

7. Рymarчук Б.І. Про питання зниження гірничого тиску при випуску руди з обвалених блоків / Б.І. Рymarчук, О.Л. Шепель, М.В. Худик // Вісник Криворізького національного університету. – 2020. – № 50. – С. 82–87. doi: 10.31721/2306-5451-2020-1-50-82-87.

8. Shepel, O., Rymarчук, B. About a question of a decrease of a rock pressure at an ore drawing from the brought down blocks. Multi-authored monograph. – Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2020. – 514 p. (181–197). <https://doi.org/10.31713/m912>.

9. Pysmennyi, S., Shvager, N., Shepel, O., Kovbyk, K., Dolgikh, O. (2020). Development of resource-saving technology when mining ore bodies by blocks under rock pressure. E3S Web of Conferences, 166, art. no. 02006. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602006>.

10. Чернокур В.Р. Добыча руд с поэтажным обрушением / Чернокур В.Р., Шкробко Г.С., Шелегеда В.И. – М.: Недра, 1992. – 217 с.

11. Стариков Н.А. Системы разработки месторождений. – М.: Metallurgizdat, 1967.

12. Демидов Ю.В., Аминов В.Н. Подземная разработка мощных рудных залежей. – М.: Недра, 1991. – 204.

13. Васильченко Т.П. Влияние объема и формы подсеки на уровень потерь и разубоживания руды при системе разработки с отбойкой руды в зажатой среде // Основные вопросы комплексного освоения месторождений твердых полезных ископаемых. – М.: ИПКОН АН СССР, 1981. С. 46–56.

14. Ривкин И.Д., Волощенко В.П., Маймин Л.Р. Инструктивные указания по определению параметров систем разработки с обрушением по условиям проявления горного давления с увеличением глубины ведения горных работ на шахтах Кривбасса: Утв. 05.03.64. – НИГРИ. – Кривой Рог, 1964. – 37 с.

15. Коляда Е.И. Исследование, выбор и разработка эффективного варианта системы поэтажного обрушения, обеспечивающего снижение потерь руды в недрах / Коляда Е.И. – Кривой Рог, 1980. – С. 50–60.

16. Влох Н.П. Управление горным давлением на подземных рудниках. М.: Недра, 1994. – 208 с.

17. Зубков А.В., Леликов В.П., Пятков Ю.Ф. Распределение давления в днище блока в ходе ведения очистных работ // Подземная добыча руд черных металлов: Сб. научн. тр. / НИГРИ. – Кривой Рог, 1979. – С. 61–63.

18. B.I. Rymarчук, O.L. Shepel, M.V. Khudyk (2017), “Expediency of application of the vertical concentrated charges to decrease losses of ore on a lying wall of deposits”, Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytetu, no.3, pp. 32–37.

19. Rymarчук, B., Shepel, O. (2020). Ways of increase of efficiency of drilling-and-blasting. E3S Web of Conferences, 166, art. no. 03001. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016603001>

Рукопис подано до редакції 24.03.2022

УДК 624.012.45:691.322+621.182.94:621.182.95

О.І. ВАЛОВОЙ, канд. техн. наук, проф.,

О.Ю. СРЬОМЕНКО, М.О. ВАЛОВОЙ, кандидати техн. наук, доценти

Криворізький національний університет

## ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ВИДОБУТКУ ТА ЗБАГАЧЕННЯ ЗАЛІЗНИХ РУД ПРИ БУДІВНИЦТВІ АВТОШЛЯХІВ В КРА'ЄРІ ТА НА ВІДВАЛАХ

**Мета.** Визначення фізико-механічних та експлуатаційних характеристик розкривних порід та хвостосховищ відходів збагачення залізних руд з метою подальшої утилізації в якості сировини для проведення робіт по улаштуванню автошляхів в кар'єрі та на відвалах.

**Методи дослідження.** Використано комплекс методів досліджень, який охоплює аналіз та узагальнення літературних джерел відповідно до мети роботи, лабораторні методи визначення фізико-механічних характеристик щебеню, піску, щебенево-піщаної суміші з відходів видобутку та збагачення залізних руд відповідно до чинних методик проведення випробувань.

**Наукова новизна.** Експериментальним шляхом були отримані фізико-механічні показники, дані про хімічний та гранулометричний склад щебеню та піску з відходів збагачення залізних руд методом сухої магнітної сепарації, «хвостів» рудозбагачувальної фабрики, мінералів розкривних порід – кварцитів окислених, мігматитів, амфіболітів, сланців, аркозових метапіщаників, джеспілітів окислених.

**Практична значимість.** Встановлено, що за хімічним та гранулометричним складом, показниками міцності, насипної щільності, пористості, сумарної активності природних радіонуклідів, морозостійкості, стиранистості, лещадності, водопоглинення щебіню, піску та піщано-щебеневої суміші з відходів збагачення залізних руд та мінералів розкривних порід можуть бути використані тією чи іншою мірою, при будівництві автошляхів в кар'єрі і на відвалах.

**Результати.** Встановлено, що за показниками міцності чинні норми обмежують використання щебеню та піску з некондиційних кварцитів, окислених кварцитів, аркозових метапіщаників лише використанням для додаткових шарів основи доріг I – III категорій та шарів дорожнього одягу доріг IV – V категорій загального призначення. В зв'язку з цим їх не бажано використовувати при будівництві автошляхів в кар'єрі та на відвалах. Показники якості, міцності та довговічності доріг з використанням цих матеріалів будуть низькими, що призведе до частих ремонтів, зниження ефективності використання автосамоскидів, збільшення витрат на утримання доріг та транспортування гірської маси. При цьому немає жодних застережень до використання щебеню та піску зі сланців, відходів збагачення амфіболітів, мігматитів, джеспілітів окислених.

**Ключові слова:** щебінь, пісок, відходи збагачення, розкривні породи, міцність, автошляхи в кар'єрах.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-137-143

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Стан кар'єрних автошляхів значною мірою визначає ефективність експлуатації технологічного автотранспорту. У зв'язку з цим проектуванню, будівництву, експлуатації та ремонту кар'єрних автошляхів, має приділятися значна увага. Разом з тим більшість досліджень з означених питань були виконані 15-30 років тому, і в них розглядалися питання, пов'язані з будівництвом та експлуатацією автошляхів для автосамоскидів вантажопідйомністю 30-110 т. В даний час на підприємствах у великих кількостях експлуатуються автосамоскиди вантажопідйомністю 130-220 т. Провідними світовими виробниками ведуться роботи зі створення ще більших кар'єрних автосамоскидів.

Будівництво кар'єрних автошляхів потребує значної кількості будівельних матеріалів (пісок, гравій, щебінь). Зниження собівартості їх будівництва та утримання можливе за рахунок використання багатотоннажних відходів видобутку корисних копалин в якості вихідної сировини.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Основними відходами при відпрацюванні Інгулецького родовища магнетитових кварцитів кар'єром є розкривні гірські породи. Останні представлені твердими скельними (кварцити, сланці, амфіболіти, граніти і т.п.) і осадовими рихлими (вапняки, суглинки, глини, піски) породами. Загальний обсяг видобутих та запланований обсяг розкривних гірських порід за період 2018 р. – 2021 р., приблизно, становить 90257,3 тис. м<sup>3</sup>.

Добуті розкривні гірські породи розміщуються на зовнішніх відвалах № 1, № 2 і використовуються при будівництві дамби хвостосховища:

за період 2018 р. – 2021 р. – на відвалі № 1 розміщено та планується розмістити – 20541,3 тис. м<sup>3</sup>;

на відвалі № 2 – 64656,0 тис. м<sup>3</sup>;

на греблі хвостосховища – 5060,0 тис. м<sup>3</sup>.

На підприємстві відвали є змішаними. Крім порід, попутно видобуваних і розкривних порід, в них закладовані залістисті розубожені кварцити.

Розкривні гірські породи мають назву класифікаційної групи «Відходи розробки кар'єром залізної руди». Хімічний склад розкривних гірських порід наступний: діоксид кремнію – 41,09%; калію оксид – 2,89%; кальцію оксид – 3,85%; магнію оксид – 13,92%; алюмінію оксид – 17,55%; сполуки заліза – 17,9%, натрію оксид – 2,51%, марганцю оксид – 0,15%, сторонні включення – 0,036% – 0,14%.

Крім розкривних порід на підприємстві утворюється значна кількість відходів переробки збагачувальних фабрик. До таких відносять щебінь та пісок з відходів збагачення методом сухої магнітної сепарації та методом мокрої магнітної сепарації. Підприємство ПРАТ «ІнГЗК» випускає щебінь із відходів сухої магнітної сепарації (СМС) крупністю 0 мм - 70 мм, після чого на сортувальному вузлі, його поділяють на фракції 0 мм - 5 мм, 5 мм - 20 мм, 20 мм - 40 мм (рис.1). Зазначений щебінь представлений, переважно, високоміцними кварцитами, гранітами, мігматитами і піском з відсіву дроблення скельних гірських порід. Цей щебінь використовується в основному для власних потреб: відсіпання автомобільних доріг технологічного автотранспорту, відсіпання баластового шару верхньої будови залізничної колії тощо. Надлишок відходів СМС складують у відвали.



**Рис. 1.** Процес розподілу на фракції щебеню з відходів сухої магнітної сепарації

Численними і складнішими є техногенні об'єкти намивного типу, представлені хвостосховищами збагачувальних фабрик. Процеси формування просторово роз'єднаних зон підвищеної концентрації різних металів у них мали місце, як у процесі самого складування, так і під

впливом пізніших процесів окиснення та перерозподілу за участю водних розчинів. Заскладовані хвости збагачення є подрібненою масою з тонкодисперсного матеріалу з водонасиченням до 20% - 50%, щільністю 2,5 г/см<sup>3</sup> - 4,6 г/см<sup>3</sup>. Їм характерна безструктурність, висока водопроникність, вони є джерелом пилоутворення.

Залежно від крупності хвостів відкладення поділяються на крупнозернисті (з діаметром частинок понад 0,5 мм більше 50%), середньозернисті (з діаметром частинок 0,5 мм - 0,25 мм більше 50%), дрібнозернисті (з діаметром частинок 0,25 мм - 0,1 мм більше 75%) та пилоподібні (з діаметром частинок менше 0,1 мм менше 75%). На ділянках, близьких до місця випуску пульпи та біля дамби хвостосховища, крупність намитих хвостів зростає і є максимальною. У процесі накопичення хвостів виникають макро- та мікрошарові текстури, утворення яких пояснюється особливостями технології робіт з наміву (текстура) та турбулентністю несучого потоку (мікрослоїстість).

З початку експлуатації комбінату в шламосховищах розміщено понад 500 млн м<sup>3</sup> хвостів збагачення з поточним виходом близько 13 млн м<sup>3</sup> на рік.

Загальна класифікацію відходів, що утворюються для підприємства під час здійснення виробничої діяльності, наведено в табл. 1.

З огляду на сказане можна дійти висновку, що існуюча ступінь переробки відходів промислового виробництва на ПРАТ «ІнГЗК» створює можливість лише незначно зменшити темпи зростання їх обсягів і жодним чином не вирішує питання використання відходів, які накопилися за весь час роботи підприємства. Збільшити обсяги переробки можливо за умови збільшення обсягів їх використання при будівництві та ремонті кар'єрних автошляхів. Останнє потребує додаткових досліджень хімічного складу, гранулометричного складу, фізико-механічних властивостей означених відходів виробництва на предмет їх відповідності вимогам норм.

Таблиця 1

Структурна класифікація відходів ПРАТ «ІнГЗК»

Клас відходів видобутку та переробки	Підклас	Техногенна сировина	Техногенезис	Основний діапазон крупності відходів, мм
Рудно-природні	Склади	Забалансові руди	Подрібнення за технологією відкритої розробки корисних копалин	1-400
		Попутні руди		
		Розубожені руди контактних зон		
	Відвали	Скельні та напівскельні розкривні породи	Подрібнення за технологією відкритої розробки	1-800
		Морені породи	Розкривні роботи з частковим подрібненням валунів	0.01-200
		Рихлі породи	Розкривні роботи на пухких осадових ґрунтах	0.1-30
		Змішані	Спільне відсіпання скелі морених або інших розкривних порід	0.1-400
Хвостові	Хвостосховища	Хвости мокрого збагачення	Гравітація, флотація, магнітна сепарація та ін.	0.01-5
		Хвости сухого збагачення	Породовибірка, вибірка слюди та ін.	0.01-30

**Постановка задачі.** Для визначення можливості вторинного використання промислових відходів у будівництві кар'єрних автошляхів необхідно вивчити їхній хімічний склад, гранулометричний склад, фізико-механічні властивості.

Об'єктами дослідження були наступні промислові відходи виробництва ПРАТ «ІнГЗК»: щебінь та пісок з відходів збагачення залізних руд методом сухої магнітної сепарації, «хвости» рудозбагачувальної фабрики РОФ-1, мінерали розкривних порід - кварцити окислені, мігматити, амфіболіти, сланці, аркозові метапіщаники, джеспіліти окислені, некондиційні кварцити.

**Викладення матеріалу та результати.** Дослідження проведено з використанням стандартних хімічних та фізико-хімічних методів, сучасними інструментальними методами відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97) «Щебінь і гравій із щільних гірських порід та відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань» [1] та ДСТУ В.2.7-232: 2010 «Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань» [2].

Точкові проби промислових відходів відбиралася у місцях їх складування відповідно до існуючих нормативних вимог згідно [2].

Результати випробувань гірських порід ПРАТ «ІнГЗК» перерахованих у постановці задачі дослідження наведені нижче.

*Тверда фаза хвостів.* Для твердої фази хвостів були визначені: насипна щільність ( $\rho=1431 \text{ кг/м}^3$ ), вміст пилоподібних (1,0%) та глинистих частинок (0,8%), вміст органічних домішок (0%), хімічний склад, показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = (3,37 - 6,31) < 370 \text{ Бк/кг}$ ), морозостійкість (F25). За наведеними показниками пісок твердої фази хвостів може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь із відходів СМС.* Для щебеню з відходів СМС фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1750 \text{ кг/м}^3$ ), пустотність (група – мала пустотність), міцність (дробильність) (марка – 1200), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = (36,9 - 52,4) < 370 \text{ Бк/кг}$ ), морозостійкість (F100), хімічний склад, стиранність (Ст-II), лещадність (звичайна форма зерен). За наведеними показниками щебінь із відходів СМС може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Пісок із відходів СМС.* Для піску з відходів СМС фракції 0 мм – 5 мм було визначено: гранулометричний склад ( $M_k = 3,18$ ), насипна щільність ( $\rho = 1744 \text{ кг/м}^3$ ), міцність (марка – 1200), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = (36,9 - 52,4) < 370 \text{ Бк/кг}$ ), хімічний склад, водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 9,5\%$ ). За наведеними показниками пісок із відходів СМС може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок із некондиційних кварцитів.* Для щебеню з некондиційних кварцитів фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1470 \text{ кг/м}^3$ ), пустотність (група – середня пустотність), міцність (дробильність) (марка – 400), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 77,7 < 370 \text{ Бк/кг}$ ), морозостійкість (F50), стиранність (Ст-II), лещадність (кубоподібна форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 3,5\%$ ). За наведеними показниками щебінь із некондиційних кварцитів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Винятком є щебінь з некондиційних кварцитів, за показником міцності, може бути використаний тільки для влаштування шарів додаткової основи та для вирівнювання поверхні основ на дорогах I – III категорій.

Для піску з некондиційних кварцитів фракції 0 мм – 5 мм було визначено: гранулометричний склад ( $M_k = 3,44$ ), міцність (марка – 400), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 77,7 < 370 \text{ Бк/кг}$ ). За наведеними показниками пісок із некондиційних кварцитів може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок з окислених кварцитів.* Для щебеню з окислених кварцитів фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1433 \text{ кг/м}^3$ ), пустотність (група – середня пустотність), міцність (дробильність) (марка – 600), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 6,31 < 370 \text{ Бк/кг}$ ), морозостійкість (F50), стиранність (Ст-II), лещадність (покращена форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 4,0\%$ ). За наведеними показниками щебінь із окислених кварцитів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Винятком є щебінь з окислених кварцитів, за показником міцності, може бути використаний тільки для влаштування шарів додаткової основи та для вирівнювання поверхні основ на дорогах I – III категорій, для влаштування шарів дорожнього одягу доріг IV – V категорій.

Для піску з окислених кварцитів фракції 0 мм – 5 мм було визначено: гранулометричний склад ( $M_k = 3,43$ ), міцність (марка – 600), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 6,31 < 370 \text{ Бк/кг}$ ). За наведеними показниками пісок з окислених кварцитів можна використовувати у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок із джеспілітів окислених.* Для щебеню з джеспілітів окислених фракції 5 мм – 40 мм були визначені: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1467 \text{ кг/м}^3$ ), пустотність (група – середня пустотність), міцність (дробильність) (марка – 800), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 2,71 < 370 \text{ Бк/кг}$ ), морозостійкість (F50), стиранність (Ст-II), лещадність (кубоподібна форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 4,7\%$ ). За наведеними показниками щебінь з окислених джеспілітів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Винятком є щебінь з джеспілітів окислених, за показником міцності, може бути використаний для влаштування основ доріг будь-якої категорії та для влаштування покриття доріг V категорії.

Для піску з джеспілітів окислених фракції 0 мм - 5 мм були визначені: гранулометричний склад ( $M_k = 3,6$ ), міцність (марка - 800), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів  $A_{\text{еф}} = 2,71 < 370$  Бк/кг). За наведеними показниками пісок з окислених джеспілітів може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок з аркозових метапіщаників.* Для щебеню з аркозових метапіщаників фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1237$  кг/м<sup>3</sup>), пустотність (група – середня пустотність), міцність (дробильність) (марка – 400), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 247 < 370$  Бк/кг), морозостійкість (F25), стираність (Ст-III), лещадність (покрашена форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 5,0\%$ ). За наведеними показниками щебінь із аркозових метапіщаників може бути використаний у дорожньому будівництві.

Винятком є щебінь з аркозових метапіщаників, за показником міцності, може бути використаний тільки для влаштування шарів додаткової основи та для вирівнювання поверхні основ на дорогах I – III категорій.

Для піску з аркозових метапіщаників фракції 0 мм - 5 мм були визначені: гранулометричний склад ( $M_k = 3,4$ ), міцність (марка - 400), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 247 < 370$  Бк/кг). За наведеними показниками пісок з аркозових метапіщаників може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок із сланців.* Для щебеню із сланців фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1500$  кг/м<sup>3</sup>), пустотність (група – середня пустотність), міцність (дробильність) (марка – 1200), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 27,8 < 370$  Бк/кг), морозостійкість (F50), стираність (Ст-II), лещадність (кубоподібна форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 3,3\%$ ). За наведеними показниками щебінь із сланців може бути використаний у дорожньому будівництві.

Для піску із сланців фракції 0 мм – 5 мм було визначено: гранулометричний склад ( $M_k = 2,97$ ), міцність (марка – 1200), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 27,8 < 370$  Бк/кг). За наведеними показниками пісок із сланців може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок з амфіболітів.* Для щебеню з амфіболітів фракції 5 мм – 40 мм було визначено: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1330$  кг/м<sup>3</sup>), пустотність (група – велика пустотність), міцність (дробильність) (марка – 1000), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 66,5 < 370$  Бк/кг), морозостійкість (F50), стираність (Ст-II), лещадність (звичайна форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 2,9\%$ ). За наведеними показниками щебінь із амфіболітів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Для піску з амфіболітів фракції 0 мм - 5 мм були визначені: міцність (марка - 1000), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 66,5 < 370$  Бк/кг). За наведеними показниками пісок із амфіболітів може бути використаний у дорожньому будівництві.

*Щебінь та пісок з мігматитів.* Для щебеню з мігматитів фракції 5 мм – 40 мм були визначені: гранулометричний склад (група крупності – дуже великий), насипна щільність ( $\rho = 1260$  кг/м<sup>3</sup>), пустотність (група – велика пустотність), міцність (дробильність) (марка – 1000), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 86,8 < 370$  Бк/кг), морозостійкість (F50), стираність (Ст-II), лещадність (покрашена форма зерен), водопоглинання ( $W_{\text{погл}} = 4,3\%$ ). За наведеними показниками щебінь з мігматитів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Для піску з мігматитів фракції 0 мм – 5 мм було визначено: міцність (марка – 1000), показник сумарної питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{еф}} = 86,8 < 370$  Бк/кг). За наведеними показниками пісок з мігматитів може бути використаний у дорожньому будівництві.

Загальним зауваженням до щебеню з усіх розглянутих матеріалів є те, що крива просіювання щебеню не відповідає жодному зі стандартних складів сумішей для дорожнього будівництва [8] у зв'язку з чим, він потребує додаткової класифікації.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Як свідчить вище наведена інформація всі досліджувані матеріали, відповідно до чинних норм [3-14] за своїми фізико-механічними властивостями придатні для використання у дорожньому будівництві тією чи іншою мірою. У той же час, вимоги норм поширюються на дороги загального призначення. Норми, що регламентують експлуатацію та влаштування технологічних автошляхів [10] не містять вимоги до фізико-механічних характеристик матеріалів для їх влаштування. У п. 5.70 - 5.88 [10], [15] наведені лише декларативні вимоги до матеріалів для влаштування технологічних автошляхів і сказано, що вони (матеріали) повинні мати “достатню міцність”. У зв'язку з цим, рекомендації щодо використання досліджуваних матеріалів при будівництві технологічних автошляхів зроблено на основі аналізу встановлених фізико-механічних характеристик матеріалів.

У зв'язку з тим, що чинні норми [8], за показниками міцності, обмежують використання щебеню та піску з некондиційних кварцитів, окислених кварцитів, аркозових метапісчаників лише використанням для додаткових шарів основи доріг I – III категорій та шарів дорожнього одягу доріг IV – V категорій загального призначення, то вважаємо їх використання при влаштуванні технологічних автошляхів недоцільним. Показники якості, міцності та довговічності доріг з використанням цих матеріалів будуть низькими, що призведе до частих ремонтів, зниження ефективності використання автосамоскидів, збільшення витрат на утримання доріг та транспортування гірської маси.

Вважаємо за доцільне при будівництві технологічних автошляхів у кар'єрі та на відвалах використання наступних відходів видобутку та збагачення залізних руд: щебінь та пісок із сланців; щебінь та пісок з відходів СМС; щебінь та пісок з амфіболітів; щебінь та пісок з мигматів; щебінь та пісок із джеспілітів окислених.

Зазначений порядок матеріалів відповідає пріоритету їх використання, що рекомендується, тобто найбільш оптимальними, з матеріалів, що розглядаються, для влаштування технологічних автошляхів є сланці, наступними за характеристиками йдуть відходи СМС і т.д.

#### *Список літератури*

1. ДСТУ Б В.2.7-71-98 (ГОСТ 8269.0-97) Щебінь і гравій із щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи фізико-механічних випробувань. – К.: Державний комітет будівництва, архітектури і житлової політики України, 1999. – 47с.
2. ДСТУ В.2.7-232:2010 Будівельні матеріали. Пісок для будівельних робіт. Методи випробувань. – [Чинний від 2011-01-01]. – Київ.: Міністерство регіонального розвитку та будівництва України, 2010. – 31с.
3. ДСТУ Б В.2.7-74-98 Крупные заполнители природные, из отходов промышленности, искусственные для строительных материалов, изделий, конструкций и работ. Классификация. – К.: Госстрой Украины, 1999. – 16с.
4. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебень и гравий плотные природные для строительных материалов, изделий, конструкций и работ. Технические условия. – К.: Государственный комитет строительства, архитектуры и жилищной политики Украины, 1999. – 14с.
5. ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для буд-них матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ.: Держкоммістобудування України, 1996. – 35с.
6. ДСТУ Б В.2.7-33-2001 Пісок кварцево-залізистий і тонкодисперсна фракція для будівельних робіт з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови. – [Чинний від 2002-04-01]. – Київ.: Держбуд України, 2001. – 31с.
7. ДСТУ Б В.2.7-29-96 Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Кла-сифікація. – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ.: Держкоммістобудування України, 1996. – 35с.
8. ДСТУ Б В.2.7-30:2013 Матеріали нерудні для щебених і гравійних основ та покриттів автомобільних доріг. Загальні технічні умови. – [Чинний від 2014-01-01]. – Київ.: Мінрегіон України, 2013. – 31с.
9. ДСТУ Б В.2.7-34-2001 Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови. – К.: Держбуд України, 2001. – 32с.
10. СНиП 2.05.02-91 Промышленный транспорт / Минстрой России. – М.: ЦИТП Минстроя России, 1996. –128с.
11. ДСТУ Б В.2.7-29-95 Дрібні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Класифікація. – [Чинний від 1996-01-01]. – Київ.: Держкоммістобудування України, 1996. – 35с.
12. Норми радіаційної безпеки України доповнення: Радіаційний захист від джерел потенційного опромінення (НРБУ-97/Д-2000).– К.: Міністерство охорони здоров'я України комітет з питань гігієнічного регламентування національна комісія з радіаційного захисту населення України, 1997. – 44с.

13. ДСТУ Б В.2.7-72-98 Щебінь і гравій з щільних гірських порід і відходів промислового виробництва для будівельних робіт. Методи хімічного аналізу. – К.: Міждержавна науково-технічна комісія з стандартизації, технічного нормування та сертифікації в будівництві, 1998. – 44с.

14. ДСТУ Б В.2.3-42:2016 Автомобільні дороги. Методи визначення деформаційних характеристик земляного полотна та дорожнього одягу. – [Чинний від 2017-01-04]. – Київ.: ДП “УкрНДНЦ”, 2017. – 43с.

15. Инструкция по расчету дорожных одежд нежесткого типа для карьерных дорог под автосамосвалы грузо-подъемностью 27–180 т. (Приложение к выпуску № 5508). М.: Промтрансниипроект, 1985. 88 с.

Рукопис подано до редакції 24.03.2022

УДК 62-192:621.333

О.К. ДАНИЛЕЙКО, Г.В. КОЛОМІЦ, старші викладачі  
Криворізький національний університет

## РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ГРУП З'ЄДНАННЯ ОБМОТОК ТРИФАЗНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

**Мета.** Дослідження та розробка на базі сучасного мікроконтролера пристрою для визначення групи трифазних трансформаторів. Розробити мікроконтролерну систему для виміру часу між точками переходу через нуль синусоїд напруги первинної та вторинної обмоток, який однозначно пов'язаний з кутом зсуву фаз напруг Розробити, перевірити практично та налаштувати програму мікроконтролерного пристрою.

**Методи дослідження.** При вирішенні задачі використовуються загальні методи дослідження електромеханічних систем та побудови програм керування для мікроконтролерів, побудови локальних мереж промислової автоматизації.

**Наукова новизна** Проаналізовано та обґрунтовано необхідність перевірки групи з'єднання обмоток трифазного трансформатора. Обґрунтовано обраний метод визначення групи трифазного трансформатора оснований на безпосередньому вимірі кута зсуву фаз. У роботі розроблена схема та програма мікроконтролерного пристрою для визначення групи трифазного трансформатора. Розроблена модель в програмному середовищі *NI Multisim* для перевірки принципів роботи схеми вимірювання фази.

**Практична значимість.** При ремонті трансформаторів в електроремонтних цехах при невисокій кваліфікації персоналу можливі помилки в маркуванні обмоток. При тривалій експлуатації можлива втрата паспортного шильдику або спотворення інформації на ньому. Більшість трансформаторів живить споживачів паралельними групами. Для включення на паралельну роботу трансформатори обов'язково повинні мати однакові групи з'єднання обмоток. Якщо групи з'єднання різні між трансформаторами виникне зрівняльний струм, який може значно перевищувати номінальний. Таким чином персонал електротехнічних лабораторій повинен при випробуваннях перевіряти групу з'єднань обмоток трансформатора.

Пристрій призначений для використання при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Електричні машини» з метою закріплення теоретичних знань, отриманих студентами на лекціях, та придбання навичок експлуатації обладнання, роботи з трифазними трансформаторами. Розроблені відповідні лабораторні роботи.

**Результати.** В роботі розглянуто пристрій для автоматизації перевірки груп з'єднань обмоток трансформатора на основі одноплатного мікроконтролера STM32. Можливість використання мікроконтролера дозволяє розширювати функціональність пристрою в сторону вимірів інших параметрів трансформаторів.

**Ключові слова:** мікроконтролерна система, трифазний трансформатор, група з'єднання обмоток трансформатора.

doi:10.31721/2306-5451-2022-1-54-143-153

**Проблема та її зв'язок з науковими і практичними задачами.** Як відомо, група з'єднань обмоток трансформатора характеризує взаємну орієнтацію напруги первинної та вторинної обмоток. Зміна взаємної орієнтації цих напруг здійснюється відповідним перемаркуванням початків і кінців обмоток. Перевірка групи з'єднань обмоток трансформатора входить до переліку обов'язкових контрольних випробувань на заводі-виробнику. Тому кожен трансформатор проходить перевірку, що підтверджує правильність з'єднання обмоток.

Більшість трансформаторів живить споживачів паралельними групами. Для включення на паралельну роботу трансформатори обов'язково повинні мати однакові групи з'єднання обмоток. Якщо групи з'єднання різні, між трансформаторами виникне зрівняльний струм, який може значно перевищувати номінальний[1].

Таким чином персонал електротехнічних лабораторій повинен при випробуваннях перевіряти групу з'єднань обмоток трансформатора. Існують декілька методів визначення групи з'єднань різної складності. В роботі розглянуто пристрій для автоматизації перевірки груп з'єднань обмоток трансформатора на основі однокристального мікроконтролера STM32. Можливість