

© Б.Ю. Собко<sup>1</sup>, Л.С. Гриценко<sup>1</sup>, В.П. Крячек<sup>1</sup><sup>1</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ МОБІЛЬНИХ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ НА КАР'ЄРАХ ІЗ ВИДОБУТКУ ТВЕРДИХ НЕРУДНИХ КОРИСНИХ КОПАЛИН

© B. Sobko<sup>1</sup>, L. Hrytsenko<sup>1</sup>, V. Kriachek<sup>1</sup><sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## THE JUSTIFICATION FOR USING MOBILE CRUSHING AND SCREENING PLANTS IN QUARRYING INDUSTRIAL MINERALS

**Мета.** Обґрунтування технології розробки родовищ з видобутку твердих нерудних корисних копалин при застосуванні мобільних дробильно-сортувальних комплексів.

**Методологія.** При виконанні досліджень застосовано аналітичний, статистичний, графоаналітичний методи та експериментальні дослідження в умовах діючих кар'єрів.

**Результати дослідження.** Проведені дослідження дозволили встановити вплив технології відпрацювання мігматитів мобільним комплексом на продуктивність виймально-навантажувального та транспортного обладнання. На основі виконаних досліджень комплексного впливу факторів технології відпрацювання родовища будівельних матеріалів комплексом мобільного обладнання на прикладі кар'єру Одарівського родовища мігматитів можна стверджувати, що впровадження мобільного дробильно-сортувального обладнання, що розташоване безпосередньо у виробленому просторі кар'єру дозволяє підвищити продуктивність екскаватора при завантаженні в бункер дробарки на 16,7% в порівнянні з продуктивністю екскаватора при завантаженні в автосамоскиди та збільшити продуктивність автосамоскидів у середньому на 25 % у порівнянні із циклічною технологією відпрацювання родовища при якій дробильно-сортувальне обладнання розташовується на поверхні, а транспортування гірничої маси з розвалу здійснюється автосамоскидами. Підвищення продуктивності гірничотранспортного обладнання досягається за рахунок відсутності простоїв екскаватора в очікуванні автосамоскидів та завдяки максимальному використанню вантажності транспортних засобів при перевезенні готової щебеневої продукції з високою насипною щільністю.

**Наукова новизна** полягає у встановленні особливостей освоєння родовищ з видобутку твердих нерудних корисних копалин, встановленні залежностей зміни продуктивності гірничотранспортного обладнання при застосуванні мобільного дробильно-сортувального обладнання безпосередньо на робочих майданчиках кар'єру.

**Практичне значення.** Результати досліджень дозволили обґрунтувати для умов Одарівського родовища мігматитів комплексну механізацію циклічної технології видобування сировини із застосуванням мобільного дробильно-сортувального обладнання, що підвищує ефективність застосування виймально-навантажувального обладнання та ефективність використання автосамоскидів що в кінцевому результаті зменшує потребу в транспортному обладнанні та ефективність розробки родовища в цілому при видобутку твердих нерудних корисних копалин для виробництва щебеневої продукції.

**Ключові слова:** родовища твердих нерудних корисних копалин, кар'єр, гірничотранспортне обладнання, мобільні дробильно-сортувальні комплекси.

**Вступ.** Родовища твердих нерудних корисних копалин слугують сировинною базою для виробництва будівельних матеріалів, було – щебеневої продукції. На території України ці родовища приурочені до Українського кристалічного щита. Щебенева продукція різної фракційності використовується в будівництві, а також як наповнювач бетону, складова покриття автомобільних доріг, для баластування залізничних колій та в багатьох інших галузях та напрямках економіки країни.

Починаючи з 2016 року попит на щебеневу продукцію почав збільшуватися, що пов'язано з розвитком будівельної галузі в Україні. Наприклад, у 2018 році виробництво щебеню склало майже 82 млн т, що на 9,2 % більше ніж у 2014 році. У подальші роки, аж до військової агресії проти України, тенденція щодо збільшення попиту і обсягів виробництва щебеневої продукції зберігалася. Очевидно, що у післявоєнний період буде передбачатися позитивна тенденція підвищення продуктивності в галузі видобутку будівельних матеріалів для відновлення країни.

Враховуючи застарілість гірничого обладнання для видобутку та переробки будівельних корисних копалин, відсутність впровадження новітніх технологічних схем розробки корисних копалин та її переробки, питання удосконалення технології розробки при відпрацюванні кар'єрів будівельних матеріалів є своєчасним та актуальним.

Особлива увага, при цьому, має приділятися дослідженню впливу технологічних схем при відпрацюванні кар'єрів будівельних матеріалів з застосуванням мобільних дробильно-сортувальних комплексів.

Необхідно відмітити, що родовища твердих нерудних корисних копалин України мають ряд характерних особливостей, що впливають на систему розробки родовищ та вибір ефективних технологічних схем освоєння кар'єрів [1]. Серед них можна відмітити досить широку розповсюдженість та якісну неоднорідність корисних копалин за фізико-технічними властивостями; масовість попиту для різних видів будівництва. Виробнича потужність і розташування кар'єрів з видобутку щебеневої продукції визначаються різними потребами її споживання в регіонах країни. Цим пояснюється значна неоднорідність кар'єрів за виробничою потужністю і технічним оснащенням, видами та призначенням кінцевої продукції.

Таким чином, в наш час на розробку родовищ твердих нерудних корисних копалин досить суттєво впливають наступні чинники: достатньо висока вартість транспортування гірських порід порівняно із вартістю готової продукції; порівняно невеликі об'єми виробництва на кар'єрах обмежують ефективність застосування сучасного високопродуктивного гірничого та мобільного збагачувального устаткування, що обумовлює розробку та впровадження сучасних гнучких технологічних схем освоєння родовищ, які мають враховувати специфіку зміни вимог щодо якості сировини та різкі коливання її потреб на ринку.

У зв'язку з вищенаведеним, вдосконалення технології розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин повинне опиратися на обґрунтуванні застосування сучасних мобільно-дробильних комплексів обладнання (МДСУ) що розташовані на робочих майданчиках в кар'єрах.

Незважаючи на численні публікації з удосконалення видобувних робіт на кар'єрах твердих нерудних корисних копалин, питання впровадження сучасного мобільного дробильного та сортувального обладнання в комплексі з автомобільним транспортом висвітлено не достатньо.

При цьому завдання досліджень мають спиратися на не вирішених ще питаннях: - транспортувати перероблену в кар'єрі гірничої маси (за допомогою МДСУ) на поверхню до складського вузла і пункту завантаження продукції в транспорт споживачів – чи переробляти її остаточно в кар'єрі і відвантажувати готову продукцію споживачу звідси, або ж виконувати дороблення основних сортamentів готової продукції на поверхні (в грохотильних вузлах, які встановлені стаціонарно) та звідси відвантажувати її споживачам.

**Основна частина.** Аналіз застосування мобільних дробильних установок за кордоном [2–5] показує, що за останні 10-15 років в різних галузях застосовуються, в основному, самохідні дробильні установки (СДУ) для дроблення гірничої маси, переробки будівельних матеріалів, відходів будівництва та промислових відходів. Також широко поширені і автономні пересувні дробильно-сортувальні установки (ПДСУ).

Застосування дробильних агрегатів самохідного типу розпочалося ще в 50-х роках минулого століття в дорожньому будівництві багатьох розвинених країн світу. Ці агрегати за умовами будівельних робіт, зазвичай, мали порівняно невелику продуктивність (100-300 т/год) і були змонтовані на пневмоколісному ході.

У той же час, паралельно із галуззю дорожнього будівництва, мобільні дробильні та сортувальні комплекси почали застосовуватися на великих вапнякових кар'єрах США, ФРН та інших розвинених країн. За тогочасними умовами гірничих робіт продуктивність агрегатів збільшили до 500-1000 т/год, а для зручності пересування за екскаватором їх облаштували власним ходовий механізмом.

Такі високопродуктивні дробильні агрегати для гірничих робіт будувалися, головним чином, з дробарками ударної дії (роторні або молоткові), рідше – з використанням на них шоківих та конусних дробарок. Агрегати виготовлялися у ФРН, США, Франції.

На той час особливістю кар'єрних самохідних агрегатів було встановлення всіх механізмів дробарок на одному гусеничному візку, що забезпечувало високу маневреність при пересуванні за екскаватором. Лише в деяких випадках, коли застосовувався автомобільний хід, обладнання агрегату розподілялося на два візки, пов'язані або не пов'язані між собою.

Технологічне обладнання самохідних агрегатів складалося з приймального бункера, похилого живильника, власне дробарки, піддробильного живильника та консольного конвеєра. У деяких конструкціях для збільшення продуктивності агрегату до або після похилого живильника ставлять грохит, який тією чи іншою мірою скорочує надходження дрібної фракції в дробарку.

Технологічна система самохідних дробильних установок ґрунтується на складових елементах, узгоджених один з одним таким чином, що надає можливість забезпечення оптимальної адаптації дробильних установок до швидкості посування фронту вибою і дальності транспортування дробильного матеріалу.

Дробильний матеріал подається виймально-навантажувальним гірничим обладнанням безпосередньо в завантажувальний бункер самохідної дробильної установки. Розміри і виконання дробарки визначаються в залежності від необхідної продуктивності і розмірів шматків породи, що подаються, заданого ступеня подрібнення, форми зерна і твердості матеріалу. Вибір агрегату здійснюється з ряду роторних, молоткових (відцентрово-ударних), цокових і конусних дробарок.

Для таких установок найбільшого поширення набули гусеничні ходові пристрої, які застосовують для СДА продуктивністю понад 200 т/год. Ходові механізми для СДА вибирають в залежності від несучої здатності ґрунтів, складності кар'єрних трас, кліматичних та інших гірничотехнічних умов, а також з урахуванням типу ходових пристроїв суміжно працюючого вибійного устаткування (екскаваторів) і їх характеристик.

Відповідно до тенденцій розвитку систем розробки та перспективних засобів комплексної механізації, мобільні дробильні та сортувальні агрегати на кар'єрах розглядалися ще й як ланка, що поєднує обладнання циклічної дії (однокішшеві екскаватори) та безперервної дії – стрічкових конвеєрів.

Загальний вигляд самохідного дробильного агрегату, що був розроблений у Німеччині та оснащений роторною дробаркою продуктивністю 400 т/год наведено на рис. 1. Самохідний агрегат призначений для роботи з екскаваторами з місткістю ківша не більше 4 м<sup>3</sup>.

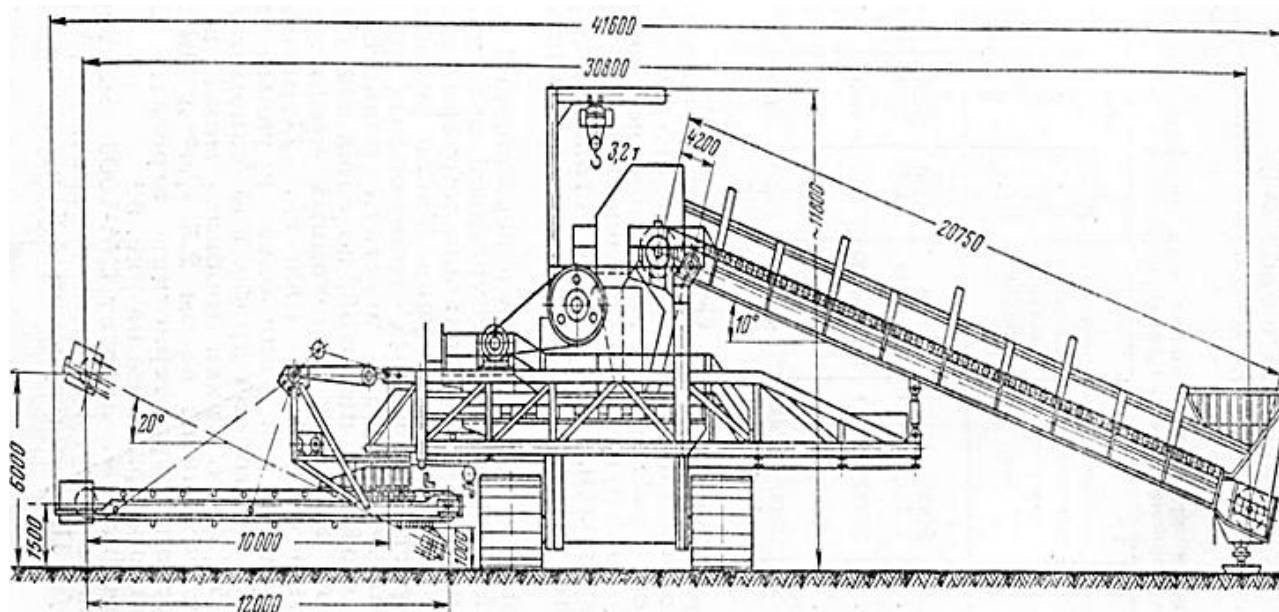


Рис. 1. Самохідний дробильний агрегат оснащений роторною дробаркою продуктивністю 400 т/год

Серед сучасних виробників і споживачів обладнання для дроблення та сортування скельної гірничої маси великою популярністю користуються сучасні мобільні самохідні установки. Це високотехнологічне гірниче обладнання, що поєднує в собі високі показники з продуктивності, широкого сортаменту моделей, типів та виробників, забезпечує мобільність комплексів обладнання як у вибоях, на робочих майданчиках, так і по відношенню до джерел живлення двигунів.

З усіх видів сучасного дробильно-сортувального обладнання – стаціонарного, напівстаціонарного, причіпного тощо – саме самохідні дробильні установки мають найвищу швидкість підготовки до роботи і, навпаки, переведення в транспортне положення. Не вдаючись до допомоги допоміжної техніки, вони здатні самостійно рухатися по робочому майданчику, істотно знижуючи витрати на транспортування матеріалу. У процесі подрібнення гірничої маси їх можна швидко переналаштувати з однієї фракції на іншу. І нарешті, до переваг самохідних дробильних установок потрібно віднести високу мобільність: для розгортання і початку експлуатації самохідного обладнання потрібно зовсім невелика площа, що дозволяє їм працювати навіть в обмежених просторах.

Привід у більшості моделей самохідних дробильно-сортувальних установок дизель-гідролічний, або дизель-електричний. Також зустрічаються моделі з можливістю встановлення електродвигуна чи дизельного генератора.

Зі світових виробників самохідних мобільних агрегатів найбільший попит має обладнання компаній Metso, Sandvik, Extec, McCloskey, Terex та інші. Однією з найпопулярніших у світі самохідних дробильних установок, що випускаються під брендом Sandvik, є модель QJ341 (рис. 2). Вона комплектується економічними двигунами CAT C9 потужністю 355 к.с. або fixed speed потужністю 375 к.с., а також високопродуктивною щокисловою дробаркою з однією розпірною плитою. Завдяки великому завантажувальному отвору та високій швидкості дроблення вона здатна виробляти до 400 т/год готової продукції, забезпечуючи при цьому високий коефіцієнт дроблення.



Рис. 2. Загальний вигляд дробарки Sandvik QJ341

При удосконаленні технології ведення робіт в умовах конкретного кар'єра до основних умов та обмежень виконання досліджень, окрім сучасного рівня розвитку техніки і технології, належать гірничо-геологічні умови і гірничотехнічні особливості розробки родовища та сучасний стан гірничих робіт на кар'єрі.

На прикладі гірничо-геологічних умов Одарівського родовища мігматитів проведено обґрунтування застосування мобільних самохідних дробильних ус-

тановок з максимальним залученням наявного на підприємстві обладнання при дотриманні виробничої продуктивності кар'єру по корисній копалині.

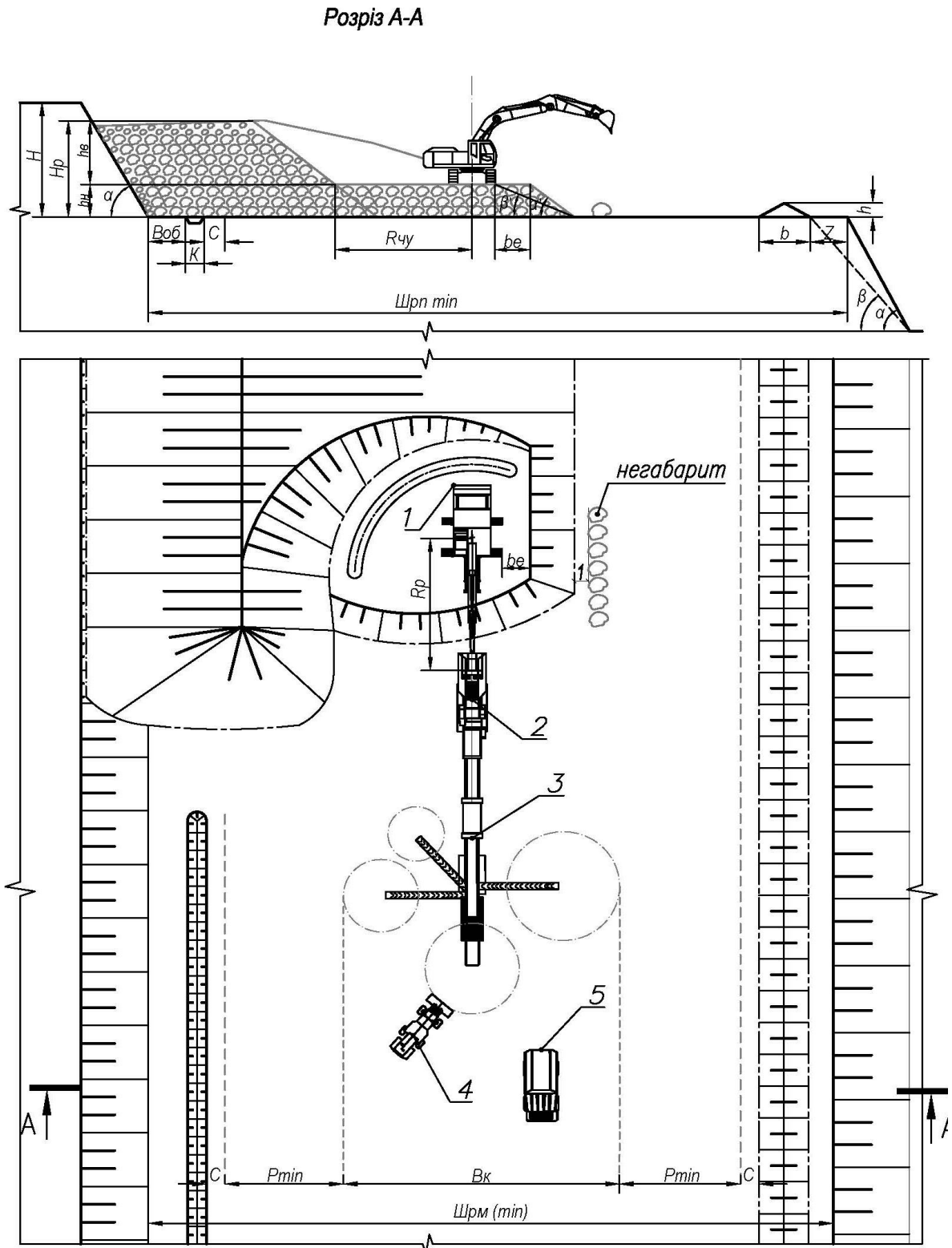


Рис. 3. Паспорт вибою екскаватора при сумісній роботі з комплексом мобільного дробильного обладнання: 1 – екскаватор, 2 – дробарка, 3 – грохіт, 4 – колісний навантажувач, 5 – автосамоскид

Для виконання виймально-навантажувальних робіт в кар'єрі перед комплексом мобільного обладнання у вибої використовуються екскаватор Zaxis 330 LC-3.

Екскаватор Zaxis 330 LC-3 розташовується на проміжному майданчику підступу (див. рис. 3). Дробарку Ehtec C-12+ (Sandvik) розміщують на попередньо спланованому майданчику у вибої. Послідовно за дробаркою Ehtec C-12+ розміщується дробарка Ehtec C-10+ таким чином, щоб подрібнена гірнична маса з головного конвеєра надходила до приймального бункеру дробарки. За дробаркою Ehtec C-10+ розташовується грохіт Ehtec S7. Після чого проводиться підготовка дробарок та сортувалки до роботи (опускання лап гідроопор, перевірка рівня установки, повторне тестування режимів роботи, перевірка на вібрацію на корпус під час роботи тощо).

Застосування мобільного дробильно-сортувального обладнання комплексно впливає на продуктивність виймально-навантажувального та транспортного обладнання, а саме:

- збільшує продуктивність екскаваторів за рахунок відсутності простоїв екскаватора в очікуванні автосамоскидів – здійснюється безперервне завантаження корисної копалини з розвалу до приймального бункеру дробарки;

- підвищує продуктивність автосамоскидів за рахунок максимального використання вантажності транспортних засобів – здійснюється перевезення готової продукції з високою насипною щільністю.

На основі проведених розрахунків за відомим алгоритмом в роботі встановлено зміну продуктивності екскаватора при завантаженні до приймального бункеру дробарки (рис. 4).

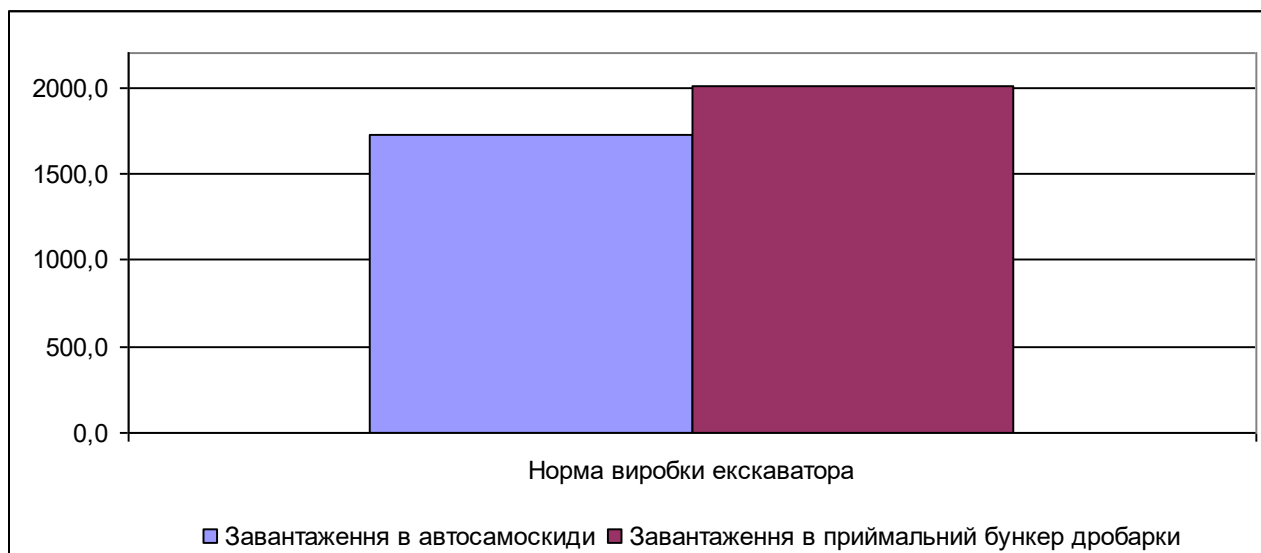


Рис. 4. Зміна продуктивності екскаватора при завантаженні до приймального бункеру дробарки та кузова автосамоскиду

Таким чином, на основі отриманих результатів дослідження, можна стверджувати, що для умов кар'єру Одарівського родовища мігматитів продук-

тивність екскаватора при завантаженні в бункер дробарки на 16,7 % більше в порівнянні з продуктивністю екскаватора при завантаженні в автосамоскиди.

Також в роботі проведені розрахунки зміни продуктивності автосамоскидів при транспортуванні гірничої маси та готової продукції після дробарки. На основі отриманих розрахункових даних встановлено залежність продуктивності автосамоскидів від фракційного складу щебеню, що транспортується (рис. 5).

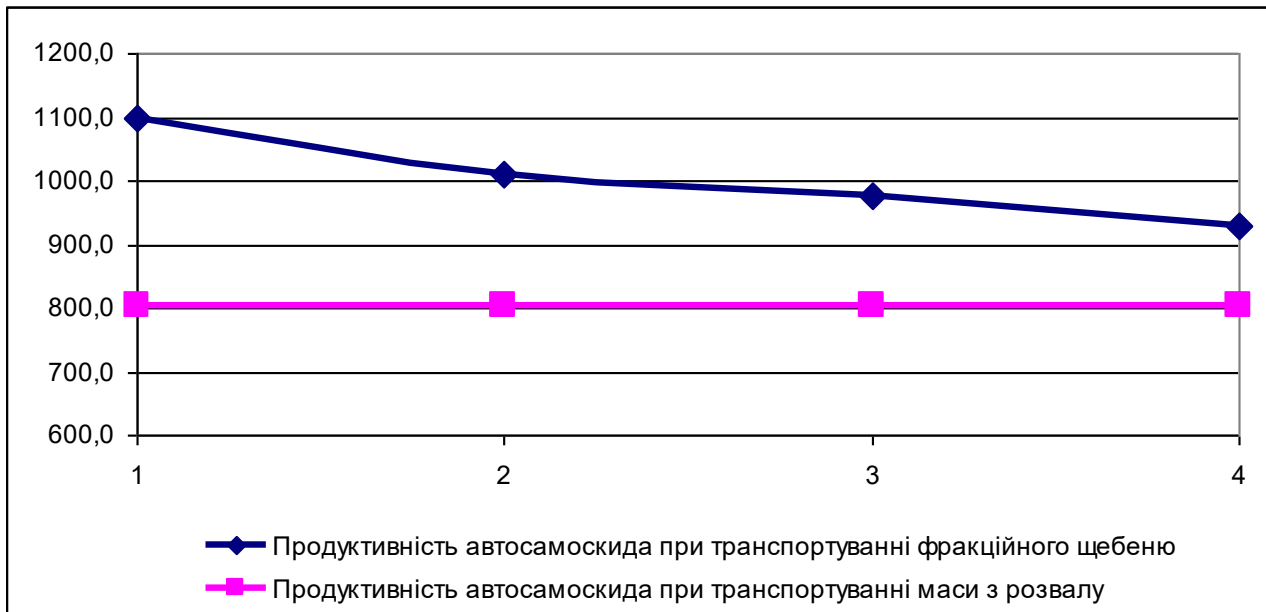


Рис. 5. Залежність продуктивності автосамоскидів від фракційного складу щебеню

Отримані результати розрахунків дозволяють стверджувати, що насипна щільність фракційного щебеню в значній мірі впливає на підвищення продуктивності автосамоскидів – в діапазоні від 15,6 % до 36 % в порівнянні з продуктивністю автосамоскидів при транспортуванні гірничої маси з розвалу до дробильно – сортувального комплексу обладнання на поверхні кар’єру.

**Висновки.** Таким чином, в роботі досліджено вплив технології відпрацювання мігматитів мобільним комплексом на продуктивність виймально-навантажувального та транспортного обладнання.

На основі виконаних досліджень комплексного впливу факторів технології відпрацювання родовища будівельних матеріалів комплексом мобільного обладнання на прикладі кар’єру Одарівського родовища мігматитів можна стверджувати, що впровадження мобільного дробильно-сортувального обладнання, що розташоване безпосередньо у виробленому просторі кар’єру дозволяє підвищити продуктивність екскаватора при завантаженні в бункер дробарки на 16,7% в порівнянні з продуктивністю екскаватора при завантаженні в автосамоскиди та збільшити продуктивність автосамоскидів у середньому на 25 % у порівнянні із циклічною технологією відпрацювання родовища при якій дробильно-сортувальне обладнання розташовується на поверхні, а транспортування гірничої маси з розвалу здійснюється автосамоскидами. Підвищення продук-



тивності гірничотранспортного обладнання досягається за рахунок відсутності простоїв екскаватора в очікуванні автосамоскидів та завдяки максимальному використанню вантажності транспортних засобів при перевезенні готової щебеневої продукції з високою насипною щільністю.

#### Перелік посилань

1. Бака, М.Т., & Сивко, В.Й. (2003). *Видобування та переробка будівельних гірських порід: Навчальний посібник*. РВВ ЖДТУ.
2. Большаков, В.І., Малич, Н.Г., & Блохін, В.С. (2007). Дробильно-сортувальні установки. *Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Зб. нау. праць, 15*, 279-295.
3. Симоненко, В.І., & Гриценко, Л.С. (2014). Оцінка технології відпрацювання нерудних кар'єрів з підтриманням безпеки в зменшеній санітарно-захисній зоні. *Металургійна та гірничорудна промисловість, 1*, 80-85.
4. Симоненко, В.І., & Ярошик, Н.І. (2013). Раціональне виймально-навантажувально-транспортне обладнання на щебених кар'єрах з мобільними пересувними комплексами. *Геотехнічна механіка: Міжвідомчий збірн. наук. праць, 110*, 145-152.
5. Дриженко, А. Ю. (2014). *Відкриті гірничі роботи: підручник*. Національний гірничий університет.

#### ABSTRACT

**Purpose.** Industrial minerals mining technology justification using mobile crushing and screening plants.

**Methodology.** Analytical, statistical, graph analytical methods and experimental research were used on working quarries.

**Findings.** The research made it possible to establish the influence of the migmatites mining technology by mobile equipment on the capacity of the extraction-loading and transport equipment. The following conclusions can be made based on the studies of the complex influence of the factors of the industrial minerals mining technology by mobile equipment on the example of the Odarivsky deposit of migmatites. Using mobile crushing and screening equipment located in the quarry allows for increasing Excavator Productivity for loading crushers' hopper at 16.7% compared to the loading in haulers and increases the productivity of haulers at an average of 25% compared to the cyclic technology in which the crushing and screening equipment is located on the surface, and haulers carry out the transportation of raw material from the quarry. The increase in the productivity of mining transport equipment is achieved due to the absence of downtime of the excavator while waiting for haulers and the maximum use of the vehicle's load when transporting finished crushed stone products with a high bulk density.

**Originality** consists in establishing the peculiarities of industrial minerals mining and establishing the dependences of changes in the productivity of mining transport equipment when using mobile crushing and screening equipment directly on the working sites of the quarry.

**Practical value.** The results of the research made it possible to justify the complex mechanization of the cyclic technology of raw material extraction with the use of mobile crushing and screening equipment for the application in Odarivsk migmatite deposit, which increases the efficiency of the use of extraction and loading equipment and haulers, which ultimately reduces the need for transport equipment and improves the efficiency of the mining as a whole during the industrial minerals mining for the production of aggregates.

**Keywords:** industrial mineral deposits, quarries, haul trucks, mobile crushing and screening plants.