

УДК 625.7/.8
UDC 625.7/.8

DOI:10.33744/0365-8171-2025-118.1-072-079

**ПОРІВНЯННЯ ТА АНАЛІЗ ЩЕБЕНЕВО-ПІЩАНИХ СУМІШЕЙ МИКИТІВСЬКОГО ТА
СОФІЇВСЬКОГО РОДОВИЩ**

**COMPARISON AND ANALYSIS OF AGGREGATE-SAND MIXTURES OF MYKYTIVSKY AND
SOFIIIVSKY DEPOSITS**



Кузло Микола Трохимович, доктор технічних наук, професор, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), завідувач кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: kuzlo-@ukr.net, тел. +380966890792

<https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>



Коточ Андрій Володимирович, аспірант, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), аспірант кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: a.v.kotouch@nuwm.edu.ua, тел. +380983180263

<https://orcid.org/0009-0002-0074-0829>



Марчук Віталій Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, Національний університет водного господарства та природокористування (м. Рівне), доцент кафедри автомобільних доріг, основ і фундаментів, e-mail: v.v.marchuk@nuwm.edu.ua, тел. +380978741144

<https://orcid.org/0000-0003-0999-0402>

Анотація. У статті представлено результати випробувань щебеневово-піщаних сумішей із Микитівського та Софіївського кар'єрів Миколаївської області. Проведено порівняльний аналіз фізико-механічних характеристик зразків, визначено основні відмінності у складі та міцності порід даних кар'єрів. Результати досліджень дали змогу зробити висновки щодо доцільності використання матеріалів кожного родовища в дорожньому будівництві. Результати роботи дозволити оптимізувати вибір будівельних матеріалів, що сприятиме підвищенню ефективності їх використання. Це особливо важливо для проектування доріг де необхідно враховувати не тільки початкові властивості матеріалу, а і їх стійкість в процесі експлуатації. Поряд з цим будівельна галузь, зокрема при будівництві доріг відчуває гостру потребу в кондиційних заповнювачах.

Одним з найбільш розповсюджених матеріалів шарів основи дорожнього одягу є щебеневово-піщані суміші. Використання якісних матеріалів в шарах основи дорожнього одягу, дозволяє підвищити термін експлуатації не лише шарів покриття, а й дорожнього одягу загалом. Микитівське та Софіївське родовища є важливими джерелами будівельних матеріалів, які широко використовуються в дорожньому будівництві та виробництві бетону.

Метою роботи даного дослідження є порівняння фізико-механічних характеристик матеріалів з Микитівського та Софіївського кар'єрів задля визначення їх оптимальної сфери застосування в щебенево-піщаних сумішах. Дослідження сприятиме оптимізації використання матеріалів з природних родовищ у будівельній сфері та дозволить підвищити ефективність вибору сировини для конкретних інженерних задач при проектуванні і будівництві основ дорожнього одягу.

Ключові слова: Микитівський кар'єр, Софіївський кар'єр, щебенево-піщана суміш, фізико-механічні властивості, міцність, морозостійкість, стиранність, водопоглинання.

Вступ. Будівельні матеріали природного походження є фундаментом сучасного інженерного практикуму, а їх характеристики безпосередньо впливають на тривалість експлуатації і надійність будівельних конструкцій. Відбір матеріалів ґрунтується на комплексному аналізі фізико-механічних властивостей, таких як густина, міцність на стиск та згин, пористість, стиранність, морозостійкість та ін. Дослідження таких властивостей дає змогу не тільки оцінити їх придатність для використання в дорожньому будівництві, але й передбачати довговічність матеріалів у умовах експлуатації [1]. Як відомо геологічні умови формування гірських порід суттєво впливають на їх фізико-механічні характеристики, зокрема щільні породи з низьким вмістом відкритих пор мають підвищену міцність і морозостійкість, тоді як висока пористість сприяє водопоглинанню, що може знижувати експлуатаційні характеристики в умовах частого замерзання та відтавання [2].

Одним з найбільш розповсюджених матеріалів шарів основи дорожнього одягу є щебенево-піщані суміші (ЩПС) [3]. Використання якісних матеріалів в шарах основи дорожнього одягу, дозволяє підвищити термін експлуатації не лише шарів покриття, а й дорожнього одягу загалом. Рядом авторів наголошується на важливості вибору якісних матеріалів і порівняльного аналізу різних родовищ для раціонального використання природних ресурсів та отримання довговічних основ [1, 2].

Микитівське та Софіївське родовища є важливими джерелами будівельних матеріалів, які широко використовуються в дорожньому будівництві та виробництві бетону. Попередні дослідження показали, що матеріали цих кар'єрів мають суттєві відмінності у фізико-механічних характеристиках, що впливає на доцільність їх використання в основах доріг. Щебенево-піщана суміш Софіївського кар'єру демонструють підвищену міцність на стиск, тоді як породи Микитівського кар'єру мають меншу стиранність, що робить їх придатними для верхніх шарів дорожнього одягу. Водночас важливим залишається питання довговічності та стійкості матеріалів до впливу зовнішніх чинників. Численні дослідження доводять, що морозостійкість і водопоглинання є критичними факторами для довготривалої експлуатації матеріалів у кліматичних умовах України [1, 3]. Таким чином, дослідження матеріалів Микитівського та Софіївського кар'єрів є актуальним завданням сучасної будівельної науки, що дозволяє визначити їхні сильні та слабкі сторони і обґрунтувати доцільність використання у дорожньому будівництві.

Матеріали та методи дослідження. Випробування щебенево-піщаних сумішей фракцій 0-40 (С7) з Микитівського та Софіївського родовищ виконувалося згідно вимог чинних нормативних документів [4, 5]. Визначення зернового складу проводилося методом просіювання матеріалу крізь набір контрольних сит, що дає змогу оцінити фракційний склад та відповідність вимогам діючим нормативним документам.

Метою роботи даного дослідження є порівняння фізико-механічних характеристик матеріалів з Микитівського та Софіївського кар'єрів задля визначення їх оптимальної сфери застосування в щебенево-піщаних сумішах. Дослідження сприятиме оптимізації використання матеріалів з природних родовищ у будівельній сфері та дозволить підвищити ефективність вибору сировини для конкретних інженерних задач при проектуванні і будівництві основ дорожнього одягу.

Виклад основного матеріалу.

Випробування щебенево-піщаних сумішей з Микитівського та Софіївського родовищ проводилося відповідно до чинних нормативних документів. Було визначено такі характеристики: насипна густина, зерновий склад, міцність на стиск, морозостійкість, водопоглинання, вміст зерен лещадної форми, вміст глинистих часток та стиранність. Отримані результати наведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Порівняльні результати фізико-механічних випробувань
Table 1 – Comparative results of physico-mechanical tests

Показник	Вимоги ДСТУ	Микитівський кар'єр	Софіївський кар'єр
Насипна густина кг/м ³	-	1680	1630
Вміст глинистих часток (%)	не більше 1,0	0.2	0.4
Втрата маси при випробування за дробильністю, %		14.4	12.3
Марка за міцністю (дробильністю)	не менше 600	1200	1200
Втрата маси при випробування на стиранність, %		62,4	67,4
Форма зерен (лещадність) (%)	звичайна	поліпшена 19,7	поліпшена 17,2
Втрата маси при випробування на морозостійкість (%)		1.5	1.9
Марка за морозостійкістю	F15	F300	F300
Водопоглинання, %		4,8%	5,6%

Важливим якісним показником щебенево-піщаних сумішей є їх зерновий склад, що впливає на його здатність до ущільнення та загальну міцність конструкції, який наведений на рис.1.

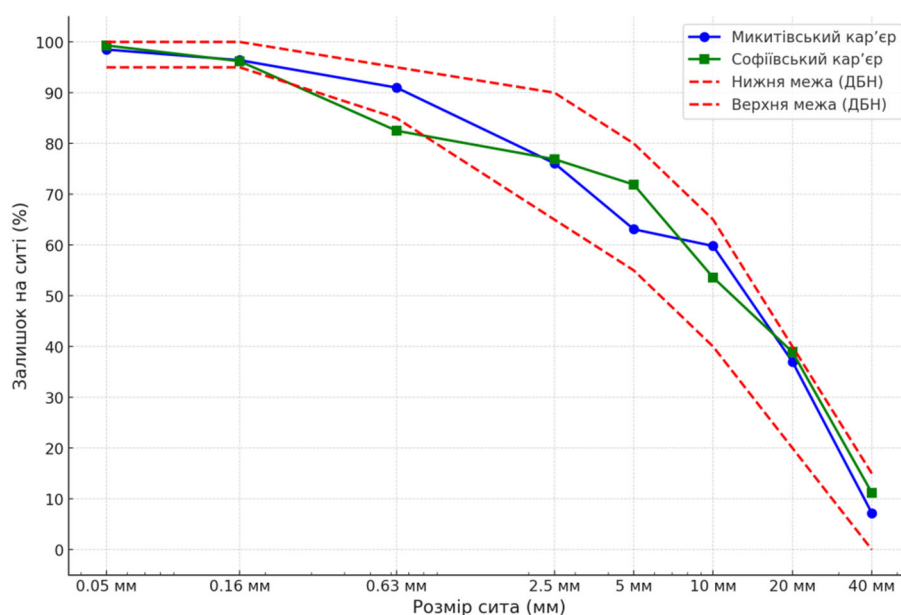


Рисунок 1 – Розподіл зернового складу щебенево-піщаної суміші С7.
Figure 1 – Grain size distribution of the crushed stone-sand mixture C7.

ЩПС Микитівського кар'єру мають більшу пористість, що може зменшувати їхню водостійкість, але забезпечують високу несучу здатність (міцність) та стиранність. Суміші Софіївського кар'єру ущільнюються краще завдяки заповненню пустот між більшими частинками, що робить їх придатними для використання у бетонних сумішах. Залежно від фракційного складу та механічних властивостей, щебенево-піщані суміші з кожного родовища можуть бути використані: Микитівський матеріал підходить для несучих шарів дорожнього покриття та основ, де важлива висока стиранність, Софіївський – краще використовувати для бетонних сумішей та дорожніх покриттів, що вимагають

високої щільності та рівномірного розподілу навантаження. Окрім того, дрібнозернисті матеріали мають: кращу водонепроникність, що зменшує ризик руйнування у насиченому вологою стані, а також вищу однорідність, що покращує рівномірність розподілу напружень у конструкціях дорожнього одягу. Натомість, більш крупніші матеріали мають: підвищену стійкість до динамічних навантажень, що є важливим у дорожньому будівництві. Кращу стиранність, що подовжує термін експлуатації дорожнього покриття.

Результати аналізу зернового складу щебенево-піщаних сумішей дають змогу зробити наступні висновки: матеріали Микитівського кар'єру містять більше крупних зерен, що робить їх кращими для дорожнього покриття та основ. ЩПС Софіївського кар'єру містять більше дрібних зерен, що сприяє кращому ущільненню та підходить для бетонних сумішей. Вибір матеріалу залежить також від умов експлуатації: для навантажених доріг та основ краще підходить Микитівський матеріал, а для рівномірно розподілених навантажень – Софіївський.

Міцність на стиск є одним із основних параметрів довговічності та несучої здатності основ дорожнього одягу. Вона показує, наскільки ефективно матеріал може протистояти механічним навантаженням, які зазнають основи від транспорту.

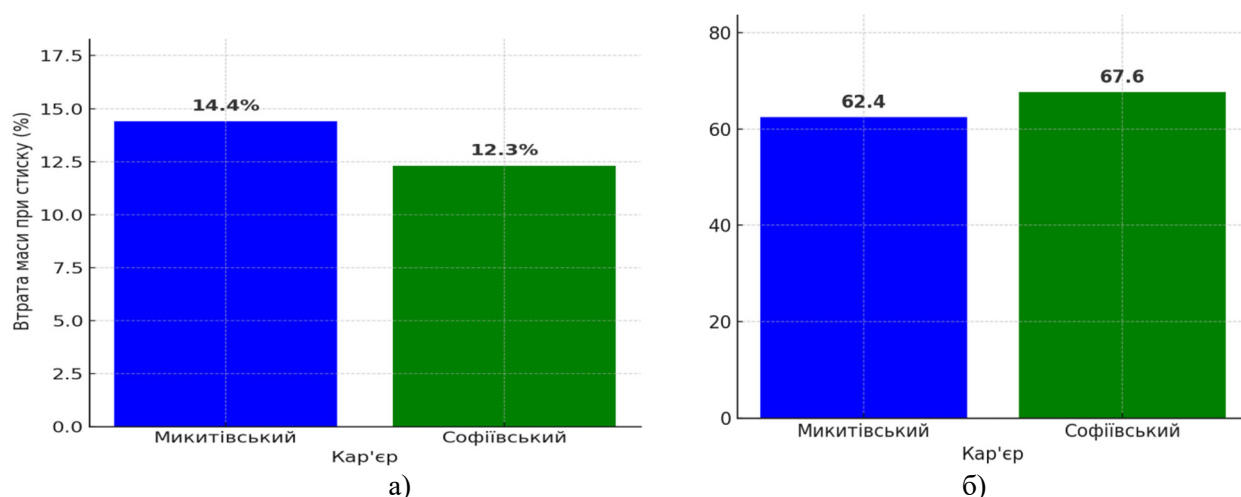


Рисунок 2 – Графічні залежності міцності на стиск (а) та стиранності (б) щебенево-піщаних сумішей.

Figure 2 – Graphical dependencies of compressive strength (a) and abrasion resistance (b) of crushed stone-sand mixtures.

Аналіз отриманих даних (табл. 1, та рис. 2а) дає змогу стверджувати, що вищі показники міцності на стиск для матеріалів Софіївського кар'єру можуть пояснюватися кількома чинниками: менша пористість зерен – знижена кількість мікропор у матеріалі дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження, що підвищує міцнісні показники.

Стираність – ще один важливий параметр, який визначає, наскільки матеріал стійкий до механічного стирання та абразивного впливу, що характерно для експлуатації в дорожньому будівництві. Вищий показник стиранності (табл. 1, та рис. 2б) для матеріалу Микитівського кар'єру пояснюється більшим вмістом крупних зерен – вони мають меншу схильність до стирання, оскільки мають більшу масу та механічну стабільність. Гранітні матеріали цього родовища містять підвищену кількість міцних силікатних мінералів, таких як кварц і польові шпати.

Аналізуючи отримані результати, можна відзначити, що між міцністю на стиск і стиранністю існує певна закономірність - матеріали з вищою міцністю на стиск (Софіївський кар'єр) мають кращу стійкість до локального руйнування, проте можуть бути менш стійкими до абразивного зносу, особливо під дією динамічних навантажень. Знижена лещадність зерен – більш округлі зерна краще

протистоять механічним навантаженням і менше руйнуються під впливом навантажень від транспортних засобів.

Матеріали з вищою стиранністю (Микитівський кар'єр) мають більшу тривалість експлуатації в умовах механічного стирання, однак можуть мати трохи нижчу межу міцності при статичних навантаженнях.

Враховуючи наведені дані, можна зробити висновки щодо оптимального використання матеріалів Софіївського кар'єру - залізобетонних конструкцій, а ЦПС Микитівського кар'єру є більш придатним для дорожнього будівництва, оскільки його підвищена стиранність забезпечує тривалу експлуатацію покриття навіть на ділянках інтенсивного руху транспорту.

Одним із ключових показників довговічності матеріалу є його морозостійкість, особливо для регіонів із холодним кліматом, де сезонні температурні коливання можуть спричинити значні механічні напруження у конструкціях дорожнього одягу. Після аналізу отриманих експериментальних даних (табл. 1, та рис. 3) маємо, що втрата міцності після 50 циклів заморожування-відтавання склала 14% для суміші Микитівського кар'єру та 9% для Софіївського кар'єру, що свідчить про вищу морозостійкість останнього. Відмінності у морозостійкості матеріалів можуть пояснюватися кількома ключовими факторами, зокрема пористістю матеріалу. Зразки з Микитівського кар'єру мають вищу відкриту пористість, що сприяє інтенсивнішому поглинанню води і, відповідно, більшим втратам міцності після багаторазових циклів заморожування та відтавання. Випробування показали, що водопоглинання Микитівського матеріалу на 15% вище, ніж у Софіївського, що частково пояснює більшу втрату міцності після циклів заморожування та відтавання.

Втрата міцності після циклічного заморожування може суттєво впливати на довговічність основ і дорожнього одягу в цілому. Для дорожнього покриття підвищене водопоглинання може викликати локальні руйнування та вибоїни у зимовий період. Матеріали з Микитівського кар'єру мають вищу схильність до втрати міцності після циклів заморожування та відтавання, тому для їх використання в холодних регіонах необхідне додаткове ущільнення або застосування модифікуючих добавок. Матеріали з Софіївського кар'єру можуть бути рекомендовані для застосування у конструкціях та покриттях, що піддаються впливу низьких температур. Оптимізація використання матеріалів може включати комбіноване застосування – використання Софіївського матеріалу у верхніх шарах покриття, а Микитівського у несучих конструкціях, де важливим фактором є стиранність.

Таким чином, результати досліджень підтверджують необхідність врахування морозостійкості при виборі матеріалу для експлуатації в умовах низьких температур, що дозволяє підвищити довговічність та надійність основ дорожнього одягу.

Аналіз отриманих даних (табл. 1) показав, що вміст глинистих домішок у Софіївському матеріалі дещо вищий (0.4%), ніж у Микитівському (0.2%), проте обидва матеріали відповідають нормативним вимогам та цілком придатні для використання у дорожньому будівництві. Вплив вмісту глинистих часток на механічні властивості матеріалів відіграє важливу роль у формуванні механічних властивостей щебенево-піщаних сумішей, оскільки вони здатні утримувати значну кількість води та змінювати свою структуру при коливаннях вологості. Збільшений вміст глинистих часток негативно впливає на якість матеріалу та може сприяти його руйнуванню при експлуатації. Глинисті домішки мають високу дисперсність і здатність до набухання, що може призводити до зниження міжзернового тертя та послаблення механічних зв'язків між частинками матеріалу. При збільшенні вологості глинисті частки формують колоїдні плівки, які знижують адгезію між зернами, що сприяє погіршенню роботи матеріалу під навантаженням. Вміст глини у межах 0.4% (Софіївський кар'єр) та 0.2% (Микитівський кар'єр) є допустимим згідно з нормативними документами, однак навіть незначне збільшення цього показника може негативно впливати на міцність, морозостійкість та водостійкість матеріалу [1]. Для визначення водостійкості матеріалу проводилися додаткові випробування на водопоглинання. Результати показали, що суміш Микитівського кар'єру має нижче водопоглинання (4.8%), що свідчить про більшу щільність «упаковки» зерен і меншу схильність до накопичення вологи.

Софіївський матеріал поглинає більше води (5.6%), що може пояснюватися вищим вмістом глинистих часток і дрібних фракцій, які затримують вологу в структурі матеріалу.

Вищий рівень водопоглинання у Софіївського матеріалу може спричинити зниження його морозостійкості при експлуатації в умовах змінної температури. Це підтверджується попередніми випробуваннями:

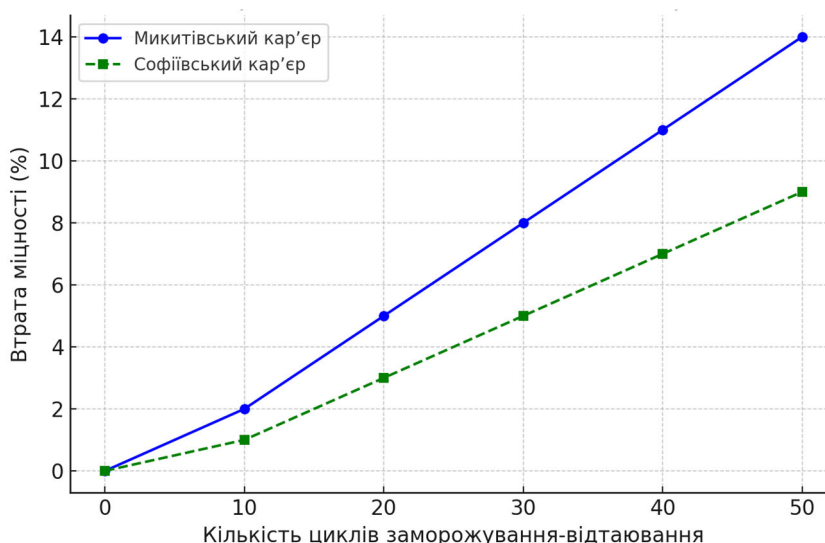


Рисунок 3 – Втрата міцності після багаторазових циклів заморозування-відтавання.

Figure 3 – Strength loss after multiple freeze-thaw cycles.

Таким чином на основі проведених випробувань щебенево-піщаних сумішей дозволяє більш точно визначити оптимальну сферу їхнього використання. Микитівський матеріал доцільніше використовувати у дорожньому будівництві, де важливі зносостійкість та низьке водопоглинання. Софіївський - для бетонних конструкцій, оскільки він має вищу міцність та морозостійкість. У регіонах із високими температурами та великою кількістю опадів бажано використовувати Микитівський матеріал, оскільки він менш схильний до накопичення вологи. У холодних регіонах доцільніше використовувати Софіївський матеріал, оскільки він має менші втрати міцності при заморозуванні та відтаванні.

Висновки

Обидва матеріали відповідають вимогам чинних нормативних документів, але мають різні експлуатаційні характеристики.

Микитівський матеріал відзначається вищою зносостійкістю та меншим водопоглинанням, що робить його оптимальним вибором для дорожнього будівництва.

Софіївський матеріал має кращу морозостійкість та міцність на стиск, що робить його ідеальним для бетонних конструкцій.

Для підвищення довговічності матеріалів необхідно контролювати рівень вологи, глинистих часток та використовувати гідрофобні добавки. Залежно від кліматичних умов та навантажень, оптимальним рішенням є комбіноване використання матеріалів – Софіївського у верхніх шарах покриття, а Микитівського у несучих конструкціях.

Перелік посилань

1. Дмитриченко М.Ф., Дмитрієв М.М., Гамеляк І.П., Райковський В.Ф., Якименко Я.М. Надійність конструкцій дорожнього одягу / М.Ф. Дмитриченко, М.М. Дмитрієв, І.П. Гамеляк, В.Ф. Райковський, Я.М. Якименко // - Навч. посібник. К.: НТУ. – 2012. – 206
2. Онищенко А.М. "Фізико-механічні властивості мінеральних матеріалів", Київ, 2022.
3. Костін Д. Ю., Аринушкіна О. О., Сунь Цзянь. Дослідження морозостійкості щебенево-піщаних сумішей, зміцнених цементом. Харківський національний автомобільно-дорожній університет. Вісник ХНАДУ, вип. 103, 2023. С. 198-204.
4. ДСТУ 9179:2022 Щебінь та гравій зі щільних гірських порід і металургійних шлаків для дорожнього будівництва. Методи фізико-механічних випробувань
5. ДСТУ Б В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань.

COMPARISON AND ANALYSIS OF AGGREGATE-SAND MIXTURES OF MYKYTIVSKY AND SOFIIVSKY DEPOSITS

Kuzlo Mykola T., Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Head of the Department of Automobile Roads, Bases and Foundations, e-mail: kuzlo-@ukr.net, +380966890792, <https://orcid.org/0000-0001-9242-2478>

Kotouch Andriy V., graduate student, National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), e-mail: a.v.kotouch@nuwm.edu.ua, +380983180263, <https://orcid.org/0009-0002-0074-0829>.

Marchuk Vitalii V., Ph.D., associate professor, National University of Water Management and Environmental Engineering (Rivne, Ukraine), Associate professor at the Department of Automobile Roads, Bases, and Foundations, e-mail: v.v.marchuk@nuwm.edu.ua, +380978741144, <https://orcid.org/0000-0003-0999-0402>.

Abstract. The article presents the results of testing crushed stone and sand mixtures from the Mykytivsky and Sofiivsky quarries of the Mykolaiv region. A comparative analysis of the physical and mechanical characteristics of the samples was carried out, the main differences in the composition and strength of the rocks of these quarries were determined. The research results allowed us to draw conclusions about the feasibility of using materials from each deposit in road construction. The results of the work will optimize the choice of building materials, which will contribute to increasing the efficiency of their use. This is especially important for road design, where it is necessary to take into account not only the initial properties of the material, but also their stability during operation. Along with this, the construction industry, in particular in road construction, is in dire need of high-quality materials.

One of the most common road base materials is aggregate-sand mixtures. The use of high-quality materials in the base layers of the road pavement allows to increase the service life of not only the pavement layers, but also the road pavement as a whole. Mykytivsky and Sofiivsky deposits are important sources of building materials widely used in road construction and concrete production.

The purpose of this study is to compare the physical and mechanical characteristics of materials from the Mykytivsky and Sofiivsky quarries to determine their optimal scope of application in aggregate-sand mixtures. The study will help optimize the use of materials from natural deposits in the construction industry and will improve the efficiency of choosing raw materials for specific engineering tasks in the design and construction of road.

Keywords: mykytivsky quarry, sofiiivsky quarry, aggregate-sand mixtures, physical and mechanical properties, strength, frost resistance, abrasion resistance, water absorption.

References

1. Dmytrichenko M.F., Dmytriev M.M., Hamelyak I.P., Raykovsky V.F., Yakymenko Ya.M. Reliability of road surface structures / M.F. Dmytrichenko, M.M. Dmytriev, I.P. Hamelyak, V.F. Raykovsky, Ya.M. Yakymenko // - Textbook. K.: NTU. – 2012. – 206. [in Ukrainian].
2. Onyshchenko A.M. "Physical and mechanical properties of mineral materials", Kyiv, 2022. [in Ukrainian].
3. Kostin D. Yu., Arinushkina O. O., Sun Jian. Research of frost-resistant cement-resistant crush-sand mixtures reinforced with cement. Kharkiv National Automobile and Road University. Bulletin of the KhNADU, vol. 103, 2023. [in Ukrainian].
4. DSTU 9179:2022 Crushed stone and gravel from dense rocks and metallurgical slags for road construction. Methods of physical and mechanical tests. [in Ukrainian].
5. DSTU B V.2.7-232:2010 Building materials. Sand for construction works. Test methods. [in Ukrainian].

Дата надходження до редакції 15.04.2025.