщиностійкість матеріалу. Фібрі були властиві наступні характеристики: лінійна щільність у сухому стані 1,1 г/10000 м, міцність на розрив у сухому стані 695 МПа, відносне подовження за розриву в сухому стані 14 %. Максимальний розмір зерен щебеню у складі ЩПС з вапняків становив 26,5 мм, загальний вміст зерен щебеню – 73 %, вміст відсіву подрібнення – 27 %. Вміст цементу у складі ЩПС становив 3,2 %, 3,6 % і 4,0 %, концентрація фібри - 0,6 кг/м³, 0,9 кг/м³, 1,2 кг/м³, довжина волокон була прийнята - 12 мм, 18 мм, 24 мм і 30 мм. За результатами досліджень було встановлено, що додавання волокон полівінілового спирту покращує механічні властивості матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом. Міцність за стиску, модуль пружності, міцність за розколювання по твірній і міцність за розтягу під час вигину можуть бути збільшені на 15,2 %, 14,2 %, 9,2 % та 8,6 %, відповідно, порівняно з матеріалом з ЩПС із вапняків зміцнених цементом без додавання фіброволокон. Додавання волокон також поліпшило тріщиностійкість матеріалу за значного зниження коефіцієнта лінійного температурного розширення.

У 2011 році Ян Мінг [130] з Північно-східного університету провів експериментальне дослідження механічних властивостей і тріщиностійкості матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з базальтовою фіброю. Для випробування було обрано базальтову фібру довжиною 25 мм, діаметром волокон 8,6 мкм, щільністю 2,6 г/см³. Максимальний розмір зерен щебеню у складі ЩПС з вапняків становив 26,5 мм, загальний вміст зерен щебеню – 72,1 %, вміст відсіву подрібнення – 27,9 %. Для досліджень було прийнято вміст добавки базальтового волокна 0,04 %, 0,06 %, 0,08 % і 0,10 % за об'ємом, цементу 3 %, 4 %, 5 % і 6 % за масою. Було встановлено, що за вмісту 4 % цементу міцність за стиску після 28 діб твердіння матеріалу з ЩПС із вапняків,

з 0,06 % базальтових волокон, була на 16,9 % вищою, ніж у матеріалі з ЩПС із вапняків зміцнених цементом без фібри. Міцність за розколу по твірній була на 28 % вищою, а міцність за розтягу під час вигину вищою на 42,4 %, при цьому інші показники також були певною мірою поліпшені.

Експериментальне дослідження властивостей матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом із додаванням базальтової фібри також було проведене Шу Лі [131] з Океанського університету Китаю. Максимальний розмір зерен щебеню у складі ЩПС з вапняків становив 19 мм, загальний вміст зерен щебеню – 74 %, вміст відсіву подрібнення – 26 %. Для випробування було обрано базальтову фібру довжиною 9 мм, 18 мм, 30 мм та 50 мм, щільністю 2,63 г/см³, міцність за розтягу 3000-4840 МПа, модуль пружності 91-101 ГПа, видовження під час розтягу 3,2 %. Як впливові фактори в дослідженні використовували вміст цементу (3 %, 4 %, 5 %, 6 %), довжину базальтового волокна (9 мм, 18 мм, 30 мм, 50 мм) і концентрацію фібри (0,03 %, 0,05 %, 0,07 %, 0,09 %). Результати випробувань показали, що міцність за стиску і міцність за розколу по твірній як матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з базальтовими волокнами (вміст цементу 5 %, довжина волокон 18 мм, концентрація волокон 0,5 %), так і матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом (вміст цементу 5 %) без базальтової фібри збільшується зі збільшенням часу тверднення матеріалу. Зростання міцності за стиску і міцності за розколу по твірній матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з базальтовою фіброю було значно вищим, ніж у матеріалі з ЩПС із вапняків зміцнених цементом без волокон. Також було встановлено, що морозостійкість матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з базальтовими волокнами є вищою, ніж у матеріалі з ЩПС із вапняків зміцнених цементом без фібри. Коефіцієнт залишкової міцності після заморожування-відтавання матеріалу з ЩПС із вапняків зміцнених цементом з волокнами збільшився на 20,9 %, порівняно з аналогічним матеріалом без добавки фібри.

1.5 Висновки по розділу. Мета та задачі дослідження

Узагальнення результатів аналізу літературних джерел щодо основних напрямків утилізації відходів залізорудних підприємств, застосування щебенево-піщаних сумішей в технології будівництва та відновлення автомобільних доріг, досліджень щодо впливу модифікування цементовмісних матеріалів полімерними добавками на властивості будівельних матеріалів, а також впливу фіброармуючих добавок на властивості матеріалів з ЩПС зміцнених цементом дозволяє зробити наступні висновки:

1. З розвитком чорної металургії в гірничодобувній промисловості накопичується велика кількість відходів залізистих кварцитів різної дисперсності. Відвали відходів залізистих кварцитів завдають серйозного забруднення і шкоди навколишньому середовищу. Утилізація відходів залізистих кварцитів, що утворюються в процесі видобутку залізної руди, на сьогодні стає актуальним практичним завданням, оскільки дозволить економити кондиційні мінеральні ресурси. Основні напрямки використання відходів гірничо збагачувальних підприємств охоплюють переважно рекультиваційні роботи на шахтах і кар'єрах та будівельну галузь. В технології виготовлення будівельних матеріалів відходи залізистих кварцитів використовують як окремий складник композиційних матеріалів (переважно як крупний заповнювач або дрібнодисперсний складник). За результатами проведених досліджень в дорожньому будівництві знаходить застосування пісок із залізистих кварцитів зміцнений цементом або вапном для влаштування шарів основи дорожніх одягів

2. Щебенево-піщані суміші складаються з відсіву і щебеню різних фракцій і, як дорожньо-будівельний матеріал, в сипкому стані знаходить широке застосування в дорожньому будівництві для шпалтування та відновлення дорожніх одягів. За результатами досліджень встановлено, що додавання до ЩПС із кондиційних кам'яних матеріалів мінерального, або органічного чи комплексних в'язучих, дозволяє зміцнити цей матеріал в шарах

основи дорожніх одягів. Шарам основи дорожнього одягу, що влаштовані з матеріалу із ЩПС зміцненої цементом, властива більша міцність, жорсткість та несна здатність, порівняно з шарами влаштованими з використанням сипкої ЩПС. Шари основи зі зміцнених ЩПС мають більшу здатність до розподілення напружень від рухомого навантаження на більшу площу, що покращує здатність асфальтобетонного покриття протистояти втомному руйнуванню від рушійних навантажень та дозволяють зменшити матеріалоемність усієї конструкції дорожнього одягу. Одночасно шари основи з матеріалу із ЩПС зміцнених малою кількістю цементу можуть швидко руйнуватися у разі перевантаження конструкції дорожнього одягу великоваговими транспортними засобами. За відносно високого вмісту цементу у складі ЩПС матеріалу в основі дорожнього одягу притаманне самовільне утворення усадкових або температурних тріщин. У разі використання випадкового зернового складу ЩПС зміцненої цементом, який суттєво відхиляється від стандартного, відбувається утворення пористої структури матеріалу в шарі основи, якому властива низька морозостійкість, що зі свого боку позначається на довговічності всієї конструкції дорожнього одягу. Тому підвищення тріщиностійкості і морозостійкості монолітних шарів дорожнього одягу, влаштованих з використанням зміцнених цементом ЩПС, є актуальним завданням.

3. Аналіз існуючої інформації щодо модифікуючого впливу полімерів на властивості будівельних матеріалів та їхнього використання в дорожньому будівництві свідчить про достатню вивченість полімермодифікованих асфальтобетонів, цементобетонів та ґрунтів зміцнених цементом спільно з латексними добавками. Дослідженнями встановлено, що в цементобетоні полімерний складник сприяє утворенню структури з меншою пористістю, гідрофобізує поровий простір та ефективно сповільнює швидкість дифузії води в тіло бетону. Полімермодифікованому цементобетону, порівняно з традиційним, властиві вищі значення границі міцності за розтягу під час вигину, деформативність, зносостійкість, водонепроникність тощо. За

результатами досліджень також встановлено, що додавання добавки латексу або іншого водорозчинного полімеру до цементно-піщаних або ґрунтово-цементних сумішей забезпечує підвищення міцності матеріалу в шарі дорожнього одягу ущільненому способом укочування суміші.

4. Дослідженнями встановлено і виробництвом підтверджено, що застосування фіброармованих цементовміщуючих матеріалів в дорожньому будівництві забезпечує зростання стійкості шарів дорожнього одягу до деформацій і втоми. Встановлено, що металева, поліпропіленова, поліефірна, базальтова, вуглецева фібра, а також фібра із склоровінгу та композиції фібри різного походження, забезпечують підвищену міцність за розтягу під час вигину і ряд інших властивостей цементним розчинам, цементобетонам та матеріалам з ЩПС зміцнених цементом.

5. Виконаний аналіз джерел інформації показав обмеженість результатів досліджень щодо оцінки термодинамічних властивостей водних розчинів сучасних латексів, зокрема їхньої поверхневої активності по відношенню до води, та їхнього впливу на властивості матеріалів з ЩПС зміцнених цементом, які отримують ущільненням за способом укочування. Недостатніми також є дослідження стосовно комплексного впливу водних розчинів катіонних латексів спільно з базальтовою фіброю на структуру та властивості матеріалів з ЩПС зміцнених цементом. Результати досліджень щодо впливу комплексу модифікуючих добавок (катіонний латекс + базальтова фібра) на властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом практично відсутні.

6. За результатами аналізу джерел інформації щодо досліджень впливу різних чинників та добавок на властивості цементовміщуючих матеріалів, можна констатувати, що індивідуальний і комплексний вплив добавок катіонного латексу та базальтової фібри на показники дефектності структури, структурної міцності, індексу тріщиностійкості і морозостійкості матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом потребують комплексних поглиблених досліджень.

Грунтуючись на викладеному **метою дисертаційної роботи** є розробка науково обґрунтованих технологічних рішень зміцнення матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів для будівництва шарів дорожніх одягів підвищеної довговічності на основі встановлення закономірностей впливу цементу спільно з комплексом добавок на процеси структуроутворення та їхні властивості.

Для досягнення поставленої мети вирішували наступні **задачі дослідження**:

1. Виконати аналіз сучасних напрямків застосування щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, як відходів гірничо-збагачувальних підприємств, в будівельній галузі; розглянути існуючі дослідження щодо впливу модифікуючих добавок до щебенево-піщаних сумішей на властивості шарів дорожнього одягу побудованих з їхнім використанням.

2. Обґрунтувати критерії та методи оцінювання довговічності матеріалів в шарах дорожнього одягу з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом з модифікуючими добавками; теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити закономірності процесів структуроутворення в матеріалах з щебенево-піщаних сумішей зміцнених цементом спільно з модифікуючими добавками катіонних латексів і базальтової фібри.

3. Експериментально дослідити вплив крупності зерен щебеню та гранулометричного складу щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, а також вмісту добавок за різного їхнього функціонального призначення, на показники міцності матеріалів зміцнених цементом.

4. Комплексно дослідити залежності термодинамічних властивостей від концентрації водних катіонних латексів у воді та їхнього впливу на показники максимальної щільності і оптимальної вологості щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом.

5. Виконати комплексні експериментальні дослідження залежностей показників міцності, морозостійкості, максимальної структурної міцності, індексу тріщиностійкості і дефектності структури матеріалів з

щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом, від вмісту водного катіонного латексу і базальтової фібри, як індивідуальних і комплексних модифікуючих складників.

6. Розробити технологічний регламент приготування щебенево-піщаних сумішей із відходів залізорудних підприємств. За результатами досліджень підготувати рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом. Виконати виробниче перевіряння отриманих результатів дослідження.

РОЗДІЛ 2

ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Вплив складників та послідовності технологічних етапів приготування на процеси структуроутворення і довговічність матеріалів з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів зміцнених цементом

Аналіз існуючих досліджень щодо технологій використання відходів залізорудних підприємств в будівельній галузі, а також застосування ЩПС зміцнених в'язучими в технології будівництва та відновлення автомобільних доріг, дозволяє констатувати, що є певні успіхи у цьому напрямку, проте не розкритими залишаються питання щодо забезпечення довговічності матеріалів з ЩПС зміцнених цементом за критеріями тріщиностійкості і морозостійкості.

Чисельні дослідження вітчизняних і закордонних вчених (Бабушкін В.І., Батракова А.Г., Білятинський А.О., Бугаєвський С.О., Гамеляк І.П., Грушко І.М., Дворкін Л.Й, Дорошенко О.Ю., Жданюк В.К., Мозговий В.В., Оніщенко А.М., Пługін А.М., Пługін А.А, Саницький М.А., Сідун Ю.В., Солодкий С.Й., Соболев Х.С., Толмачов С.М., Арончик В.Б., Barati S., Jiang X., Davis K.A., Dias D.P., Kodikara J., Chunlin S., Shufang M., Wang J. та інших) в області композиційних цементовмісних матеріалів свідчать про необхідність поглиблених досліджень у напрямку підвищення їхньої довговічності.

На сьогодні основним критерієм оцінювання придатності матеріалів з ЩПС зміцнених цементом для будівництва та відновлення дорожніх одягів є міцність. Однак, за однакової марки за міцністю за стиску матеріали з ЩПС зміцнених цементом можуть мати різну тріщиностійкість і морозостійкість.

Аналіз джерел інформації щодо стану досліджень довговічності матеріалів з ЩПС зміцнених цементом дозволяє сформулювати в узагальненому вигляді наукову гіпотезу дослідження яка полягає в тому, що

досягнення високих показників міцності, тріщиностійкості та морозостійкості матеріалу з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів в шарах дорожнього одягу можливе за одночасного використання для їхнього зміцнення: цементу, який забезпечує формування жорстких кристалізаційних зв'язків структури; водного катіонного латексу, як складника, який за додавання з водою затворення одночасно виконує функції органічного в'язучого та пластифікатора і забезпечує формування коагуляційно-конденсаційних зв'язків структури; базальтових фіброволокон, як армуючого складника, який підвищує розрахункові характеристики (міцність за розтягу, модуль пружності) матеріалу.

В основу наукової гіпотези були покладені наступні вихідні положення.

ЩПС зміцнену цементом можна класифікувати як багатокомпонентний композиційний матеріал, що утворюється об'єднанням різнорідних складників (фаз), відокремлених поверхнями поділу між собою, властивості якого відрізняються від властивостей вихідних складників. На рівні макроструктури до складу матеріалу з ЩПС зміцненої цементом входять зерна крупного заповнювача (щебінь) і матриця (цементно-піщаний розчин). На рівні мезоструктури до складу матеріалу входить дрібний заповнювач (подрібнений пісок) і матриця з гідратованого цементу. На рівні мікроструктури цементний камін складається з продуктів гідратації цементу (етрингіту, гідросилікату кальцію, портландиту та гелеподібної фази), не гідратованих зерен цементу, пор і хімічно зв'язаної води. Поровий простір в структурі матеріалу визначається як об'єм, що не заповнений твердою фазою. Наявність в матеріалі значного об'єму пор негативно впливає на його довговічність, тобто здатність матеріалу чинити опір руйнівній дії зовнішніх чинників. Отже одним із головних завдань, щодо підвищення довговічності матеріалу, є зменшення його пористості.

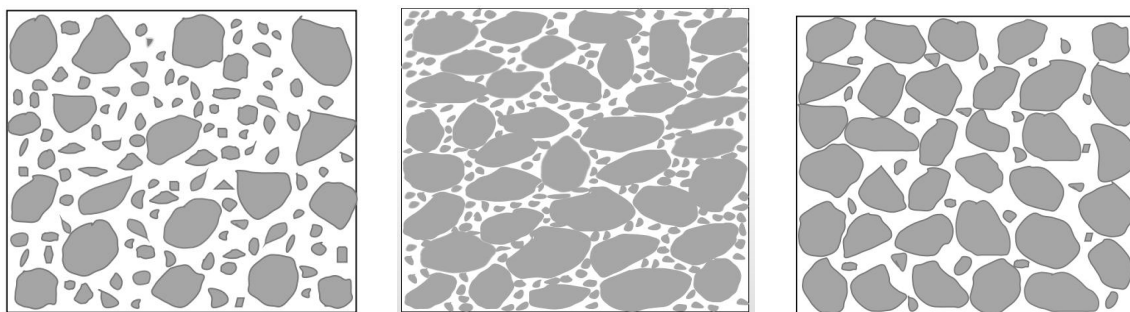
Об'єм порового простору (частина загального об'єму матеріалу, що займають пори) в структурі матеріалу з ЩПС зміцнених цементом залежить першочергово від співвідношення крупного і дрібного заповнювачів, вмісту

води в суміші, а також від досягнення величини максимальної щільності, визначеної за стандартного ущільнення ЩПС з цементом, після її ущільнення способом укочуванням в шарі дорожнього одягу. Відомо, що величину максимальної щільності матеріалу із суміші з дрібнодисперсним заповнювачем можливо досягти ущільненням тільки за умови її оптимальної вологості. Отже можна припустити, що зменшення величини оптимальної вологості ЩПС з цементом призведе до зменшення порового простору в структурі матеріалу.

Відомо також, що змінюючи умови твердіння цементу можна отримати різні типи мікроструктури цементного каменю, або структуру скомбіновану з різних типів структур, а змінюючи співвідношення між складниками можна отримати різні типи макроструктури.

Характерною ознакою структури матеріалу з ЩПС зміцненої цементом є гетерогенність та багатофазність. Залежно від співвідношення щебеню і подрібненого піску у складі матеріалу з ЩПС зміцненої цементом він матиме різну макроструктуру, і відповідно, різний її вплив на його властивості.

За різної величини співвідношення між крупним і дрібним заповнювачами макроструктуру матеріалу з ЩПС зміцненої цементом можна розділити на три типи (рис. 2.1) – базальну (тип 1), каркасну щільну (тип 2) і каркасну пористу (тип 3).



(а) базальна

(б) каркасна щільна

(в) каркасна пориста

Рис. 2.1 – Схематичне зображення структур матеріалу з ЩПС зміцненої цементом за різного співвідношення крупного і дрібного заповнювачів

Базальній структурі властивий високий вміст цементно-піщаної суміші (матриці), зерна крупного заповнювача в матриці віддалені один від одного і не контактують між собою (скелет сформований зернами щебеню відсутній). В такій структурі об'єм цементно-піщаного розчину більший ніж об'єм пустот, утворених крупним заповнювачем. ЩПС з такою структурою зазвичай має безперервний гранулометричний склад. Показники міцності матеріалу з такою структурою визначаються переважно силами внутрішнього зчеплення, оскільки коефіцієнт внутрішнього тертя є низьким. Другий тип структури (каркасна щільна) відрізняється від першого типу тим, що в ній об'єм цементно-піщаного розчину, в ущільненому до максимальної щільності стані, практично рівний об'єму пустот, утворених каркасом із зерен крупного заповнювача.

В структурі другого типу цементно-піщаний розчин розсовує зерна крупного заповнювача одне від одного на незначну відстань (розмір зерна найбільш представницької фракції піску). Ця структура має не лише високу величину кута внутрішнього тертя, а й високі значення сил внутрішнього зчеплення. Теоретично матеріал з ЩПС зміцненої цементом, що відноситься до цього типу структури, має високі механічні властивості, стійкість до зсідання та ерозійну стійкість.

В структурі третього типу (каркасна пориста), порівняно зі структурою другого типу, об'єм цементно-піщаного розчину рівний об'єму пустот, утворених каркасом із зерен крупного заповнювача. Проте цементно-піщаний розчин не розсуває зерна крупного заповнювача, тому пустоти в каркасі із крупного заповнювача заповнені цементно-піщаним розчином, якому властива більша пористість, ніж у структурі першого та другого типу. Показники міцності матеріалу з третім типом структури визначаються переважно внутрішнім тертям, оскільки сили внутрішнього зчеплення є меншими ніж у структур першого та другого типів. Отже особливості кожного типу структури матеріалу з ЩПС зміцнених цементом визначають міцнісні та інші його властивості. В кожному структурному типі існують головні складники,

превалюючий вплив яких позначається на формуванні її властивостей.

За результатами досліджень цементобетонів [132], як композиційних матеріалів, показано, що на їхню довговічність в експлуатаційних умовах суттєво впливає структура прошарку цементно-піщаного розчину між зернами крупного заповнювача та прошарку цементного каменю між зернами дрібного заповнювача. Очевидно, що вказані прошарки між зернами крупного та дрібного заповнювачів в матеріалі з ЩПС зміцненої цементом мають певні відмінності від цементобетону і, відповідно, певним чином впливають на його властивості. Оптимальною будовою міжзернових прошарків, які позитивно впливатимуть на довговічність матеріалу з ЩПС зміцненої цементом, доцільно вважати таку, за якої товщина піщано-цементного розчину між зернами щебеню рівна найбільш представницькій фракції піску, а товщина прошарку між зернами піску рівна найбільш представницькій фракції цементу. Така будова міжзернових прошарків може бути притаманна другому типу макроструктури (каркасна щільна) матеріалу з ЩПС зміцнених цементом.

Відомо, що найбільші деформації зсідання властиві цементному каменю. Тому зменшуючи вміст цементу у складі матеріалу можна зменшити деформації зсідання у процесі твердіння, і відповідно, підвищити його стійкість до тріщиноутворення. Мінімальний вміст цементу у складі матеріалу, за однакової її марки за міцністю, можливо забезпечити регулюванням співвідношення крупного і дрібного заповнювачів. З метою мінімізації витрат цементу за одночасного отримання матеріалу з високою міцністю доцільно використовувати ЩПС з більшою величиною співвідношення між крупним і дрібним заповнювачами.

Безперечно, зміна співвідношення між крупним і дрібним заповнювачами позначатиметься на зміні гранулометричного складу ЩПС, призначеної для зміцнення цементом і, відповідно, на процесах взаємодії між складниками композиційного матеріалу, на отриманні матеріалу з різним типом структури, на властивостях і довговічності.

Відомо, що одним із перспективних напрямків підвищення

тріщиностійкості цементобетонів є дисперсне армування їхньої структури фіброволокнами. Фіброволокна, що можуть застосовуватись для армування цементовміщуючих матеріалів поділяють на два основних типи. До першого типу належать фіброволокна з низьким модулем пружності і відносно високим видовженням під час розтягування (переважно поліефірні, поліпропіленові, нейлонові тощо). До другого типу відносяться фіброволокна з високим модулем пружності і незначним видовженням під час розтягу (вуглецеві, базальтові, скляні тощо). Перший тип фіброволокон використовують традиційно для забезпечення цементовміщуючому матеріалу ударної в'язкості, а другий тип – для підвищення жорсткості, міцності за розтягу під час вигину, опору циклічним механічним навантаженням.

Фіброармування матеріалу з ЩПС зміцненої цементом першочергово повинно бути направлене на підвищення опору утворенню і розвитку тріщин в шарі дорожнього одягу, тобто сприйняттю механічних і інших видів зовнішніх навантажень. Зважаючи на експлуатаційні умови роботи дорожніх одягів та індивідуальні властивості фібри, перевагу доцільно надавати застосуванню високомодульних фіброволокон в технології приготування ЩПС зміцнених цементом, а також влаштуванню шарів дорожніх одягів за їхнього використання. Окрім високих показників видовження під час розтягу, поверхня полімерних фіброволокон має гідрофобні властивості, тому така фібра у складі ЩПС зміцнених цементом погано змочуватиметься водою і, відповідно, міцність її закріплення в матриці буде відносно низькою. З цієї точки зору, забезпечення надійної роботи фіброволокон в матеріалі з ЩПС зміцненої цементом може бути забезпечена тільки за умови їхнього механічного заанкерування в матриці. Серед високомодульної фібри більш ефективною щодо забезпечення довговічності буде базальтова, оскільки вона є стійкою до впливу таких агресивних середовищ як кислоти та луги, порівняно зі скляною фіброю. Отже базальтова фібра у складі матеріалу з ЩПС зміцненої цементом сприятиме зменшенню негативного впливу структурних дефектів цементного каменю, як концентраторів напружень, на показники

міцності за розтягу під час вигину та довговічність за критерієм тріщиностійкості.

Зі збільшенням вмісту цементу в матеріалі з ЩПС виникатимуть значні внутрішні напруження, що впливатиме на зростання рівня дефектності структури. За одночасного впливу низьких експлуатаційних температур та навантажень від багатотоннажних транспортних засобів мікроефекти в структурі матеріалу з кристалізаційним типом структурних зв'язків сприятимуть зниженню опору тріщиноутворенню шарів дорожнього одягу. Очевидно, що регулюючи вміст цементу можливо зменшувати або ж збільшувати насиченість структури матеріалу кристалізаційними зв'язками. Зі зменшенням кількості кристалізаційних зв'язків в матеріалі, величина внутрішніх напружень в структурі теж буде зменшуватись, завдяки зменшенню водопотреби і зменшенням пористості мікроструктури.

Очевидно, що наявність у складі водного катіонного латексу емульгатора сприятиме зменшенню поверхневого натягу води в якій він добре розчиняється. Додавання водного розчину катіонного латексу до складу ЩПС зміцненої цементом покращить процес змочування мінеральної поверхні меншою кількістю води, потрібної для досягнення максимальної щільності матеріалу під час ущільнення укочуванням. З водного розчину на мінеральній поверхні відбудуватиметься адсорбція молекул емульгатора і безпосередньо латексу і утворення коагуляційно-конденсаційних структурних зв'язків.

Наявність катіонного латексу впливатиме на морфологію новоутворень матеріалу з ЩПС зміцненої цементом та мікроструктури матеріалу. Міцність коагуляційно-конденсаційних зв'язків структури, за додавання до ЩПС із залізистого кварциту катіонного латексу серії «Butonal», формуватиме полімер і молекули емульгатору завдяки своїм поверхнево-активним і в'язучим властивостям. Можна припустити, що варіюючи співвідношення між вмістом цементу та катіонного водного латексу, можливо досягти такого ступеня дефектності структури, за якого матеріал із ЩПС із залізистих кварцитів буде мати підвищену морозостійкість в шарі дорожнього одягу в період частих

переходів температури через 0 °С.

У залежності від бажаних властивостей матеріалу зі зміцнених ЩПС із залізистих кварцитів у шарі дорожнього одягу, технологію їхнього приготування можна реалізовувати використовуючи різну послідовність об'єднання тих чи інших складників суміші (рис. 2.2).

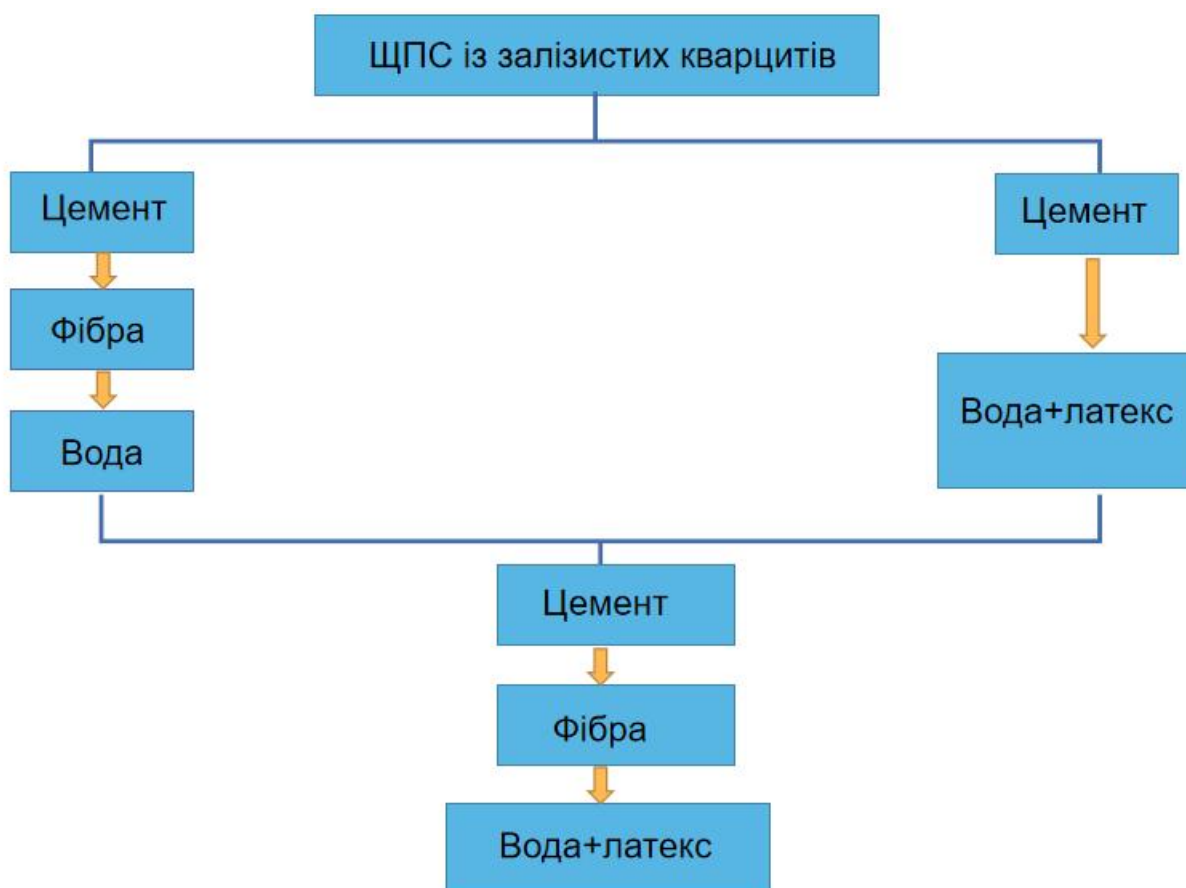


Рис. 2.2 – Технологічна послідовність введення складників під час приготування зміцнених ЩПС із залізистих кварцитів

З метою забезпечення матеріалу підвищених значень розрахункових характеристик у склад щебенево-піщаної суміші рекомендується вводити базальтову фібру, як мікроармуючий складник.

Підвищеної морозостійкості можливо досягти додаючи до складу ЩПС із залізистих кварцитів катіонний латекс, попередньо розчиняючи його у воді, необхідній для забезпечення суміші оптимальної вологості і максимальної щільності після ущільнення.

Для зменшення дефектності структури та підвищення тріщиностійкості матеріалу в шарі дорожнього одягу, влаштованому з використанням ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом, до складу суміші доцільно додавати комплекс добавок – катіонний латекс + базальтова фібра.

2.2 Програма експериментальних досліджень

Для підтвердження сформульованих теоретичних передумов прийнята наступна програма досліджень:

1. Обґрунтувати об'єкти, критерії та методи оцінювання довговічності матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з катіонними латексами та базальтовою фіброю, як модифікуючими добавками.
2. Теоретично обґрунтувати і експериментально підтвердити закономірності процесів структуроутворення в матеріалах з ЩПС зміцнених цементом спільно з модифікуючими добавками.
3. Експериментально дослідити вплив гранулометричного складу ЩПС із залізистих кварцитів, крупності та загального вмісту зерен щебеню за різного вмісту цементу у складі суміші, на показники міцності матеріалів.
4. Дослідити вплив концентрації водних катіонних латексів у воді на величину поверхневого натягу та кут змочування мінеральної поверхні розчинами.
5. Експериментально дослідити впливу критичної концентрації міцелоутворення в водних розчинах катіонних латексів з різною концентрацією твердої речовини на показники максимальної щільності і оптимальної вологості ЩПС із залізистих кварцитів з цементом.
6. Виконати експериментальні дослідження впливу концентрації катіонних латексів на показники міцності, морозостійкості, максимальної структурної міцності, індексу тріщиностійкості і дефектності структури матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом.
7. Провести експериментальні дослідження впливу концентрації та

довжини волокна армуючого складника (базальтова фібра) на показники міцності, морозостійкості, максимальної структурної міцності, індексу тріщиностійкості і дефектності структури матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом.

8. Експериментально дослідити вплив комплексу модифікуючих добавок (катіонний латекс + базальтова фібра) на показники розрахункових характеристик, морозостійкості, максимальної структурної міцності, індексу тріщиностійкості і дефектності структури матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом.

9. Розробити технологічний регламент приготування кондиційних щебенево-піщаних сумішей із відходів залізородних підприємств представлених нефракціонованими залізистими кварцитами нестабільного гранулометричного складу.

10. Грунтуючись на результатах досліджень підготувати рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками.

11. Виконати дослідно-виробниче перевіряння отриманих результатів дослідження на об'єктах дорожньо-будівельних організацій під час приготування ЩПС та влаштування конструктивних шарів дорожніх одягів автомобільних доріг.

2.3 Висновки по розділу

1. Теоретично спрогнозовано, що структура матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом визначається співвідношення крупного і дрібного заповнювачів, вмістом цементу та видом використаних модифікуючих добавок до них.

2. Показано, що у матеріалі з ЩПС з високим вмістом цементу можуть виникати значні внутрішні напруження, викликані деформаціями зсідання

цементного каменю під час набору міцності, та утворюватись структура з підвищеним рівнем дефектності.

3. Обґрунтовано позитивний вплив добавок катіонного латексу і базальтової фібри, як індивідуальних модифікуючих добавок до складу ЩПС із залізистих кварцитів з цементом, на процеси структуроутворення і властивості матеріалу.

4. Показано, що додавання комплексу різних за функціональним призначенням модифікуючих добавок до складу ЩПС із залізистих кварцитів, зміцненої цементом, забезпечить підвищення довговічності одночасно за критеріями міцності, морозо- та тріщиностійкості.

РОЗДІЛ 3

ХАРАКТЕРИСТИКА МАТЕРІАЛІВ І МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Характеристика матеріалів прийнятих для дослідження

З метою вивчення впливу вмісту цементу на механічні властивості ЩПС із залізистих кварцитів різних гранулометричних складів мінеральної частини, зміцнених цементом, були прийняті суміші з різним максимальним розміром зерен щебеню 10 мм, 20 мм та 40 мм згідно з ДСТУ 9177-3:2022 (далі по тексту ЩПС-10, ЩПС-20, ЩПС-40).

Оскільки мінеральна частина вихідних ЩПС із залізистих кварцитів Полтавського ГЗК, як відходів виробництва, не відповідає за гранулометричним складом вимогам стандарту, їх готували змішуванням у певних співвідношенням щебеню та відсіву подрібнення. Для приготування кондиційних за зерновим складом ЩПС попередньо здійснювали розсіювання вихідної ЩПС Полтавського ГЗК на окремі фракції щебеню і відсіву подрібнення. Отримані розсіюванням фракції щебеню (властивості наведені в таблицях 3.1, 3.2 та 3.3) та відсіву подрібнення (властивості наведені в таблиці 3.4) слугували вихідними складниками для підбору складу ЩПС, які за своєю гранулометриєю мінеральної частини відповідали вимогам ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневої та гравійної для дорожнього будівництва. Технічні умови». За результатами досліджень зернового складу вихідних ЩПС Полтавського ГЗК був розроблений «Технологічний регламент виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування щебенево-піщаних сумішей з них». Розроблений технологічний регламент використовується для виготовлення щебеню, відсіву подрібнення та ЩПС, складених із них, для використання у виробничих умовах в будівельній галузі.

Таблиця 3.1 – Показники фізико-механічних властивостей щебеню із залізистих кварцитів фракції 5-10 мм

Найменування властивостей	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-34	Результати випробувань
Насипна щільність	кг/м ³	не більше	1434
Середня щільність	г/см ³	1750	3,08
Істинна щільність	г/см ³	2,8-3,2	3,19
Пустотність	%	—	43,70
Пористість	%	—	0,30
Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 35-65	34,5
Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранистю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	3,1/1400 Ст-1
Вологість	%	—	0,40
Водопоглинання	%	—	0,20

Для підбору складу та приготування ЩПС-10 використовували, як складники мінеральної частини, щебінь фракції 5-10 мм та відсів подрібнення із залізистих кварцитів. Гранулометричний склад мінеральної частини ЩПС-10 наведено на рис. 3.1.

Таблиця 3.2 – Показники фізико-механічних властивостей щебеню із залізистих кварцитів фракції 10-20 мм

Найменування властивостей	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-34	Результати випробувань
Насипна щільність	кг/м ³	не більше 1750	1313
Середня щільність	г/см ³	2,8 – 3.2	3,05
Істинна щільність	г/см ³	–	3,14
Пустотність	%	–	40,1
Пористість	%	–	2,3
Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 35-65	24
Вміст пиловатих часток	%	не більше 1,0	0
Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
Вологість	%	–	0,39
Водопоглинання	%	–	0,21

Для підбору складу та приготування ЩПС-20 використовували, як складники мінеральної частини, щебені фракцій 5-10 мм і 10-20 мм та відсів подрібнення із залізистих кварцитів. Гранулометричний склад мінеральної частини ЩПС-20 наведено на рис. 3.2.

Таблиця 3.3 – Показники фізико-механічних властивостей щебеню із залізистих кварцитів фракції 20 – 40 мм

Найменування властивостей	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-34	Результати випробувань
Насипна щільність	кг/м ³	не більше 1750	1271
Середня щільність	г/см ³	2,8 – 3.2	3,05
Істинна щільність	г/см ³	—	3,12
Пустотність	%	—	40,1
Пористість	%	—	2,3
Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 35-65	22
Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
Вологість	%	—	0,41
Водопоглинання	%	—	0,25

Для підбору складу та приготування ЩПС-40 використовували, як складники мінеральної частини, щебені фракцій 5-10 мм, 10-20 мм і 20-40 мм та відсів подрібнення із залізистих кварцитів. Гранулометричний склад мінеральної частини ЩПС-40 наведено на рис. 3.3.

Таблиця 3.4 – Показники фізико-механічних властивостей відсіву подрібнення із залізистих кварцитів

Найменування властивостей	Од. вим.	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-33	Результати випробувань
Насипна щільність	кг/м ³	< 1650	1490
Істинна щільність	г/см ³	-	3,12
Модуль крупності	-	2,5-3	2,7
Вміст пилюватих та глиняних часток	%	7	4,5
Вміст глиняних часток (метод набрякання)	%	<1	0
Вологість	%	-	4,2

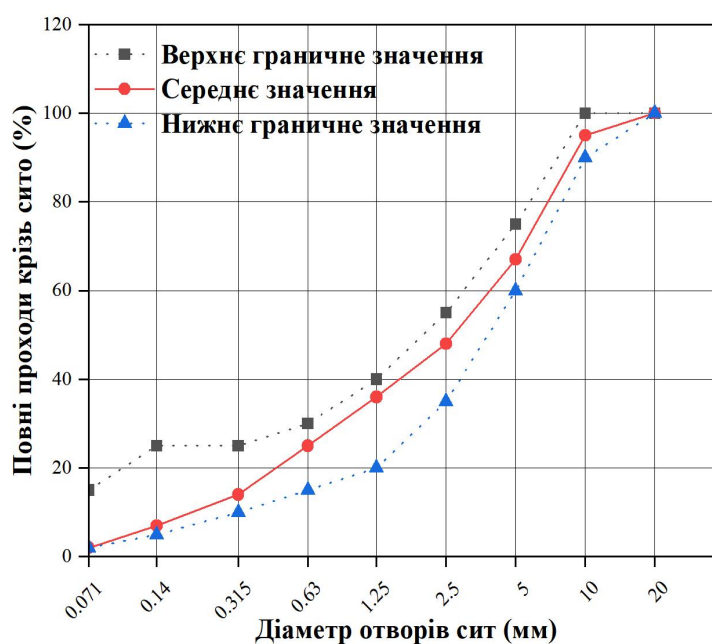


Рис. 3.1 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЦПС-10

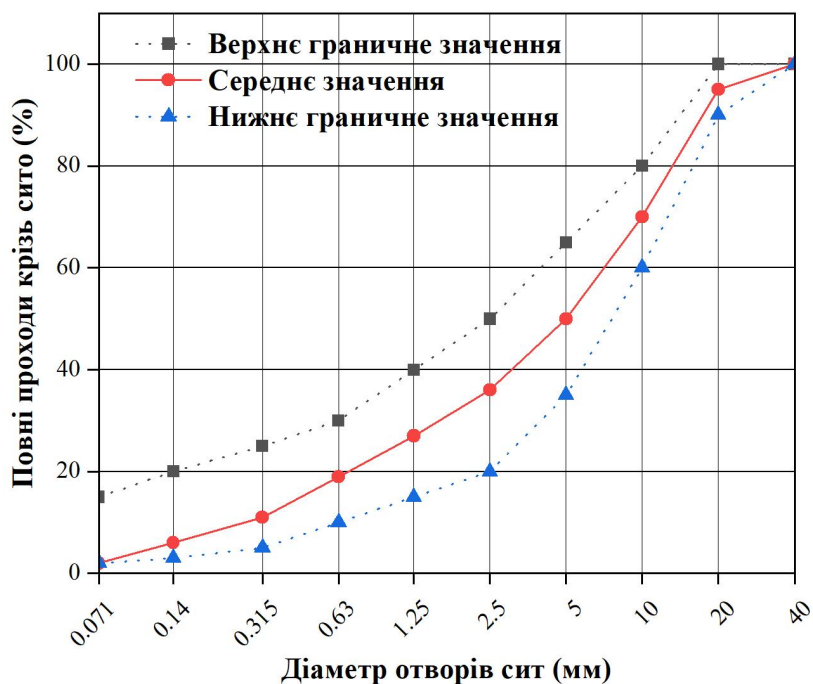


Рис. 3.2 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЦПС-20

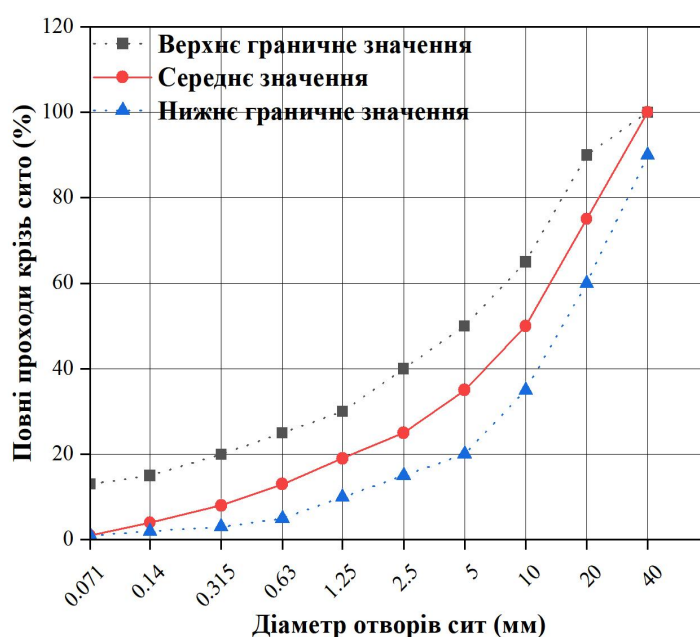


Рис. 3.3 – Гранулометричний склад мінеральної частини ЦПС-40

Для приготування ЦПС із залізистих кварцитів зміцнених мінеральним в'язучим використовували портландцемент марки 400, який за властивостями відповідав вимогам [134]. Основні властивості цементу наведені в таблиці 3.5. Вода для приготування сумішей відповідала вимогам [136]. Як модифікуючі

полімерні добавки використовували катіонний латекс «Butonal NS 198» та «Butonal 5126». Основні властивості латексів за даними виробника наведені в таблиці 3.6. В якості армуючого складника в ЩПС додавали базальтову фібру. Зовнішній вигляд базальтової фібри показаний на рис. 3.4, хімічний склад на рис. 3.5, а основні властивості наведені у таблиці 3.7. Зображення текстури поверхні базальтових волокон, отримане з використанням епіфлуоресцентного мікроскопу LW300LFT (LED), наведено на рис. 3.6. Спостерігаючи базальтове волокно з різним збільшенням, добре видно, що поверхня базальтового волокна гладка з дуже невеликою кількістю мікротріщин.



Рис. 3.4 – Зовнішній вигляд базальтової фібри

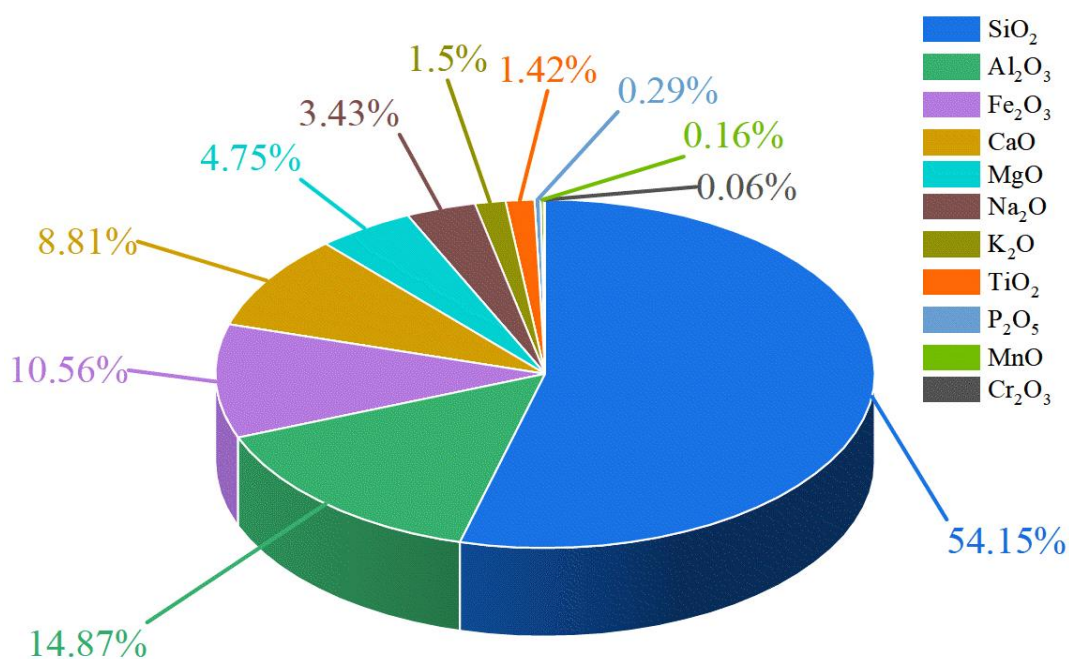


Рис. 3.5 – Хімічний склад базальтової фібри

Таблиця 3.5 – Основні властивості цементу

Властивості	Час схоплювання, хвилин		Міцність за стиску, МПа		Міцність за розтягу під час вигину, МПа	
	Час початкового схоплювання	Час остаточного схоплювання	3 дні	28 днів	3 дні	28 днів
Виміряне значення	176	213	26,3	49,3	4,3	6,9

Таблиця 3.6 – Фізико-хімічні властивості водних катіонних латексів

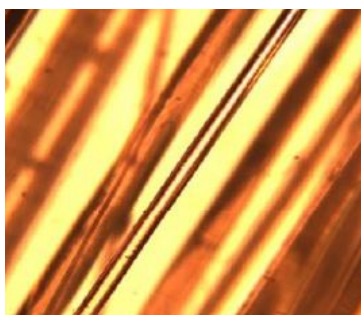
Назва латексу	Зовнішній вигляд	Вміст твердої речовини, %	РН	В'язкість, мПа·с	Щільність, г/см ³	Температура склування, °С
Butonal NS 198	Водна дисперсія білого кольору	64	5,3	300	0,96	-53
Butonal 5126	Водна дисперсія білого кольору	50	7,5	200	1,00	-24

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики базальтового волокна

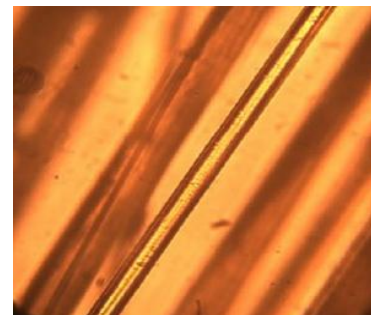
Щільність, г/см ³	Діаметр, мкм	Міцність за розтягу, МПа	Модуль пружності, ГПа	Подовження під час розтягу, %
2,65	18 ± 2	3500	100	3,8



(а) 40 разів



(б) 400 разів



(в) 1000 разів

Рис. 3.6 – Збільшене зображення текстури поверхні базальтового волокна

За результатами рентгеноструктурного аналізу залізистих кварцитів отримана їхня рентгенограма (рис. 3.7) та встановлено їхній фазовий склад (рис. 3.8).

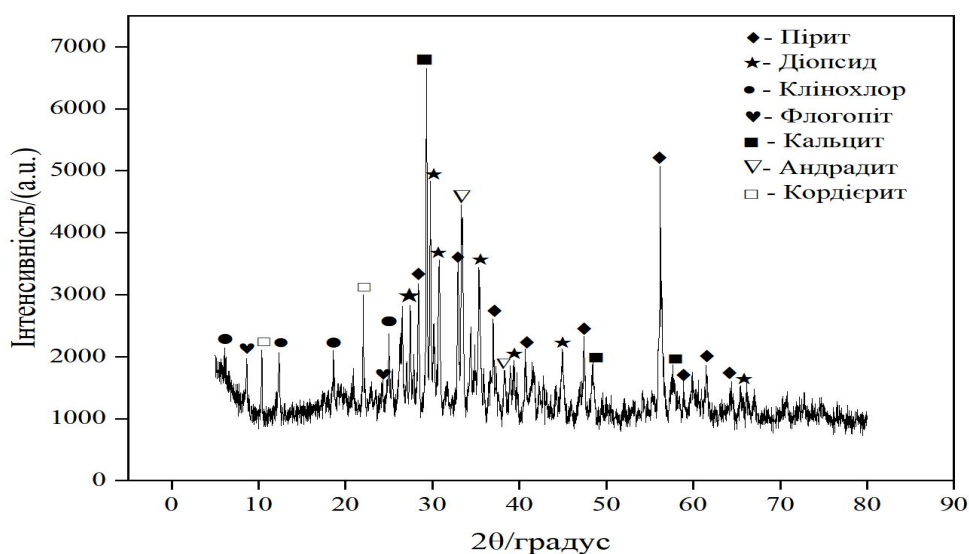


Рис. 3.7 – Рентгенограма залізистих кварцитів

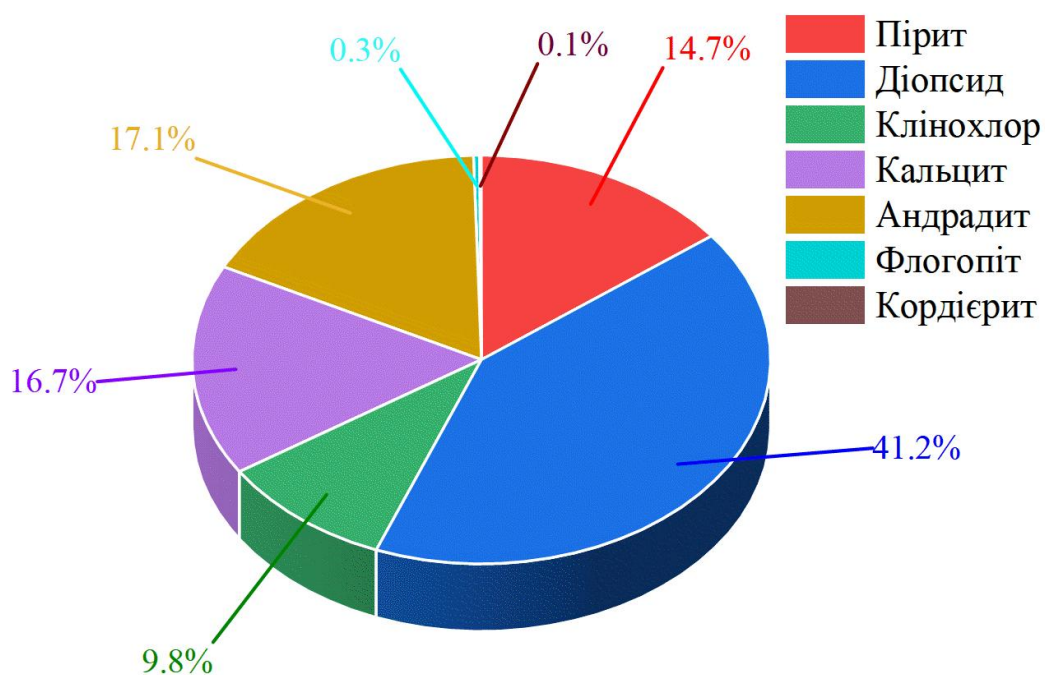


Рис.3.8 – Фазовий склад залізистого кварциту

Зображення зерен залізистих кварцитів, отримане за допомогою електронного скануючого мікроскопу, наведене на рис. 3.9.

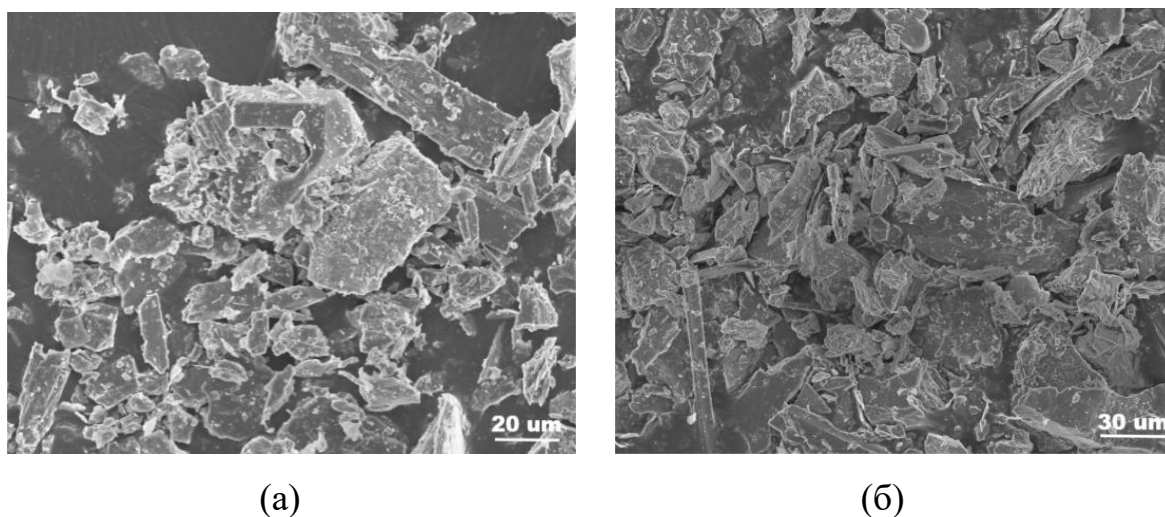


Рис.3.9 – Електронно-мікроскопічні знімки зерен залізистих кварцитів

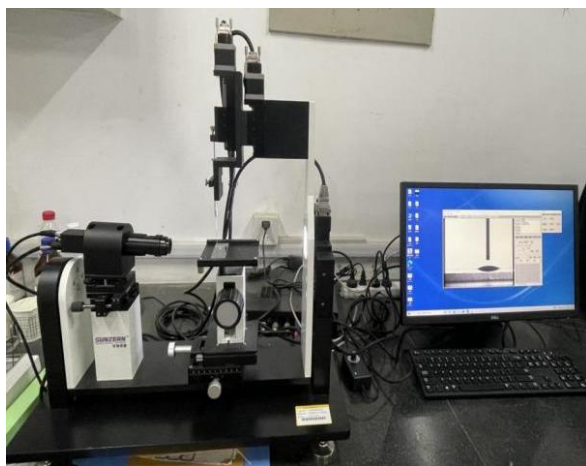
Дослідженнями знімків встановлено, що зерна залізистого кварциту мають різну неправильну форму, схожу на пластівці, голки, блоки, усічену піраміду, клин, поверхня яких відносно гладка.

3.2 Методи та обладнання прийняті для дослідження

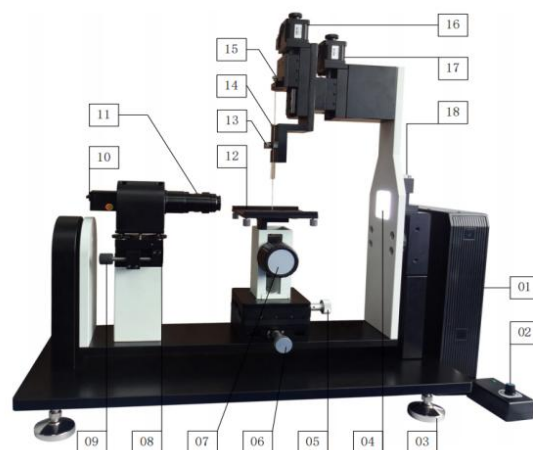
Для виконання програми експериментальних досліджень в дисертаційній роботі окрім стандартизованих методів дослідження були прийняті спеціальні методи і обладнання. Для дослідження властивостей ЩПС із залізистих кварцитів застосовували методи, які викладені в нормативних документах [139-141]. Статистичну обробку результатів досліджень і встановлення мінімальної, але достатньої кількості вимірювань виконували за методикою, викладеною в [141, 142].

Крайові кути змочування водними розчинами латексів поверхні скляних пластин і поверхневого натягу вимірювали за допомогою проекційного приладу, який показано на рис. 3.10. Визначення крайового кута змочування (θ) виконували шляхом 200-кратного збільшення проекції краплі на екран з наступним вимірюванням геометричного кута між проекцією основи і дотичною до проекції краплі в точці дотику її з основою. Прийнята ступінь збільшення та кількість вимірювань (середнє значення з 10 вимірювань кута для одного об'єкту) дозволили визначити кут з точністю до одного знака після коми, що підтверджується статистичною обробкою результатів.

Дослідження значень кута змочування виконували в наступній послідовності: на встановлену на предметний столик скляну пластинку за допомогою піпетки наносили краплю досліджуваного водного розчину латексу; пластину з краплею підводили до осі сконденсованого світлового променя, їх положення регулювали фокусуєчим блоком таким чином, щоб проекція краплі була чіткою і горизонтальною для уникнення «натікання» і «відтікання» кутів [144]. За допомогою комп'ютера виконували двохсторонні заміри симетричних кутів між проекцією основи і дотичною до проекції краплі в точці дотику її з основою (рис. 3.11).



(a)



(б)

Рис. 3.10 – Прилад для вимірювання кута змочування і поверхневого натягу: (а) фото приладу; (б) схема приладу: (01-зовнішній контролер; 02-контролер джерела світла; 03-опорні підставки; 04-підсвічування; 05-ручка переміщення по осі X предметного столика; 06-ручка переміщення по осі Y предметного столика; 07-ручка переміщення по осі Z предметного столика; 08-ручки регулювання панорамування та нахилу; 09-ручка фокусування; 10-камера; 11-об'єктив; 12-предметний столик; 13-фіксація капіляра; 14-капіляр; 15-поршень шприца; 16-емність для рідини; 17-підйомна частина; 18-модуль нахилу)

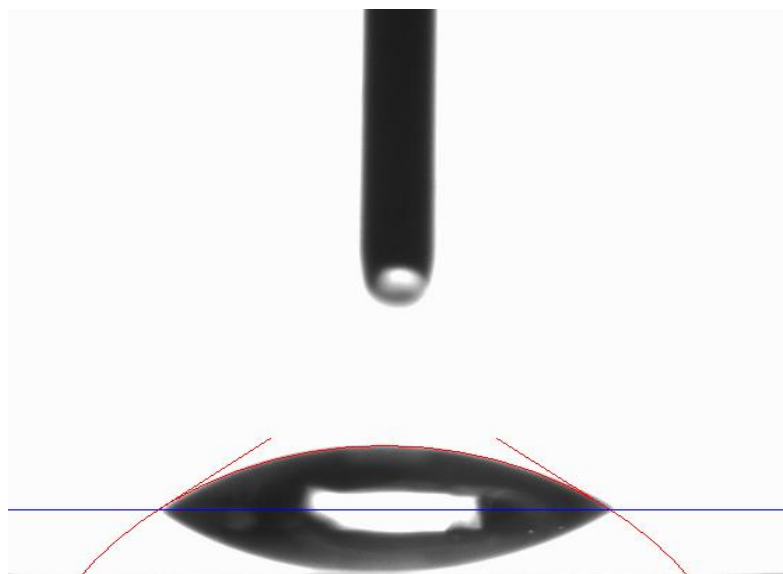


Рис. 3.11 – Крайовий кут змочування скляної поверхні

За значення кута змочування приймали середнє арифметичне з 10 вимірювань. Для встановлення необхідної кількості випробувань виконували статистичну обробку результатів вимірювань крайових кутів змочування скляної поверхні 2,91 % розчином латексу «Butonal NS 198» у дистильованій воді (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8 – Вихідні дані для статистичної обробки результатів вимірювання крайових кутів змочування

№ п/п	$X_i, ^\circ$	$X_i - \bar{X}, ^\circ$	$(X_i - \bar{X})^2, ^\circ$
1	10,63	0,13	0,0169
2	10,51	0,01	0,0001
3	10,55	0,05	0,0025
4	10,51	0,01	0,0001
5	10,31	-0,19	0,0361
6	10,43	-0,07	0,0049
7	10,55	0,05	0,0025
8	10,48	-0,02	0,0004
9	10,42	-0,07	0,0049
10	10,61	0,11	0,0121
Сума	105	0	0,0779

Середнє значення:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} = 10,50 \quad (3.1)$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = 0,0087 ^\circ \quad (3.2)$$

Коефіцієнт варіації:

$$K_B = \frac{\sigma}{\bar{X}} 100 = 0,08 \% \quad (3.3)$$

Середньоквадратичне відхилення для усієї серії досліджень:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} = 0,003^\circ \quad (3.4)$$

Оскільки $n < 30$, то ряд відноситься до малої вибірки. Допустимий інтервал обчислювали з використанням коефіцієнту Стюдента α_{cm} .

З врахуванням допустимої ймовірності, рівної 0,95, і $\alpha_{cm} = 2,36$ при $n = 10$ визначався допустимий інтервал:

$$\text{при } n = 10 \quad \mu_{cm} = \pm 0,104 \cdot 2,36 = 0,24^\circ$$

Істинне значення крайового кута змочування скляної поверхні 2,91 % розчином латексу «Butonal NS 198» у дистильованій воді знаходиться в межах:

$$\overline{X}_d = (10,50 \pm 0,24)^\circ \quad (3.5)$$

Відносна похибка результатів серії досліджень при $n = 10$ складає:

$$\delta = \frac{\sigma_0 \cdot \alpha_{cm}}{\bar{X}} \cdot 100 = 0,71 \% \quad (3.6)$$

Таким чином, за допустимої ймовірності 0,95 отримані значення крайових кутів змочування скляної поверхні 2,91 % розчином латексу «Butonal NS 198» у дистильованій воді входять в допустимий інтервал. Аналогічна методика була використана для визначення крайових кутів змочування інших розчинів.

Визначення поверхневого натягу (σ_n) на границі розділу фаз рідина-повітря виконували за методом максимального тиску в бульбашці на приладі зображеному на рис. 3.10. Зображення утвореної для вимірювання бульбашки наведено на рис. 3.12.

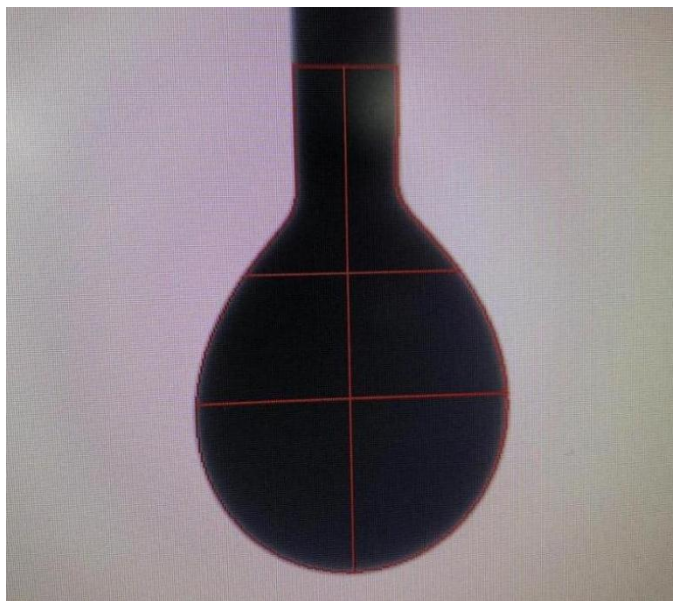


Рис. 3.12 – Утворена бульбашка для вимірювання поверхневого натягу водного розчину латексу

Рентгеноструктурний аналіз залізистих кварцитів виконували за допомогою рентгенівського дифрактометра (рис. 3.13).



Рис. 3.13 – Рентгенівський дифрактометр

Морфологію залізистих кварцитів спостерігали за допомогою скануючого електронного мікроскопа, який показано на рис. 3.14.

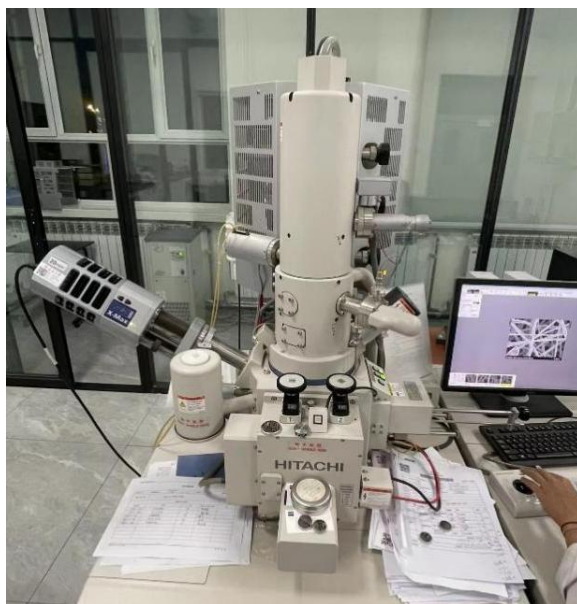


Рис. 3.14 – Сканувальний електронний мікроскоп

Приготування щебенево-піщаних сумішей з додаванням цементу та модифікуючих добавок виконували в лабораторній мішалці (рис. 3.15).



Рис. 3.15 – Лабораторна мішалка для приготування щебенево-піщаних сумішей з додаванням цементу та модифікуючих добавок

При приготуванні ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом до суміші спочатку додавали мінеральне в'язуче, а потім вводили необхідну кількість води. Під час приготування ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених

цементом з добавкою фібри до суміші додавали мінеральне в'язуче, далі базальтову фібру, а потім вводили необхідну кількість води. Під час приготування суміші ЦПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом з додаванням латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126», до суміші додавали мінеральне в'язуче, а латекс вводили у воду. Під час приготування суміші ЦПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом з додаванням фібри та латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126» до суміші додавали мінеральне в'язуче, потім базальтову фібру, латекс вводився з водою у розчиненому стані.

Формування циліндричних зразків діаметром та висотою 100 мм і 70 мм виконували в лабораторних умовах методом пресування за температури 20 °С. Зразки формували (по 6 зразків на точку на кожен вид випробування) шляхом ущільнення суміші за допомогою гідравлічного пресу за прикладання ущільнюючого навантаження величиною 160 кН протягом 3 хвилин (рис. 3.16).



Рис. 3.16 – Гідравлічний прес для формування зразків-циліндрів

Відформовані зразки поміщали в гідравлічну ванну (рис. 3.17) для забезпечення твердіння в нормальних умовах. Загальний вигляд зразків у гідравлічній ванні наведено на рис. 3.18.



Рис. 3.17 – Загальний вигляд гідравлічної ванни



Рис. 3.18 – Загальний вигляд заформованих зразків в гідравлічній ванні

Після певного періоду набору міцності (через 7 та 28 діб) зразки піддавали випробуванням. Загальний вигляд зразків під час випробування на міцність за стиску за допомогою преса показано на рис. 3.19. Фрагмент процесу випробування на міцність за розколу по твірній показано на рис. 3.20.



(а) перед випробуванням



(б) після випробування

Рис. 3.19 – Випробування зразків-циліндрів на міцність за стиску



(а) перед випробуванням



(б) після випробування

Рис. 3.20 – Випробування зразків-циліндрів на міцність за розколу по твірній

Для визначення границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності формували прямокутні зразки-балки розміром $100 \times 100 \times 400$ мм (рис. 3.21).



(а)



(б)

Рис. 3.21 – Формування зразків-балок розміром $100 \times 100 \times 400$ мм

Фрагменти процесу визначення границі міцності за розтягу під час вигину наведено на рис. 3.22. Значення міцності обчислювали як середнє арифметичне результатів випробування шести зразків, розбіжність між результатами окремих випробувань не перевищувала 15 %.



(а) перед випробуванням

(б) після випробування

Рис. 3.22 – Випробування зразків-балок на міцність за розтягу під час вигину

Під час визначення модуля пружності зразок-балку навантажували рівнями, з розвантаженням після кожного рівня навантаження. Значення рівня навантаження вибирали таким, щоб можна було мати три рівні у процесі випробування. Вертикальний прогин f балки вимірювали індикатором електронного типу. Час дії кожного рівня навантаження 1 хвилина, розвантаження – 30 с.

Значення модуля пружності визначали за навантаження 0,5 – 0,7 від руйнівного навантаження за формулою (3.7) при $K_t = 1,0$ і $K_l = 1,0$.

$$E_l = \frac{K_l K_t P l^3}{48 f J}, \quad (3.7)$$

де K_l , K_t – поправочні коефіцієнти; P – вертикальне навантаження; l – розрахунковий проліт балки (300 мм); f – пружний прогин балки; J – момент інерції перетину зразка ($J = bh^3/12$, а b , h – ширина і висота балки).

Визначення індексу температурної тріщиностійкості і максимальної структурної міцності виконували згідно [146]. Сутність методу полягає у визначенні ступеню опору матеріалу утворенню температурних та втомних тріщин на основі встановлених значень міцності за розколу по твірній зразків-циліндрів за низьких температур. В процесі визначення індексу температурної тріщиностійкості і максимальної структурної міцності визначали міцність за розколу по твірній зразків-циліндрів за температури 0 °C

та швидкості прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв, а також за температури мінус 15 °С та швидкостей прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв і 10 мм/хв. До початку випробування зразки термостатували у морозильній камері протягом 2 годин за температури 0 °С і мінус 15 °С.

Величину максимальної структурної міцності R_c обчислювали за формулою:

$$R_c = \frac{\bar{R}}{1 + 1,921 \cdot \lg(R_1/R_2)} \quad (3.8)$$

де R_1 і R_2 – границя міцності за розколу по твірній зразків за температури мінус 15 °С і швидкостях прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв і 10 мм/хв відповідно, МПа;

$\bar{R}$ – середнє значення суми границь міцностей R_1 і R_2 , МПа.

Величину індексу температурної тріщиностійкості I_T обчислювали за формулою:

$$I_T = 1 - \frac{R_0}{R_c} \quad (3.9)$$

де R_0 – границя міцності за розколу по твірній зразків за температури 0 °С і швидкості прикладання руйнівного навантаження 3 мм/хв.

Морозостійкість матеріалів з ЩПС зміцнених цементом визначали за величиною зміни показника границі міцності за стиску, границі міцності за розколу по твірній і коефіцієнта морозостійкості після впливу на попередньо водонасичені зразки 10 циклів заморожування-відтавання.

3.3 Висновки по розділу

1. Експериментальними дослідженнями підтверджено, що вихідні складники ЩПС із залізистого кварциту і безповередньо ЩПС, прийняті для досліджень, відповідають вимогам чинних стандартів

2. За результатами рентгеноструктурного аналізу залізистих кварцитів встановлено їхній фазовий склад.

3. Для дослідження впливу складників на довговічність матеріалу зі зміцнених ЩПС за основні критерії прийняті показники індексу температурної тріщиностійкості, структурної міцності та морозостійкості.

4. Результати досліджень, що наведені в цьому розділі, частково опубліковані у публікації [27].

РОЗДІЛ 4

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Дослідження впливу вмісту води та латексу на щільність ЩПС із залізистих кварцитів

Одним із важливих практичних завдань під час приготування ЩПС є встановлення оптимальної вологості суміші, яка забезпечує максимальну щільність матеріалу після ущільнення суміші. Якісне перемішування компонентів суміші (крупний заповнювач, дрібний заповнювач, в'язуче) з оптимальним вмістом води сприяє повній і швидкій фізико-хімічній взаємодії цементних частинок з водою. Вода в ЩПС повинна рівномірно змочити мінеральну поверхню. При цьому, між її молекулами у поверхневому шарі на границі розподілу фаз діють значні сили зчеплення, котрі перешкоджають її розтіканню. Поверхневий натяг води перешкоджає її рівномірному розподіленню по поверхні мінеральних часток ЩПС, аналогічно тому, як це відбувається в бетоні [148-150].

Змочування, як фізичний процес, обумовлений співвідношенням поверхневого натягу підкладки на межі розділу з повітрям σ_1 , води на поверхні розділу з твердою підкладкою σ_2 і води на межі розділу з повітрям σ_3 :

$$\sigma_1 = \sigma_2 + \sigma_3 \cdot \cos \theta \quad (4.1)$$

Це співвідношення впливає на значення головного критерія змочування— крайового кута:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{\sigma_3} \quad (4.2)$$

Згідно програми експериментальних досліджень додавання до ЩПС латексу, як модифікуючого складника, передбачається спільно з водою (латекс попередньо повинен бути розчиненим у воді). Для встановлення оптимальної концентрації прийнятих для дослідження латексів визначенню підлягали термодинамічні властивості (поверхневий натяг і крайовий кут змочування)

їхніх водних розчинів.

На рис. 4.1 наведені експериментально отримані залежності поверхневого натягу води від концентрації в ній катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126». Із наведених залежностей видно, що з підвищенням концентрації катіонних латексів «Butonal NS 198» або «Butonal 5126» у воді поверхневий натяг розчинів суттєво зменшується.

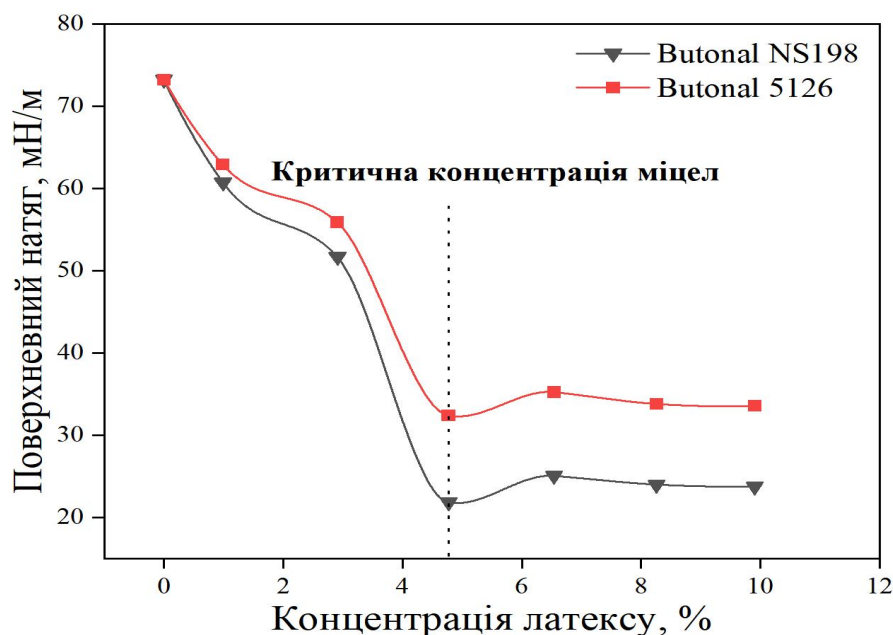


Рис. 4.1 – Концентраційна залежність поверхневого натягу водного розчину досліджуваних катіонних латексів

За умови введення 0,99 % катіонного латексу «Butonal NS 198» у воду поверхневий натяг розчину зменшується до 60,77 мН/м, за введення 2,91 % – зменшується до 51,70 мН/м, за введення 4,77 % – зменшується до 21,86 мН/м, за введення 6,54 % – дещо зростає і становить 25,05 мН/м, за введення 8,26 % – знову зменшується до 23,99 мН/м, а за введення 9,91 % – практично стабілізується і становить 23,73 мН/м (поверхневий натяг чистої води за температури випробування 17 °С становив 73 мН/м). Для водного розчину латексу «Butonal 5126» отримана аналогічна залежність з дещо більшими значеннями поверхневого натягу, порівняно з водним розчином латексу «Butonal NS 198». Так, за умови введення у воду 0,99 % латексу «Butonal

5126» поверхневий натяг розчину зменшується до 62,92 мН/м, за 2,91 % – до 55,90 мН/м, за 4,77 % – до 32,40 мН/м, за 6,54 % – до 35,24 мН/м, за 8,26 % – до 33,79 мН/м, а за 9,91 % – до 33,55 мН/м. За вмісту катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» у воді у кількості 4,24 % фіксується мінімальне значення поверхневого натягу розчинів. Це вказує на те, що вказана концентрація латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» відповідає критичній концентрації міцелоутворення. Відомо, що за критичної концентрації міцелоутворення відбувається легке розтікання та змочування мінеральної поверхні рідиною.

Дослідженнями встановлено, що збільшення концентрації катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» у воді призводить не тільки до зменшення поверхневого натягу розчинів, але і крайового кута змочування ними мінеральної поверхні. Результати експериментальних досліджень показали, що формування водою постійних значень крайових кутів змочування на поверхні мінеральної підкладки протікає у часі і складає 15-20 хвилин.

На рис. 4.2 наведена концентраційна залежність крайового кута змочування водним розчином катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» поверхні скляної пластини.

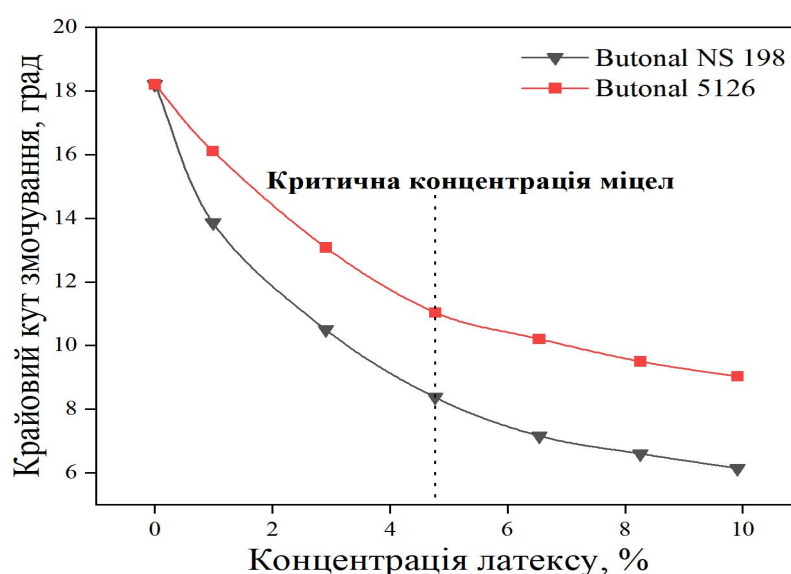


Рис. 4.2 – Концентраційна залежність крайового кута змочування водними розчинами катіонних латексів поверхні скляної пластини

З наведеної залежності видно, що за введення 0,99 % латексу «Butonal NS 198» у воду спостерігається зменшення крайового кута змочування розчином поверхні скляної пластини в 1,31 рази, за 2,91 % – в 1,73 рази, за 4,77 % – в 2,18 рази, за 6,54 % – в 2,54 рази, за 8,26 % – в 2,76 рази, а за 9,91 % – в 2,97 рази. За умови введення 0,99 % латексу «Butonal 5126» у воду теж зменшує значення крайового кута змочування розчином поверхні скляної пластини в 1,13 рази, за введення 2,91 % – в 1,39 рази, за 4,77 % – в 1,65 рази, за 6,54 % – в 1,78 рази, за 8,26 % – в 1,92 рази, а за 9,91 % – в 2,02 рази.

Представлену на рис. 4.2 залежність можна умовно розділити на дві ділянки. Перша ділянка (до 4,77 % досліджуваних латексів у воді) характеризується більш різким зменшенням крайового кута змочування, ніж друга (більше 4,77 %). Це добре узгоджується з результатами дослідження поверхневого натягу.

Отримані значення досліджених термодинамічних характеристик дозволяють стверджувати, що використання катіонного латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126», як добавки до води, що використовується для приготування ЩПС, дозволить покращити змочування часток мінерального матеріалу водою за рахунок зменшення величини її поверхневого натягу та крайового кута змочування.

Для встановлення оптимального вмісту води, необхідної для досягнення максимальної щільності матеріалу після ущільнення суміші ЩПС із залізистих кварцитів з цементом, попередньо виконували випробування методом стандартного ущільнення дрібнозернистого складника суміші (фракція 0-5 мм). Експериментально отримані залежності щільності від вмісту вологи у дрібнозернистому складнику суміші (фракція 0-5 мм) за різної концентрації катіонних латексів «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» у воді, наведені на рис. 4.3 та 4.4. З наведених залежностей видно, що максимальна щільність дрібнодисперсного складника ЩПС під час стандартного ущільнення досягається за вмісту у ньому 12 % води. Порівняльний аналіз залежностей максимальної щільності від вмісту води за різної концентрації в ній латексів

вказує на те, що оптимальний вміст води зменшується за присутності у ній латексу. За концентрації 5 % латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126» у воді, що практично відповідає критичній концентрації міцелюутворення, максимальна щільність дрібнодисперсного складника ЩПС під час стандартного ущільнення досягається за меншого на 16,7 % вмісту у ньому води (оптимальний вміст води з розчиненим латексом становить 10 %).

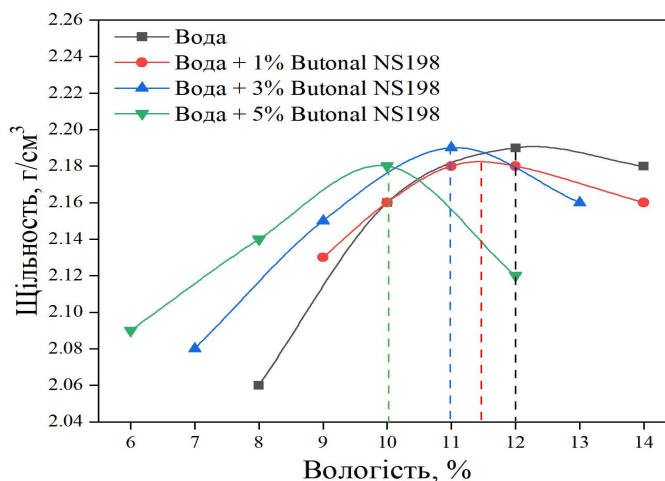


Рис. 4.3 – Залежність стандартної щільності дрібнодисперсного складника ЩПС (фракція 0-5 мм) від концентрації води за різного вмісту у ній катіонного латексу «Butonal NS 198»

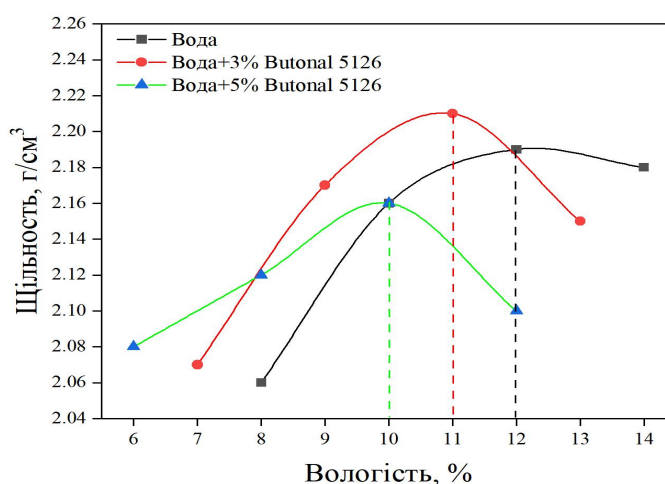


Рис. 4.4 – Залежність стандартної щільності дрібнодисперсного складника ЩПС (фракція 0-5 мм) від концентрації води за різного вмісту у ній катіонного латексу «Butonal 5126»

Для встановлення загального оптимального вмісту води в ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом додатково визначали водопоглинання крупного заповнювача, як складника ЩПС. Загальний оптимальний вміст води в ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом (наведено для випадку ЩПС-40) розраховували за формулою 4.3

$$\omega_{\text{opt}} = \frac{a\omega_1 + b\omega_2 + c\omega_3 + (d + \omega_c)\omega_0}{1 + \omega_c} \quad (4.3)$$

де а, b, с, d – вміст крупного заповнювача фракції 20-40 мм, 10-20 мм, 5-10 мм та 0-5 мм;

ω_1 , ω_2 та ω_3 – величина показника водопоглинання заповнювачів фракції 20-40 мм, 10-20 мм, 5-10 мм відповідно;

ω_c – концентрація цементу;

ω_0 – оптимальний вміст води в дрібнодисперсному складнику (фракція 0-5 мм) ЩПС, виміряний стандартним випробуванням на ущільнення.

В таблиці 4.1 (для прикладу був прийнятий склад ЩПС-40) наведено результати розрахунку загального оптимального вмісту води у випадку додавання до неї різних концентрацій латексу.

Таблиця 4.1 — Загальний оптимальний вміст води з добавками латексу у складі ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу

Вміст латексу у воді, %	0	1	3	5
Загальний оптимальний вміст води в ЩПС, %	4,63	4,48	4,25	3,88

З наведених в таблиці 4.1 даних видно, що зі збільшенням концентрації латексу у складі води її оптимальний вміст в ЩПС зменшується.

4.2 Дослідження впливу вмісту цементу на міцнісні властивості матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів різної гранулометрії

Для проведення досліджень впливу вмісту цементу на міцнісні характеристики в роботі були прийняті ЩПС із залізистих кварцитів трьох гранулометричних складів - ЩПС-10, ЩПС-20 та ЩПС-40, згідно ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови». ЩПС вказаних гранулометричних складів мінеральної частини є найбільш розповсюдженими під час будівництва автомобільних доріг.

Результати визначення показників границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів різних гранулометричних складів зміцнених цементом наведені на рис. 4.5 і рис. 4.6.

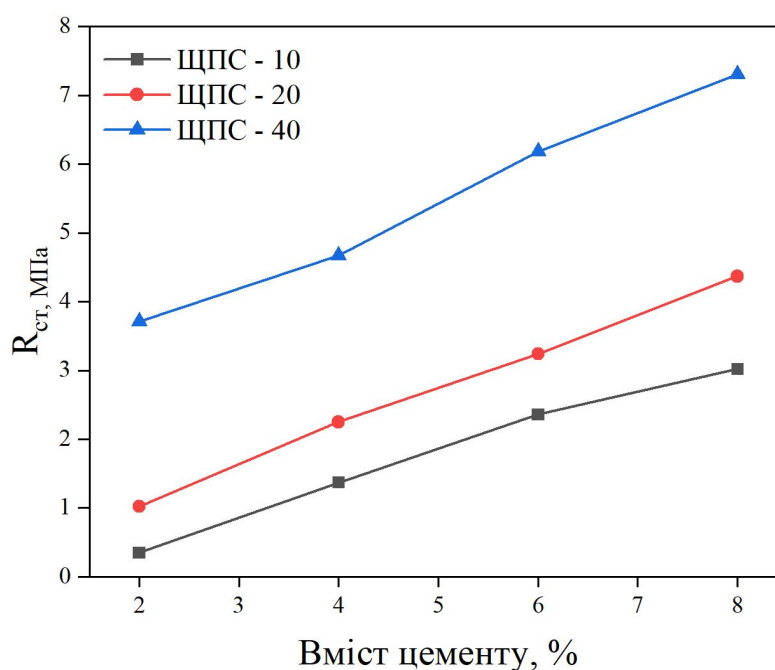


Рис. 4.5 – Залежність границі міцності за стиску від вмісту цементу в ЩПС із залізистих кварцитів

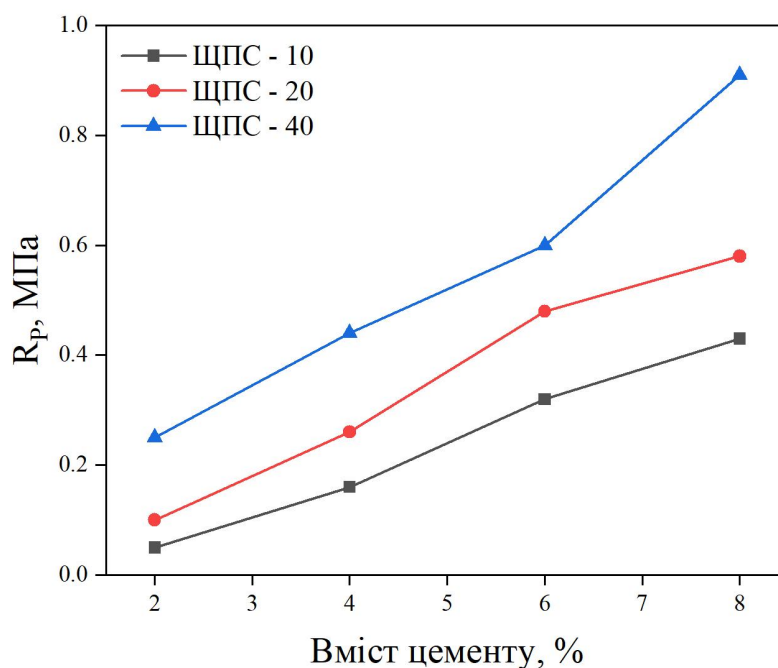


Рис. 4.6 — Залежність границі міцності за розколу по твірній від вмісту цементу в ЩПС із залізистих кварцитів

Наведені на рис. 4.5 і 4.6 результати експериментальних досліджень вказують на те, що збільшення вмісту цементу у складі матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів різних гранулометричних складів викликає зростання показників їхньої міцності за стиску і міцності за розколу по твірній. Наведені результати досліджень вказують на те, що за однакового вмісту цементу матеріалам з ЩПС-40 (з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм) властиві більші значення границі міцності за стиску і за розколу по твірній, порівняно з матеріалами з ЩПС-20 і ЩПС-10.

Аналіз гранулометричних складів щебенево-піщаних сумішей, прийнятих для досліджень (рис.3.1 – 3.3), показує, що при переході від суміші ЩПС-10 до ЩПС-20 і далі до ЩПС-40 загальний вміст щебеню у їхньому складі зростає, відповідно, від 33 %, до 50 % та до 65 %, а вміст зерен дрібного наповнювача відповідно зменшується. Результати досліджень показують, що при однаковій концентрації цементу у складі ЩПС спостерігається зростання значень границі міцності за стиску і за розколу по твірній зі збільшенням як крупності так і вмісту зерен щебеню у їхньому складі.

Отримані результати досліджень показників міцності вказують на те, що прийнятий для зміцнення ЩПС діапазон концентрацій цементу (від 2 % до 8 %) дозволяє отримати матеріали марок М10, М20, М40, М60 та М75. Характерною особливістю наведених результатів досліджень являється менший вміст цементу необхідний для отримання однакових марок матеріалу із ЩПС у разі збільшення у їхньому складі вмісту щебеню. Так, для отримання однакової марки матеріалу за міцністю за стиску в ЩПС-10 необхідно додавати більше цементу, порівняно з ЩПС-20 і ЩПС-40. Серед всіх досліджених за гранулометричним складом ЩПС найменшу кількість цементу необхідно додавати в ЩПС-40 для отримання однакової марки за міцністю.

4.3 Дослідження впливу генезису складників ЩПС на показники міцності і морозостійкість матеріалу зміцненого цементом

Для порівняльних досліджень впливу генезису мінеральних складників ЩПС на міцнісні показники і морозостійкість матеріалу зміцненого цементом використовували крупний і дрібний заповнювачі із гранітів і залізистих кварцитів, властивості яких наведені в таблицях 4.2 і 4.3. Основний хімічний склад залізистих кварцитів наведено в таблиці 4.4, з якої видно, що основним складником залізистого кварциту є SiO_2 .

Для проведення досліджень мінеральну частину ЩПС готували змішуванням крупного і дрібного заповнювачів в різних пропорціях. Максимальний розмір крупного заповнювача в ЩПС становив 40 мм (ЩПС-40). Гранулометричний склад мінеральної частини відповідав вимогам ДСТУ 9177-3. В даному дослідженні також оцінювали вплив вмісту крупного заповнювача в мінеральній частині ЩПС-40 зміцненій цементом на міцнісні показники і морозостійкість отриманих матеріалів.

Таблиця 4.2 — Властивості гранітного щебеню та відсіву

Розмір фракції (мм)	Насипна щільність (кг/м ³)	Середня щільність (г/см ³)	Істинна щільність (г/см ³)	Пустотність (%)	Вологість (%)	Водопоглинан ня (%)
40-20	1254	2,62	2,76	2,60	0,10	0,52
20-10	1296	2,68	2,77	2,60	0,11	0,50
10-5	1417	2,68	2,79	0,40	0,15	0,50
5-0	1500	-	2,77	-	1,20	-

Таблиця 4.3 — Властивості щебеню і відсіву із залізистих кварцитів

Розмір фракції (мм)	Насипна щільність (кг/м ³)	Вміст пилюватих часток (%)	Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми (%)	Вологість (%)
40-5	1434	0,70	34,5	0,40
5-0	1642	10	-	4,20

Таблиця 4.4 — Основні хімічні компоненти залізистих кварцитів

Основні складники	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	Інші
Вміст, (%)	73,89	7,32	6,58	3,05	2,95	1,25	4,96

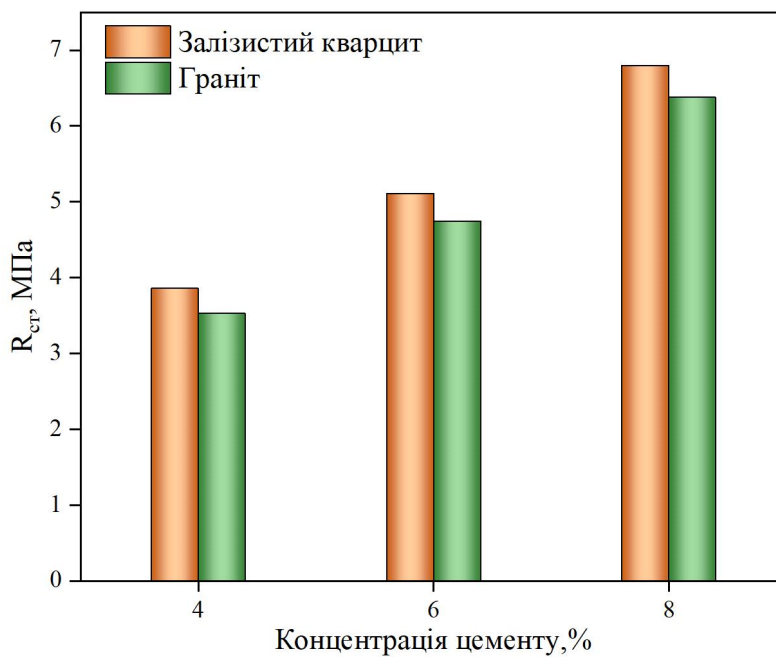
Для цього були приготовлені ЩПС-40 із гранітних і залізисто-кварцитових кам'яних матеріалів двох різних гранулометричних складів – ЩПС-40 (А) і ЩПС-40 (В). Вказані суміші відрізнялися одна від одної максимально і мінімально можливим вмістом крупного заповнювача згідно з ДСТУ 9177-3. Прийняті для дослідження гранулометричні склади мінеральної частини ЩПС-40 (А) і ЩПС-40 (В) приведені в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 — Гранулометричний склад суміші

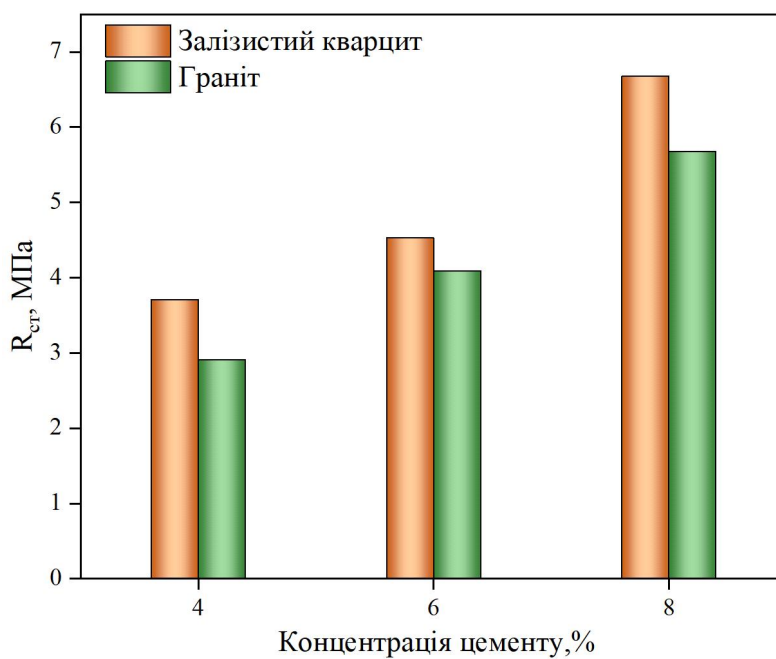
Тип суміші	Відсоток зерен, що пройшли через сито, мм									
	40	20	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
ЩПС-40 (А)	90	60	35	20	15	10	5	3	2	1
ЩПС-40 (В)	100	90	65	50	40	30	25	20	15	13

Залежності показників границі міцності за стиску (R_c) матеріалів з ЩПС-40 з різною за генезисом мінеральною частиною від концентрації цементу наведені на рис. 4.7.

Із наведених залежностей видно, що матеріалам з ЩПС-40 (А) і ЩПС-40 (В) із залізистих кварцитів властиві дещо більші значення R_c , порівняно з ЩПС із гранітів аналогічного гранулометричного складу.



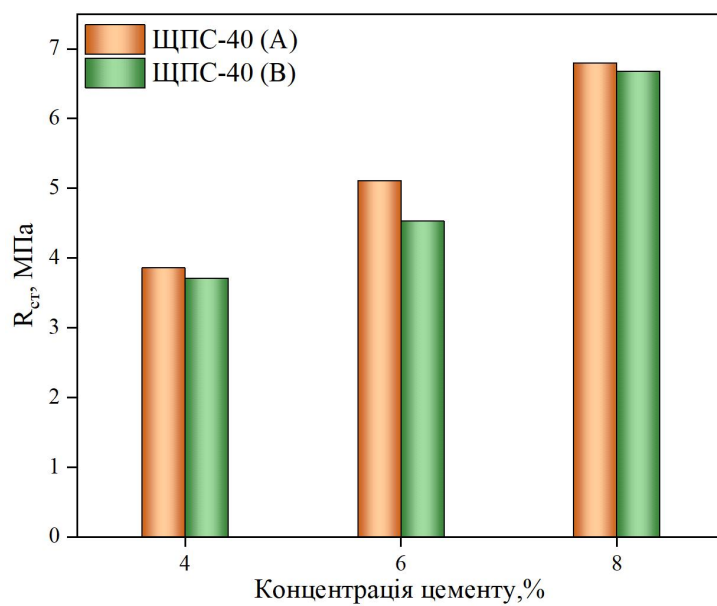
(a)



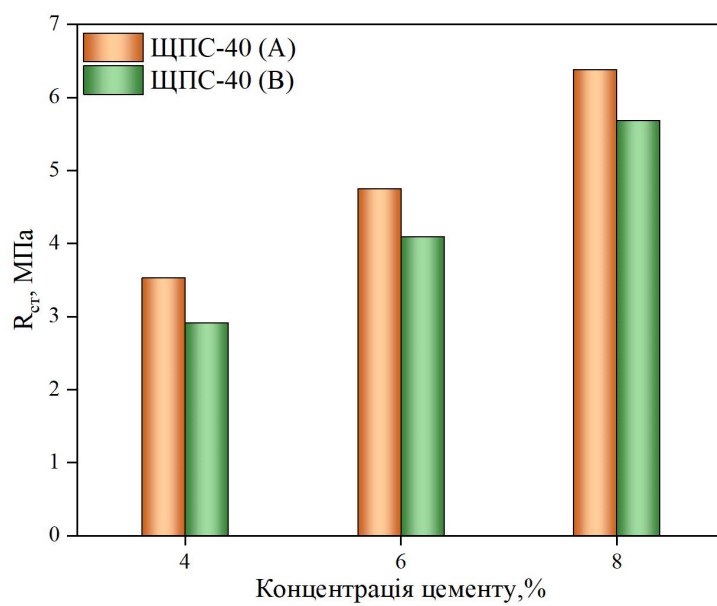
(б)

Рис. 4.7 - Залежність показників границі міцності за стиску матеріалів з ЩПС-40 (А) (а) і ЩПС-40 (В) (б) від вмісту цементу

Результати порівняльних досліджень впливу вмісту крупного заповнювача на показники R_c і R_p матеріалів з ЩПС зміцненої різною кількістю цементу показані на рис. 4.8 і рис. 4.9.

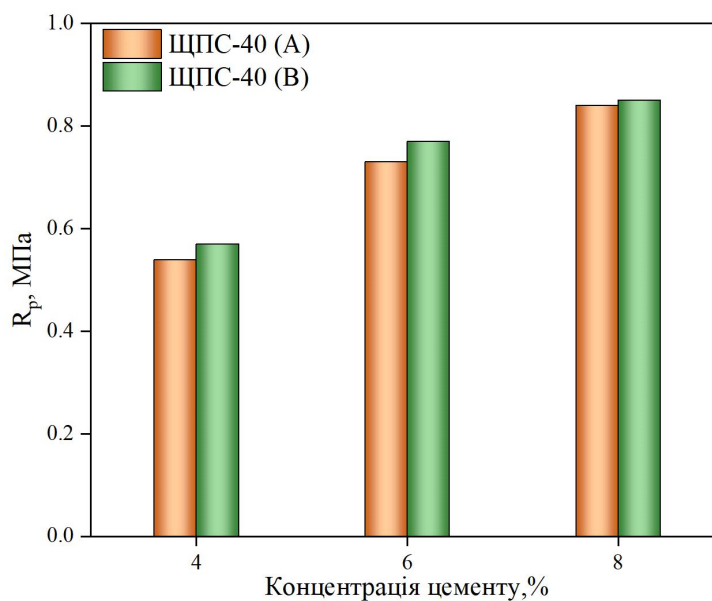


(a)

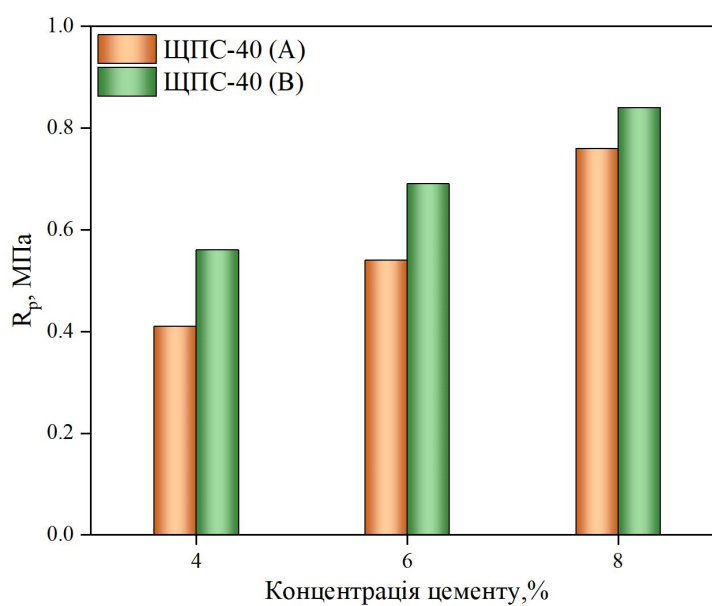


(б)

Рис. 4.8 - Залежність показників границі міцності за стиску матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів (a) і ЩПС-40 із гранітів (б) від вмісту цементу



(a)



(б)

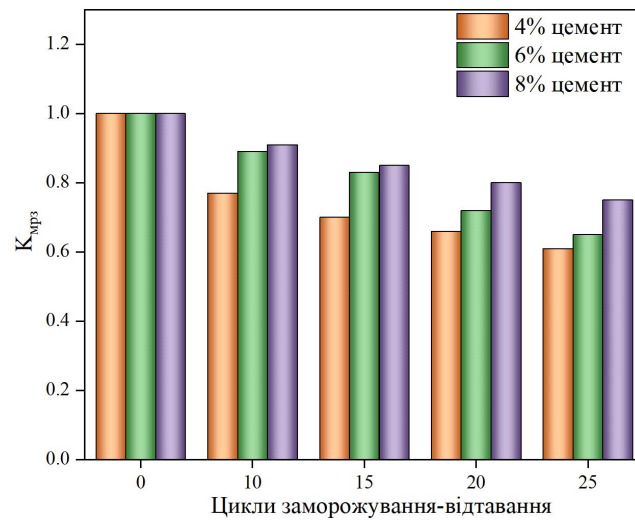
Рис. 4.9 - Залежність показників границі міцності за розколу по твірній матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів (а) і ЩПС-40 із гранітів (б) від вмісту цементу

З наведених залежностей видно, що значення R_c матеріалів із зміцнених цементом ЩПС-40 (А), як із залізистих кварцитів, так і з гранітів, дещо вищі ніж у матеріалу з ЩПС-40 (В). Для цього складу R_c за абсолютною величиною

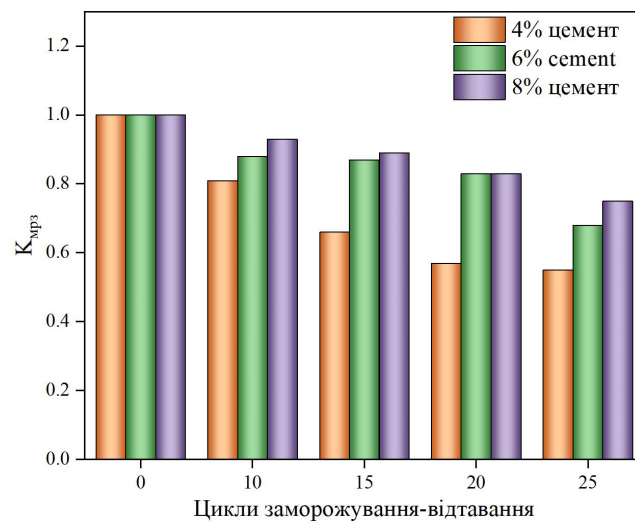
вище для матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів, порівняно з гранітом. При цьому значення R_p вище у матеріалів з ЩПС-40 (В), порівняно з ЩПС-40 (А). За абсолютною величиною R_p вище для ЩПС із граніта. Очевидно, що більші значення R_p матеріалу з ЩПС-40 (В) (вміст крупного заповнювача 50 %), порівняно з ЩПС-40 (А) (вміст крупного заповнювача 80 %), викликані їхніми структурними відмінностями. Матеріалу з ЩПС-40 (А) властива «каркасна» структура. В цій структурі зернами щебеню сформований просторовий каркас, порожнечи якого заповнені піщано-цементним розчином. Каркасна структура матеріалу забезпечує йому високий опір стискаючим і зсуваючим напруженням завдяки високому коефіцієнту внутрішнього тертя. Матеріалу з ЩПС-40 (В) властива «базальна» структура. В такій структурі зерен щебеню недостатньо щоб сформувати просторовий каркас, тому вони розсунуті одне від одного і між ними знаходиться прошарок із піщано-цементного розчину. Піщано-цементний розчин в такій структурі виконує роль цементуючої матриці. Міцність за розколу по твірній забезпечується першочергово силами внутрішнього зчеплення у цементуючій матриці і міцністю перехідної зони на границі поділу з поверхнею крупного заповнювача, і меншою мірою залежить від наявності у структурі просторового каркасу із крупного заповнювача.

Результати порівняльних досліджень морозостійкості матеріалів з ЩПС різного генезису приведені на рис. 4.10. Як критерій морозостійкості використовували коефіцієнт морозостійкості ($K_{мрз}$). $K_{мрз}$ визначали як відношення границі міцності за стиску після впливу на зразки заданої кількості циклів заморожування-відтавання до границі міцності за стиску контрольних зразків, які не піддавали заморожуванню-відтаванню.

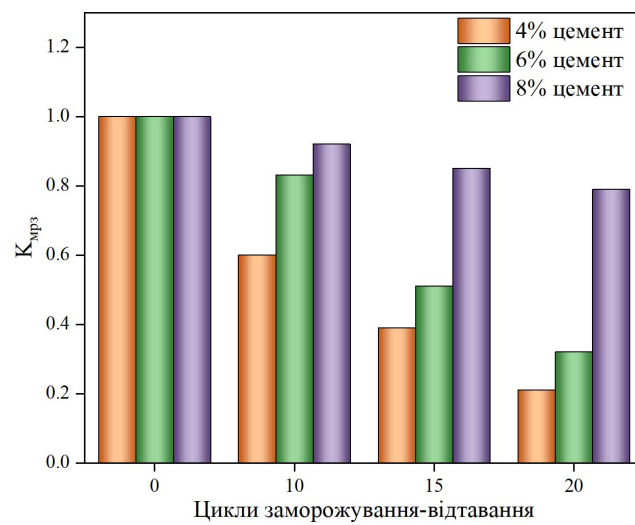
З наведених на рис. 4.10 залежностей видно, що $K_{мрз}$ матеріалів зі зміцнених цементом ЩПС-40 постійно зменшується зі збільшенням кількості циклів заморожування-відтавання. Зі збільшенням вмісту цементу спостерігається зростання $K_{мрз}$ для всіх досліджуваних матеріалів різного гранулометричного складу і генезису.



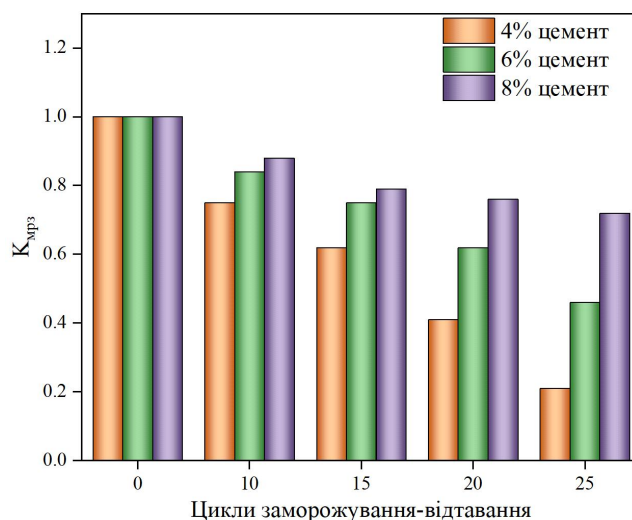
(a)



(б)



(B)



(Г)

Рис. 4.10 - Залежність коефіцієнта морозостійкості від кількості циклів заморожування-відтавання: (а) матеріал з ЩПС-40 (А) із залізистих кварцитів; (б) ЩПС-40 (А) із гранітів; (в) ЩПС-40 (В)) із залізистих кварцитів; (г) ЩПС-40 (В) із гранітів

Також простежується дещо більш інтенсивне зниження $K_{\text{мрз}}$ у матеріалів із залізистих кварцитів, ніж із гранітів. Менші значення $K_{\text{мрз}}$ властиві матеріалам із ЩПС-40 (В), ніж із ЩПС-40 (А). Інтенсивність зниження $K_{\text{мрз}}$ зменшується за збільшення вмісту цементу у складі ЩПС.

4.4 Дослідження впливу добавок катіонного латексу на процеси структуроутворення та властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом

Для проведення досліджень впливу добавок досліджуваних катіонних латексів на процеси структуроутворення і міцнісні характеристики зміцнених цементом матеріалів була обрана щебенево-піщана суміш із залізистих кварцитів марки ЩПС-40 за гранулометриєю мінеральної частини. Очевидно, що використання органічного складника (латекс) у матеріалі зміцненому в'язучим мінерального (цемент) походження може призвести до формування

більш складної структури, порівняно з матеріалом зміцненим тільки цементом.

Для дослідження впливу добавок катіонних латексів на можливе утворення нових структурних зв'язків у матеріалах із зміцнених цементом ЩПС із залізистих кварцитів був використаний метод інфрачервоної спектроскопії. На рис. 4.11 наведені інфрачервоні спектри матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу від маси мінеральної частини, а також метеріалів одночасно зміцнених 4 % цементу та катіонним латексом «Butonal NS 198» і «Butonal 5126» з вмістом останніх у кількості 3 %, 5 % і 10 % від маси води. Порівняльний аналіз наведених на рис. 4.11 інфрачервоних спектрів досліджуваних матеріалів після 28 діб їхнього твердіння показує, що на спектрах відсутні нові характеристичні смуги, притаманні для випадків утворення хімічних зв'язків в структурі матеріалу. Це свідчить про те, що модифікація катіонними латексами серії «Butonal» структури матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом є фізичним процесом. При цьому не протікають хімічні реакції з утворенням нових речовин.

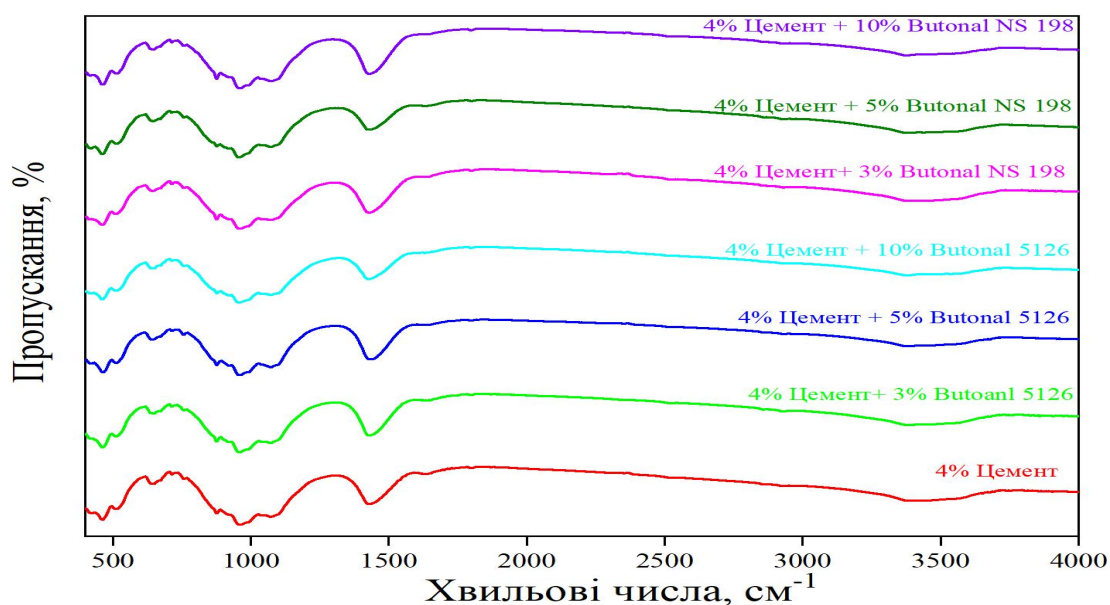
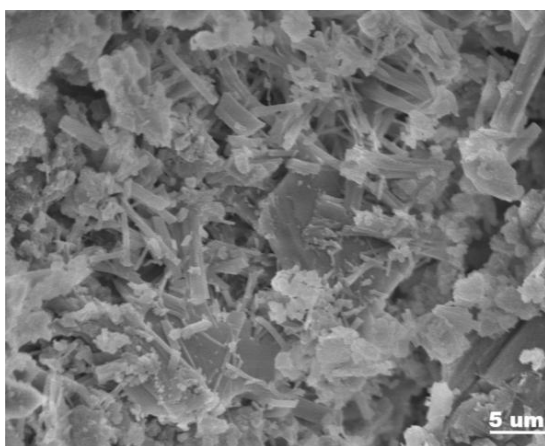


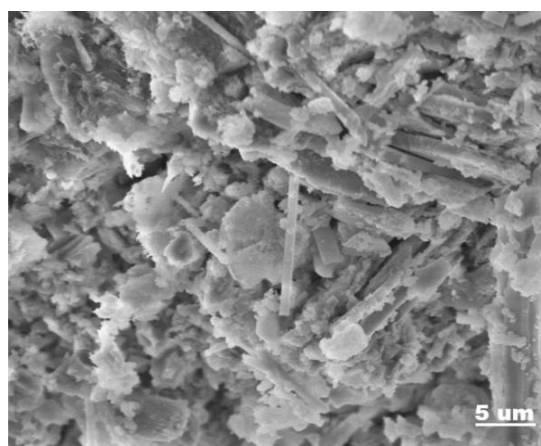
Рис. 4.11 – Інфрачервоні спектри матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених одночасно цементом і катіонними латексами серії «Butonal»

Дослідження структури матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених одночасно цементом і катіонним латексом «Butonal NS 198» було проведено також за допомогою електронної скануючої мікроскопії. Електронні знімки матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу за вмісту латексу «Butonal NS 198» у кількості 0 %, 3 %, 5 % і 10 % після 28 діб твердіння представлені на рис. 4.12.

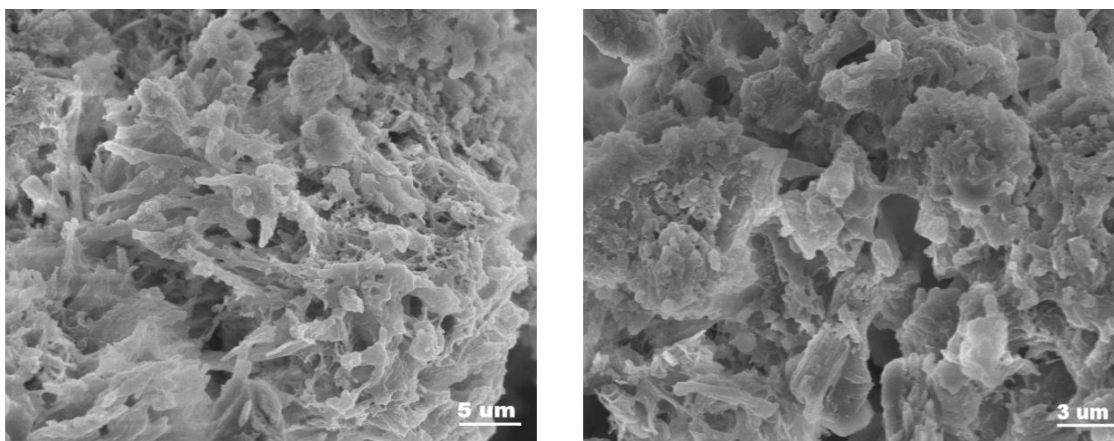
Аналіз електронних знімків вказує на те, що матеріалу зміцненому одночасно цементом і латексом «Butonal NS 198» властива більш щільна структура (рис. 4.12 (б)), порівняно з матеріалом зміцненим тільки цементом (рис. 4.12 (а)). У ньому продукти гідратації цементу ущільнені присутнім полімером. За вмісту латексу в кількості 5 % продукти гідратації цементу і полімер утворюють дві безперервні просторові структури, що пронизують одна одну. При цьому в просторовій структурі в продуктах гідратації цементу формуються більш дрібні кристалогідрати (рис. 4.12 (в)), що сприяє формуванню меншої кількості дефектів у структурі матеріалу. Така структура забезпечує більшу міцність і водночас деформативність, порівняно з матеріалом без добавок латексу.



(a)



(б)



(в)

(г)

Рис. 4.12 – Електронно-мікроскопічні знімки сколів матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу за вмісту латексу «Butonal NS 198» у кількості 0 % (а), 3 % (б), 5 % (в) і 10 % (г)

Результати експериментальних досліджень показників границі міцності за стиску матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу за вмісту катіонних латексів «Butonal NS 198» і «Butonal 5126» у кількості 3 %, 5 %, 10 % і 15 % наведені на рис. 4.13 і 4.14.

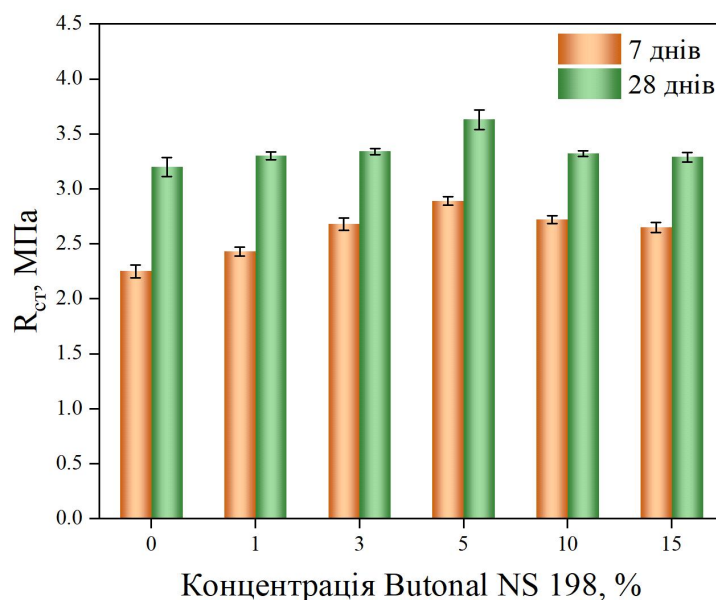


Рис. 4.13 – Залежність границі міцності за стиску від концентрації водного катіонного латексу «Butonal NS 198»

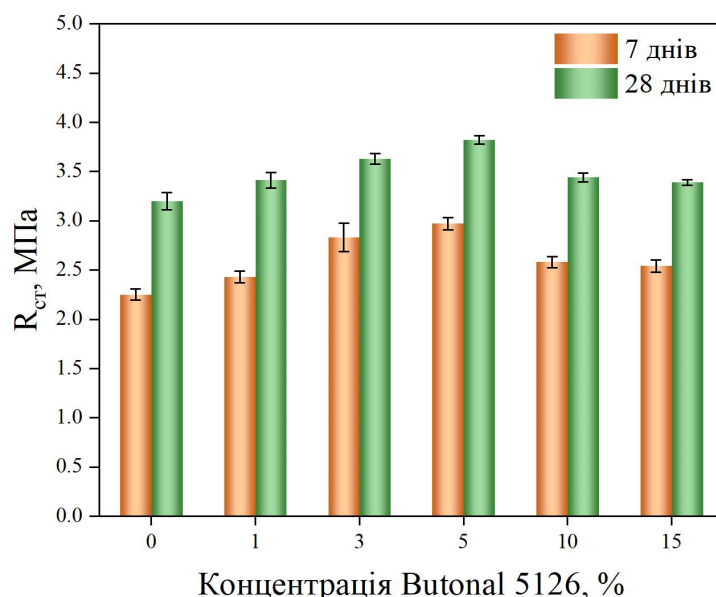


Рис. 4.14 – Залежність границі міцності за стиску від концентрації водного катіонного латексу «Butonal 5126»

Аналіз наведених результатів досліджень показує, що за додавання катіонного латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126» у склад ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу спостерігається зростання показників границі міцності за стиску.

Наведені на рис. 4.13 і 4.14 залежності показують, що зі збільшенням концентрації латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» до 5 % у складі ЩПС-40 значення його міцності за стиску дещо зростають, а за більшої концентрації латексу дещо знижуються, проте залишаються більшими, порівняно з контрольними зразками із ЩПС-40 без добавки латексу. Так, величина границі міцності за стиску зразків із ЩПС-40 зміцнених цементом з добавкою катіонного латексу «Butonal NS 198» у кількості 1, 3, 5, 10 та 15 % від маси води, збільшується, відповідно, на 8; 19,1; 28,4; 20,9 та 17,8 % (у віці 7 діб) та, відповідно, на 3,1; 4,4; 13,4; 3,8 та 2,8 % (у віці 28 діб), порівняно з контрольними зразками із ЩПС-40 без досліджуваної добавки. Показники границі міцності за стиску зразків із ЩПС-40 зміцнених цементом з добавкою катіонного латексу «Butonal 5126» у кількості 1, 3, 5, 10 та 15 % від маси води, збільшується, відповідно, на 8,2; 25,8; 32; 16,7 та 12,9 % (у віці 7 діб) та,

відповідно, на 6,6; 13,4; 19,4; 7,5 і 5,9 % (у віці 28 діб), порівняно з контрольними зразками із ЩПС-40 без досліджуваної добавки. Максимальний приріст значення границі міцності за стиску спостерігається у разі додавання до складу ЩПС-40 5 % досліджуваних латексів від маси води.

Наведені на рис. 4.15 і 4.16 залежності показують, що величина границі міцності за розколу по твірній зразків із ЩПС-40 з аналогічними концентраціями добавки катіонного латексу «Butonal NS 198» збільшується, відповідно, на 13,9; 19,4; 27,8; 22,2 і 16,7 % (у віці 7 діб) та на 8,3; 12,5; 20,8; 10,4 і 6,3 % (у віці 28 діб), порівняно з контрольними зразками із ЩПС-40 без добавки латексу. Значення границі міцності за розколу по твірній зразків із ЩПС-40 з тією ж концентрацією добавки катіонного латексу «Butonal 5126» збільшується, відповідно, на 16,7; 22,2; 27,8; 5,66 і 11,1% (у віці 7 діб) та на 4,2; 6,3; 10,4; 2,1 і 4,2 % (у віці 28 діб), порівняно з контрольними зразками із ЩПС-40 без добавки латексу.

Результати виконаних досліджень свідчать про те, що введення водного латексу до складу СЩ-40 позитивно позначається на зростанні показників міцності, як за стиску, так і за розколу по твірній.

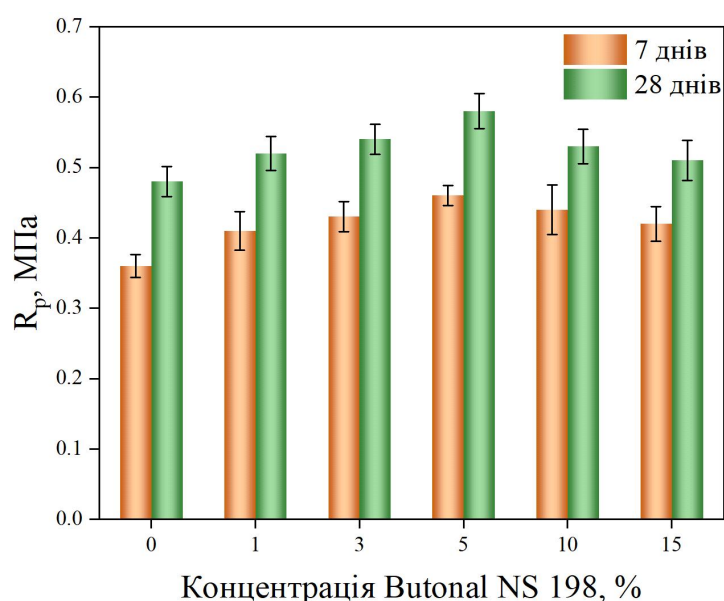


Рис. 4.15 – Залежність границі міцності за розколу по твірній від концентрації водного катіонного латексу «Butonal NS198»

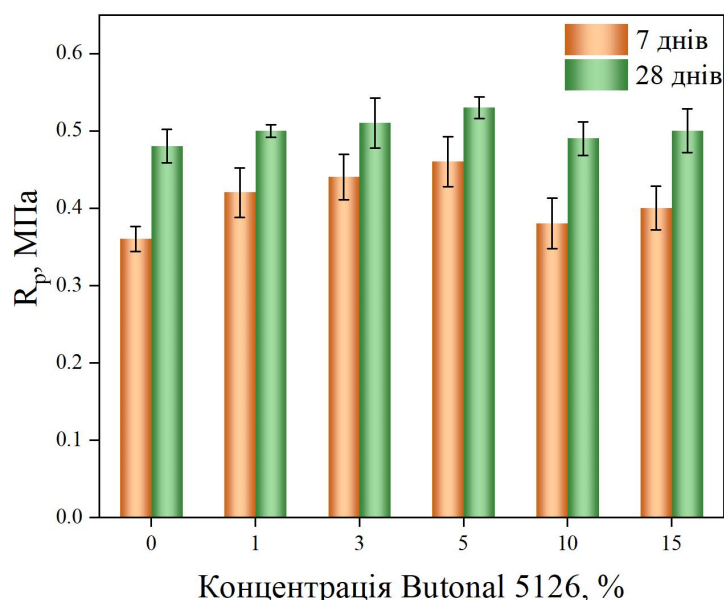


Рис. 4.16 – Залежність границі міцності за розколу по твірній від концентрації водного катіонного латексу «Butonal 5126»

Результати дослідження показників границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності наведені на рис. 4.17 і 4.18. З наведених на рис. 4.17 залежностей видно, що додавання катіонних латексів до складу ЩПС-40 зміцнених цементом призводить до незначного зростання значень границі міцності за розтягу під час вигину, порівняно з матеріалом без добавок латексів. Через 28 діб набору міцності значення границі міцності за розтягу під час вигину матеріалу з вмістом 3, 5 і 10 % катіонного латексу «Butonal NS 198» збільшується на 9,8; 14,1 і 8,7 % відповідно, та на 7,6; 15,2 і 5,4 % з аналогічними концентраціями катіонного латексу «Butonal 5126», порівняно з матеріалом без латексу. Найбільше зростання значення границі міцності за розтягу під час вигину властиве матеріалам з концентрацією 5 % латексів, яка відповідає критичній концентрації міцелоутворення у воді.

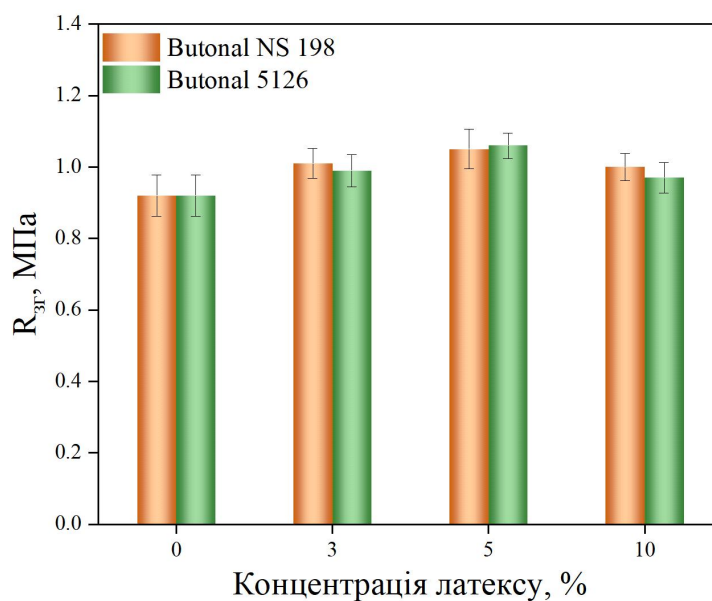


Рис. 4.17 – Залежність границі міцності за розтягу під час вигину від концентрації водного катіонного латексу

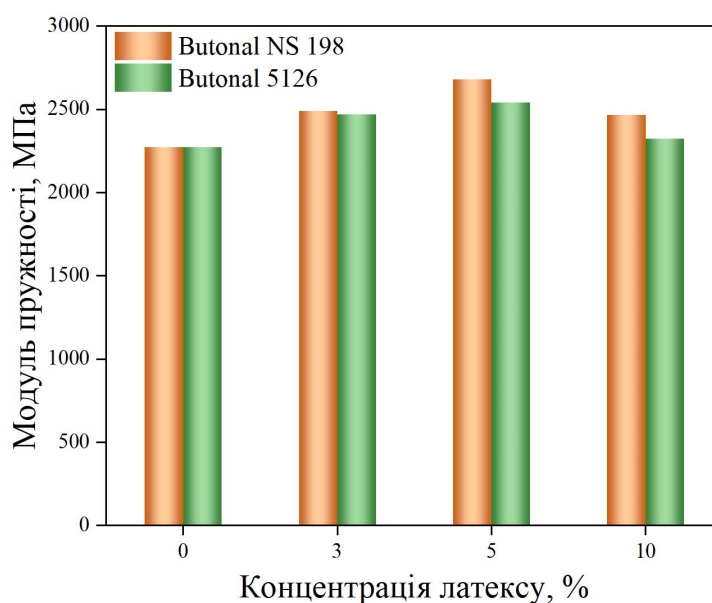


Рис. 4.18 – Залежність модуля пружності від концентрації водного катіонного латексу

Із залежностей величини модуля пружності від концентрації катіонного латексу (рис. 4.18) видно, що вказана розрахункова характеристика теж помірно зростає зі збільшенням вмісту досліджуваних латексів у складі ЩПС-40 із залістистих кварцитів, зміцнених 4 % цементу. З рис. 4.18 видно, що додавання до складу ЩПС-40 зміцнених цементом катіонного латексу «Butonal NS 198» у кількості 3, 5 і 10 % від маси води викликає збільшення

значень модуля пружності в 1,10; 1,18 і 1,08 рази відповідно, та в 1,09; 1,12 і 1,02 рази з аналогічними концентраціями катіонного латексу «Butonal 5126», порівняно з матеріалом без латексу. Найбільше значення модуля пружності властиве матеріалам з концентрацією 5 % латексів, що теж підтверджується результатами визначення границі міцності за розтягу під час вигину.

За результатами дослідження границі міцності за стиску і міцності за розколу по твірній для матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з латексом, було встановлено кореляційну залежність між ними, як показано на рис. 4.19.

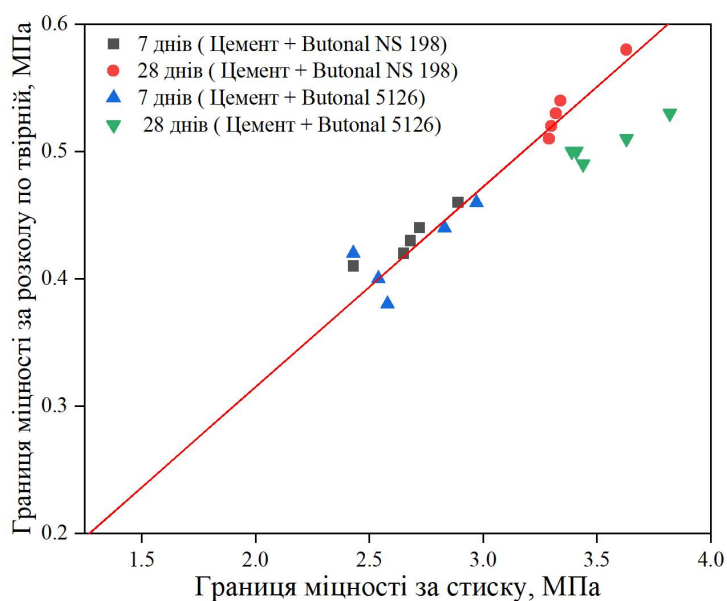


Рис. 4.19 – Кореляційна залежність між границею міцності за стиску та границею міцності за розколу по твірній ЩПС-40 із залізистих кварцитів

Із наведеної на рис.4.19 залежності видно, що між показниками границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній існує лінійна залежність.

4.5 Результати дослідження впливу добавок базальтової фібри на міцнісні характеристики ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом

Використання для будівництва шарів нежорстких дорожніх одягів ЩПС зміцнених мінеральними в'язучими збільшує стійкість усієї конструкції до накопичення залишкових деформацій і, відповідно, її довговічність. Однак матеріал із ЩПС зміцнених цементом в шарах дорожнього одягу характеризується недостатньо високою міцністю за розтягу під час вигину, порівняно з цементобетоном. Одним із технологічних способів підвищення міцності за розтягу під час вигину шарів дорожніх одягів із ЩПС зміцнених цементом, за аналогією з дисперсно-армованими цементобетонами [149,150], є введення до їхнього складу армуючих добавок, до яких можна віднести базальтову фібру.

Даний розділ дисертації присвячений дослідженню впливу довжини та концентрації базальтових волокон на характеристики матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом.

Дослідження впливу базальтових волокон різної довжини на показники міцності виконували додаванням різної концентрації фібри до дрібного заповнювача (фракція 0 – 5 мм) із залізистого кварциту зміцненого 4 % цементу. Результати досліджень значень границі міцності за стиску та за розколу по твірній після 7 діб твердіння зразків наведено на рис. 4.20 і 4.21.

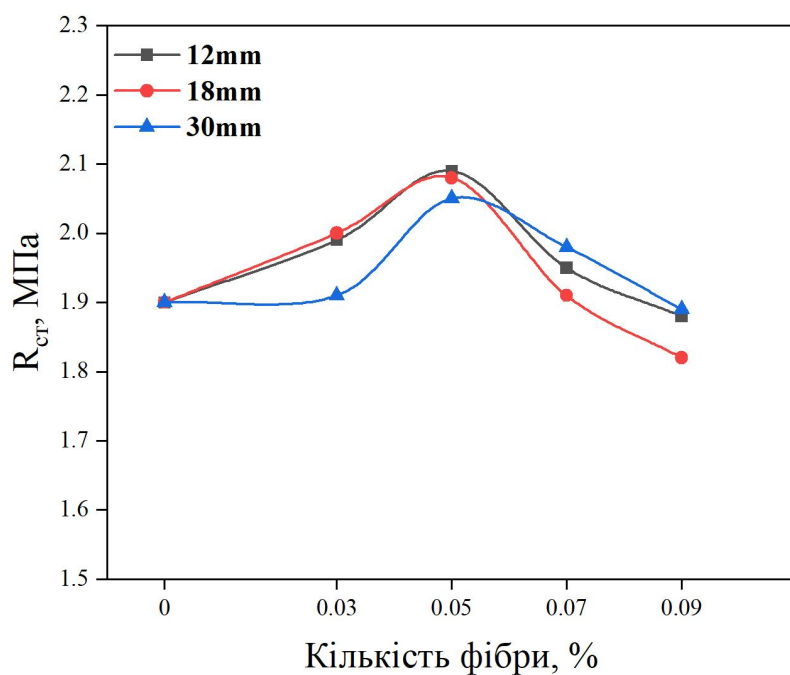


Рис. 4.20 – Залежність границі міцності за стиску від концентрації базальтової фібри різної довжини

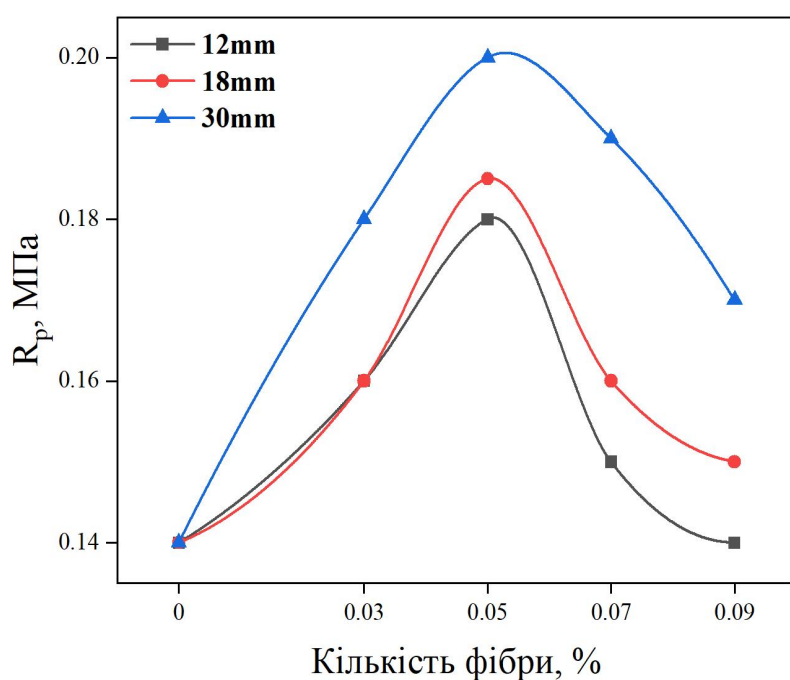


Рис. 4.21 – Залежність границі міцності за розколу по твірній від концентрації базальтової фібри різної довжини

З наведених на рис. 4.20 і 4.21 залежностей видно, що вони мають екстремальний характер. Максимальне значення границі міцності за стиску і

границі міцності за розколу по твірній властиве матеріалу з вмістом 0,05 % базальтової фібри у його складі. За даної концентрації фібри значення границі міцності за стиску зросло в 1,1 рази за довжини фібри 12 мм, в 1,09 рази за довжини 18 мм і в 1,08 рази за довжини 30 мм, порівняно з матеріалом без базальтової фібри. Проте значення границі міцності за розколу по твірній зросло в 1,29 рази за довжини волокон 12 мм, в 1,32 рази за довжини 18 мм і в 1,43 рази за довжини 30 мм. Аналіз отриманих результатів дослідження свідчить про те, що міцність за розколу по твірній (не прямий розтяг) є більш чутливим критерієм щодо впливу довжини базальтових фібр, порівняно з границею міцності за стиску.

За результатами експериментальних досліджень виконано розрахунок показника дефектності структури (таблиця 4.6), як відношення границі міцності матеріалу за стиску до границі міцності за розколу по твірній $R_{ст}/R_p$ [141]. Показник дефектності структури є важливим критерієм для розуміння механізму можливої пошкоджуваності матеріалу в шарі дорожнього одягу у процесі експлуатації. Величина показника дефектності структури свідчить про міцність структурних зв'язків та однорідність матеріалу. Чим сильніші структурні зв'язки, менше число мікродефектів у матеріалі і більша його однорідність, тим менший показник дефектності структури. Чим менші значення показника дефектності структури матеріалу, тим вища загальна довговічність цього матеріалу в шарах дорожнього одягу.

Аналіз наведених в таблиці 4.6 результатів дослідження вказує на те, що не залежно від довжини фібри, в досліджуваному діапазоні концентрацій найбільші значення показників міцності властиві матеріалам з вмістом базальтових фібр 0,05 % від маси мінерального матеріалу. За вказаної концентрації фібри матеріалам зміцненим 4 % цементу притаманні також найменші значення показника дефектності структури. З таблиці 4.6 також видно, що значення показника дефектності структури залежать від довжини базальтових фібр доданих до матеріалу. Так, значення показника дефектності структури зменшується на 14,4 % за довжини волокон 12 мм, на 17,2 % за

довжини 18 мм і на 24,5 % за довжини 30 мм за однакової їхньої концентрації (0,05 % від маси мінеральної частини), порівняно з матеріалом без базальтових фібр.

Таблиця 4.6 - Показники міцності та дефектності структури матеріалів з різним вмістом та довжиною фібри

Кількість фібри, %	Характеристики на 7 добу набору міцності								
	12 мм			18 мм			30 мм		
	R _{ст}	R _p	R _{ст} /R _p	R _{ст}	R _p	R _{ст} /R _p	R _{ст}	R _p	R _{ст} /R _p
0	1,9	0,14	13,57	1,9	0,14	13,57	1,9	0,14	13,57
0,03	1,99	0,16	12,44	2,00	0,16	12,5	1,91	0,18	10,61
0,05	2,09	0,18	11,61	2,08	0,19	11,24	2,05	0,20	10,25
0,07	1,95	0,15	13,00	1,91	0,16	11,94	1,98	0,19	10,42
0,09	1,88	0,14	13,42	1,82	0,15	12,13	1,89	0,17	11,12

Подальші дослідження впливу довжини базальтових фібр на властивості матеріалів з ЦПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом виконували з використанням щебенево-піщаної суміші з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм. Прийнята концентрація базальтової фібри становила 0,05 % від маси мінеральної частини суміші. Результати дослідження впливу довжини базальтової фібри на показники границі міцності за стиску та міцності за розколу по твірній матеріалів з ЦПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу наведено на рис. 4.22 і 4.23. Результати випробувань були отримані після 28 діб набору міцності.

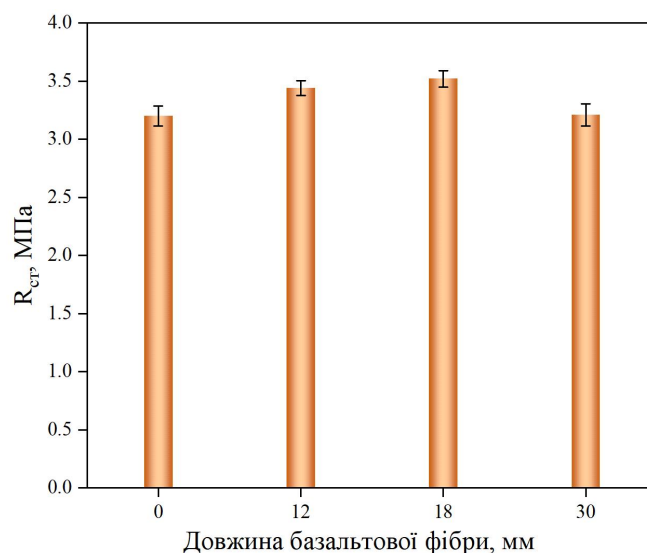


Рис. 4.22 – Залежність границі міцності за стиску від довжини базальтової фібри

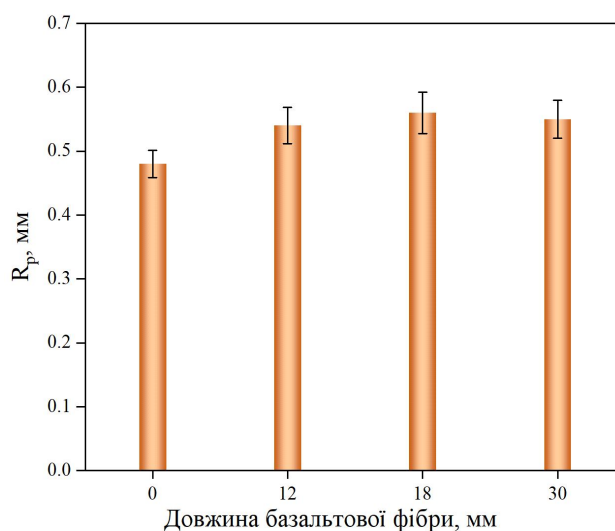


Рис. 4.23 – Залежність границі міцності за розколу по твірній від довжини базальтової фібри

З рис. 4.22 видно, що довжина базальтових фібр доволі помірно впливає на значення границі міцності за стиску матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом. Так, за вмісту в ЩПС-40 4 % цементу і 0,05 % базальтової фібри значення границі міцності за стиску матеріалу зростає на 7,5 % за довжини фібри 12 мм, на 10 % за довжини 18 мм і на 0,3 % за довжини 30 мм, порівняно з матеріалом без базальтових фібр. Аналіз даних наведених на рис. 4.23 вказує на більш інтенсивне зростання значень границі міцності за

розколу по твірній за додавання армуючих фібр різної довжини до матеріалу з ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцнених цементом, порівняно із показниками границі міцності за стиску. Видно, що за вмісту 0,05 % базальтової фібри в ЩПС-40 зміцненій цементом значення границі міцності за розколу по твірній зростає на 12,5 % за довжини фібри 12 мм, на 20,8 % за довжини 18 мм і на 14,6 % за довжини 30 мм, порівняно з матеріалом без базальтових фібр. Додавання 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм забезпечує найбільше зростання границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній матеріалу з ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцнених 4 % цементу. Результати досліджень показують, що границя міцності за розколу по твірній є більш чутливим критерієм до присутності фібри у складі зміцнених цементом залістистих кварцитів, ніж границя міцності за стиску. Очевидно, що базальтова фібра у складі ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцнених цементом, за аналогією з композитними матеріалами та фіброцементобетонами [149], виконує функцію мікроарматури яка сприймає напруження, що виникають під час розтягу матеріалу в шарі дорожнього одягу.

Результати дослідження впливу довжини базальтової фібри на показники границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності, як розрахункових характеристик матеріалів з ЩПС-40 із залістистих кварцитів зміцнених 4 % цементу наведено на рис. 4.24 і 4.25.

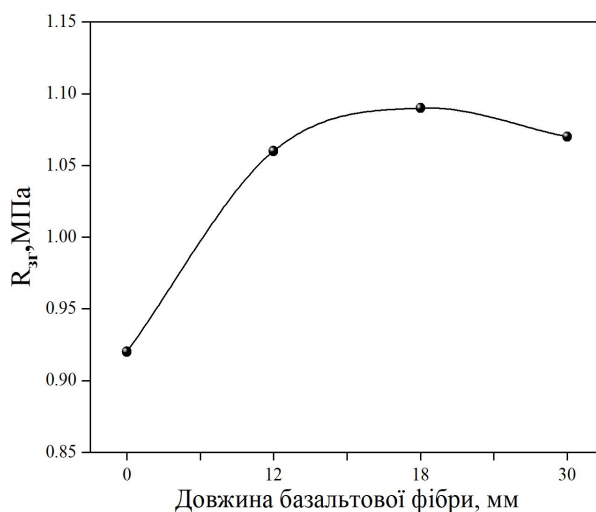


Рис. 4.24 – Залежність границі міцності за розтягу під час вигину від довжини базальтової фібри

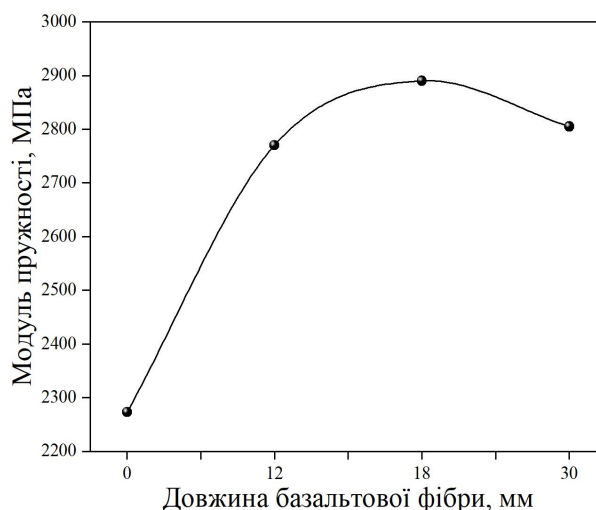


Рис. 4.25 – Залежність модуля пружності від довжини базальтової фібри

З рис. 4.24 і рис. 4.25 видно, що залежності границі міцності за розтягу під час вигину і модуля пружності від довжини базальтової фібри мають екстремум. Аналіз залежності границі міцності за розтягу під час вигину від довжини фібри вказує на те, що додавання в матеріал 0,05 % базальтових фібр довжиною 12 мм, 18 мм і 30 мм супроводжується зростанням цього показника міцності відповідно на 15,2 %, 18,5 % і 16,3 %, порівняно з матеріалом без фібри. За аналогічних умов значення модуля пружності матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом зростає дещо більше - на 21,8 %, 27,1 % і 23,4 %. З отриманих результатів експериментальних випробувань видно, що екстремальні значення границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності властиві матеріалу, який містить базальтові фібри завдовжки 18 мм. Зменшення значень границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності матеріалу з довжиною базальтових фібр 30 мм можливо пов'язане з погіршенням рівномірного розподілення фібри у об'ємі щебенево-піщаної суміші зі зростанням її довжини.

Очевидно, що властивості мікроармованого матеріалу залежать від особливостей розташування фіброволокон в його об'ємі та міцності зчеплення фібр з цементним каменем. Особливості мікроструктури матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з базальтовою фіброю було досліджено методом скануючої електронної мікроскопії. Репрезентативні

зображення поверхні зразків після їхнього руйнування наведені на рис. 4.26.

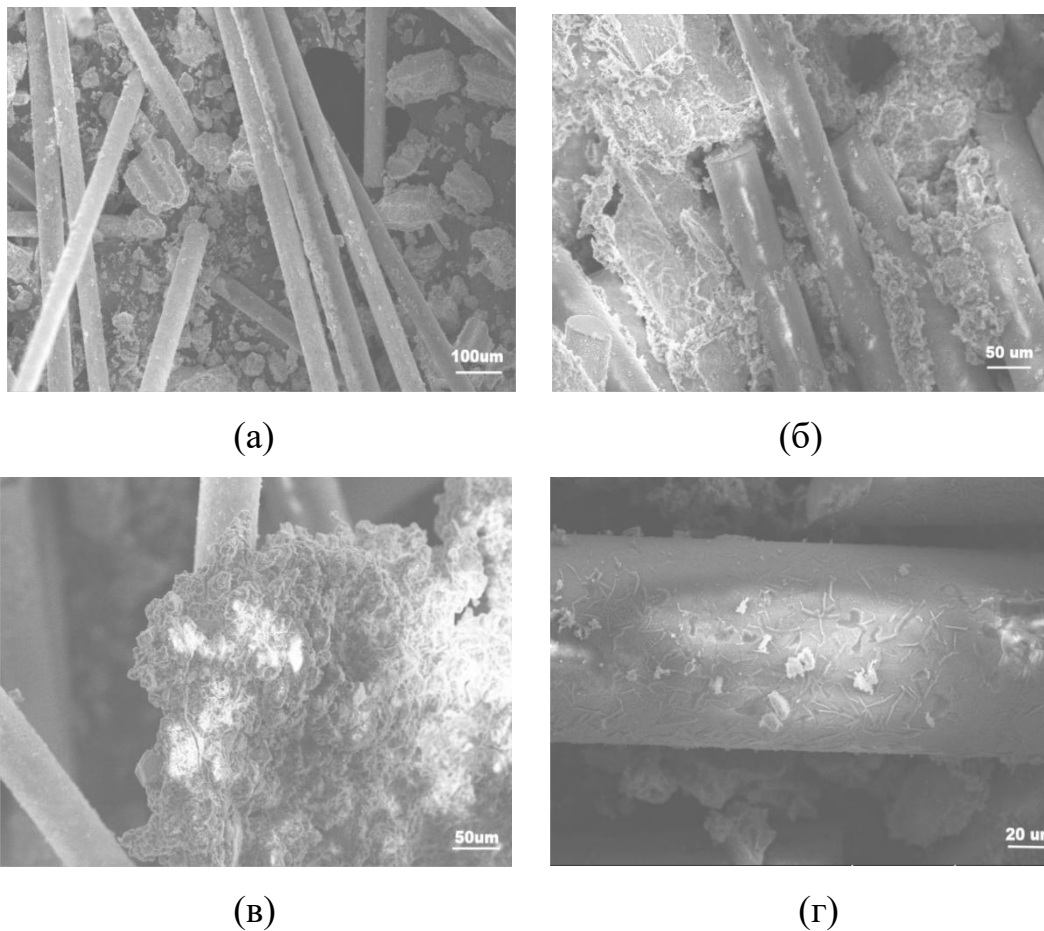


Рис. 4.26 – Зображення базальтових мікрОВОЛОКОН в поперечному перерізі матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом

Аналіз зображень на рис. 4.26 (а) свідчить про довільне розташування базальтових фібр у різних напрямках та створення ними просторової структурної сітки в об'ємі матеріалу. З рис. 4.26 (б,в) видно, що базальтові фібри мають щільний контакт з цементним каменем матриці. На мікроскопічному рівні (рис. 4.26 (г)) поверхня базального фібри шорстка і неоднорідна, що збільшує площу контакту з цементним каменем і підвищує зчеплення між ними.

4.6 Дослідження комплексного впливу добавок базальтової фібри і катіонного латексу на показники міцності матеріалу з ЩПС зміцненого цементом

Результати дослідження впливу різної концентрації катіонного латексу Butonal NS 198 і 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм на показники границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу представлені на рис. 4.27.

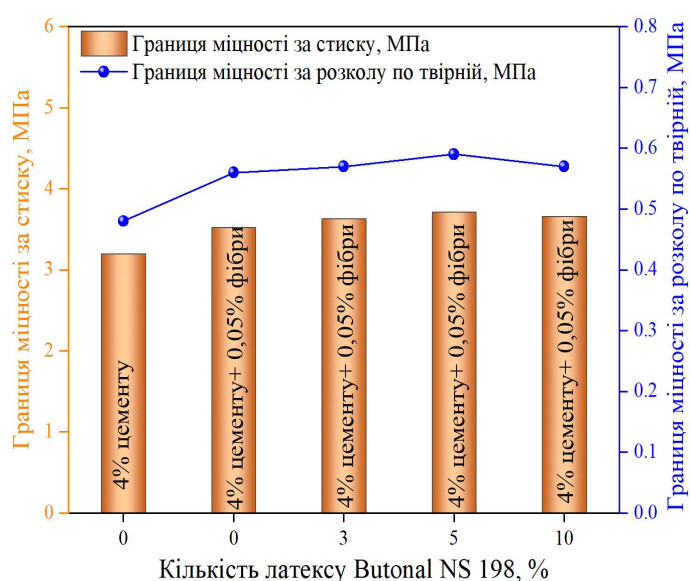


Рис. 4.27 – Залежність границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній від концентрації катіонного латексу

Із наведених залежностей видно, що додавання 0,05 % базальтової фібри до складу ЩПС-40 зміцнених 4 % цементу призводить до збільшення значень границі міцності за стиску (на 9 %) і границі міцності за розколу по твірній (на 14 %). За одночасного додавання 0,05 % базальтової фібри і катіонного латексу до складу СЩ-40 зміцнених 4 % цементу спостерігається подальше помірне зростання значень границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній, порівняно з матеріалом без катіонного латексу. Матеріалу зміцненому 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри і 5 % катіонного латексу Butonal NS 198 властиві найбільші значення показників міцності.

Залежності розрахованих за результатами експериментальних досліджень значень границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній та показника дефектності структури (R_{ct}/R_p) матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри від кількості введеного до його складу катіонного латексу «Butonal NS 198» наведена на рис. 4.28.

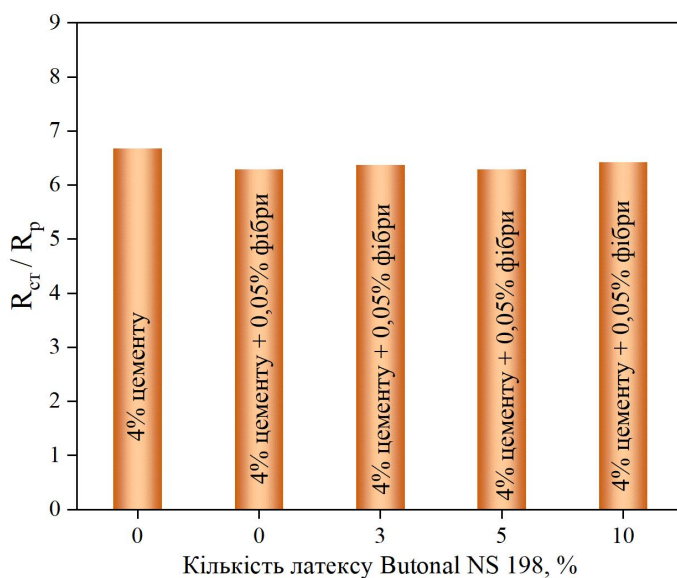


Рис. 4.28 – Залежність показника дефектності структури від концентрації водного катіонного латексу

Отримані результати досліджень вказують на те, що додавання базальтової фібри і катіонного латексу, як індивідуальних добавок до складу ЩПС-40 зміцненої цементом, а також комплексу цих добавок, викликає зменшення показника дефектності структури матеріалу на 9 – 10 %, порівняно з матеріалом без добавок. Збільшення концентрації катіонного латексу від 3 % до 10 % в ЩПС-40 зміцненої 4 % цементу з 0,05 % базальтової фібри практично не впливає на значення показника дефектності структури матеріалу.

На рис. 4.29 і рис. 4.30 показано вплив комплексу добавок (базальтова фібра і катіонний латекс) до складу ЩПС-40 із залізистих кварцитів з 4 % цементу на розрахункові характеристики (міцність за розтягу під час вигину і модуль пружності). Як видно з наведених залежностей, додавання 0,05 % базальтових волокон завдовжки 18 мм у склад ЩПС-40 із залізистих кварцитів

з 4 % цементу, викликає збільшення границі міцності за розтягу під час вигину на 18,5 %, а модуля пружності на 27 %. Додавання катіонного латексу до складу ЩПС-40 із залізистих кварцитів з 4 % цементу і 0,05 % базальтових волокон викликає максимальне зростання границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності за його вмісту 5 % від маси води. Зростання вказаних показників відбувається на 26,1 % та 36,7 % відповідно, порівняно з матеріалом без латексу.

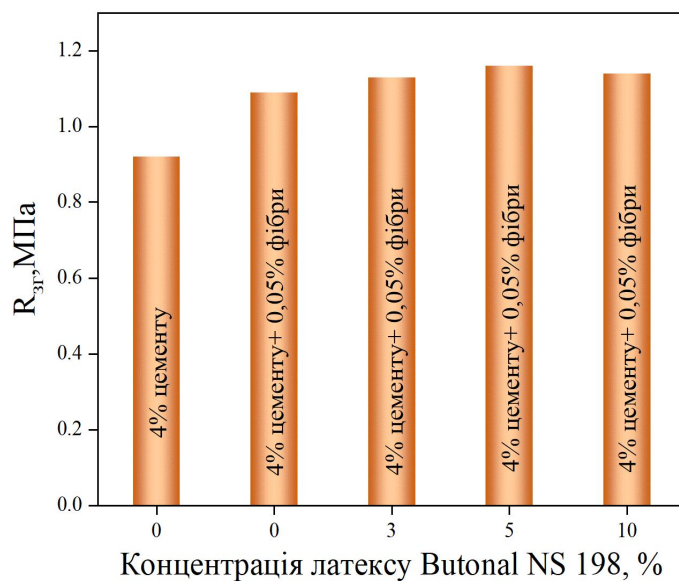


Рис. 4.29 – Залежність границі міцності за розтягу під час вигину від концентрації катіонного латексу у воді

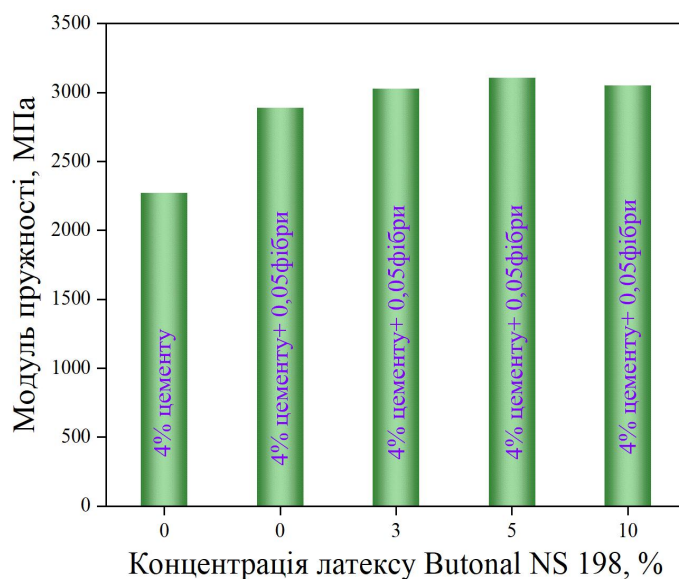


Рис. 4.30 – Залежність модуля пружності від концентрації катіонного латексу у воді

4.7 Дослідження впливу модифікуючих добавок на низькотемпературні властивості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом

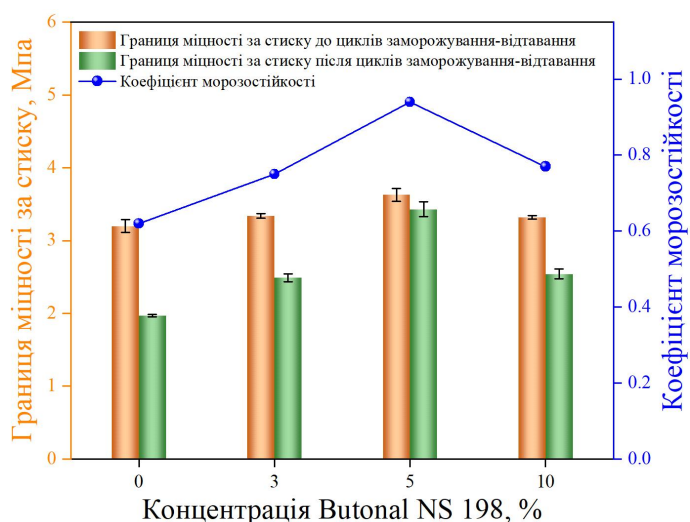
Багаторазове заморожування-відтавання є одним з основних агресивних факторів впливу зовнішнього середовища на деградацію монолітних матеріалів в шарах дорожнього одягу автомобільних доріг. Як критерії низькотемпературної поведінки матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом і добавками латексу та фібри після певної кількості циклів заморожування-відтавання були прийняті границя міцності за стиску, границя міцності за розколу по твірній, коефіцієнт морозостійкості, показник дефектності структури та втрата маси зразками.

Згідно ДСТУ 9177-3 морозостійкість матеріалів з ЩПС зміцнених цементом оцінюють за показником границі міцності за стиску зразків, які пройшли певну кількість циклів заморожування-відтавання. У відповідності з цим, основні дані щодо морозостійкості матеріалів з ЩПС зміцнених цементом, накопичені за багато років досліджень, характеризують поведінку матеріалу тільки за одного виду напружено-деформованого стану. Однак в конструкціях дорожніх одягів матеріали в шарах дорожнього одягу сприймають не тільки напруження стиску, але й розтягу. Тому результати досліджень морозостійкості за критеріями міцності за розколу по твірній та показника дефектності структури можуть бути більш інформативними.

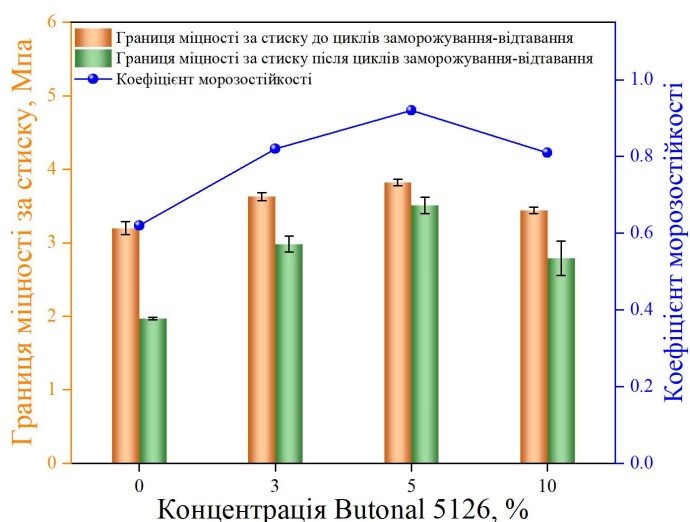
Додатково в роботі оцінювали ступінь опору тріщиноутворенню матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом і досліджуваними добавками. Тріщиностійкість встановлювали за результатами оцінки показників границі міцності за розколу по твірній, визначених за низьких температур. В якості критеріїв тріщиностійкості були прийняті максимальна структурна міцність і індекс температурної тріщиностійкості, які були оцінені по методиці, викладеній в розділі 3. Чим вища максимальна структурна міцність і індекс температурної тріщиностійкості, тим більша тріщиностійкість матеріалу у шарі дорожнього одягу.

4.7.1 Дослідження впливу добавок катіонного латесу на низькотемпературні властивості

Результати експериментальних досліджень впливу 10 циклів заморожування-відтавання водонасичених зразків матеріалу з ЦПС із залістистих кварцитів зміцнених 4 % цементу з різним вмістом катіонних латексів "Butonal NS 198" і "Butonal 5126" на величину границі міцності за стиску, границі міцності за розколу по твірній та коефіцієнта морозостійкості наведені на рис. 4.31 і рис. 4.32.

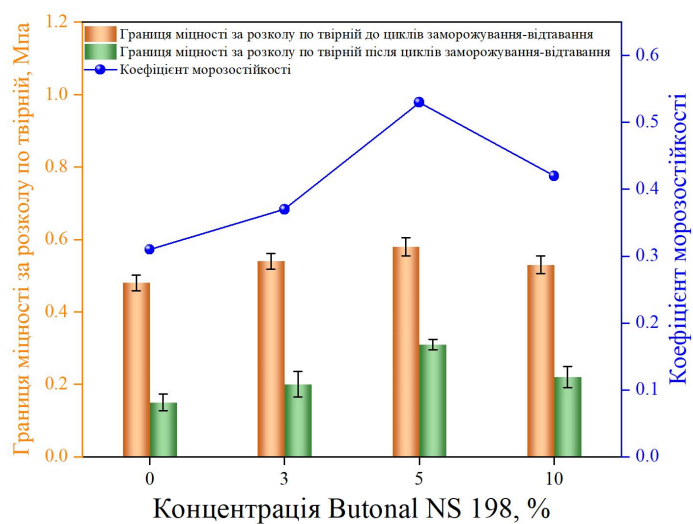


(а)

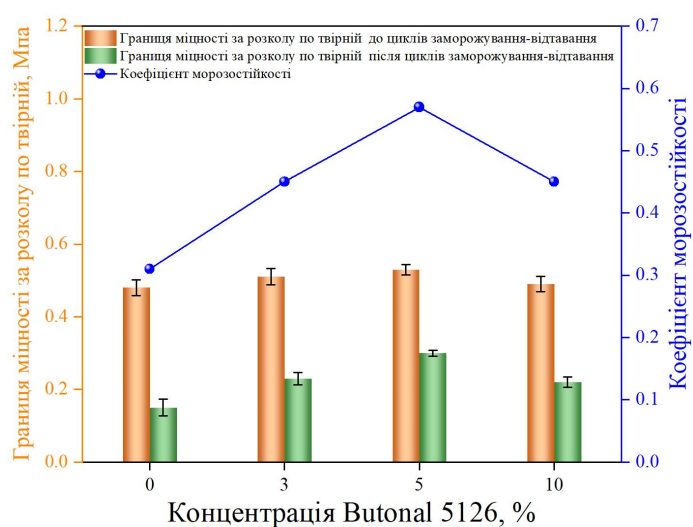


(б)

Рис. 4.31 – Залежність границі міцності за стиску і коефіцієнта морозостійкості від вмісту катіонного латексу "Butonal NS 198" (а) і "Butonal 5126" (б)



(a)



(б)

Рис. 4.32 – Залежність границі міцності за розколу по твірній і коефіцієнта морозостійкості від вмісту катіонного латексу "Butonal NS 198" (a) і "Butonal 5126" (б)

З наведених на рис. 4.31 і 4.32 залежностей видно, що після впливу циклів заморожування-відтавання абсолютні значення границі міцності за стиску і міцності за розколу по твірній зразків матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом і катіонними латексами закономірно зменшуються завдяки деградації структури матеріалу. Найменші значення показників міцності властиві матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом без

додавання латексу. Видно, що залежності коефіцієнтів морозостійкості від концентрації латексів серії «Butonal» мають екстремальний характер. Максимальні значення коефіцієнтів морозостійкості характерні матеріалам, що вміщують 5 % латексу. За вмісту 5 % латексу «Butonal NS 198» у складі матеріалу з ЩПС зміцненого цементом, коефіцієнт морозостійкості, що розрахований за результатами вимірювання границі міцності за стиску, зріс на 32 %, порівняно з матеріалом без латексу. Для цього ж матеріалу коефіцієнт морозостійкості, що розрахований за результатами вимірювання границі міцності за розколу по твірній, зріс на 22 %, порівняно з матеріалом без латексу. У випадку додавання 5 % катіонного латексу «Butonal 5126», коефіцієнт морозостійкості, що розрахований за результатами вимірювання границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній, збільшився на 30 % та 26 % відповідно, що добре узгоджуються з теоретичними передпосилками. Це вказує на те, що швидкість деградації структури матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів укріплених цементом сповільнюється при додаванні катіонних латексів.

В процесі експериментальних досліджень також визначали втрату маси циліндричними зразками матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з різним вмістом латексу «Butonal NS 198» та «Butonal 5126» після впливу на них 10 циклів заморожування-відтавання (таблиця 4.7). Ступінь деградації поверхні зразків видно на їхніх фотографіях, що наведені у додатку А.

З таблиці 4.7 видно, що додавання латексу призводить до зменшення втрати маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання. Найбільшу стійкість до заморожування-відтавання за показником втрати маси проявляють матеріали з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом з концентрацією у їхньому складі 10 % латексу від маси води.

Таблиця 4.7 – Втрата маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання

Склад суміші	Втрата маси після 10 циклів заморожування- відтавання, г
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	8,67
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 3 %	4,83
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 5 %	4
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 10 %	3,5
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal 5126» – 3 %	5
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 5126» – 5 %	4,3
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal 5126» – 10 %	3,83

Результати дослідження впливу концентрації катіонних латексів на значення показників дефектності структури матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом після впливу на них 10 циклів заморожування-відтавання, показані в таблиці 4.8. Експериментальні дані показують, що значення показника дефектності структури досліджуваних матеріалів збільшується після впливу на них 10 циклів заморожування-відтавання. Аналіз наведених результатів дослідження показує, що мінімальні значення показника дефектності структури властиві матеріалу, що вміщує у своєму складі 5 % латексу. Це свідчить про те, що матеріал з 5 %

латексу є більш морозостійким, порівняно з іншими досліджуваними матеріалами.

Таблиця 4.8 – Показники дефектності структури матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з різним вмістом латексу

Склад суміші	Показник дефектності структури ($R_{ст}/R_p$) після	
	0 циклів заморожування- відтавання	10 циклів заморожування- відтавання
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	6,67	13,13
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 3 %	6,54	12,45
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 5 %	6,06	11,29
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal NS 198» – 10 %	6,26	16,33
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal 5126» – 3 %	7,4	12,96
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal 5126» – 5 %,	7,21	11,7
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, «Butonal 5126» – 10 %	7,81	14,27

Результати експериментальних досліджень впливу концентрації катіонних латексів на величину максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом наведені на рис. 4.33.

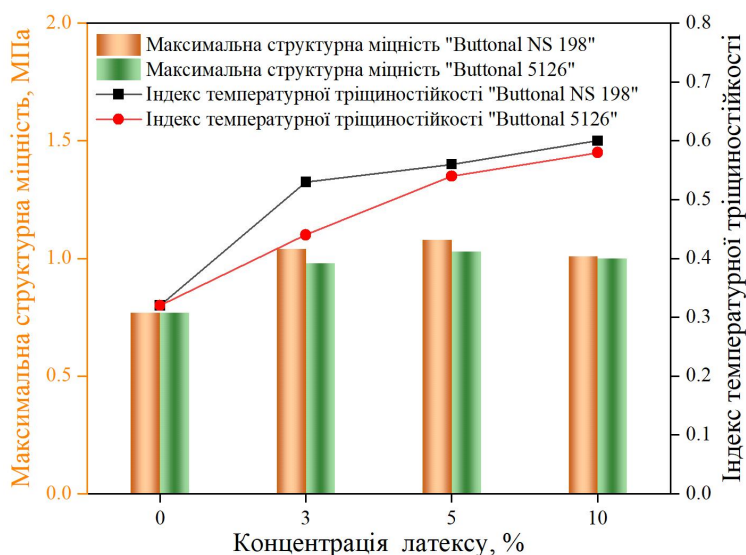


Рис. 4.33 – Залежність максимальної структурної міцності та індексу температурної тріщиностійкості від концентрації латексу

З наведених на рис. 4.33 залежностей видно, що найменша величина індексу температурної тріщиностійкості та максимальної структурної міцності властива матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом без латексу. За додавання добавок латексу величина максимальна структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості зростає, порівняно з матеріалом без латексу, що свідчить про їхній підвищений опір тріщиноутворенню. Видно, що отримані результати визначення тріщиностійкості та морозостійкості матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з латексом корелюють.

4.7.2 Дослідження впливу базальтової фібри на низькотемпературні властивості

Результати експериментальних досліджень морозостійкості матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу із додаванням 0,05 % базальтової фібри за критеріями границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній після 10 циклів заморожування-відтавання наведені на рис. 4.34 і рис. 4.35.

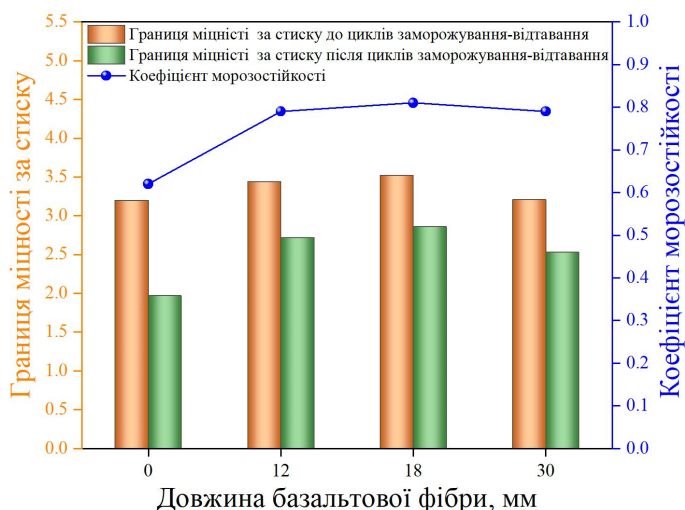


Рис.4.34 – Залежність границі міцності за стиску і коефіцієнта морозостійкості від довжини базальтової фібри

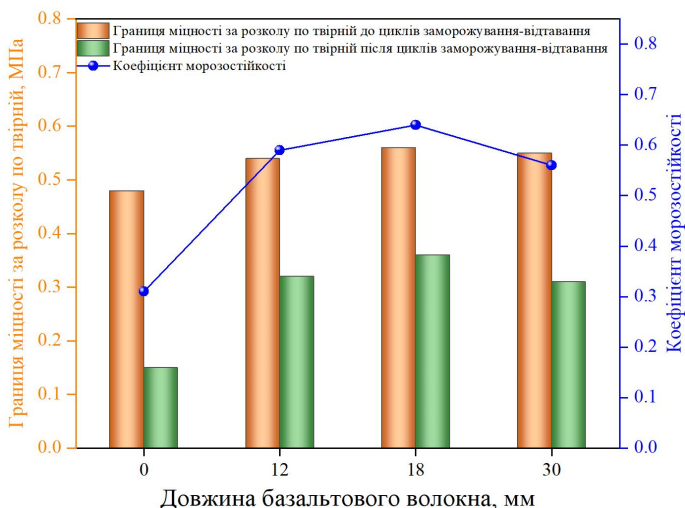


Рис. 4.35 – Залежність границі міцності за розколу по твірній і коефіцієнта морозостійкості від довжини базальтової фібри

Наведені на рис. 4.34 і 4.35 залежності вказують на те, що після 10 циклів заморожування-відтавання абсолютні значення границі міцності за стиску і міцності за розколу по твірній зразків матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом і базальтовою фіброю різної довжини закономірно зменшуються. Це свідчить про деградацію структури матеріалу в процесі впливу на нього циклічного заморожування-відтавання. Найменші значення зазначених вище показників міцності властиві матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом без додавання базальтової фібри. Видно, що

залежність коефіцієнта морозостійкості від довжини базальтової фібри має екстремальний характер. Максимальні значення коефіцієнтів морозостійкості властиві матеріалу, що вміщують 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм. За вмісту 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм у складі матеріалу з ЩПС зміцненого цементом, коефіцієнт морозостійкості, що розрахований за результатами вимірювання границі міцності за стиску, зріс на 33 %, а розрахований за результатами вимірювання границі міцності за розколу по твірній зріс у 2 рази, порівняно з матеріалом без латексу.

Результати досліджень втрати маси циліндричними зразками матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з додаванням базальтових фібр різної довжини після впливу на них 10 циклів заморожування-відтавання наведені в таблиці 4.9. Ступінь деградації поверхні зразків наведено на їхніх фотографіях у додатку А.

Таблиця 4.9 – Втрата маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання

Склад суміші	Втрата маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання, г
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	8,67
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 12 мм (0,05 %)	5
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 12 %, фібра – 18 мм (0,05 %)	4,83
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 12 %, фібра – 30 мм (0,05 %)	6

Як видно з таблиці 4.9 найбільша втрата маси властива матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу без добавок базальтової фібри. Введення до складу матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів

зміцнених 4 % цементу 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм максимально покращує його морозостійкість і суттєво зменшує втрату маси зразками (на 44,3 %) після 10 циклів заморожування-відтавання, порівняно з матеріалом без фібри.

Результати експериментальних досліджень впливу довжини базальтової фібри за постійної її концентрації (0,05 %) на величину максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом наведені в таблиці 4.10.

Таблиця 4.10 – Величина максимальної структурної міцності ($R_{стр}$) та індексу температурної тріщиностійкості (I_T) матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом із додаванням базальтових фібр різної довжини

Склад суміші	$R_{стр}^*$, МПа	I_T^*
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	0,77	0,32
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 12 мм (0,05 %)	1,03	0,40
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05%)	1,05	0,42
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 30 мм (0,05 %)	1,01	0,36

Примітка: * – показники визначали після тужавіння зразків протягом 28 діб в гідравлічній ванні та подальшим висиханням за 25 °С протягом 2 діб.

З наведених в таблиці 4.10 результатів дослідження видно, що додавання до складу матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцненої цементом 0,05 % базальтових фібр за різної їхньої довжини по різному впливає на зростання показників його максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості. Залежність максимальної структурної

міцності і індекса температурної тріщиностійкості від довжини базальтової фібри, як і у випадку коефіцієнта морозостійкості, має екстремальний характер. Видно, що максимальні значення показників максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості властиві матеріалу з вмістом 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм. За вмісту 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм показник максимальної структурної міцності матеріалу з ЩПС-40 зміцненої цементом зростає на 36 %, а індексу температурної тріщиностійкості на 31 %, порівняно з матеріалом без базальтової фібри. Видно, що результати оцінювання тріщиностійкості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з базальтовими волокнами перебувають у повній відповідності з результатами оцінювання його морозостійкості.

4.7.3 Дослідження комплексного впливу добавок катіонного латексу і базальтової фібри на низькотемпературні властивості

Дослідження впливу комплексу добавок латексу і фібри на низькотемпературні властивості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу виконували з використанням 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм за різного вмісту катіонного латексу «Butonal NS 198» у його складі. Результати дослідження впливу різної концентрації катіонного латексу «Butonal NS 198» спільно з 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм на міцнісні показники та коефіцієнт морозостійкості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом представлені на рис. 4.36 і рис.4.37. Коефіцієнт морозостійкості визначали як відношення границі міцності матеріалу після впливу на нього 10 циклів заморожування-відтавання до границі міцності матеріалу яку він мав до впливу на нього циклів заморожування-відтавання.

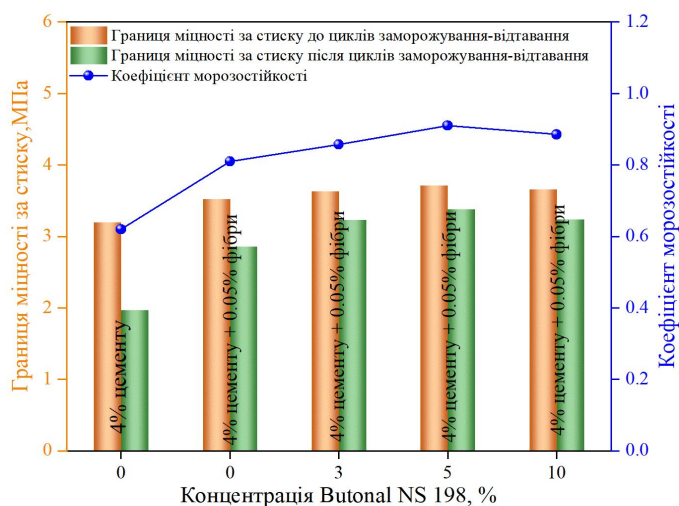


Рис. 4.36 – Залежність границі міцності за стиску і коефіцієнта морозостійкості зразків матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з 0,05 % базальтової фібри від концентрації латексу «Butonal NS 198»

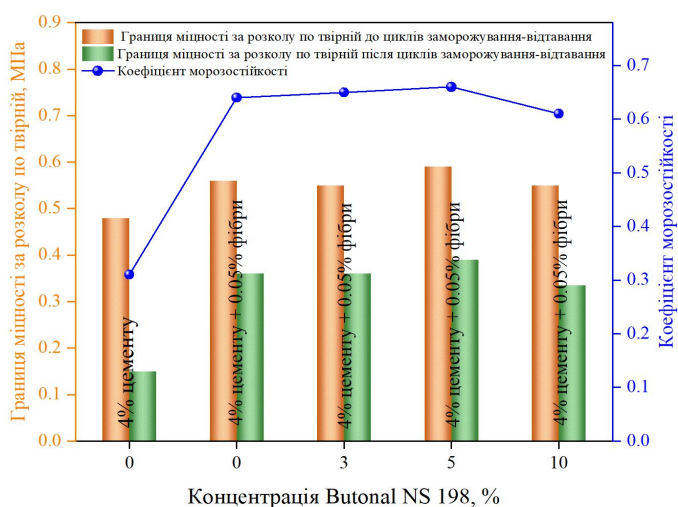


Рис. 4.37 – Залежність границі міцності за розколу по твірній і коефіцієнта морозостійкості зразків матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом з 0,05 % базальтової фібри від концентрації латексу «Butonal NS 198»

Із наведених на рис. 4.36 і 4.37 результатів досліджень видно, що додавання 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм до складу укріплених 4 % цементу ЩПС-40 із залізистих кварцитів призводить до незначного збільшення значень границі міцності за стиску (на 9 %) і дещо більшого

зростання границі міцності за розколу по твірній (на 14 %). Також видно, що вплив циклів заморожування-відтавання закономірно призводить до деградації структури всіх досліджуваних матеріалів (зменшення значень границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній). Найбільше зниження показників міцності і коефіцієнта морозостійкості після впливу заморожування-відтавання властиве матеріалу з ШПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом до складу якого не додавали фібру і латекс. У випадку одночасного додавання до складу досліджуваного матеріалу базальтової фібри і катіонного латексу спостерігається зростання значень коефіцієнтів морозостійкості, визначених як за результатами оцінки міцності за стиску так і за розколу по твірній, порівняно з матеріалом без вказаних складників. Найбільше зростання значень коефіцієнта морозостійкості за стиску і коефіцієнта морозостійкості за розколу по твірній (спостерігається зростання на 29 % і 35 % відповідно) властиве матеріалу до складу якого входить 4 % цементу, 5 % катіонного латексу від маси води та 0,05 % базальтової фібри від маси мінеральної частини, порівняно з матеріалом без латексу і базальтової фібри.

В таблиці 4.11 наведені результати дослідження втрати маси зразками з матеріалу з ШПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом одночасно з фіброю та латексом. Ступінь деградації поверхні зразків після 5 та 10 циклів заморожування-відтавання наведено на їхніх фотографіях у додатку А.

За результатами досліджень встановлено, що втрата маси зразками матеріалу після 10 циклів заморожування-відтавання зменшується зі збільшення вмісту катіонного латексу у його складі, порівняно з матеріалом без латексу. Із наведених в таблиці 4.11 і додатку А результатів досліджень видно, що після 10 циклів заморожування-відтавання зразкам матеріалу з ШПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу спільно з катіонним латексом і базальтовою фіброю характерна менша пошкоджуваність їхньої поверхні, порівняно з матеріалом без латексу і базальтової фібри. Видно, що латекс, як складник матеріалу, більш суттєво впливає на показник втрати маси

матеріалом після заморожування-відтавання.

Таблиця 4.11 – Втрата маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання

Склад суміші	Втрата маси зразками після 10 циклів заморожування-відтавання, г
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	8,67
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %)	4,83
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 3 % «Butonal NS 198»	4,25
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 5 % «Butonal NS 198»	3,66
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 10 % «Butonal NS 198»	3,87

У таблиці 4.12 наведені результати дослідження впливу комплексу добавок (фібра + латекс) на показники максимальної структурної міцності та індексу температурної тріщиностійкості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу.

Таблиця 4.12 – Величина максимальної структурної міцності ($R_{стр}$) та індексу температурної тріщиностійкості (I_T) матеріалів з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом із додаванням базальтової фібри і катіонного латексу «Butonal NS 198»

Склад суміші	$R_{стр}^*$, МПа	I_T^*
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %	0,77	0,32
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %)	1,05	0,42
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 3 % «Butonal NS 198»	1,03	0,43
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 5 % Butonal NS 198	1,08	0,46
ЩПС-40 – 100 %, цемент М 400 – 4 %, фібра – 18 мм (0,05 %), 10 % Butonal NS 198	1,00	0,49

Примітка: * – показники визначали після тужавіння зразків протягом 28 діб в гідравлічній ванні та подальшим висиханням при 25 °С протягом 2 діб.

Як видно з таблиці 4.12, значення максимальної структурної міцності та індексу температурної тріщинуватості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом і базальтовим волокном збільшуються зі зростанням вмісту латексу. Максимальне значення структурної міцності спостерігається за вмісту 5 % латексу у складі матеріалу.

4.8 Висновки по розділу

1. Дослідженнями встановлено, що збільшення вмісту катіонного латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126» у воді призводить до зменшення величини поверхневого натягу розчину і крайового кута змочування мінеральної поверхні. За результатами досліджень встановлено, що

збільшення вмісту латексу у перерахунку на тверду речовину на 14 % у складі катіонного водного латексу призводить до зменшення величини поверхневого натягу водного розчину, за постійного значення критичної концентрації міцелоутворення. Експериментально визначені значення досліджених термодинамічних характеристик вказують на те, що використання катіонного латексу «Butonal NS 198» або «Butonal 5126», як добавок до води, для приготування ЩПС, покращує змочування часток мінерального матеріалу водою за рахунок зменшення величини її поверхневого натягу та крайового кута змочування. За концентрації латексу у воді, що відповідає критичній концентрації міцелоутворення, максимальна щільність за стандартного ущільнення суміші із залізистого кварциту досягається за меншої (на 16,7 %) оптимальної вологості, порівняно із випадком використання чистої води.

2. Підтверджено, що збільшення вмісту цементу у складі щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів різного гранулометричного складу за оптимальної їхньої вологості призводить до закономірного зростання значень границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній отриманого матеріалу. Спостерігається зростання значень границі міцності за стиску та за розколу по твірній зі збільшенням як максимального розміру, так і загального вмісту зерен щебеню, у складі матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів, за однакового вмісту цементу. Встановлено, що меншу кількість цементу необхідно додавати до ЩПС для отримання однакових марок матеріалу у разі збільшення у його складі вмісту щебеню.

3. Результати досліджень методом інфрачервоної спектроскопії вказують на фізичний процес взаємодії між складниками матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з катіонним латексом. Методом електронної скануючої мікроскопії встановлено, що матеріалу зміцненому одночасно цементом і латексом властива більш щільна структура, порівняно з матеріалом зміцненим тільки цементом. Встановлено, що за присутності латексу в продуктах гідратації цементу формуються більш дрібні кристалогідрати, що сприяє формуванню меншої кількості дефектів у

структурі матеріалу.

4. Встановлено, що зі збільшенням концентрації досліджуваних катіонних латексів значення границі міцності за стиску, міцності за розколу по твірній, міцності за розтягу під час вигину і модуля пружності матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу демонструють тенденцію незначного зростання до критичної концентрації міцелоутворення. За концентрації латексів, більшої за критичну концентрацію міцелоутворення, значення показників міцності дещо знижуються, що може бути наслідком розуцільнення структури цементного каменю надмірною кількістю латексу.

5. Експериментально встановлено, що максимальні значення границі міцності за стиску і границі міцності за розколу по твірній властиві матеріалу з вмістом 0,05 % базальтової фібри у його складі. Показано, що границя міцності за розколу по твірній є більш чутливим критерієм до присутності фібри у складі зміцнених цементом залізистих кварцитів, ніж границя міцності за стиску. Зі збільшенням довжини армуючих волокон доданих до складу матеріалу значення показника дефектності структури зменшується, порівняно з матеріалом без фібри. Встановлено, що за додавання 0,05 % базальтових фібр завдовжки 18 мм спостерігається найбільше зростання значень границі міцності за стиску, границі міцності за розколу по твірній та значень розрахункових характеристик матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених 4 % цементу.

6. За результатами досліджень встановлено, що додавання 5 % катіонного латексу від маси води до складу ЩПС-40 із залізистих кварцитів з 4 % цементу і 0,05 % базальтових фібр викликає максимальне зростання границі міцності за стиску і за розколу по твірній, границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності. Зростання показників границі міцності за розтягу під час вигину та модуля пружності відбувається на 26,1 % та 36,7 % відповідно, порівняно з матеріалом без латексу. За додавання базальтової фібри і катіонного латексу, як індивідуальних добавок до складу ЩПС-40 зміцненої цементом, а також комплексу цих добавок, спостерігається зменшення показника дефектності структури матеріалу на 9 – 10 %, порівняно з

матеріалом без добавок.

7. За результатами дослідження морозостійкості матеріалів з ЩПС зміцнених 4 % цементу встановлено, що у випадку додавання 5 % катіонного латексу до їхнього складу коефіцієнт морозостійкості, який розраховано за результатами вимірювання границі міцності за стиску та границі міцності за розколу по твірній, збільшився на 30 % та 26 % відповідно. Встановлено, що після впливу циклів заморожування-відтавання мінімальні значення показника дефектності структури властиві матеріалу, що вміщує у своєму складі 5 % латексу. Показано, що за додавання добавок латексу величина максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалу з ЩПС зміцненого цементом зростає, порівняно з матеріалом без латексу, що свідчить про його підвищений опір тріщиноутворенню.

8. Експериментально встановлено екстремальний характер залежності коефіцієнта морозостійкості, максимальної структурної міцності і індекса температурної тріщиностійкості від довжини базальтової фібри у складі матеріалу з ЩПС зміцненого цементом. Показано, що максимальні значення коефіцієнтів морозостійкості, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості властиві матеріалу, що вміщує 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм. За вказаного вмісту і довжини базальтових фібр коефіцієнт морозостійкості, що розрахований за результатами вимірювання границі міцності за стиску, зріс на 33 %, а розрахований за результатами вимірювання границі міцності за розколу по твірній, зріс у 2 рази, порівняно з матеріалом без латексу. За аналогічних умов показник максимальної структурної міцності матеріалу з ЩПС-40 зміцненої цементом зростає на 36 %, а індексу температурної тріщиностійкості на 31 %, порівняно з матеріалом без базальтової фібри.

9. Показано, що найбільше зростання значень коефіцієнта морозостійкості за стиску і коефіцієнта морозостійкості за розколу по твірній (на 29 % і 35 % відповідно) властиве матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів до складу якого входить 4 % цементу, 5 % катіонного латексу від

маси води та 0,05 % базальтової фібри від маси мінеральної частини, порівняно з матеріалом без латексу і базальтової фібри. Встановлено, що показник максимальної структурної міцності та індексу температурної тріщинуватості матеріалу з ЩПС-40 із залізистих кварцитів зміцнених цементом і базальтовою фіброю збільшуються зі зростанням вмісту латексу у його складі, порівняно з матеріалом без комплексу добавок.

10. Результати досліджень, які викладені в четвертому розділі, частково представлені у публікаціях [18, 27, 152-155].

РОЗДІЛ 5

ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВИРОБНИЧОЇ ПЕРЕВІРКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для виробничого перевірвання та впровадження отриманих в дисертаційній роботі результатів досліджень розроблені «Технологічний регламент виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування щебенево-піщаних сумішей з них» та «Рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками». У виробничих умовах здійснено будівництво шару основи з використанням ЩПС зміцненої цементом підвищеної морозостійкості на відтинку автомобільної дороги М-03 «Київ-Харків-Довжанський» - з'їзд до «Екопарку», а також будівництво шару покриття на відтинках лісових доріг в Івано-Франківській та Львівській областях загальною протяжністю 10,7 км (акти впровадження наведено у додатку Б). Результати дисертаційної роботи також впроваджені у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету у лекційному курсі «Технологія будівництва автомобільних доріг» для студентів, що навчаються за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

5.1 Рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками

5.1.1 Сфера застосування рекомендацій

5.1.1.1 Рекомендації поширюються на технологію приготування,

будівництва, а також відновлення конструкцій дорожнього одягу із використанням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та латексом і мікрОВОлокнами, на автомобільних дорогах згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.1.2 Рекомендації регламентують вимоги до ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками, технології їхнього приготування та застосування, а також контролю якості виконання робіт.

5.1.1.3 Рекомендації призначені для використання дорожніми підприємствами які здійснюють будівництво автомобільних доріг.

5.1.1.4 Обов'язкові вимоги до якості продукції, які забезпечують безпеку для життя, здоров'я та майна населення, охорони навколишнього природного середовища, викладені в розділі 8.

5.1.2 Нормативні посилання

У цих рекомендаціях є посилання на такі нормативні документи:

ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва

ДБН В.2.3-4:2015 Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво

ДБН В.2.7-64-97 Правила застосування хімічних добавок у бетонах і будівельних розчинах

ДСТУ Б А.3.2-12:2009 Системи вентиляційні. Загальні вимоги

ДСТУ Б В.2.1-2- 96 (ГОСТ 25100-95) Основи та підвалини будинків та споруд. Ґрунти. Класифікація

ДСТУ Б В.2.1-12:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Метод лабораторного визначення максимальної щільності

ДСТУ Б В.2.1-17:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей

ДСТУ Б В.2.1-19:2009 Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти.

Методи лабораторного визначення гранулометричного (зернового) та мікроагрегатного складу

ДСТУ Б В.2.7-44-96 Будівельні матеріали. Цементи. Відбір і підготовка проб

ДСТУ Б В.2.7-85-99 (ГОСТ 22266-94) Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-89-99 (ГОСТ 12801 - 98) Будівельні матеріали. Матеріали на основі органічних в'яжучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань

ДСТУ Б В.2.7-112-2002 Будівельні матеріали. Цементи. Загальні технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-124-2004 Будівельні матеріали. Цемент для будівельних розчинів. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-129:2006 Будівельні матеріали. Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-207:2009 Будівельні матеріали. Матеріали щебеневі, гравійні та піщані, оброблені неорганічними в'яжучими. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-210:2009 Будівельні матеріали. Матеріали з відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-214:2009 Будівельні матеріали. Бетони. Методи визначення міцності за контрольними зразками

ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79) Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови

ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань

ДСТУ 4179-2003 Рулетки вимірювальні металеві. Технічні умови

НПАОП 63.21-1.01-09 Правила охорони праці при будівництві, ремонті та утриманні автомобільних доріг і інших об'єктах дорожнього господарства

НПАОП 63.21-3.03-08 Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам

дорожнього господарства

ДСП 173-96 Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів

ДСанПіН 2.2.7.029-99 Державні санітарні правила та норми. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення

НАПБ А.01.001-2004 Правила пожежної безпеки в Україні

5.1.3 Загальні положення

5.1.3.1 Шари дорожнього одягу, що влаштовані з використанням ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом та модифікуючими добавками, характеризуються підвищеними значеннями міцності за розтягу під час вигину, модуля пружності та стійкістю до впливу знакозмінних температур, порівняно з традиційними дискретними ЩПС.

5.1.3.2 Приготування здійснюють із використанням змішувачів примусової дії.

5.1.3.3 ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом і модифікуючими добавками, застосовують для влаштування шарів основ дорожніх одягів з покриттям капітального і полегшеного типів, а також для влаштування шару покриття дорожнього одягу перехідного типу.

5.1.3.4 Шари із ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом і модифікуючими добавками, влаштовують одно- або двошаровими. Максимальна конструктивна товщина одношарової основи або покриття в ущільненому стані повинна становити не більше ніж 30 см, а мінімальна - не менше ніж 17 см згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.3.5 Оптимальну товщину шару дорожнього одягу із ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом і модифікуючими добавками, визначають розрахунком.

5.1.3.6 Шар основи дорожнього одягу із ЩПС із залізистих кварцитів,

зміцнених цементом і модифікуючими добавками, влаштовують ширшим на 0,5 м за цементобетонне покриття проїжджої частини з кожного боку та ширшим на 0,3 м з кожного боку для інших типів покриттів згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.4 Вимоги до матеріалів

5.1.4.1 Вимоги до вихідних матеріалів

5.1.4.1.1 При визначенні придатності ЩПС із залізистих кварцитів для укріплення в'язучими необхідно враховувати вимоги цих рекомендацій та ДСТУ 9177-3 до зернового (гранулометричного) складу.

5.1.4.1.2 ЩПС із залізистих кварцитів за зерновим складом поділяються на суміші щебеневі крупнозернисті з максимальним розміром зерен: 40 мм; суміші щебеневі дрібнозернисті з максимальним розміром зерен: 20 мм; 10 мм; 5 мм.

5.1.4.1.3 Придатність ЩПС із залізистих кварцитів, що не відповідають за зерновим складом вимогам ДСТУ 9177-3 та цих рекомендацій, визначають за результатами їхнього випробування, після зміцнення цементом і армування базальтовими волокнами, щодо відповідності вимогам цього стандарту за показниками міцності і морозостійкості.

5.1.4.1.4 Для приготування ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом і модифікуючими добавками, використовують портландцемент і шлакопортландцемент марки не нижче 400, які відповідають вимогам ДСТУБВ.2.7-112. Допускається застосовувати цемент, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-124.

5.1.4.1.5 Схоплювання цементу має починатися не раніше ніж через 2 години після його змішування з водою. У разі схоплювання цементу раніше 2 годин у ЩПС із залізистих кварцитів необхідно додавати уповільнювачі схоплювання цементу згідно з ДБН В.2.7-64.

5.1.4.1.6 Вода для приготування ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених

цементом і модифікуючими добавками, має відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-273. Водневий показник рН має бути не менше 4.

5.1.4.1.7 Для підвищення міцності матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом в суміш додають базальтові мікрОВОлокна довжиною 18 мм. Властивості мікрОВОлокна мають відповідати вимогам згідно з [1] додатку А.

5.1.4.1.8 Для підвищення морозостійкості матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом до води замішування додають водний катіонний латекс "Butonal NS 198" або "Butonal 5126". Властивості латексу мають відповідати вимогам специфікації виробника та таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Властивості водного катіонного латексу «Butonal NS 198» і «Butonal 5126»

Назва латексу	Зовнішній вигляд	Вміст твердої речовини, %	РН	В'язкість, мПа·с	Щільність, г/см ³	Температура склування, °С
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

5.1.5.2 Вимоги до матеріалів з ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками.

5.1.5.2.1 Матеріали з ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками, повинні відповідати вимогам таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Вимоги до фізико-механічних властивостей

Назва	Значення для марок			
	М 75	М 60	М 40	М 20
Границя міцності за стиску зразків, МПа, не менше	7,5	6,0	4,0	2,0
Границя міцності на розтяг за вигину зразків, МПа, не менше	1,9	1,6	1,0	0,5
Коефіцієнт морозостійкості, не менше	0,75	0,75	0,75	0,70
Примітка. Показники властивостей наведені для зразків, що тверділи 28 діб.				

5.1.5 Технологія приготування ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом та модифікуючими добавками

5.1.5.1 Для приготування ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом і модифікуючими добавками рекомендується використовувати змішувачі примусової дії типу ДС-50М або інші установки аналогічної дії.

5.1.5.2 Місце розташування змішувальної установки повинно бути наближене до будівельного об'єкту. Очікувана середня відстань транспортування готової суміші до місця укладання повинна становити не більше ніж 80 км.

5.1.5.3 Підбір складу ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом складається з таких етапів:

- відбір проб ЩПС із залізистих кварцитів і встановлення відповідності його властивостей вимогам цих рекомендацій і ДСТУ 9177-3;

- визначення оптимальної вологості ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом та мікрОВОлокнами і максимальної щільності зразків за методом стандартного ущільнення згідно з ДСТУ Б В.2.1-12;

- визначення необхідної концентрації цементу, мікрОВОлокон і латексу шляхом приготування в лабораторних умовах пробних складів сумішей і формування зразків із них, і подальшим визначенням показників їх фізико-механічних властивостей (після стандартного терміну зберігання в нормальних умовах);

- на основі зіставлення отриманих результатів випробувань із вимогами таблиці 5.2 здійснюють вибір оптимального складу ЩПС із залізистих кварцитів з цементом та, за необхідності, з добавками мікрОВОлокон і катіонного латексу.

5.1.5.4 Перед введенням до складу ЩПС із залізистих кварцитів водний катіонний латекс попередньо розчиняють у воді.

5.1.5.5 Кількість води, що вводиться в ЩПС із залізистих кварцитів при приготуванні суміші (для забезпечення оптимальної вологості) визначають за формулою:

$$P_a = \frac{P}{1 + \frac{W}{100}} \left(\frac{W_a}{100} - \frac{W}{100} \right)$$

де P_a - кількість води, яку необхідно додати у ЩПС із залізистого кварциту, за винятком сухої речовини у складі водного катіонного латексу, л;

P - маса ЩПС із залізистого кварциту, що підлягає зміцненню, кг;

W - природна вологість ЩПС із залізистого кварциту, % за масою;

W_a - оптимальна вологість суміші ЩПС із залізистого кварциту з цементом і мікрОВОлокнами, % за масою.

5.1.5.6 Під час приготування ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками застосовують таку послідовність введення компонентів: ЩПС із залізистих кварцитів, армувальні мікрОВОлокна, цемент, водний розчин латексу.

5.1.5.7 За сухої і сонячної погоди та за температури повітря вище за 20 °С

вологість ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками має бути на (2 - 3) % вищою за оптимальну.

5.1.6 Особливості технології будівництва шарів з використанням ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками

5.1.6.1 Укладання ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками виконують асфальтоукладачами або за допомогою автогрейдерів або інших аналогічних самохідних укладачів.

5.1.6.2 Виконання робіт з влаштування шару дорожнього одягу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками виконують за температури повітря не нижче ніж 15 °С і закінчують за 15 - 20 діб до початку періоду осінніх дощів або стійкої температури повітря восени не нижче ніж 10 °С.

5.1.6.3 Орієнтовний склад механізованого загону для виконання робіт із влаштування шару дорожнього одягу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Орієнтовний склад машин і механізмів для влаштування шару дорожнього одягу

Ч.ч	Найменування машин і механізмів	Кількість, шт.
1	Автомобіль - самоскид	
2	Самохідний укладач або автогрейдер	1
3	Коток вібраційний комбінований	1
4	Коток пневмоколісний	2
5	Автогудронатор	1
Примітка: Кількість автомобілів-самоскидів визначають з урахуванням дальності транспортування, об'єму кузова, тощо.		

5.1.6.4 У разі використання автогрейдера для розрівнювання та планування поверхні шару дорожнього одягу рекомендується виконувати орієнтовно 6 – 10 проходів. Планування шару здійснюють за 2 – 3 проходи, починаючи від крайки, з наступним наближенням автогрейдера до вісі автомобільної дороги.

5.1.6.5 Ущільнення шару з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками рекомендується здійснювати самохідними вібраційними та пневмоколісними котками масою від 10 т до 16 т. Ущільнення здійснюють від крайки до середини шару з перекриттям на 1/4 попереднього проходу.

5.1.6.6 Якість ущільнення з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками оцінюють за показником водонасичення. Не допускається перевищення значень показника водонасичення зразків-кернів або вирубок по відношенню до значень показника водонасичення зразків, заформованих у лабораторії (із вихідної суміші), більше ніж на 3 %.

5.1.6.7 Після влаштування шару на його поверхню автогудронатором розподіляють плівкоутворюючий матеріал. Захисну плівку влаштовують з використанням бітумної емульсії марок ЕК-Ш або ЕК-С згідно з ДСТУ Б В.2.7-129. Рекомендована витрата емульсії 0,8 - 1,0 л/м². Не дозволяється догляд за шаром з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і мікрОВОлокнами поливанням водою без попереднього влаштування захисної плівки.

5.1.6.8 Рух технологічного транспорту дозволяється через 10 діб після влаштування шару з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками.

5.1.7 Контроль якості виконання робіт

При влаштуванні шару дорожнього одягу з ЩПС із залізистих кварцитів

зміцненої цементом і модифікуючими добавками здійснюють вхідний, операційний та приймальний контроль.

5.1.7.1 Вхідний контроль.

5.1.7.1.1 Всі складники, що доставляються для виготовлення ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками, перевіряють на відповідність вимогам чинних нормативних документів.

5.1.7.1.2 Для цементу необхідно виконувати перевірку наступних показників:

- нормальна густина;
- термін тужавіння;
- активність.

Проби цементу відбирають згідно з ДСТУ Б В.2.7-44.

5.1.7.1.3 Відповідність фізико-механічних властивостей ЩПС, латексу, мікрОВОЛОКОН, води здійснюють згідно з чинними стандартами, [1] та вимог цих рекомендацій.

5.1.7.2 Операційний контроль.

5.1.7.2.1 Однорідність перемішування суміші визначають за зовнішніми ознаками.

5.1.7.2.2 Якщо за зовнішніми ознаками виявлено, що ЩПС неоднорідна, то її використання для влаштування шару дорожнього одягу не дозволено. Необхідно здійснити додаткове перемішування ЩПС.

5.1.7.2.3 Вологість ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками необхідно періодично перевіряти перед відвантаженням та перед укочуванням. Перед ущільненням шару відбирають проби готової ЩПС через кожні (300 - 500) м для визначення властивостей.

5.1.7.2.4 Ущільнення ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками під час формування зразків виконують згідно з ДСТУ Б В.2.7-207. Випробування зразків виконують через 28 діб твердіння (за температури $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$ та відносній вологості не менше 90 %).

5.1.7.2.5 Границю міцності за стиску водонасичених зразків визначають

згідно з ДСТУ Б В.2.7-214. Коефіцієнт морозостійкості визначається згідно з ДСТУ Б В.2.7-89. Визначення коефіцієнта морозостійкості призначають через певну кількість циклів заморожування-відтавання в залежності від марки матеріалу: М 20 - 10 циклів, М 40 - 15 циклів, М 60 -25 циклів, М 75 - 50 циклів.

5.1.7.2.6 За операційного контролю якості виконання робіт з влаштування шару дорожнього одягу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками не рідше ніж через кожні 100 м здійснюють контроль параметрів згідно з ДБН В.2.3-4 (дотримання проектного розміщення осової лінії в плані, висотні відмітки, поперечний похил, товщина, ширина).

5.1.7.3 Приймальний контроль.

5.1.7.3.1 Допустиме відхилення товщини шару з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками від проектних значень повинно бути не більше ніж 10 % результатів вимірювань у межах + 20 мм, решта – + 10 мм (не менше 3 вимірювань на 9000 м² шару) згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.7.3.2 Допустиме відхилення ширини шару з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками контролюють через кожні 100 м. Не більше ніж 10 % результатів вимірювань можуть мати відхилення від проектних значень в межах + 150 мм, решта - до + 100 мм згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.7.3.3 Керни з шару відбирають після його влаштування не раніше ніж через 28 діб. Випробування кернів здійснюють згідно з ДСТУ Б В.2.7-214.

5.1.7.3.4 Допустиме відхилення висотних відміток від проектних значень має бути не більше ніж 10 % результатів вимірювань у межах + 25 мм, решта – + 10 мм (не менше 1 вимірювання на 100 м) згідно з ДБН В.2.3-4.

5.1.8 Вимоги безпеки та охорони довкілля

5.1.8.1 Вимоги безпеки.

5.1.8.1.1 Під час виконання робіт з будівництва шарів дорожнього одягу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками необхідно здійснювати заходи щодо забезпечення умов охорони праці, а також охорони довкілля згідно з НПАОП 63.21-1.01, ДБН В.1-1-7, НАПБ А.01.001.

5.1.8.1.2 Під час завантаження, транспортування та розвантаження необхідно керуватись загальними правилами поведінки з нетоксичними та малотоксичними матеріалами.

5.1.8.1.3 Цементи відносяться до четвертого класу небезпечності і до речовин малонебезпечних. Цементний пил виявляє фіброгенну і шкіроподразну дію.

5.1.8.1.4 Гранично допустима концентрація (ГДК) цементного пилу у повітрі робочої зони не повинна перевищувати 6 мг/м³ згідно з чинними стандартами. Середньозмінний вміст пилу у повітрі не повинен перевищувати величину ГДК.

5.1.8.1.5 Вміст цементного пилу в повітрі робочої зони повинен визначатись згідно з вимогами [2,3]. Періодичність контролю - не менше одного разу в квартал.

5.1.8.1.6 Цемент потрібно зберігати у закритих ємкостях. Потрібно здійснювати заходи проти розпорошення цементу при завантаженні та розвантаженні.

5.1.8.1.7 Технологічне обладнання і виробничі процеси повинні відповідати вимогам чинних стандартів.

5.1.8.1.8 Приміщення, де проводяться роботи з латексом, базальтовою фіброю, цементом, ЩПС повинні бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією згідно з ДСТУ Б А.3.2-12.

5.1.8.1.9 Робітники, що виконують приготування і застосування ЩПС повинні бути забезпечені спецодягом та іншими засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 63.21-3.03.

5.1.8.1.10 Під час робіт, пов'язаних з приготуванням і використанням ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками

необхідно дотримуватись правил особистої гігієни (приймати їжу в спеціальних приміщеннях, користуватися санітарно-побутовими кабінетами, приймати душ після закінчення зміни).

5.1.8.1.11 Машини, що беруть участь у технологічному процесі, повинні бути обладнані проблісковим маячком оранжевого кольору.

5.1.8.1.12 Під час роботи дорожніх машин стороннім особам заборонено знаходитись в зоні їхньої дії, а також на площадці керування, рамі, робочих органах, кожухах.

5.1.8.1.13 До робіт з ЩПС допускаються особи, які пройшли інструктаж з техніки безпеки і перевірку знань з питань пожежної безпеки відповідно до вимог НАПБ А.01.001 та НПАОП 63.21-1.01.

5.1.8.2 Вимоги охорони довкілля.

5.1.8.2.1 Під час приготування та застосування ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками, за умови дотримання технологічних параметрів і вимог охорони праці небезпека додаткових викидів шкідливих речовин у довкілля відсутня.

5.1.8.2.2 Під час зберігання, транспортування і застосування ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом і модифікуючими добавками стічні води не утворюються. Надходження канцерогенних та мутагенних речовин у довкілля за технологічних температур не передбачається.

5.1.8.2.3 Ефективними засобами захисту довкілля є герметизація та запобігання розсипанню цементу, мікрОВОЛОКОН та розливанню латексу.

ДОДАТОК А

(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

1. ТУ У 25.2–34323267–001:2009 Ровінг із базальтових волокон
2. МУ 3936-85 Контроль вмісту шкідливих речовин у повітрі робочої зони
3. МУ 4436-87 Методичні вказівки по вимірюванню концентрацій аерозолів переважно фіброгенної дії.

5.2 Технологічний регламент виготовлення щебіню і піску з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату та щебенево-піщаних сумішей з них для будівельних робіт

5.2.1 Загальні положення

5.2.1.1 Технологічний регламент є основним технологічним документом, який визначає оптимальний технологічний режим, порядок виконання операцій технологічного процесу, забезпечує випуск продукції відповідної якості, охорону праці, а також здійснення вимог з охорони довкілля.

5.2.1.2 Технологічний регламент визначає раціональний склад виконавців, потребу в матеріалах і механізмах, може бути використаний для навчання робітників та інженерно-технічного персоналу (далі – ІТП) технології виготовлення та приготування продукції, операційному контролю якості, безпечним методам роботи та вирішення завдань щодо охорони довкілля.

5.2.1.3 Даний технологічний регламент розроблений для виготовлення щебіню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-33 та ДСТУ Б В.2.7-34, а також приготування щебенево-піщаних сумішей, що відповідають вимогам ДСТУ 9177-2.

5.2.1.4 Технологічний регламент розроблений на виготовлення щебіню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату та приготування щебенево-піщаних сумішей на виробничій ділянці ТОВ «ГЕОМАКС». Для виготовлення щебеню та піску використовується грохот SkH6.0x2K. Приготування щебенево-піщаних сумішей виконується способом змішування на будівельному майданчику за допомогою фронтальних навантажувачів. Продуктивність грохоту: проектна не більше 450 т/год; фактично досягнута – 420 т/год.

5.2.2 Характеристика продукції, яку виготовляють

5.2.2.1 Щебінь для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-34.

5.2.2.2 Пісок для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату повинен відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-33.

5.2.2.3 Щебенево-піщані суміші повинні відповідати вимогам ДСТУ 9177-2.

5.2.3 Характеристика вихідної сировини, матеріалів та напівпродуктів

5.2.3.1 Для одержання щебеню та піску використовується сировина у вигляді кам'яного матеріалу фракції 0-40 мм із залізистих кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату.

5.2.3.2 Склад щебенево-піщаних сумішей визначається відповідно до ДСТУ Б В.2.7-30.

5.2.3.3 Дані, які характеризують вихідні матеріали, повинні відповідати:

- для щебеню – розділу 5 ДСТУ Б В.2.7-34;
- для піску – розділу 4 ДСТУ Б В.2.7-33;
- для щебенево-піщаних сумішей ДСТУ 9177-2.

5.2.3.4 Вихідними матеріалами для приготування щебенево-піщаних сумішей згідно з цим технологічним регламентом є: крупні заповнювачі (КРЗ); дрібні заповнювачі.

5.2.3.4.1. Для виготовлення щебенево-піщаних сумішей використовують мінеральні матеріали:

- крупні заповнювачі (щебінь) згідно з ДСТУ Б В.2.7-34;

- дрібні заповнювачі згідно ДСТУ Б В.2.7-33.

5.2.3.4.2 Для поліпшення властивостей щебенево-піщаних сумішей, а саме: зернового (гранулометричного) складу, вміст пиловидних і глинистих частинок у сумішах (у тому числі глини у грудках), пластичності та водостійкості – до складу сумішей під час приготування можуть додаватися матеріали згідно ДСТУ Б В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-33, ДСТУ Б В.2.7-34, ДСТУ Б В.2.7-35, ДСТУ Б В.2.7-74, ДСТУ Б В.2.7-75, ДСТУ Б В.2.7-76, ДСТУ Б В.2.7-149 або ДСТУ Б В 2.7-210.

5.2.4 Вхідний контроль вихідних матеріалів

Вхідний контроль основних вихідних матеріалів здійснюють відповідно до таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Технічні характеристики вихідних матеріалів для виготовлення щебенево-піщаних сумішей

Показник, одиниця вимірювання	Значення показника	Метод випробувань
Зерновий склад фракцій КРЗ за повним залишком зерен, % за масою, на ситах з розміром вічок, мм: - <i>d</i> (найменший номінальний розмір)	Понад 90 до 100 включно	

Продовження таблиці

-D (найбільший номінальний розмір)	Понад 30 до 80 включно	Згідно з 4.8 ДСТУ Б В.2.7-71
-0,5 (D+d)	До 10 включно	
-1,25 D	До 0,5 включно	
Марка КРЗ за міцністю (дробільністю)	Відповідно до вимог табл. 4 ДСТУ Б В.2.7-119;	Згідно з 4.8 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст у КРЗ зерен лещадної (пластинчастої) та голчастої форми, % за масою	Відповідно до вимог: ДСТУ 9177-2	Згідно з 4.7 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст у щебені з гравію подрібнених зерен, % за масою, не менше	80	Згідно з 4.4 ДСТУ Б В.2.7-71
Марка КРЗ за стиранністю	Відповідно до вимог табл. 4 ДСТУ Б В.2.7-119	Згідно з 4.10 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст слабких зерен, % за масою, у КРЗ згідно з: -ДСТУ Б В.2.7-34 марок за міцністю (дробільністю): 200, 1000, 800, 600, 400; - ДСТУ Б В.2.7-149.	5 не більше 10 не більше Згідно з табл. 7 ДСТУ Б В.2.7-149 для щебеню марок не нижче ніж 600	Згідно з 4.9 ДСТУ Б В.2.7-71
Марка КРЗ за морозостійкістю	Згідно з табл. 4 ДСТУ Б В.2.7-119	Згідно з 4.12 ДСТУ Б В.2.7-71

Продовження таблиці

Вміст у КРЗ глини у грудках, % за масою	0,25 не більше	Згідно з 4.6 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст пилюватих і глинистих часток, % за масою:	1 не більше	
для КРЗ, згідно з: -ДСТУ Б В.2.7-75: з вивержених порід марок за міцністю (дробільністю) 600 і вище з осадових порід марок за міцністю (дробільністю) 400 і вище -ДСТУ Б В.2.7-34: марок за міцністю (дробільністю) 600 і вище марок за міцністю (дробільністю) 400	2 не більше 1 не більше 2 не більше 3 не більше	Згідно з 4.5.1, 4.5.2, 4.5.3 ДСТУ Б В.2.7-71
Стійкість структури проти розпадів за втратою маси, %, після випробувань	Згідно з табл. 5 ДСТУ Б В.2.7-75	Згідно з 4.23 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст сірчистих і сірчаноокислих сполук з розрахунку на SO ₃ , % за масою	0,5 не більше	Згідно з 4.7 ДСТУ Б В.2.7-72

Продовження таблиці

Вологість, % за масою	Не нормується	Згідно з 4.19 ДСТУ Б В.2.7-71
Насипна густина, кг/м³, для піску згідно з: - ДСТУ Б В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-210 -ДСТУ Б В.2.7-33, ДСТУ Б В.2.7-76 -ДСТУ Б В.2.7-35 з шлаків: -доменних -сталеплавильних	1100 не менше 1650 не більше Від 950 до 1350 Від 1100 до 1600	Згідно з розділом 11 ДСТУ Б В.2.7-232
Зерновий склад за вмістом зерен, менших стандартного розміру вічок сита, % за масою, та модуль крупності піску: - ДСТУ Б В.2.7-32 - ДСТУ Б В.2.7-33 - ДСТУ Б В.2.7-35 - ДСТУ Б В.2.7-76 - ДСТУ Б В.2.7-210	Згідно з 4.5.4 ДСТУ Б В.2.7-32 Згідно з 5.5 ДСТУ Б В.2.7-33 Згідно з 3.3.1 ДСТУ Б В.2.7-35 Згідно з 4.5 ДСТУ Б В.2.7-76 Згідно з 5.2 – 5.11 ДСТУ Б В.2.7-210	Згідно з розділом 5 ДСТУ Б В.2.7-232

Продовження таблиці

Міцність за маркою міцності (дробильності) вихідної гірської породи, для піску з відсівів подрібнення	Згідно з 5.7 ДСТУ Б В.2.7-33	Згідно з 4.20 ДСТУ Б В.2.7-71
Вміст пилюватих та глинистих частинок, визначений піпетковим методом або методом мокрого просіювання, % за масою, для піску згідно з: -ДСТУ Б В.2.7-32 -ДСТУ Б В.2.7-33 -ДСТУ Б В.2.7-76 -ДСТУ Б В.2.7-210	Згідно з 4.6 ДСТУ Б В.2.7-32 згідно з 5.9 ДСТУ Б В.2.7-33 згідно з 4.6 ДСТУ Б В.2.7-76 згідно з 5.17 ДСТУ Б В.2.7-210	Згідно з розділом 7 ДСТУ Б В.2.7-232
Вміст глини в грудках, % за масою, для піску згідно з: - ДСТУ Б В.2.7-33, ДСТУ Б В.2.7-35 - ДСТУ Б В.2.7-76 - ДСТУ Б В.2.7-210	0,25 не більше 0,35 не більше 0,5 не більше	Згідно з розділом 6 ДСТУ Б В.2.7-232
Вміст глинистих частинок, визначений методом набухання, % за масою, не більше	1,0	Згідно з додатком А ДСТУ Б В.2.7-210

Закінчення таблиці

Наявність органічних домішок для піску згідно з ДСТУ Б В.2.7-33, ДСТУ Б В.2.7-76, ДСТУ Б В.2.7-210	Пісок при проведенні колориметричної проби на органічні домішки не повинен надавати розчину забарвлення темніше кольору еталону	Згідно з розділом 8 ДСТУ Б В.2.7-232
Вміст шкідливих домішок, % за масою, для піску згідно з ДСТУ Б В.2.7-32	Згідно з додатком А ДСТУ Б В.2.7-32	

5.2.5 Опис технологічного процесу та схеми виготовлення щебеню, піску і щебенево-піщаних сумішей

5.2.5.1 До складу основного технологічного обладнання заводу з виготовлення щебеню і піску згідно з цим технологічним регламентом входять наступні вузли та агрегати:

- агрегат живлення;
- грохот інерційний;
- пиловловлювальний агрегат;
- система управління з кабіною оператора.

5.2.5.2 Перелік технологічних операцій з виготовлення щебеню і піску включає:

- технологічні операції (комплекс операцій) з подачі нефракційного матеріалу до грохоту;

- технологічні операції з сортування (розсіювання) кам'яних матеріалів;
- технологічні операції зі складування, короткострокового зберігання та відвантаження готових кам'яних матеріалів.

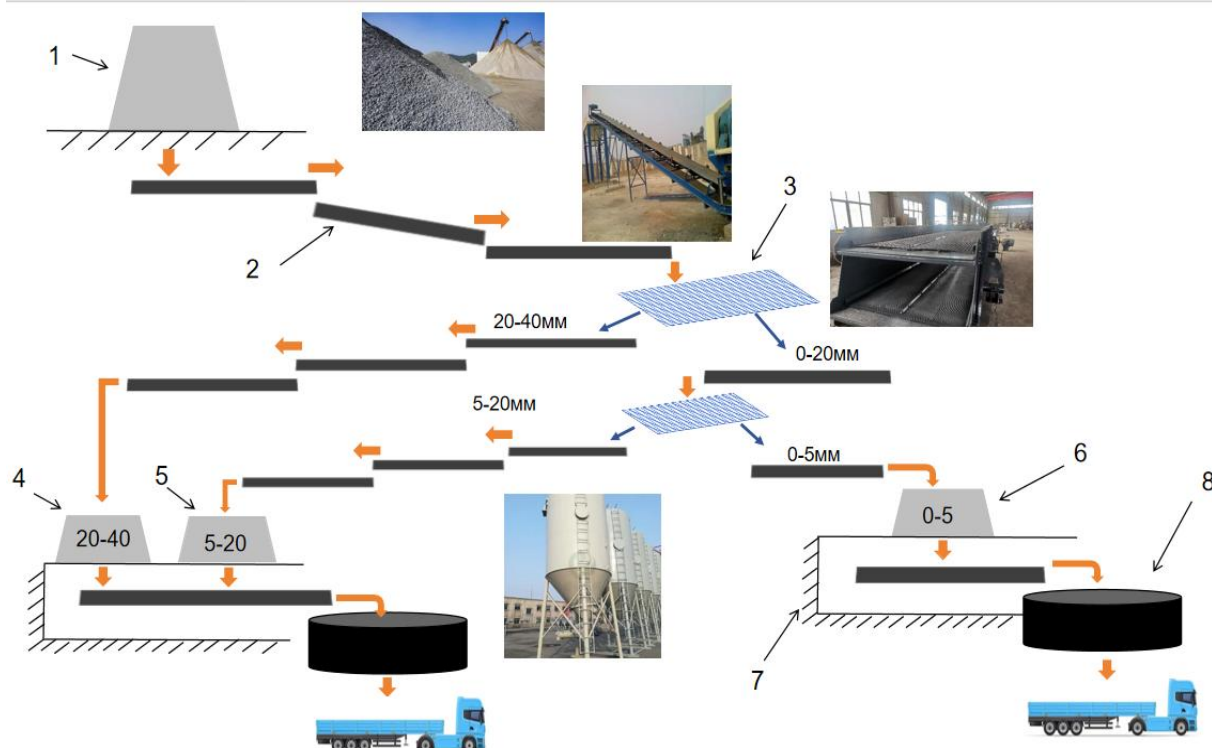
5.2.5.3 Для виконання всього комплексу технологічних операцій з виготовлення щебеню і піску до складу заводу входить наступне технологічне обладнання:

- грохот;
- стрічковий конвеєр для подачі нефракційних кам'яних матеріалів, майданчики для їх зберігання;
- підконвейєрні майданчики, для зберігання готової продукції.

5.2.5.4 Крім основного технологічного обладнання до складу заводу можуть входити:

- сховища палива (дизпалива, пічного палива або мазуту);
- будівлі адміністративно-побутового призначення;
- об'єкти електроенергетичного забезпечення;
- котельні;
- компресорні станції;
- водопровідне господарство;
- мережі електро-, тепло-та водопостачання;
- лабораторія;
- ремонтна майстерня;
- матеріально-технічний склад.

5.2.5.5 Схему виготовлення щебеню і піску згідно з цим технологічним регламентом наведено на рис. 5.1.



1 – склад нефракційного матеріалу фракції 0-40 мм; 2 – стрічковий конвеєр для подачі нефракційних кам'яних матеріалів; 3 – грохот; 4 – склад щебеню фракції 20-40 мм; 5 – склад щебеню фракції 5-20 мм; 6 – склад піску фракції 0-5 мм; 7 – підконвейерні галереї; 8 - накопичувальний бункер для відвантаження готової продукції

Рис. 5.1 – Схема технологічного процесу виготовлення щебеню та піску

5.2.5.6 Технічні характеристики грохота SKH 6.0x2K наведено у додатку А цього регламента.

5.2.5.7 Технологія виготовлення щебеню та піску включає:

- зберігання запасу нефракційного мінерального матеріалу (фракції 0-40 мм) в агрегаті живлення і їх попереднє дозування;
- сортування (розсіювання) мінеральних матеріалів по фракціях;
- транспортування щебеню (фракції 20-40 мм та 5-20 мм) та піску (фракція 0-5 мм) на склад готової продукції;
- переміщення щебеню (фракції 20-40 мм та 5-20 мм) та піску (фракція 0-5 мм) зі складу готової продукції до бункера-накопичувача;
- вивантаження щебеню або піску з бункера-накопичувача в транспортний

засіб.

5.2.5.8 Приготування щебенево-піщаних сумішей з отриманих кам'яних матеріалів (щебеню та піску) виконується способом змішування на будівельному майданчику за допомогою фронтальних навантажувачів.

5.2.5.9 Технологія приготування щебенево-піщаної суміші включає:

- зберігання запасу вихідних кам'яних матеріалів на складах готової продукції;
- переміщення зі складу готової продукції на будівельний майданчик та дозування за об'ємом вихідних кам'яних матеріалів;
- перемішування кам'яних матеріалів у встановлених лабораторією пропорціях;
- переміщення готової щебенево-піщаної суміші на склад готової продукції.

5.2.5.10 Важливими параметрами технологічних операцій, що впливають на властивості кінцевого продукту – щебенево-піщаної суміші, є:

- точність дозування мінеральних матеріалів, оскільки зменшення чи збільшення дозування навіть одного компонента призводить у результаті до нестачі або надлишку цього компонента в готовій суміші;
- точність дотримання тривалості перемішування щебенево-піщаної суміші на будівельному майданчику.

5.2.6 Матеріальний баланс

5.2.6.1 Матеріальний баланс може бути складений на одиницю випущеної продукції, на один виробничий потік чи на потужність виробництва в цілому.

5.2.6.2 Баланс складено на виготовлення 1 т щебенево-піщаної суміші С7 у вигляді таблиці 2.

5.2.6.3 Витрати складових матеріалів для приготування щебенево-піщаних сумішей визначаються згідно лабораторного підбору.

Таблиця 5.5 – Матеріальний баланс на виготовлення 1 т щебенево-піщаної суміші С7

Надходження			Витрата		
Найменування продуктів та складників	Витрата за масою, кг	Частка складника, % за масою	Найменування продуктів та складників	Витрата за масою, кг (м³)/т	Частка складника, % за масою
Щебінь фракції (20-40) мм	280	28,0	Щебінь фракції (20-40) мм	280	28,0
Щебінь фракції (5-20) мм	360	36,0	Щебінь фракції (5-20) мм	360	36,0
Відсів фракції (0-5) мм	360	36,0	Відсів фракції (0-5) мм	360	36,0

5.2.7 Норми технологічного режиму

Таблиця 5.6 – Норми технологічного режиму виготовлення щебеню та піску

Назва стадії і потоків матеріалів	Назва технологічних показників		
	Назва параметру та одиниці вимірювання	Номінальне значення з допустимими відхиленнями або діапазоном регулювання	Межа допустимих значень параметрів
Попереднє об'ємне дозування вихідного нефракційного мінерального матеріалу	Кількість матеріалу фракції 0-40 мм, м ³ ; похибка дозування, %	Відповідно до технічних характеристик грохота;	-
Сортування (розсіювання) суміші мінеральних матеріалів	Час сортування (розсіювання), с	Відповідно до технічних характеристик грохота	Відповідно до технічних характеристик грохота
Зберігання виготовлених мінеральних матеріалів по фракціях	Рівень заповнення складів мінеральних матеріалів	Відповідно до технічних характеристик складів готової продукції	Відповідно до технічних характеристик складів готової продукції

Таблиця 5.7 – Норми технологічного режиму виготовлення щебенево-піщаних сумішей

Назва стадії і потоків матеріалів	Назва технологічних показників		
	Назва параметру та одиниці вимірювання	Номінальне значення з допустимими відхиленнями або діапазоном регулювання	Межа допустимих значень параметрів
Об'ємне дозування вихідних мінеральних матеріалів	Кількість матеріалів, кг; похибка дозування, %, для матеріалів: КРЗ, пісок	Відповідно до рецептури та технічних характеристик фронтального навантажувача; $\pm 2,0$ $\pm 2,0$	Відповідно до технічних характеристик змішувача
Перемішування складників суміші	Час перемішування, с	Відповідно до режиму роботи фронтальних навантажувачів	-
Зберігання приготовленої щебенево-піщаної суміші	Рівень заповнення складів мінеральних матеріалів	Відповідно до технічних характеристик складів готової продукції	Відповідно до технічних характеристик складів готової продукції

5.2.8 Контроль виробництва і управління технологічним процесом

5.2.8.1 Управління технологічним процесом та керування вузлами і агрегатами змішувальної установки здійснюють в ручному режимі.

5.2.8.2 Дані контролю виробництва і управління стадіями технологічного процесу, які забезпечують необхідні технічні характеристики щебеню, піску та щебенево-піщаної суміші, наведені в таблиці 5.8.

Таблиця 5.8 – Контроль виробництва і управління технологічним процесом

Місце вимірювання параметру або відбору проби	Параметр, що контролюється	Нормативне значення параметру	Діапазон допустимих показань приладів	Допустима похибка вимірювання параметру	Методика виконання вимірювання, ЗВТ, ВО	Вид та періодичність контролю	Хто контролює
Склад КРЗ	Зерновий склад фракцій КРЗ за повним залишком зерен, % за масою, на ситах з розміром вічок, мм: -d -0,5·(D+d) -D -1,25·D	Понад 90 до 100 Понад 30 до 80 До 10 включно До 0,5 включно	Найменша границя зважування встановлюється згідно з табл. 3 ДСТУ EN 45501 з урахуванням маси зразка	0,1 % маси	Згідно з 4.3 ДСТУ Б В.2.7-71	Операційний; кожна партія КРЗ, але не рідше одного разу на 10 змін	Лаборант
	Вміст у щебені зерен пластинчастої та голчастої форми, % за масою	Згідно з табл. 5.4	Те саме	Те саме	Згідно з 4.7 ДСТУ Б В.2.7-71	Те саме	Те саме
	подрібнених зерен, % за масою, не менше				Згідно з ДСТУ Б В.2.7-71		
	Вміст у КРЗ пиловатих та глинистих часток, % за масою	Згідно з табл. 5.4	-//-	-//-	Згідно з 4.5.1-4.5.3 ДСТУ Б В.2.7-71	-//-	-//-
	Вміст у КРЗ глини в грудках, % за масою	Згідно з табл. 5.4	-//-	-//-	Згідно з 4.6 ДСТУ Б В.2.7-71	-//-	-//-

Продовження таблиці

	Вологість КРЗ, % за масою	Не нормується, вказується за фактичним значенням	-//-	-//-	Згідно з 4.19 ДСТУ Б В.2.7-71	Операційний; кожна партія КРЗ, але не рідше одного разу на 10 змін та при зміні умов зберігання	-//-
Склад піску	Зерновий склад піску за вмістом зерен, менших стандартного розмірів сітка, % за масою, та модуль крупності піску	Згідно з табл. 5.4	Найменша границя зважування встановлюється згідно з табл. 5.6 ДСТУ EN 45501 з урахуванням маси зразка	0,1 % маси	Згідно з розділом 5 ДСТУ Б В.2.7-232	Операційний; кожна партія піску, але не рідше одного разу за 10 змін	Лаборант
	Вміст у піску глинистих домішок, % за масою	Згідно з табл. 5.4	Те саме	Те саме	Згідно з додатком А ДСТУ Б В.2.7-210	Те саме	Те саме
	Вологість піску, % за масою	Не нормується, вказується за фактичним значенням	-//-	-//-	Згідно з розділом 12 ДСТУ Б В.2.7-232	Операційний; кожна партія піску, але не рідше одного разу за 10 змін та при зміні умов зберігання	

5.2.9 Охорона навколишнього природного середовища

5.2.9.1 Порядок поводження з некондиційними матеріалами та іншими відходами, що утворюються при виробництві щебеню, піску та щебенево-піщаних сумішей, повинен відповідати вимогам ДСТУ 4462.3.01, ДСТУ 4462.3.02.

5.2.9.2 Викиди в атмосферу шкідливих речовин не повинні перевищувати ГДВ відповідно до вимог чинним нормативним документам (НД). Під час виробництва щебеню, піску та щебенево-піщаних сумішей згідно з цим технологічним регламентом повинні бути забезпечені вимоги Державних санітарних правил охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами).

5.2.9.3 Умови відведення стічних вод повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

5.2.9.4 Концентрації забруднюючих речовин в ґрунті не повинні перевищувати ГДК, встановлені чинними нормативними документами.

5.2.10 Вимоги безпеки і охорони праці

5.2.10.1 Під час виробництва щебеню, піску та щебенево-піщаних сумішей слід дотримуватись вимог ДБН А.3.2-2, НПАОП 26.30-1.04, НПАОП 63.21-3.03, НАПБ А.01.001, НАПБ В.01.048-95/510, а також вимог інструкцій з охорони праці при експлуатації машин і механізмів. Вантажно-розвантажувальні роботи здійснюють відповідно до вимог чинних нормативних документів.

5.2.10.2 При виконанні робіт, які супроводжуються виділенням забруднюючих речовин, працівники мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту згідно з НПАОП 0.00-4.01, НПАОП 63.21-3.03. Рівень

шумового навантаження на працюючих повинен задовольняти вимоги ДСН 3.3.6.037. Еквівалентні рівні загальної вібрації на робочих місцях повинні задовольняти вимоги ДСН 3.3.6.039.

5.2.10.3 Всі будівлі та споруди на території виробничих баз повинні відповідати вимогам пожежної безпеки згідно з ДБН В.1.1-7.

5.2.10.4 Електроустановки технологічного обладнання повинні задовольняти вимогам ПУЕ, НПАОП 40.1-1.32, НПАОП 40.1-1.01, НПАОП 40.1-1.07, НПАОП 40.1-1.21.

5.2.10.5 Виробничі процеси повинні виконуватись з дотриманням вимог пожежної безпеки, електростатичної іскробезпеки та виробничої безпеки згідно з чинними НД.

Бункери, силоси, конвеєри, живильники для роботи з пилоподібними матеріалами повинні бути герметичними, обладнані пиловідводами та пиловловлюючими пристроями. Пилоподібні матеріали належить переміщувати в межах заводу пневмотранспортом.

Концентрація шкідливих речовин виробничого середовища не повинна перевищувати гранично-допустимих концентрацій (ГДК) згідно з чинними нормативними документами (НД), наведених у таблиці 5.9.

Таблиця 5.9 – Гранично-допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони під час виготовлення щебеню, піску та щебенево-піщаних сумішей

Шкідливі речовини	ГДК, мг/м ³	Клас небезпеки
Вуглеводні C ₂ -C ₁₀ (у перерахунку на вуглець)	300	IV
Етанол	1000	IV
Ксилол	50	III
Оксид вуглецю (IV)	20	IV

Закінчення таблиці

Оксиди азоту (в перерахунку на NO ₂)	5	III
Сірки діоксид	10	III
Фенол	0,3	II
Циклогексан	80	IV

5.2.10.6 Контроль за станом повітря робочої зони здійснюють згідно з чинними НД. Концентрацію пилу у повітрі робочої зони визначають згідно з [1].

5.2.10.7 До роботи допускаються особи, які проходять періодичний медичний огляд згідно з Порядком проведення медичних оглядів робітників певних категорій та пройшли інструктаж з техніки безпеки і перевірку знань з питань пожежної безпеки відповідно до Правил пожежної безпеки в Україні. Порядок проведення інструктажів, навчання та перевірки знань працівників з питань охорони праці встановлюють відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12. Особи, які виконують роботу, пов'язану з підвищеною пожежною небезпекою згідно з НАПБ Б.06.001, повинні проходити спеціальне навчання, а також перевірку знань відповідно до порядку, встановленого НАПБ Б.02.005.

5.2.10.8 Під час експлуатації агрегатів та вузлів грохота для виготовлення щебеню та піску згідно з цим технологічним регламентом слід дотримуватись вимог ДБН В.2.8-9. Належить дотримуватись інструкцій, які розробляють суб'єкти господарювання та затверджують у встановленому порядку. Інструкції з охорони праці розробляють відповідно до НПАОП 0.00-4.15.

ДОДАТОК А

(довідковий)

А.1 ОПИС І РОБОТА ГРОХОТА

А.1.1 Призначення

А.1.1.1 Грохот інерційний SkH6,0x2K призначений для поділу по крупності сипучих матеріалів з об'ємною масою насиченого вантажу на понад 2,8 т/м³ при куті нахилу поверхні, що просіває 15-20 градусів на операціях сухого (з поверхневою вологою матеріалу не більше 5 %) і крупністю шматків живлення не більше 100 мм, при висоті падіння не більше 400 мм.

А.1.1.2 Грохоти інерційні SkH6,0x2K можуть застосовуватися для розсіву ЩПС з амфіболітів, плагіогранітів, безрудних кварцитів, метапіщаників, мігматитів, кварц-біотит-амфіболовів, кварц-роговообманкових сланців, кварц-біотитових сланців в умовах ВАТ «Полтавський ГОК».

Грохоти виготовляються в опорному виконанні для умов УХЭЛ 4 по ГОСТ 15150.

А.1.2 Технічні характеристики

А.1.2.1 Основні параметри і технічні дані наведені в таблиці А.1.

Таблиця А.1 – Характеристика грохота

№ п/п	Найменування параметру і розміру	Значення
1	Продуктивність, не більше, т/год	450
2	Розміри поверхні, що просіває, мм Верхній ярус ширина довжина Нижній ярус ширина довжина	1750±30 3810±30 1750±30 3285±30
3	Площа поверхні, що просіває, м ² Верхній ярус Нижній ярус	6,67 5,75
4	Число ярусів, шт.	2
5	Амплітуда коливань коробу, мм	2,97...5,25±0,7
6	Частота вимушених коливань, с ⁻¹	12,25±0,25
7	Габаритні розміри частини грохоту, що коливається, мм довжина ширина висота	3620 2482 2340
8	Номінальна потужність електродвигуна, кВт	18,5
9	Маса частини грохоту, що коливається, кг	4250
10	Розміри чарунок сит, мм верхній ярус нижній ярус	50x50 25x25

ДОДАТОК Б

(довідковий)

ПЕРЕЛІК ОБОВ'ЯЗКОВИХ ІНСТРУКЦІЙ

Перелік інструкцій, дотримання: яких обов'язкове для проведення технологічного процесу, а саме:

- пускові інструкції (при запуску нового обладнання);
- загально виробничі інструкції;
- інструкції з вимог безпеки, виробничої санітарії і пожежної безпеки виробництва або інших виробничих підрозділів, якщо вони мають значні розбіжності із загальною характеристикою виробництва;
- план ліквідації аварійних ситуацій і аварій (якщо виробництво включене в перелік виробництв, для яких обов'язкова розробка таких планів);
- інструкція з підготовки обладнання до ремонту і приймання обладнання з ремонту;
- інструкція з зупинення на капітальний ремонт і запуску після капітального ремонту;
- інструкція з проведення ремонту обладнання;
- інструкції на всіх робочих місцях у відповідності із штатним розкладом, включаючи робочі місця наскрізних професій.

ДОДАТОК В

(обов'язковий)

НОРМАТИВНІ ПОСИЛАННЯ

У даному технологічному регламенті є посилання на такі нормативні, нормативно-правові акти та нормативні документи:

НАПБ А.01.001-2014	Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України від 30.12.2014 № 1417, зареєстровані в Міністерстві юстиції України 05.03.2015 за №252/26697
НАПБ Б.02.005-2003	Типове положення про інструктажі, спеціальне навчання та перевірку знань з питань пожежної безпеки на підприємствах, в установах та організаціях України
НАПБ Б.06.001-2003	Перелік посад, при призначенні на які особи зобов'язані проходити навчання і перевірку знань з питань пожежної безпеки, та порядок їх організації
НАПБ В.01.048-95/510	Правила пожежної безпеки для підприємств і організацій дорожнього господарства
НПАОП 0.00-4.01-08	Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту
НПАОП 0.00-4.12-05	Типове положення про порядок проведення навчання та перевірки знань з питань охорони праці
НПАОП 0.00-4.15-98	Положення про розробку інструкцій з охорони праці

НПАОП	Правила безпечної експлуатації електроустановок
40.1-1.01-97 (ДНАОП 1.1.10-1.01)	
НПАОП	Правила експлуатації електрозахисних засобів
40.1-1.07-01	
НПАОП	Правила безпечної експлуатації електроустановок
40.1-1.21-98 (ДНАОП 0.00-1.21-98)	споживачів
НПАОП	Правила будови електроустановок.
40.1-1.32-01	Електрообладнання спеціальних установок
НПАОП	Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг
63.21-1.01-09	
НПАОП	Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту працівникам дорожнього господарства
63.21-3.03-08	
Порядок проведення медичних оглядів працівників певних категорій, затверджений наказом Міністерства охорони здоров'я України від 21.05.2007 №246, зареєстрований в Міністерстві юстиції України 23.07.2007 за № 846/14113	
Державні санітарні правила охорони атмосферного повітря населених місць (від забруднення хімічними та біологічними речовинами); наказ МОЗ України від 09 липня 1997 р. № 201	
СанПиН	Санітарні норми допустимих концентрацій
42-128-4433-87	хімічних речовин у ґрунті
СанПиН 4617-88	Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої зони
СанПиН 4630-88	Санітарні правила і норми охорони поверхневих вод від забруднення
ДБН А.3.2-2-2009	Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і

	промислова безпека у будівництві. Основні положення
ДБН В.1.1-7-2002	Пожежна безпека об'єктів будівництва
ДБН В.2.8-9-98	Будівельна техніка, оснастка, інвентар та інструмент. Експлуатація будівельних машин. Загальні вимоги
ДСН 3.3.6.037-99	Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку
ДСН 3.3.6.039-99	Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації
ДСТУ 4462.3.01:2006	Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій
ДСТУ 4462.3.02:2006	Охорона природи. Поводження з відходами. Пакування, маркування і захоронення відходів. Правила перевезення відходів. Загальні технічні та організаційні вимоги
ДСТУ Б В.2.1-17:2009	Основи та підвалини будинків та споруд. Ґрунти. Методи лабораторного визначення фізичних властивостей
ДСТУ Б В.2.7-27-95	Будівельні матеріали. Пісок із вапняків-черепашників для будівельних робіт. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-32-95	Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови
ДСТУ Б В.2.7-33-2001	Будівельні матеріали. Пісок кварцево-залізистий і тонкодисперсна фракція для будівельних робіт з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови

- ДСТУ Б В.2.7-34-2001 Будівельні матеріали. Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови
- ДСТУ Б В.2.7-71-98 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. З поправкою
- ДСТУ Б В.2.7-74-98 Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, з відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Класифікація
- ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови
- ДСТУ Б В.2.7-76-98 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних порід із відсівів подрібнення скельних гірських порід гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови
- ДСТУ Б В.2.7-149 Будівельні матеріали. Щебінь і щебенево-піщані суміші із шлаків металургійних для дорожніх робіт. Технічні умови
- ДСТУ Б В.2.7-210 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови
- ДСТУ Б В.2.7-232 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань

ДСТУ 6651	Метрологія. Термоперетворювачі опору з платини, міді та нікелю. Загальні технічні вимоги та методи випробування (ГОСТ 6651-2009, IDT)
ДСТУ EN 45501	Метрологічні аспекти неавтоматичних зважувальних приладів (EN 45501:2015, IDT)
ДСТУ ISO 386	Термометри рідинні скляні лабораторні. Принципи проектування, конструкція та використання.
ПУЕ:2014	Правила улаштування електроустановок

ДОДАТОК Г

(довідковий)

БІБЛІОГРАФІЯ

1. МУ 4436-87 Вимірювання концентрації аерозолів переважно фіброгенної дії

5.3 Висновки по розділу

1. Впровадження результатів досліджень у виробничих умовах свідчать про те, що використання щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів для влаштування шарів дорожніх одягів автомобільних доріг забезпечує нормативну якість їхніх експлуатаційних властивостей та підвищення довговічності, а також покращення екологічної ситуації в регіоні розташування гірничо-збагачувального підприємства.

2. Апробовано та впроваджено у виробництво розроблений «Технологічний регламент виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування щебенево-піщаних сумішей з них», а також «Рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками». Побудовані шари дорожнього одягу з використанням ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з комплексом добавок за експлуатаційними властивостями не поступаються шарам дорожнього одягу побудованим зі зміцнених гранітних ЩПС.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Теоретично спрогнозовано і експериментально підтверджено, що структура і властивості матеріалу зі зміцнених цементом ЩПС із залізистих кварцитів визначаються видом використаних модифікуючих добавок до них. Об'єднання у оптимальному співвідношенні різних за функціональним призначенням модифікуючих добавок під час проектування складу ЩПС із залізистих кварцитів, зміцненої цементом, забезпечує можливість будівництва шарів дорожніх одягів автомобільних доріг підвищеної довговічності з високими показниками модуля пружності, міцності за розтягу під час вигину, структурної міцності, індексу температурної тріщиностійкості, морозостійкості, низьким показником дефектності структури матеріалу в шарі.

2. Результати експериментально досліджених термодинамічних характеристик вказують на те, що додавання добавок катіонного латексу до води покращує змочування водним розчином мінеральної поверхні зерен ЩПС із залізистих кварцитів та цементу за рахунок зменшення величини поверхневого натягу та крайового кута змочування. Експериментально визначено, що за вмісту катіонного латексу у воді, яка є близькою до критичної концентрації міцелоутворення, необхідна оптимальна вологість ЩПС із залізистих кварцитів з цементом для досягнення максимальної щільності під час її ущільнення укладуванням у шарі дорожнього одягу зменшується на 16,7 %, порівняно з використанням чистої води.

3. Встановлено, що збільшення концентрації цементу у складі ЩПС із залізистих кварцитів різного гранулометричного складу за оптимальної їхньої вологості призводить до закономірного зростання міцнісних показників матеріалу. Зростання значень границі міцності за стиску та за розколу по твірній відбувається у разі збільшення, як максимального розміру, так і загального вмісту зерен щебеню, у складі ЩПС із залізистих кварцитів, за

однакового вмісту цементу. Встановлено, що меншу кількість цементу необхідно додавати до ЩПС для отримання однакових марок матеріалу за міцністю у разі збільшення у його складі вмісту щебеню.

4. Методом інфрачервоної спектроскопії встановлено, що хімічної взаємодії між складниками матеріалу з ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом спільно з катіонним латексом не відбувається. Методом електронної скануючої мікроскопії показано, що матеріалу зміцненому одночасно цементом і катіонним латексом властива більш щільна структура, порівняно з матеріалом зміцненим тільки цементом. За присутності латексу в продуктах гідратації цементу формуються більш дрібні кристалогідрати, що сприяє формуванню меншої кількості дефектів у структурі матеріалу. Зі збільшенням концентрації катіонного латексу у складі ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом значення границі міцності за стиску, міцності за розколу по твірній, міцності за розтягу під час вигину і модуля пружності матеріалу демонструють тенденцію незначного зростання до критичної концентрації міцелоутворення, порівняно з матеріалом без добавок латексів. За концентрації катіонного латексу, більшої за критичну концентрацію міцелоутворення, значення показників міцності дещо знижуються, що є наслідком розуцільнення структури цементного каменю. Показано, що за додавання катіонного латексу величина максимальної структурної міцності, індексу температурної тріщиностійкості і морозостійкості матеріалу з ЩПС зміцненого цементом зростає, а показника дефектності структури зменшується, порівняно з матеріалом без латексу, що свідчить про його підвищений опір тріщиноутворенню.

5. За залежностями коефіцієнта морозостійкості, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості від довжини волокон базальтової фібри у складі ЩПС зміцненої цементом встановлено, що максимальні значення вказаних характеристик властиві матеріалу, що вміщує 0,05 % базальтової фібри завдовжки 18 мм. За вказаного вмісту і довжини

базальтових волокон коефіцієнт морозостійкості зростає на 33 %, показник максимальної структурної міцності на 36 %, індекс температурної тріщиностійкості на 31 %, порівняно з матеріалом без фібри.

6. Експериментально доведено, що додавання комплексу добавок (катіонного латексу і базальтової фібри) до складу ЩПС із залізистих кварцитів зміцнених цементом викликає зростання значень границі міцності за стиску, міцності за розколу по твірній, міцності за розтягу під час вигину, модуля пружності, коефіцієнта морозостійкості, максимальної структурної міцності і індексу температурної тріщиностійкості матеріалу, порівняно з індивідуальним впливом латексу і фібри. Додавання базальтової фібри і катіонного латексу, як індивідуальних добавок до складу ЩПС із залізистих кварцитів зміцненої цементом, а також комплексу цих добавок, викликає зменшення показника дефектності структури матеріалу, порівняно з матеріалом без добавок.

7. Здійснено впровадження результатів дисертаційного дослідження у виробничих умовах ТОВ «Геомакс» в технологію приготування кондиційних за гранулометричним складом ЩПС із відходів залізистих кварцитів Полтавського ГЗК, ТОВ «ЛБС» під час будівництва шару покриття дорожнього одягу лісових доріг, Служби відновлення та розвитку інфраструктури у Харківській області під час поточного ремонту автомобільних доріг, а також у навчальний процес Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за професійним спрямуванням 192 «Будівництво та цивільна інженерія». За результатами досліджень розроблені рекомендації щодо технології приготування та будівництва шарів дорожніх одягів із застосуванням ЩПС із залізистих кварцитів, зміцнених цементом та модифікуючими добавками, а також технологічний регламент виготовлення щебеню і піску з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату та ЩПС з них для будівельних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Jin J., Sun B. An overview of the current situation and problems of comprehensive utilization of iron tailings [J]. Shanxi Construction. 2008. 34(14), P. 26-27.
2. Xu F., Zhou X., HU T. Status quo and suggestions for comprehensive utilization of tailings resources in China [J]. Mining Express. 2007. 23(003). P. 4-6.
3. Cheng L., Zhu S. Comprehensive utilization of tailings at home and abroad [J]. China Comprehensive Utilization of Resources. 2005. 11. P. 30-32.
4. Luthra S., Mangla S.K., Sarkis J., Tseng M.L. Resources melioration and the circular economy: Sustainability potentials for mineral, mining and extraction sector in emerging economies. Resour. Policy. 2022. 77. P. 1-4.
5. Lin H. Comprehensive utilization of iron ore mine tailings [J]. Mineral Conservation and Utilization, 1992.4. P. 94-99.
6. Zhang J., Zhao B., Fan B. Research on the current situation of iron tailings discharge and comprehensive utilization in China [J]. Renewable Resources and Circular Economy. 2015. 8(9). P. 29-32.
7. Zhang S., Xue X., Jin Z. Resource status of iron tailings in China and its comprehensive utilization [J]. Journal of Materials and Metallurgy. 2004. 3(4). P. 241-245.
8. Felleson D.A. Iron Ore and Taconite Mine Reclamation and Revegetation Practices on the Mesabi Range In Northeastern Minnesota [J]. African Study Monographs Supplementary Issue. 1999. 26. P. 157-168.
9. Maiti S.K, Nandhini S., Das M. Accumulation of metals by naturally growing herbaceous and tree species in iron ore tailings [J]. International Journal of Environmental Studies. 2005. 62(5). P. 593-603.
10. Kangal O., Gueney A. Pilot Scale Tests for Evaluation of Feldspar Tailings for Ceramic Industry [J]. Key Engineering Materials. 2004. 264. P. 1415-1418.

11. Kuranchie F.A., Shukla S.K., Habibi D., et al. Utilization of iron ore tailings as aggregates in concrete [J]. *Cogent Engineering*. 2015. 2(1). P. 1083137.
12. Li Y., Li S., Zhao X., et al. Separation and purification of high-purity quartz from high-silicon iron ore tailing: An innovative strategy for comprehensive utilization of tailings resources [J]. *Process Safety and Environmental Protection*. 2023. 169. P. 142-148.
13. Vilela A.P, Eugênio T.M.C., Oliveira F.F., et al. Technological properties of soil-cement bricks produced with iron ore mining waste [J]. *Construction and Building Materials*. 2020. 262. 120883.
14. Zhang S., Xue X., Liu X., et al. Current situation and comprehensive utilization of iron ore tailing resources [J]. *Journal of mining Science*. 2006. 42. P. 403-408.
15. Li C., Sun H., Yi Z., et al. Innovative methodology for comprehensive utilization of iron ore tailings: Part 2: The residues after iron recovery from iron ore tailings to prepare cementitious material [J]. *Journal of hazardous materials*. 2010. 174(1). P. 78-83.
16. Li B., Zhao Z., Tang B., et al. Comprehensive utilization of iron tailings in China [C]//IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing. 2018. 199(4). 042055.
17. Li Y., Bao J. A Comprehensive Utilization Efficiency Evaluation of Iron Tailings based on the Differential-Benefit Evaluation [J]. *Journal of Mines. Metals & Fuels*. 2022. 70(6). P. 23-30.
18. Sun J., Zhdaniuk V., He Y., et al. Study on Application of Iron Tailings in Cement Stabilized Macadam [J]. *Key Engineering Materials*. 2023. 944. P. 231-246.
19. Eugenio T.M.C., Narciso C.R.P, Fagundes J.F., et al. Study on the use of mining waste as raw material for extruded fiber cement production [J]. *Journal of Building Engineering*. 2023. 63. 105547.
20. Chen Y., Chen J., Du J., et al. Recycling of low-silicate iron tailings in the

production of lightweight building materials [J]. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2022. P. 1-11.

21. Ullah S., Wan S., Yang C. Self-stress and deformation sensing of electrically conductive asphalt concrete incorporating carbon fiber and iron tailings [J]. *Structural Control and Health Monitoring*. 2022. 29(9). 2998.

22. Thejas H.K., Hossiney N. Alkali-activated bricks made with mining waste iron ore tailings [J]. *Case Studies in Construction Materials*. 2022. 16. 00973.

23. Das B., Reddy P.S.R., Misra V.N. Recovery of iron values from tailing dumps adopting hydrocyclone and magnetic separation techniques [J]. *Australasian Institute of Mining and Metallurgy Publication Series*. 2002. 2. P. 285-289.

24. Sirkeci A.A, Gül A., Bulut G., et al. Recovery of Co, Ni, and Cu from the tailings of divrigi iron ore concentrator [J]. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*. 2006. 27(2). P. 131-141.

25. Das S.K., Kumar S., Ramachandrarao P. Exploitation of iron ore tailing for the development of ceramic tiles [J]. *Waste Management*. 2000. 20(8). P. 725-729.

26. Shengo L.M. Review of practices in the managements of mineral wastes: The case of waste rocks and mine tailings [J]. *Water, Air, & Soil Pollution*. 2021. 232(7). 273.

27. Sun J., Zhdaniuk V., Wang S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [J]. *Advanced Engineering Forum*. Trans Tech Publications Ltd. 2023. 48. P. 31-43.

28. Pu H., Zhang Y. On the comprehensive utilization of mineral resources in China [J]. *Comprehensive utilization of minerals*. 2001. 4. P. 19-22.

29. Zhang J. Three-dimensional development and comprehensive utilization of mineral resources [J]. *Mining Engineering*. 2001. 26(004). P. 55-58.

30. Wang Y., Chang Q. Current resource status utilization of iron ore tailings in China and the direction of work [J]. *Metal Mining*. 1999. 1. P. 1-6.

31. Araujo F.S.M., Taborda L.I., Nunes E B, et al. Recycling and reuse of mine

tailings: A review of advancements and their implications [J]. *Geosciences*. 2022. 12(9). 319.

32. Jiang X., Liu W., Xu H., Cui X., Li J., Chen J., Zheng B. Characterizations of heavy metal contamination, microbial community, and resistance genes in a tailing of the largest copper mine in China. *Environment and Pollution*. 2021. 280. 116947.

33. Park I., Tabelin C.B., Jeon S., Li X., Seno K., Ito M., Hiroyoshi N. A review of recent strategies for acid mine drainage prevention and mine tailings recycling. *Chemosphere* 2019. 219. P. 588-606.

34. Chang Q., Wang Y. Current situation and countermeasures of comprehensive utilization of tailings in China [J]. *China Mining Industry*. 1999. 8(2). P. 20-24.

35. Peng H., Li J., Luo M., et al. Resource utilization of hematite tailings and its application [J]. *Modern Mining*. 2009. 6. P. 47-49.

36. Liu S. Current situation and development prospect of comprehensive utilization of iron tailings resources in China [J]. *Metal Mining*. 1989. 8. P. 79-84.

37. Nikvar H.A, Vashaghian H., Hodges R. Production of green bricks from low-reactive copper mine tailings: Chemical and mechanical aspects [J]. *Construction and Building Materials*. 2022. 324. 126695.

38. Roy S., Adhikari G.R., Gupta R.N. Use of gold mill tailings in making bricks: a feasibility study. *Waste Manage Re*. 2007.25. P. 475-482.

39. Yao S., Xing A., Shi Y., et al. Report on the development of three free tailing bricks [J]. *Building Energy Conservation*. 1993. 4. P. 35-36.

40. Young G., Yang M. Preparation and characterization of Portland cement clinker from iron ore tailings [J]. *Construction and Building Materials*. 2019. 197. P. 152-156.

41. Tsakiridis P.E., Papadimitriou G.D., Tsivilis S., et al. Utilization of steel slag for Portland cement clinker production [J]. *Journal of hazardous materials*.

2008. 152(2). P. 805-811.

42. Liu X., Li R., Sun K., et al. The necessity and countermeasures of comprehensive utilization of tailings resources [J]. *Renewable Resources and Circular Economy*. 2015. 8(12). P. 30-32.

43. Zhang J. Three-dimensional development and comprehensive utilization of mineral resources [J]. *Mining Engineering*. 2001. 26(4). P. 55-58.

44. Cao Y. Tailings paving tiles [J]. *Building Energy Conservation*. 1989. 2. P. 2-5.

45. Bastos L.A.C, Silva G.C., Mendes J.C., et al. Using iron ore tailings from tailing dams as road material [J]. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016. 28(10). 04016102.

46. Xu S. Research on application of iron tailings on road base [J]. *Advanced Materials Research*. 2013. 743. P. 54-57.

47. Sun J., Dou Y., Chen Z., et al. Experimental study on the performances of cement stabilized iron ore tailing gravel in highway application [J]. *Applied Mechanics and Materials*. 2011. 97. P. 425-428.

48. Kuranchie F.A. "Characterization and applications of iron ore tailings in building and construction projects". 2015.

49. Sá T.S.W., Oda S., Machado V.K.C.B.L., et al. Use of iron ore tailings and sediments on pavement structure [J]. *Construction and Building Materials*. 2022. 342. 128072.

50. Cao L., Zhou J., Zhou T., et al. Utilization of iron tailings as aggregates in paving asphalt mixture: A sustainable and eco-friendly solution for mining waste [J]. *Journal of Cleaner Production*. 2022. 375. 134126.

51. Barati S., Tabatabaie S.P., Samani N., et al. Stabilization of iron ore tailings with cement and bentonite: a case study on Golgohar mine [J]. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2020. 79. P. 4151-4166.

52. Ikotun J., Adeyeye R., Otieno M. Application of mine tailings sand as

construction material-a review[C]//MATEC Web of Conferences. EDP Sciences. 2022. 364. 05008.

53. Li R., Wang J., Zhou Z., et al. Application of iron tailings in highway engineering [J]. Mining Engineering. 2007. 5(5). P. 52-54.

54. Su G. Application of iron ore tailings material in highway engineering [J]. Inner Mongolia Highway and Transportation. 2007. 1. P. 29-32.

55. Zhang T., Wang L., Zhang Y. The Environmental Study on Utilization of Casting Waste Sand and Iron Tailing Sand as Road Base Materials [J]. Ekoloji Dergisi. 2018. 106. P. 1615-1624.

56. Zeng Y., Pan J., Yang X., et al. Research progress on the application of iron tailings in road base materials [J]. Applied Chemistry. 2018. 47 (2). P. 21-28.

57. Hu G.W., Zhang H., Zhuang Y. Research on the Road Performance of Inorganic Binder Stabilized Iron Tailings Sand [J]. Transportation World. 2015. 28. P. 19-21.

58. Zhang Z.H., Li B., Li P., et al. Research on Improving Iron Tailings for Road Base Materials [J]. China Foreign Highway. 2018. 38 (3). P. 274-278.

59. Xu S. Experimental Study on Replacing Part of Stone with Iron Tailings to Save Road Engineering Cost [J]. Modern Commerce and Industry. 2015. 36 (24). P. 127-128.

60. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Павлютін К.О. Дослідження міцності щебенево-піщаних сумішей, укріплених портландцементом // Матеріали всеукраїнської науково-практичної конференції «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг» Харків: ХНАДУ. 2016. С. 53-57.

61. Жданюк В.К., Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Дослідження впливу комбінованих в'язучих на властивості щебенево-піщаних сумішей // Міжнародний збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та металознавство»)

Луцьк: ЛНТУ, 2016. 46. С. 99-107.

62. 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.

63. Zhang J., Bai J., Wang S. Fatigue damage evolution rule of cement stabilized macadam used in pavement's base course at different curing time [J]. Construction and Building Materials. 2022. 325. 126827.

64. Du Q., Pan T., Lv J., et al. Mechanical Properties of Sandstone Cement-Stabilized Macadam [J]. Applied Sciences. 2019. 9(17). 3460.

65. 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 and Building Materials. 2015, 96. P. 296-306.

66. Jiang Y., Liu H., Xue J. Fatigue Performance of Vertical Vibration Compacted Cement-Stabilized Recycled Pavement Materials [J]. Journal of Testing and Evaluation. 2018. 46(5). P. 2251-2264.

67. Zhou W.F., Li Y.W., Zhang X.L., Miao Q. Fatigue performance and influencing factors of cement stabilized macadam, Journal of Chang'an University (Natural Science Edition). 2013. 33(01). P. 23-27.

68. Sun Y., Li L., Liao J., et al. Dry shrinkage performance of cement-stabilized reclaimed lime-fly ash macadam [J]. Construction and Building Materials, 2022. 331. 127332.

69. Abdellatief M., Elemam W.E., Alanazi H., et al. Production and optimization of sustainable cement brick incorporating clay brick wastes using response surface method [J]. Ceramics International. 2023. 49(6). P. 9395-9411.

70. Cheng Y.H., Yang S.H., et al. Test research on hydration process of cement-iron tailings powder composite cementitious materials [J]. Powder Technology. 2022. 399. 117215.

71. Zhao K., He Z., Yan Y., et al. Investigation of failure mechanism of cement-fiber-tailings matrix composites using digital image correlation and acoustic emission [J]. *Construction and Building Materials*. 2022. 335. 127513.
72. Fontes W. C., et al. Mortars for laying and coating produced with iron ore tailings from tailing dams [J]. *Construction and Building Materials*. 2016. 112. P. 988-995.
73. Gayana B.C., et al. Experimental and Statistical Evaluations of Strength Properties of Concrete with Iron Ore Tailings as Fine Aggregate [J]. *Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste*. 2020. 24(1). 04019038.
74. Li T., Wang S., Xu F., et al. Study of the basic mechanical properties and degradation mechanism of recycled concrete with tailings before and after carbonation [J]. *Journal of Cleaner Production*. 2020. 259. 120923.
75. Sha A.M., Tu S. Cracks characteristics and damage mechanism of asphalt pavement with semi-rigid base, *Int. Conf. Cracking Pavements*. 2012. 7. P. 985–995.
76. Du S.W. Influence of chemical additives on mixing procedures and performance properties of asphalt emulsion recycled mixture with reclaimed cement-stabilized macadam, *Construction and Building Materials*. 2016. 118. 146-154.
77. Barišić I., Doksanovic T., Draganic H. Characterization of hydraulically bound base materials through digital image correlation, *Construction and Building Materials*. 2015. 83. P. 299-307.
78. Ji X.P., Zheng N.X., et al., Application of asphalt mixture shear strength to evaluate pavement rutting with accelerated loading facility (ALF), *Constr. Build. Mater*. 2013. 41. P. 1-8.
79. Ismail A., Baghini M.S., Karim M.R., Shokri F., Almansob R.A., Firoozi A.A., et al. Laboratory investigation on the strength characteristics of cement-treated base. *Appl Mech Mater*. 2014. 507. P. 353-360.

80. Losa M., Di N.A. Evaluation of representative loading frequency for linear elastic analysis of asphalt pavements. *Transp Res Rec: J Transp Res Board*. 2012. 2305. P. 150-161.

81. Davis K.A., Warr L.S., Burns S.E., Hoppe E.J. Physical and chemical behavior of four cement-treated aggregates, *J. Mater. Civ. Eng.* 2007. 19. P. 891-897.

82. Molenaar A.A.A. Road materials-part I: cohesive and non-cohesive soils and unbound granular material for bases and sub-bases in roads (lecture CT4850), Delft University of Technology, The Netherlands, 2005.

83. Wang J., Wen H., Muhunthan B. Development of mechanistic shrinkage cracking model for cement stabilized materials, *Transp. Res. Rec.* 2016. 2580. P. 18-26.

84. Kodikara J., Chakrabarti S. Modeling of moisture diffusion in crushed basaltic rock stabilized with cementitious binders, *J. Mater. Civ. Eng.* 2005. 17 (6). P. 703-710.

85. Bullen F. Resilient moduli of cement treated materials, *Aust. Road Res.* 1994. 3 (2). P. 94-104.

86. Zhang P., Li Q.F. Experimental study on shrinkage properties of cement stabilized macadam reinforced with polypropylene fiber, *Eng. Mech.* 2010. 36 (8). P. 72-77.

87. Jiang Y. J., Fan L.F. An investigation of mechanical behavior of cement stabilized crushed rock material using different compaction methods, *Constr. Build. Mater.* 2013.48 (11). P. 508-515.

88. Kenny N., Sun Y., Dai Q., et al., Investigation of internal frost damage in cementitious materials with micromechanics analysis, SEM imaging and ultrasonic wave scattering techniques, *Constr. Build. Mater.* 2014. 24. P. 478-485.

89. Ahrafm A.R., George K.P. Optimum cracking for improved performance of cement-treated bases [C]. 78th Annual Meeting of Transportation Research Board,

1999.

90. Cui X.Z., Jin V, Zhang N. Experiment on permeability model and water stability of damaged asphalt mixture, China J. High. Transp. 2014. 27 (3). P. 1-10.

91. Vinson T.S., Ahmad F., Rieke R. Factors important to the development of frost heave susceptibility criteria for coarse-grained soils, Transp. Res. Rec. 1986. P. 124-131.

92. Wang T.L., Song H.F., Yue Z.R., Hu T.F., Sun T.C., Zhang H.B. Freeze-thaw Durability of cement-stabilized macadam subgrade and its compaction quality index, Cold Reg. Sci. Technol. 2019. 160. P. 13-20.

93. Zhong S., Yuan H. Application of polymers in concrete [M]. Materials Science and Engineering Publishing Center. 2003.

94. Cherginsky. A.O. Polymer cement concrete [M]. China Construction Industry Press. 1987.

95. Mai S. Concrete polymer composites and their applications [M]. Science and Technology Literature Press. 1996.

96. Shen C. Polymer cement waterproof coating [M]. Chemical Industry Press. 2010.

97. Zhong S., Yuan H. Application of polymers in concrete [M]. Chemical Industry Press. 2003.

98. Wang P., Zhao G., Zhang D. Research progress on the microstructure of polymer cement concrete [J]. Journal of Silicates. 2014. 42(5). P. 653-660.

99. Безрук В.М. Дорожній одяг з укріплених ґрунтів / В.М. Безрук, А.С. Єленович. Вища школа, 1969. - 332 с. - (навчальний посібник для студентів спеціальності "Автомобільні дороги" вищих навчальних закладів).

100. Shuvaev A.N., Smirnov A.P., Kartavy S.V. The construction of roadbeds on permafrost and in swamps from reinforced soils of increased strength [J]. Civil Engineering Journal. 2020. 6. 10. P. 1922-1931.

101. Andavan S., Kumar B.M. Case study on soil stabilization by using

bitumen emulsions - A review [J]. Materials Today: Proceedings. 2020. 22. P. 1200-1202.

102. Панасюк Я.І. Удосконалення технології укріплення ґрунтів цементом для будівництва автомобільних доріг: дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.11 "Автомобільні шляхи та аеродроми" / Я.І. Панасюк. Харків. 2013. 190 с.

103. Sun J.E. Development and application of PG-308 road polymer concrete [J]. Concrete, 1995. 2. P. 38-40.

104. Yao H., Liang N., Sun L., et al. Research on road performance and economy of carboxybutadiene polymer-modified cement concrete[J]. Highway Transportation Science and Technology. 2004. 21(008). P. 12-16.

105. Zhang S., Zhao J., Zheng X. Experimental study on tensile properties of polymer concrete [J]. Henan Building Materials. 2005. 4. P. 10-11.

106. Liang N., Li Z. Polymer emulsion modified cement concrete [J]. Journal of Xi'an Highway and Transportation University. 1998. S1. P. 19-23.

107. Макарьчев О.О., Онищенко А.М., Журавель А.В., Невінгловський В.Ф. Дослідження впливу полімерів серії Butonal як добавки у цементно-піщаний розчин // Автошляховик України. 2008. №2. С. 38.

108. Гаркуша М.В. Вплив укріплення ґрунтів на підвищення довговічності конструкції дорожнього одягу та зменшення колієутворення на автомобільних дорогах України / Гаркуша М.В. // Матеріали міжнародній науково-технічній конференції яка присвячена 80-річчю ХНАДУ та Дорожньо-будівельного факультету. Харків. 2010. С. 84-87. (Проектування, будівництво і експлуатація нежорстких дорожніх одягів).

109. Каськів В.І., Півторацький Д.С., Дубова О.А. Дослідження ефективності використання стабілізаторів для укріплення ґрунтів. Збірник наукових праць “Дороги і мости”, 2022. 26. С. 147-154.

110. Онищенко А.М., Лозовська І.Ю., Макарьчев О.О. Підвищення

фізико-механічних властивостей ґрунту при використанні добавки Infra Crete // Автомобільні дороги і дорожнє будівництво. 2009. № 77. С.48-55.

111. Siripun K., Jitsangiam P., Nikraz H. The use of fiber reinforced crushed rocks for the improvement of tensile strength. Geo-Frontiers 2011: Advances in Geotechnical Engineering-Proceedings of the Geo-Frontiers 2011 Conference. 211 GSP: Geotechnical Special Publication. 2011. P. 4449-4457.

112. Zhang P., Li Q.F., Huang C.K. Shrinkage properties of cement-stabilized macadam reinforced with polypropylene fiber. J Traf Transp Eng. 2008. 8. P. 30–34.

113. Li Q.F., Zhang P., Shen J. Research on crack resistance of cement-stabilized macadam reinforced with polypropylene fiber. J Build Mater. 2008. 11. P. 368-374.

114. Ma Y.H., Zhang G., Yi Z.J., Zhong Y.S., Han B.X. Experimental research on flexural toughness of semi-rigid base mixed into polypropylene fiber. Journal of Chongqing Jiaotong University. 2007. 4. P. 57–60.

115. Wang H.B. Research on the properties of polyvinyl alcohol fiber (vinylon) reinforced mortar [D]. Beijing University of Technology, 2003.

116. Gao J.M., Sun W., Morino K. Mechanical Properties of Steel Fiber-reinforced High strength, Lightweight Concrete. Cement & Concrete Composites. 1997. 19(4). P. 307-313.

117. Cao J. Study on properties of polypropylene long fiber concrete [D]. Dalian University of Technology. 2006.

118. Toledo F.R., Sanjuan M.A. Effect of low modulus sisal and polypropylene fiber on the free and restrained shrinkage of mortars at early age [J]. Cement and concrete research. 1999. 29(10). P. 1597-1604.

119. Dias D.P., Thaumaturgo C. Fracture toughness of geopolymeric concretes reinforced with basalt fibers [J]. Cement and Concrete Composites. 2005. 27(1). P. 49-54.

120. Zhang F. Study on the dispersion of short-cut carbon fibers in CFRC and

their mechanosensitive properties [D]. Wuhan University of Technology. 2004.

121. Shao Y. Experimental study on the proportion of sisal fiber cement concrete (pavement) [D]. Wuhan University of Engineering. 2023.

122. Yang H. Research on crack resistance of cement stabilized gravel with expansion agent and fiber [D]. Chang'an University. 2003.

123. Ma Y., Zhang G., Yi Z., Zhong Y., Han B. Experimental study on bending toughness of polypropylene fiber semi-rigid base material [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science Edition), 2007. (04). P. 57-59.

124. Zhang P. Research on Crack resistance of Semi-rigid base material for high-grade highway [D]. Dalian University of Technology. 2007.

125. Zhang X.T., Liu Z.J., Yang M.C. Experimental study on mechanical properties of RAP fiber cement stabilized macadam [J]. Civil, Structural and Environmental Engineering, 2014. 838. P. 7-13.

126. Bai Y. Research on road performance of glass fiber cement stabilized gravel [D]. Chang'an University. 2023.

127. Li G.Q. Research on microfiber to improve the crack resistance of cement stabilized graded gravel base [D]. Hebei University of Technology. 2015.

128. Liu Z. Experimental Research on the Engineering Characteristics of Polyester Fiber Reinforced Cement-Stabilized Macadam [J]. Journal of Materials in Civil Engineering. 2015. 27(10). 04015004.

129. He Y.F. Study on mechanics and crack resistance of stabilized crushed stone with PVA fiber cement [D]. Chongqing Jiaotong University. 2016.

130. Yang M. Research on crack resistance of basalt fiber cement stabilized gravel base [D]. Harbin: Northeast Forestry University. 2011.

131. Li S. Experimental study on road performance of basalt fiber cement stabilized gravel [D]. Qingdao: Ocean University of China. 2014.

132. Під редакцією А.М. Плугіна Теорія міцності, руйнування і довговічності бетону, залізобетону і конструкцій із них. Том 3. Київ, Наукова

думка. 2012. С. 288.

133. Жданюк В.К. Рециклювання дорожніх одягів. Частина 1. Посібник з холодного рециклювання дорожніх одягів безпосередньо на дорозі з використанням цементу / Під загальною редакцією проф. В. Жданюка і Д. Сибільського. Харків, Вид-во ХНАДУ. 2005. 76 с.

134. Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-46-96. Держкоммістобудування України, 1996. С.15.

135. Методи випробування з визначення геометричних характеристик заповнювачів. Частина 1. Визначення зернового складу. Метод просіювання: ДСТУ EN 933-1:2021. [Чинний від 2021-07-22]. 2021. С. 12.

136. Будівельні матеріали. Вода для бетонів і розчинів. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-273:2011 (ГОСТ 23732-79). [Чинний від 2012-12-01]. 2011. С. 14.

137. Онищенко А.М., Гаркуша М.В. Методи стабілізації та укріплення ґрунту // Дороги і мости. 2010. №12. С. 145-149.

138. Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань: ДСТУ Б В.2.7-71-98. [Чинний від 1997-12-10]. 1998. С. 48.

139. Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань: ДСТУ Б В.2.7-232:2010. [Чинний від 2009-12-22]. 2010. С. 16.

140. Бетони. Правила контролю міцності: ДСТУ Б В.2.7-224:2009. [Чинний від 2010-05-05]. 2010. С. 49.

141. Жданюк В.К., Лапченко А.С., Шрестха Р.Б., та ін. Модулі пружності цементоґрунту з добавками латексу Butonal NS 198 та поліпропіленової фібри[Л]. Містобудування та територіальне планування, 2012. 45(3). С. 38-40.

142. Калінін М.І., Єлісєєв В.В. Біометрія / Миколаїв, Вид-во МФ НаУКМА. 2000. 204 с.

143. Основи та підвалини будинків і споруд. Ґрунти Метод лабораторного

визначення максимальної щільності: ДСТУ Б В.2.1-12:2009. [Чинний від 2010-10-01]. К: Мінрегіонбуд України, 2010. С. 19. (Державний стандарт України).

144. За ред. проф. Мchedлова-Петросяна М.О. Колоїдна хімія / Мchedлов-Петросян М.О. Харків, ХНУ. 2012. С. 500.

145. Староста В.І., Янчук О.М. Колоїдна хімія. Практикум. Староста В.І. Луцьк, Східноукраїнський нац. ун-т. 2014. С. 360.

146. Бетони на органогідравлічних в'язюхих. Технічні умови: СТБ 1415-2003. 2003. С. 20.

147. Дорожній одяг нежорсткого типу. Відомчі будівельні норми України: ВБН В.2.3-218-186-2004. [Чинний від 2005-01-01]. Київ: Державна служба автомобільних доріг України «УКРАВТОДОР». 2004. С. 71.

148. Руденко Д.В. Фізико-хімічні основи технології модифікованого бетону для споруд спеціального призначення / Руденко Д.В. – Дніпро, Вид-во Герда. 2018. 344 с.

149. Саницький М.А. Самоущільнювані бетони армовані дисперсними волокнами [D]. Національний університет “Львівська Політехніка”. 2016.

150. Zhang L., Hong Y.S., Luo H. Application of chemical additives in mortar for EPS board thin plaster exterior insulation system [J]. New Building Materials. 2007. 34. 12. P. 44-47.

151. Некрасов А.П. Лабораторний практикум по колоїдній хімії / А.П. Некрасов, Б.А. Веретенченко – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004.С. 276.

152. Sun J., Zhdaniuk V., Huang Y., Kostin D., Yu R., Li S. Study on the effect of cationic latex on the properties of cement stabilized iron tailings [J]. Journal of Building Engineering. 2023. 108337.

153. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу Butonal NS 198 і базальтової фібри на морозостійкість матеріалу з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом.

Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. 20. С .135-143.

154. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу та базальтової фібри на розрахункові характеристики щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2024.1(104). С. 81-87.

155. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу комплексу добавок на властивості зміцнених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво», 2024. 115(1). С. 57-66.

ДОДАТОК А
ФОТОФІКСУВАННЯ СТАНУ ЗРАКІВ ПІСЛЯ ПЕВНОЇ КІЛЬКОСТІ
ЦИКЛІВ ЗАМОРОЖУВАННЯ-ВІДТАВАННЯ



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(а) 4% цемент



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(б) 4% цемент + 3% Butonal NS 198



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(в) 4% цемент + 5% Butonal NS 198



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(г) 4% цемент + 10% Butonal NS 198



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(д) 4% цемент + 3% Butonal 5126



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(е) 4% цемент + 5% Butonal 5126



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(з) 4% цемент + 10% Butonal 5126



0 циклів



5 циклів



10 циклі

(ж) 4% цемент +0.05% базальтова фібра(12мм)



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(з) 4% цемент +0.05% базальтова фібра(18мм)



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(и) 4% цемент +0.05% базальтова фібра(30мм)



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(і) 4% цемент + 3% Butonal NS 198+0.05% 18 мм базальтова фібра



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(к) 4% цемент + 5% Butonal NS 198+0.05% 18 мм базальтова фібра



0 циклів



5 циклів



10 циклів

(ч) 4% цемент + 10% Butonal NS 198+0.05% 18 мм базальтова фібра

ДОДАТОК Б
ДОВІДКИ ПРО ВПРОВАДЖЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЙНОГО
ДОСЛІДЖЕННЯ



Державне агентство відновлення та розвитку інфраструктури України
Служба відновлення та розвитку інфраструктури
у Харківській області

вул. Ахсарова, 2, м. Харків, 61202

тел. (057) 336-83-28,
 факс (057) 336-80-55
 E-mail: info.kh@restoration.gov.ua

"14" 01 2024 р. № 8/Н

ДОВІДКА

про впровадження рекомендацій, розроблених в Харківському автомобільно-дорожньому університеті, під час поточного ремонту дорожнього одягу на автомобільній дорозі М-03 «Київ-Хаків-Довжанський» в межах Харківської області

Під час виконання поточного ремонту дорожнього одягу на ділянці автомобільної дороги М-03 «Київ-Харків-Довжанський» (смуга з'їзду до «Екопарку») були використані рекомендації, розроблені ХНАДУ, щодо використання для будівництва шару основи зміцненої цементом щебеневопіщаної суміші з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм ЦПС.Кр.Ц.М20 згідно з ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими» як матеріалу з підвищеною морозостійкістю та міцністю на розтяг за вигину, що забезпечило необхідну несучу здатність всієї конструкції дорожнього одягу за фактичної інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації розроблені за результатами експериментальних досліджень кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Сунь Цзяня.

Перший заступник начальника
 служби відновлення та розвитку
 інфраструктури у Харківській області



Анатолій ДЕМЧЕНКО



ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ

ГЕОМАКС

63460 Україна, Харківська обл, с-ще Слобожанське, Балаклійське шосе,
буд.36А, тел: (050) 346-32-35 e-mail: info@nerud.com.ua

ДОВІДКА

про впровадження «Технологічного регламенту
на виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів
Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування
щебенево-піщаних сумішей з них»

ТОВ «ГЕОМАКС» підтверджує, що результати експериментальних досліджень аспіранта Харківського національного автомобільно-дорожнього університету Сунь Цзяня, що виконані в межах науково-дослідної роботи за договором № 35-31-20 «Дослідження фізико-механічних властивостей та розрахункових характеристик щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів та амфіболітів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату не укріплених і укріплених цементом та встановлення їх відповідності вимогам чинних стандартів» між ТОВ «ГЕОМАКС» і Харківським національним автомобільно-дорожнім університетом були використані для розроблення «Технологічний регламентна виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування щебенево-піщаних сумішей з них» який затверджений в установленому порядку та є чинним.

Розроблений «Технологічний регламентна виготовлення щебеню та піску для будівельних робіт з кварцитів Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, а також приготування щебенево-піщаних сумішей з них» використовується ТОВ «Геомакс» на власних виробничих потужностях під час виготовлення щебеню, піску та щебенево-піщаних сумішей для потреб дорожнього будівництва, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-33, ДСТУ Б В.2.7-34 та ДСТУ 9177-3.

Директор ТОВ «ГЕОМАКС»



Георгій Шпак

ТОВ «ПБС»(Товариство з обмеженою
відповідальністю «ПБС»)**ПБС**
БУДУЄМО ЯКІСНОс. Бистриця, Надвірнянський
р-н, Івано-Франківська обл.
р/р UA63351005000026007636900800в АТ "УкрСиббанк"
у м. Києві
код ЄДРПОУ 32872788**ДОВІДКА**

про впровадження рекомендацій, розроблених Харківським автомобільно-дорожнім університетом, під час будівництва дорожнього одягу на лісових автомобільних дорогах в Івано-Франківській та Львівській областях

Під час виконання робіт з будівництва дорожнього одягу на лісових автомобільних дорогах в Івано-Франківській та Львівській областях загальною протяжністю 10,7 км були використані рекомендації, розроблені ХНАДУ, щодо використання для будівництва шару покриття дорожнього одягу зміцненої цементом щебеневі-піщаної суміші з максимальним розміром зерен щебеню 40 мм ЩПС.Кр.Ц.М10 згідно з ДСТУ 9177-3:2022 «Матеріали щебеневі та гравійні для дорожнього будівництва. Технічні умови. Частина 3. Матеріали, укріплені мінеральними в'язучими» як матеріалу з підвищеною водонепроникністю та міцністю, що забезпечило необхідну несну здатність всієї конструкції дорожнього одягу за фактичної інтенсивності руху транспортних засобів.

Рекомендації розроблені за результатами експериментальних досліджень кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету за участю аспіранта Сунь Цзяня.

Директор ТОВ «ПБС»



О.С. Пастернак



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ61002, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25, Тел. (057) 700-38-66, факс (057) 700-38-65, E-mail: admin@khadi.kharkov.ua08.09.24 № 1349/35
На № _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження аспіранта ХНАДУ
Сунь Цзяня у навчальний процес Харківського національного автомобільно-
дорожнього університету

Харківський національний автомобільно-дорожній університет підтверджує, що результати дисертаційного дослідження аспіранта Сунь Цзяня застосовуються у навчальному процесі для підготовки фахівців на освітньо-кваліфікаційний рівень «Бакалавр» за професійним спрямуванням 192 «Будівництво та цивільна інженерія» у лекційному курсі дисципліни «Будівництво автомобільних доріг» та у дипломному проектуванні кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг імені О.К. Біруля Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

Проректор з наукової роботи,
доктор економічних наук, професор



Ілля ДМИТРІЄВ

ДОДАТОК В
СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ ТА
ВІДОМОСТІ ПРО АПРОБАЦІЮ РЕЗУЛЬТАТІВ ДИСЕРТАЦІЇ

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

Статті у виданнях іноземних держав або у виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз:

1. Sun J., Zhdaniuk V., He Y., Bieliatynskyi A. Study on Application of Iron Tailings in Cement Stabilized Macadam [J]. Key Engineering Materials. 2023. № 944. С. 231-246. <https://doi.org/10.4028/p-3et972>. (Scopus Q4)

2. Sun J., Zhdaniuk V., Huang Y., Kostin D., Yu R., Li S. Study on the effect of cationic latex on the properties of cement stabilized iron tailings [J]. Journal of Building Engineering. 2023. 108337. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.108337>. (Web of Science Q1)

3. Sun J., Huang Y., Kostin D., Liu Y., Yu R., Zhang C. Experimental research on the properties of basalt fiber reinforced cement stabilized iron tailings [J]. Road Materials and Pavement Design. 2025. P. 1-17. <https://doi.org/10.1080/14680629.2025.2479217>. (Web of Science Q1)

Статті у фахових виданнях:

4. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу Butonal NS 198 і базальтової фібри на морозостійкість матеріалу з щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві. 2023. № 20. С. 135-143. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10\(20\)-15](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2023-10(20)-15).

5. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу добавок катіонного латексу та базальтової фібри на розрахункові характеристики щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів, укріплених цементом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2024. № 1(104). С. 81-87. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2024.104.1.81>.

6. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу комплексу добавок на

властивості зміцнених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Науковий журнал «Автомобільні дороги і дорожнє будівництво». 2024. № 1(115). С. 57-66. <https://doi.org/10.33744/0365-8171-2024-115.1-057-066>.

7. Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Сунь Ц. Дослідження морозостійкості щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом. Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. 2023. № 1(103). С. 198-204. <https://doi.org/10.30977/BUL.2219-5548.2023.103.1.198>.

8. Костін Д.Ю., Арінушкіна О.О., Тетера В.С., Сунь Ц. Вплив генезису вихідної сировини на морозостійкість крупнозернистих щебенево-піщаних сумішей, укріплених цементом. Вчені записки таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. 2024. №. 4. С. 342-347. <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.4/53>.

Опубліковані праці апробаційного характеру:

9. Сунь Ц., Жданюк В.К. Укріплені цементом щебенево-піщані суміші з відходів сухої магнітної сепарації залізистих кварцитів для будування шарів основи дорожніх одягів. Всеукраїнська науково-практична конференція «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури». Київ. 2022. С.160-161.

10. Сунь Ц., Жданюк В.К. Щебенево-піщані суміші із залізистих кварцитів для будування дорожніх одягів автомобільних доріг. Міжнародна конференція «Впровадження інноваційних матеріалів і технологій при проєктуванні, будівництві та експлуатації об'єктів транспортної інфраструктури в рамках програми «Велике будівництво». Київ. 2022. С.418-420.

11. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження показників міцності і морозостійкості укріплених цементом щебенево-піщаних сумішей із залізистих кварцитів. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція молодих учених та студентів. Інноваційні процеси в галузі дорожнього

будівництва. Луцьк. 2022. С.56-58.

12. Сунь Ц., Жданюк В.К. Дослідження впливу мікроармування базальтовою фіброю піщаних сумішей із залізистих кварцитів з цементом на показники міцності. Міжнародна науково-практична інтернет-конференція «Сучасні проблеми містобудування. Перспективи та пріоритети розвитку». Луцьк. 2023. С.97-99.

13. Sun J., Zhdaniuk V., Wang S. Comparative Study of the Strength Properties and Frost Resistance of Cement Stabilized Macadam [C]. Advanced Engineering Forum. 2023. № 48.C. 31 - 43. <https://doi.org/10.4028/p-52pn15>.

14. Sun J., Zhdaniuk V. Research of influence of aqueous cationic latex Butoanl 5126X on strength of cement treated stone sand mixtures of iron ore talings. Третя міжнародна науково-практична конференція «Перспективи розвитку автомобільного транспорту та інфраструктури». Київ. 2023. <https://insat.org.ua/other/news/141223/>.

15. Сунь Ц., Жданюк В.К. Щебенево-піщані суміші із залізистих кварцитів для будування дорожніх одягів автомобільних доріг. Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи». Київ.2024. С.657-659.