

**РАЦІОНАЛЬНА ОБЛАСТЬ ВИКОРИСТАННЯ ГРАНІТНОГО
ЩЕБЕНЮ МИКИТІВСЬКОГО ТА СОФІЙВСЬКОГО РОДОВИЩ В
ДОРОЖНЬОМУ БУДІВНИЦТВІ**

**RATIONAL AREA OF USE OF GRANITE CRUSHED STONE FROM
MYKYTIVSKY AND SOFIIVSKY DEPOSITS IN ROAD CONSTRUCTION**

Котоуч А. В., аспірант, ORCID: 0009-0002-0074-0829, **Кузло М.Т.**, д.т.н., професор, ORCID: 0000-0001-9242-2478, **Марчук В.В.**, к.т.н., доцент, ORCID: 0000-0003-0999-0402, (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

Kotouch A. V., graduate student, ORCID: 0009-0002-0074-0829, **Kuzlo M. T.**, doctor of technical sciences, professor, ORCID: 00000-0001-9242-247, **Marchuk V.V.**, candidate of technical sciences, associate professor, ORCID: 0000-0003-0999-0402 (National University of Water and Environmental Engineering, Rivne)

У статті представлено результати випробувань щебеню 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. Отримані результати дозволити оптимізувати вибір будівельних матеріалів, що сприятиме підвищенню ефективності їх використання. Це особливо важливо при проектуванні 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.

The article presents the results of testing crushed stone 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. 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 Sofiiivsky 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 Sofiiivsky 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

Ключові слова:

Микитівський кар'єр, Софіївський кар'єр, гранітний щебінь, дробильність, міцність, морозостійкість, стирання, водопоглинання.

Mykytivsky quarry, Sofiiivsky quarry, granite crushed stone, strength, frost resistance, abrasion resistance, water absorption.

Вступ. Військові дії на території України завдали безпрецедентних руйнувань та збитків дорожній інфраструктурі. За роки війни було зруйновано або пошкоджено понад 25 тис км автошляхів державного та місцевого значення і майже 350 мостів. Це в свою чергу супроводжує потребу в значній кількості кондиційних будівельних матеріалах для дорожнього будівництва. А як відомо, використання якісних матеріалів в шарах дорожнього одягу, дозволяє підвищити термін експлуатації не лише шарів покриття, а й дорожнього одягу загалом.

Стан питання та задачі дослідження. На стадії виробництва гірські породи та заповнювачі можуть бути фізично пошкоджені процесами видобутку та подріднення в кар'єрі [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]. Під час будівництва доріг заповнювачі в основному руйнуються внаслідок процесів нагрівання, необхідних для виробництва асфальтових сумішей і ущільнення цих сумішей для створення асфальтових покриттів, а також їх експлуатації [1, 3]. Ці процеси можуть бути спричинені природними факторами, особливо пов'язаними з умовами навколишнього середовища, такими як дощ, сніг, лід або дії агресивного середовища [4] та факторами пов'язаними з транспортними навантаженнями [1]. У цьому контексті заповнювачі в тому

числі і гранітні, які використовуються в українських дорожніх покриттях, підлягають контролю їх якості та довговічності, які охоплюють необхідні властивості гранітних заповнювачів для виготовлення якісних асфальтобетонних і цементобетонних покриттів під час будівництва доріг. Цими властивостями можуть бути їх морфологія (родовище) насипна густина, зерновий склад, міцність на стиск, морозостійкість, водопоглинання, вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми, вміст глинистих часток та стиранність. Крім того, ці характеристики контролюють довговічність дорожніх покриттів, враховуючи вплив факторів навколишнього середовища, таких як замерзання-відтавання, зміна температури і антропогенні чинники, наприклад транспортний знос.

Таким чином інформація про якісні показники гранітних заповнювачів може допомогти розробити майбутні моделі для прогнозування якості та довговічності автомобільних доріг. А вибір якісних матеріалів дає змогу передбачати довговічність матеріалів у умовах експлуатації [5]. Рядом авторів наголошується на важливості вибору якісних матеріалів і виконання порівняльного аналізу різних родовищ для раціонального використання природних ресурсів та отримання довговічних конструкцій дорожнього одягу. 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 певні відмінності у фізико-механічних характеристиках, що впливає на доцільність їх використання в дорожньому будівництві. 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, 6].

Актуальність. Таким чином, дослідження матеріалів Микитівського та Софіївського кар'єрів є актуальним завданням сучасності, що дозволяє визначити їхні переваги і недоліки та обґрунтувати доцільність їх використання у дорожньому будівництві. А потреба в кондиційних будівельних матеріалах для дорожнього будівництва на даний час в Україні є досить актуальною.

Мета роботи полягала у порівнянні фізико-механічних характеристик гранітного щебеню з Микитівського та Софіївського кар'єрів задля визначення їх оптимальної сфери застосування. Дослідження сприятиме оптимізації використання матеріалів з природних родовищ у будівельній сфері та дозволить підвищити ефективність вибору сировини при проектуванні і будівництві доріг.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженнях використовували щебень фракції 10...20 мм з Микитівського та Софіївського родовищ. Дана фракція є однією з найбільш затребуваних як в асфальтобетонних, так і в цементобетонних сумішах.

Випробування виконували згідно вимог чинних нормативних документів [7, 8].

Результати досліджень.

Під час проведення досліджень були визначені основні фізико-механічні характеристики щебеню гранітного фракції 10...20 мм: насипна густина, марка за міцністю (дробильність), морозостійкість, вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми, вміст глинистих часток та стиранність. Отримані результати наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняльні результати фізико-механічних випробувань

Показник	Микитівський кар'єр	Софіївський кар'єр
Насипна густина кг/м ³	1460	1410
Зерновий склад Повні залишки на ситах за масою 1,25D, 25 мм D, 20 мм 0,5(d+D), 15 мм d, 10 мм	0,5 9,5 44,5 95,2	0 5,5 57,2 98,1
Вміст глинистих часток (%)	0,2	0,4
Втрата маси при випробування за дробильністю, %	14,4	12,3
Марка за міцністю (дробильністю)	1200	1200
Втрата маси при випробування на стиранність, %	27,4	30,1
Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми, %	19,7	17,2
Втрата маси при випробування на морозостійкість, %	1,5	1,9
Марка за морозостійкістю	F300	F300

Важливим якісним показником щебеню є зерновий склад, що впливає на його здатність до ущільнення та загальну міцність конструкції. Криві розсіву щебеню фр. 10...20 мм наведені на рис.1. Результати аналізу зернового складу щебеню дають змогу зробити наступні висновки: матеріали Микитівського кар'єру містять більше крупних зерен, що робить їх кращими для дорожнього покриття та основи, що вимагають високої щільності та рівномірного розподілу навантаження. Також, більш крупніші матеріали мають підвищену стійкість до динамічних навантажень, що є важливим у дорожньому будівництві. В свою чергу щебін Софіївського родовища має

більше дрібної фракції, що зумовлює вищу однорідність, яка покращує рівномірність розподілу напружень у конструкціях дорожнього одягу.

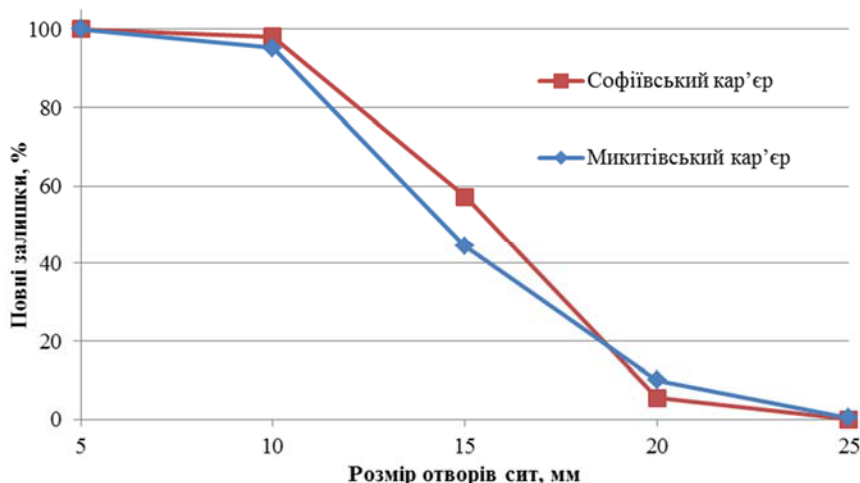


Рис. 1. Розподіл зернового складу щебеню фр. 10...20 мм.

Марка за міцністю (дробильністю) є однією з основних властивостей, що визначають довговічність та несучу здатність основ, шарів дорожнього одягу. Вона показує, наскільки ефективно матеріал може протистояти механічним навантаженням, які зазнають основи та покриття від транспортних засобів.

Аналіз отриманих даних (табл. 1, та рис. 2) дає змогу стверджувати, що вищі показники міцності на стиск для матеріалів Софіївського кар'єру можуть пояснюватися тим, що менша пористість зерен (знижена кількість мікропор у матеріалі) дозволяє більш рівномірно розподіляти навантаження, що дає змогу підвищувати дані показники [9].

Не менш важливим параметром, що визначає, наскільки матеріал стійкий до механічного зносу (стирання) та абразивного впливу, що характерно для експлуатації в дорожньому будівництві є стиранність. Кращі значення стиранності (табл. 1, та рис. 3) для щебеню Микитівського кар'єру пояснюються більшим вмістом крупніших зерен, які мають меншу схильність до стирання, оскільки мають більшу масу та механічну стабільність [10].

Аналізуючи отримані результати, можна відзначити, що між маркою за міцністю (дробильністю) і стиранністю існує певна закономірність - щебінь з вищою міцністю (Софіївський кар'єр) має кращу стійкість до локального руйнування, проте може бути менш стійким до абразивного зносу, особливо під дією динамічних навантажень. Зниження вмісту зерен лещадної форми супроводжує менші руйнування під впливом навантажень від транспортних

засобів, що можна пояснити тим, що зерна кубовидної форми краще протидіють механічним навантаженням.

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

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

Втрата маси при випробування за дробильністю, %

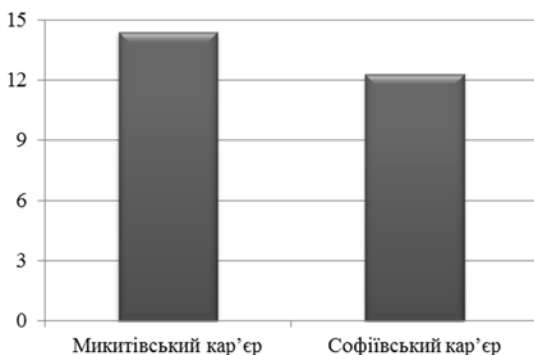


Рис. 2. Графічні залежності втрат маси при випробуванні на визначення міцності щебеню.

Втрата маси при випробування на стиранність, %

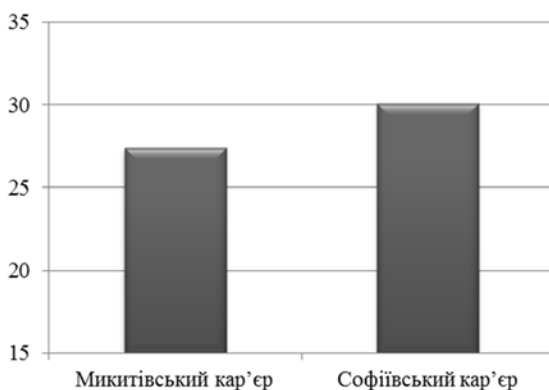


Рис. 3. Графічні залежності втрат маси при випробуванні на визначення стиранності щебеню.

Одним із ключових показників довговічності матеріалу є його морозостійкість, особливо для регіонів із холодним кліматом, де сезонні температурні коливання можуть спричиняти значні механічні напруження у конструкціях дорожнього одягу. Після аналізу отриманих експериментальних даних (табл. 1, та рис. 3) маємо, що втрата міцності після 15 циклів насичення в розчині сірчанокислого натрію – висушування склала 1,5% для Микитівського кар'єру та 1,9 % для Софіївського кар'єру, що свідчить про вищу морозостійкість першого. Відмінності у морозостійкості матеріалів можуть пояснюватися кількома ключовими факторами, зокрема пористістю матеріалу, що сприяє інтенсивнішому поглинанню розчину і відповідно, більшим втратам міцності після багаторазових циклів насичення в розчині сірчанокислого натрію – висушування.

Втрата міцності після циклічного насичення в розчині сірчанокислого натрію – висушування може суттєво впливати на довговічність основ і дорожнього одягу загалом. Для дорожнього покриття підвищене водопоглинання може викликати локальні руйнування та вибоїни у зимовий період [9]. Матеріали з Микитівського кар'єру мають меншу схильність до втрати маси після циклів насичення і висушування, тому можуть бути рекомендовані для застосування у конструкціях та покриттях, що піддаються впливу перемінного заморожування та відтавання. Оптимізація використання матеріалів може включати комбіноване застосування щебеню Софіївського матеріалу у верхніх шарах покриття, а Микитівського у несучих конструкціях. 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, цементобетонних, асфальтобетонних та інших 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 між зернового тертя та послаблення механічних зв'язків між частинками матеріалу. При збільшенні вологості глинисті частки формують колоїдні плівки, які знижують адгезію між зернами та в'язкими речовинами, що сприяє погіршенню якісних характеристик матеріалів придатних для дорожнього будівництва [5].

Таким чином на основі проведених випробувань щебеню можна 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 заморожуванні та відтаванні.

Висновки. Обидва матеріали відповідають вимогам чинних нормативних документів, але мають різні кількісні оцінки.

Микитівський щебень відзначається вищою стиранністю, що робить його оптимальним вибором для дорожнього будівництва. Також він має кращу морозостійкість.

Софіївський щебень має вищу марку за дробимістю, що робить його більш придатним для бетонних та залізобетонних конструкцій.

Залежно від кліматичних умов та навантажень, оптимальним рішенням є комбіноване використання матеріалів – Микитівського родовища у верхніх шарах покриття, а Софіївського у несучих конструкціях.

1. A.P. Pérez-fortes, Aggregates properties for safety road surfaces, en *Advances in Engineering Research*, 40, Nova Science Publishers, 2020, pp. 103–134.

2. Онищенко А.М. "Фізико-механічні властивості мінеральних матеріалів", Київ, 2022. 3. A. Hartley A review of the geological factors influencing the mechanical properties of road surface aggregates *Q. J. Eng. Geol.*, 7 (1) (1974), pp. 69-100, 10.1144/GSL.QJEG.1974.007.01.05.

4. J.T. Tamayo, C.G. Guevara, J.C. Vargas. Estudio de la Degradación de los Agregados Petreos durante la Vida Útil de los Pavimentos, 5 (2011), pp. 13-21.

5. 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.

6. A.P. Pérez Fortes, S. Anastasio, E. Kuznetsova, S.W. Danielsen Behaviour of crushed rock aggregates used in asphalt surface layer exposed to cold climate conditions. *Environ. Earth Sci.*, 75 (21) (2016), 10.1007/s12665-016-6191-3.

7. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Будівельні матеріали. Щебень та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови.

8. ДСТУ Б В.2.7-71-98 Щебень і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань (ГОСТ 8269.0-97).

9. M. Ondrášik, M. Kopecký Rock pore structure as main reason of rock deterioration *Stud. Geotech. Mech.*, 36 (1) (2014), pp. 79-88, 10.2478/sgem-2014-0010.

10. S. Adomako, C.J. Engelsens, R.T. Thorstensen, D.M. Barbieri. Review of the relationship between aggregates geology and Los Angeles and micro-Deval tests *Bull. Eng. Geol. Environ.*, 80 (3) (2021), pp. 1963-1980, 10.1007/s10064-020-02097-y.