

О.О. Анісімов, д.т.н., доц.  
Л.С. Гриценко, с.н.с.  
Н.Д. Давіденко, аспірант  
О.В. Черняєва, м.н.с.  
І.К. Сидоренко, студент

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

### Фактори, що впливають на продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів

Для удосконалення розкривних робіт та підвищення ефективності роботи виймально-навантажувального та транспортного обладнання розглянуто умови розробки кар'єрів, де виймають суглинки, глини. Визначення напрямків дослідження, що пов'язане з аналізом сучасного стану гірничих робіт на кар'єрах, оглядом літературних джерел із удосконалення розкривних робіт в умовах кар'єру, дозволяє сформулювати цілі, завдання з обґрунтування технологічної схеми використання комплексів обладнання транспорту та екскаваторів циклічної дії при вийманні порід розкриву. Виконано аналіз чинників, що впливають на продуктивність обладнання циклічної дії при відпрацюванні порід розкриву у вибоях кар'єру, та розглянуто вплив параметрів різного гірничого обладнання на циклічну технологію. Під час досліджень встановлено взаємозв'язок параметрів роботи екскаваторів із автосамоскидами та досліджено вплив коефіцієнта наповнення ковша екскаватора на продуктивність обладнання, що використовують для виймання та транспортування в умовах кар'єру. Під час досліджень застосовано статистичні методи обробки результатів, теорію масового обслуговування під час планування продуктивності обладнання протягом зміни. Визначено, що значення норми виробки екскаватора прямопропорційне ефективності використання місткості ковша останнього. Встановлено зміну норми виробки автосамоскидів від ефективності використання та місткості ковша екскаватора, що пов'язано з округленням розрахункової кількості ковшів до цілого значення. Встановлено, що при роботі екскаватора «CAT 336 D2L» максимальна ефективність застосування такого параметра, як вантажність автосамоскида досягається при завантаженні автосамоскида «Volvo FM 6×4» з дотриманням коефіцієнта наповнення ковша 1–1,05 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 0–4,8 %). Максимальна ефективність автосамоскидів «Volvo A40G» досягається під час роботи з екскаватором «Volvo EC480» при коефіцієнті наповнення ковша 1,0 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 4,1 %). На основі отриманих розрахункових значень продуктивності наявного виймально-навантажувального і транспортного обладнання циклічних технологій, за різних комбінацій застосування, можна визначити оптимальне поєднання виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Запропоновані рішення з виконання розкривних робіт під час розробки глин та суглинків дозволяють підвищити ефективність роботи основного гірничого обладнання при здійсненні основних процесів гірничих робіт.

**Ключові слова:** основні виймально-навантажувальні та гірничотранспортні операції; технологія використання циклічного обладнання; корисні копалини; норма виробки гірничого обладнання; екскаватор; автосамоскид.

**Актуальність теми.** Загальнодержавною програмою розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року [1] зазначається, що одним із вагомих чинників для подолання важкого становища в економіці України є відповідне забезпечення потреб економіки в мінерально-сировинних ресурсах та цільове їх використання. Мінерально-сировинна база України є достатньо вагомою для держави та впливає на світовий ринок. У надрах України визначено майже 20 тис. родовищ та геологічних проявів 117 різновидів корисних копалин, з яких 8290 родовищ і 1110 об'єктів обліку за 98 видами мінеральної сировини мають промислове значення і враховані в державному реєстрі як балансові запаси корисних копалин, з них 3349 знаходиться у промисловій розробці.

Валовий національний продукт значно формується за рахунок мінерально-сировинного комплексу. Видобуток та використання корисних копалин формує значний відсоток промислового потенціалу країни, і в галузі задіяно досить багато трудових ресурсів. Відсоток використання цих ресурсів не менші ніж в розвинутих країнах Європи, Азії та інших країнах з потужними гірничодобувними та переробними виробництвами. Значний відсоток загальних інвестицій зосереджено саме в промисловості з видобутку та подальшої переробки мінеральної сировини із залученням місцевих трудових ресурсів.

Значна частина родовищ корисних копалин Донбасу, що відпрацьовують відкритим способом, мають значну потужність порід розкриву та шари з малою потужністю корисної копалини. Треба зазначити, що більш ніж половина витрат припадає на виймально-навантажувальні роботи, транспортування і наступне складання або відвалоутворення порід. На кар'єрах, що розробляють родовища з м'якими породами (каоліни, вогнетривкі глини), виймально-навантажувальне обладнання представлене однокішчевими екскаваторами (переважно гідравлічними), для переміщення порід розкриву застосовують автосамоскиди з різною вантажністю. Ефективність розробки родовищ нерудних корисних копалин і поступове

підвищення продуктивної роботи екскаваторно-автомобільного комплексу залежить від правильно підбраного, економічно обґрунтованого робочого обладнання. Вирішенням цього питання може бути технічне переоснащення кар'єрів більш продуктивним обладнанням з високою продуктивністю і сервісом обслуговування на території України. Підтримка зазначеної виробником продуктивності екскаваторно-автомобільного парку здійснюється за рахунок правильних умов експлуатації, своєчасного ремонту та обслуговування. Не останню роль на виробництві відіграють організація та планування гірничих робіт під час виймання порід розкриття та корисної копалини.

Багато кар'єрів, що здійснили технічне переоснащення на більш сучасні екскаватори та транспортні засоби, дуже мало уваги приділяють організації робіт з розкриття родовищ. Здебільшого підвищення продуктивності механізованого комплексу, який представлений однокішшевидами екскаваторами та автосамоскидами, здійснюється окремо для кожної з ланок процесу циклічної технології. Відсутність жорсткого взаємозв'язку між операціями циклічного обладнання призводить до зменшення норм виробки, зниження продуктивності окремих видів техніки і кар'єру в цілому.

У цьому зв'язку виникає актуальність дослідження впливу робочих параметрів різнотипного обладнання, що використовують у кар'єрі, на продуктивність окремих ланок машин циклічної дії та вибору оптимальних розмірів цього обладнання і формування комплексів циклічної технології. Значну увагу було приділено встановленню ефективності використання вантажності наявних автосамоскидів при роботі разом з гідравлічними екскаваторами зі встановленням оптимальних норм виробки для сучасних гусеничних автосамоскидів як альтернативного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори.** Обґрунтуванню і вирішенню питань з оптимізації технології виймання і переміщення порід на різних родовищах присвячено роботи відомих учених України і країн близького зарубіжжя: М.Г. Новожилова, А.Ю. Дриженко, Г.Д. Пчолкіна, Б.Ю. Собко, В.І. Симоненко, М.В. Мельникова, В.В. Ржевського, Е.Ф. Шешко та багатьох інших [2–6]. У роботах зазначених учених приділяється увага створенню основ ефективної розробки родовищ корисних копалин різного генезису та будови. Результати досліджень цих вчених дозволили сформувати сучасні уявлення про технології відпрацювання родовищ корисних копалин відкритим способом та широко впроваджуються на діючих кар'єрах України (наукові розробки, класифікації, технологічні схеми застосовують при видобутку рудних та нерудних корисних копалин). У роботах багатьох вчених переміщення гірничої маси зазначається як детермінований процес, значне місце відведено методикам визначення продуктивності гірничого обладнання, задіяного на розкривних роботах, в тому числі і розрахункам продуктивності автосамоскидів, і циклу їх роботи у комплексі з екскаваторами циклічної дії.

Ефективність циклічної технології (ЦТ) для реальних умов експлуатації обладнання при вийманні та переміщенні м'яких порід залежить від багатьох факторів, частина з яких має імовірнісний характер. Багато досліджень, які пов'язані з вивченням ефективності використання циклічної технології, мають статистичні дані і отримані з них залежності змінної або місячної продуктивності обладнання притаманні виключно відповідним гірничотехнічним умовам. Як правило, такі дослідження здійснюються для технологічного обладнання ЦТ і враховують не більш одного-двох факторів.

Одним з істотних впливів на ефективність транспортної системи розробки на родовищах є розміщення транспортних засобів у екскаваторному вибої. Зв'язок між водієм автосамоскида та оператором екскаватора – важливий момент взаємодії роботи обладнання при впровадженні циклічної технології.

Основними характеристиками, які відображають взаємодію між екскаватором та автосамоскидом, є час виймально-навантажувальних робіт і очікування, а також простою транспортних засобів. На цикл роботи екскаватора впливає подрібненість порід, якість вибою і співвідношення ємності ковша екскаватора з місткістю кузова транспортного засобу. Підготовленість вибою і час циклу роботи екскаваторів, що працюють разом з автосамоскидами, були висвітлені в багатьох наукових роботах. Значна кількість науковців визначала тривалість простоїв автосамоскидів, у тому числі очікування навантаження та розвантаження, з використанням залежностей теорії масового обслуговування. Треба зазначити, ці формули не враховують різні фактори, наприклад, умови, в яких працюють машини, досвідченість працівників. Багато досліджень пов'язані з встановленням регресійних залежностей циклу роботи від відстаней транспортування корисної копалини. Аналіз роботи виймально-навантажувальних машин, що працюють разом з автосамоскидами, дозволяє зробити висновок, що плече транспортування не єдиний фактор, який впливає на цикли роботи машин. Дослідження підтверджують низький коефіцієнт кореляції між залежностями основних процесів циклу.

Вивчення наукової літератури, яка пов'язана з продуктивністю транспортних засобів на кар'єрах і факторами, які впливають на останні, показало багатогранність проблеми і аспектів, що вивчаються. Здебільшого в попередні роки вивчалися автосамоскиди типу БілА3-540, БілА3-548 і останні роки БілА3-549. Вивчення роботи цих машин у різних умовах вимагає додаткових досліджень. Дослідження пов'язані з гірничотехнічними умовами експлуатації машин і їх впливу на цикл роботи транспортних засобів. У зв'язку з появою нових типів сучасних автосамоскидів та екскаваторів закордонного

виробництва, які з'являються на теренах України, необхідно вивчати їх параметри, імовірності характеристики роботи, процеси їх взаємодії під час виймально-навантажувальних і транспортних робіт.

Для транспортування гірничої маси в кар'єрах застосовують автомобільний транспорт, залізничний транспорт, конвеєрний транспорт. Машини з гусеничним ходом найбільш задіяні в процесі видобутку. Основними з них є: екскаватори, бульдозери, навантажувачі. Однак треба приділити увагу використанню на сучасних кар'єрах гусеничних автосамоскидів. Такі машини дуже широко використовують у складних гірничо-геологічних умовах за кордоном. Компанія NTD використовує гусеничні самоскиди PANTHER, які мають комфортне середовище водіння, унікальну конструкцію ходової частини, яка забезпечує самоочищення, низький рівень робочого шуму. Також зазначено, що транспортні засоби виявилися набагато продуктивнішими та забезпечують кращу економію палива [7]. Автосамоскиди на гусеничному ході мають вантажність від 7 до 30 т. Сучасні гусеничні автосамоскиди можуть здійснювати човниковий рух без розвороту на місці. Платформа з кузовом і кабіною обертається разом, що виключає необхідність розвертання за допомогою гусениць. Гусеничний автосамоскид облаштований поворотною платформою, яка обертається на вісі, і це дозволяє як завантажуватися, так і розвантажуватися на всі сторони світу без руху ходової частини. Відповідно використання такого транспортного засобу у вибої кар'єру обмежується габаритами радіуса повороту платформи.

**Метою статті** є підвищення ефективності використання виймально-навантажувального та транспортного обладнання в умовах розробки кар'єрів, де виймають суглинки, глини або подібні породи.

Для досягнення поставленої мети під час виконання роботи вирішувалися такі **завдання**:

1. Виконати дослідження існуючих технологій та особливостей ведення розкривних робіт при вийманні пухких порід;
2. На основі досліджень зробити аналіз технічних характеристик обладнання, вплив організаційних та гірничих факторів на виробничу продуктивність обладнання та циклічної технології ведення робіт;
3. Дослідити технологічну взаємодію екскаваторів з автосамоскидами та встановити ефективну область застосування кар'єрного обладнання та раціональні параметри циклічного обладнання під час виймання порід розкриву.

**Викладення основного матеріалу.** Кар'єри, що видобувають будівельні матеріали, глини здебільшого для виймання верхніх шарів (суглинків, ґрунтового-рослинного шару) використовують невеличкі екскаватори. Для досліджень були обрані гідравлічні екскаватори «Volvo 480 DL» (3,3 м<sup>3</sup>) та «CAT 336D2L» (2,1 м<sup>3</sup>) із завантаженням у автосамоскиди «Scania P440» (24 т), «Volvo FM 6×4» (25 т), «Volvo FM 8×4» (30 т), «Volvo A40G» (39 т). Альтернативним варіантом є використання екскаваторів «CAT», «Hitachi», «Volvo» (об'єм ковша 1,7–3,5 м<sup>3</sup>) і автосамоскидів гусеничних «Prinoth», «Morooka», «Cit», «ГС-40П УКБТМ» (вантажопідйомністю 15–40 т). Засобами кар'єрного транспорту проводиться перевезення видобутої корисної копалини на склади (споживачам) та розкривних порід у відвали. Відповідно до класифікації гірських порід ЕНіВ на відкриті гірничі роботи товща розкривних порід та шари глин належать до I групи. Категорія порід за ЕНіВ – VII. Уступ суглинків, глин екскаваторами виймають із завантаженням у автосамоскиди і вивозять на внутрішні відвали (рис. 1).

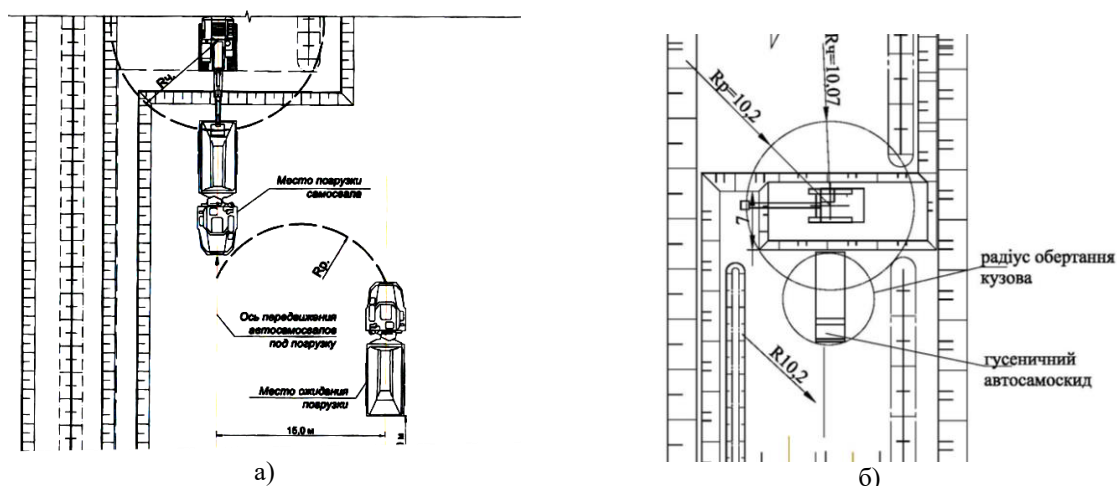


Рис. 1. Схема завантаження порід розкриву екскаваторами в автосамоскиди:  
а – колісні; б – гусеничні

На розкривних роботах, що становлять основний об'єм виймально-навантажувальних і транспортних робіт на кар'єрі, можуть застосувати екскаватори та автосамоскиди кількох типорозмірів з різними

технічними характеристиками. Організація транспортної циклічної технології (ЦТ) здійснюється без дотримання загальноприйнятих, на відкритих гірничих роботах, принципів та підходів у визначенні оптимального співвідношення місткості ковша екскаватора та кузова автосамоскида.

До факторів, що впливають на ефективність ЦТ, відносяться фізичний та моральний знос автосамоскидів, правильно закладена траса, глибина закладення траси, організація та диспетчеризація процесу транспортування, якість і підготовка автодоріг до експлуатації і підтримка їх у задовільному стані, а також низка інших факторів, що впливають на продуктивну роботу сучасних автосамоскидів у кар'єрах.

Істотними для кар'єрного автосамоскида є взаємозв'язки з екскаватором, підготовленість майданчика перевантажувального пункту, дорожні умови траси, клімат регіону, де експлуатують машини. Для повного та всебічного визначення впливу різних факторів на продуктивність транспорту в кар'єрі необхідно представити автосамоскид у вигляді елемента системи. Система містить комплекс обладнання у вибої, а саме: екскаватор (пряма лопата, обернена лопата), автосамоскид і місце розвантаження. Метою діяльності цієї системи є транспортування гірничої маси від вибою до місця розвантаження (склади корисної копалини, зовнішні та внутрішні відвали, фабрики переробки мінералів у готову продукцію). Не останню роль мають організація робіт основного гірничого обладнання, поточний і капітальний ремонт.

Екскаваторно-автомобільні комплекси можна характеризувати за такими показниками: габаритами, що враховують радіуси черпання та розвантаження екскаватора; розмірами маневрових майданчиків біля вибою та в місцях розвантаження; безпечними відстанями між робочим обладнанням (у тому числі і допоміжним); тривалістю операцій основного виймально-навантажувального обладнання, транспортного обладнання, часу, що пов'язаний із їх простоями.

Кількість автосамоскидів, що працює у комплексі з екскаватором, впливає на продуктивність комплексу і залежить від продуктивності окремих автосамоскидів та навичок машиністів екскаваторів. Існують різні способи розрахунку комплексів, які дозволяють визначити оптимальне значення одиниць транспортних засобів, що працюють разом з виймально-навантажувальним обладнанням. Процес прийняття рішення щодо кількості транспортних засобів здійснюється протягом змінного планування, який враховує готовність автопарку, підготовлені породи, готовність екскаватора, підготовленість і стан людського ресурсу.

Існуючі методики планування роботи кар'єрних автосамоскидів залежать від їх продуктивності і під час формування календарних планів, у зв'язку з низкою недоліків сучасних програм виникають похибки, які впливають на нормування автотранспортних робіт. Під час планування роботи гірничо-транспортного комплексу між проектною та фактичною продуктивністю транспортних засобів виникає очевидна розбіжність, що призводить до зниження точності планувальних робіт, а відповідно до порушення ритмічності роботи гірничотранспортного комплексу і часу на виконання технологічних процесів з виймання і транспортування гірничої маси. Не дивлячись на зростання потужності механізованих комплексів кар'єрів відбувається зниження коефіцієнта використання обладнання у часі, уповільнення темпів їх продуктивності, зменшення техніко-економічних показників роботи гірничої техніки. Виникає необхідність постійного вдосконалення способів і методів розрахунку продуктивності гірничого обладнання. Відповідно необхідно враховувати нові чинники, що впливають на роботу основної гірничої техніки, і приділяти значну увагу транспортній одиниці як важливому елементу системи «екскаваторного-автомобільного комплексу».

Продуктивність ЦТ (однокішневий екскаватор + автосамоскиди) залежить від співвідношення ємності ковша екскаватора і геометричних параметрів кузова автосамоскида, кількості ковшів у кузові та їх кратності, що впливає на ефективність використання вантажності транспортних засобів, тривалість циклу гірничого обладнання. На продуктивність комплексу екскаватор + автосамоскиди значно впливають такі чинники: тривалість знаходження транспортного засобу під навантаженням, кількість повних ковшів екскаватора, що розміщують у кузові автосамоскида, максимальне завантаження кузова автосамоскида з урахуванням геометричних параметрів та вантажності, ємність та тип ковша екскаватора.

Під час формування механізованого комплексу з автосамоскида та екскаватора в багатьох джерелах вказано співвідношення між об'ємами ковша екскаватора та кузова автосамоскида – 3–5 одиниць. При розрахунку використовують показники місткості ковша екскаватора і кузова автосамоскида, взятих з технічних характеристик. Однак технічні характеристики обладнання в багатьох випадках виключають деякі показники порід, які виймають і транспортують. Одним з таких показників є коефіцієнт розпушення породи. Треба зазначити, що він для однієї і тієї самої породи відрізняється в ковші екскаватора і в кузові автосамоскида. Різні геометричні параметри ковша екскаватора і кузова автосамоскида є основною причиною такої відмінності.

Вибір автосамоскида здійснюється також за умови навантаження на його колісні осі, а відповідно треба враховувати вагу порід, що транспортують у кузові автосамоскида. Кожний автосамоскид має

вантажність, і перевищення ваги може призводити з скорішого зносу транспортного засобу, а також виходу його з ладу. Отже, під час формування комплексу обладнання вибір автосамоскида за технічними характеристиками здійснюється, враховуючи дві умови: співвідношення кількості ковшів екскаватора у кузові автосамоскида і значення вантажності автомобіля з урахуванням ваги породи.

На годинну (змінну) продуктивність автосамоскида впливають такі показники: вантажність, геометрична місткість кузова (із «шапкою»), відстань переміщення гірничої маси («плече відкатки»), швидкість руху, час, що витрачається на очікування, маневри, завантаження, транспортування, розвантаження. Саме ці показники і їх зміна протягом робочого часу впливають на норми виробки автосамоскида. Найбільшу частку при визначенні продуктивності мають відстань транспортування, яка впливає на час перевезень, та час завантаження гірничої породи в кузов автосамоскида.

Аналіз роботи ЦТ кар'єру показав, що подача автосамоскидів під завантаження має здебільшого випадковий характер без урахування ефективності роботи кожного з вузлів ЦТ. Тому в роботі встановлено продуктивність вузлів ЦТ за різних варіантів поєднання виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Норма виробки одноковшового екскаватора визначалася з урахуванням методики, що наведено в нормах [8] та вимогах [9]. Під час дослідження визначено норми виробки екскаваторів з різною місткістю ковша та різних типів транспортного обладнання (колісних та гусеничних автосамоскидів). Отримані результати дозволили порівняти продуктивність (рис. 2) і зробити попередні висновки, що зі збільшенням вантажності автосамоскидів продуктивність екскаваторів збільшується, що цілком закономірно.

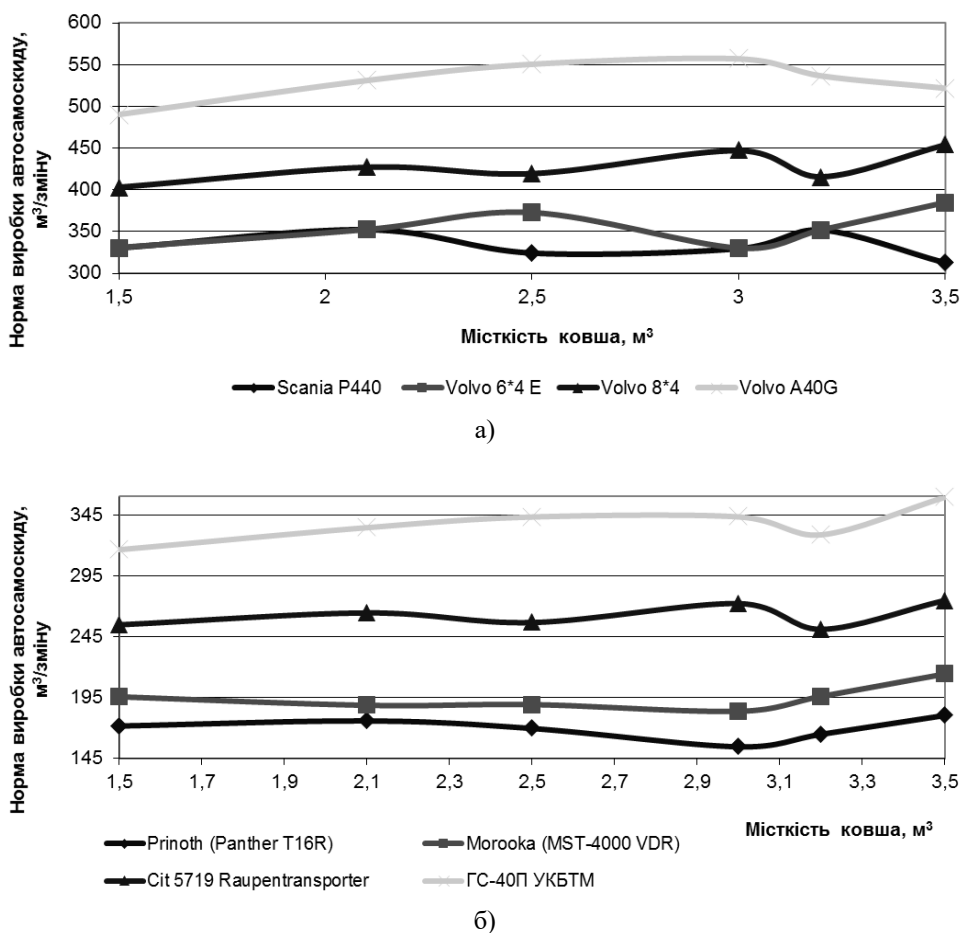


Рис. 2. Графіки залежності норм виробки автосамоскидів від місткості ковша екскаватора при використанні:  
а – колісних автосамоскидів; б – гусеничних автосамоскидів

Збільшення продуктивності екскаваторів відбувається за рахунок підвищення коефіцієнта використання обладнання в часі, оскільки простой екскаватора в очікуванні автосамоскидів та їх установки під навантаження зменшується, збільшується час перебування автосамоскида в пункті завантаження, що уже негативно впливає на продуктивність. Порівняння роботи колісних та гусеничних автосамоскидів показує більшу продуктивність у колісних машин, що пов'язано із їх більшою

швидкістю. Однак треба зазначити, що при зволоженні суглинків та глин гусеничні машини є більш прохідними.

На основі отриманих розрахункових значень продуктивності наявного виймально-навантажувального і транспортного обладнання ЦТ, при різних комбінаціях застосування, можна визначити оптимальне поєднання виймально-навантажувального і транспортного обладнання. Так для екскаваторів «CAT 336 D2L» і «Volvo EC480» максимальна продуктивність досягається при роботі з автосамоскидом «Volvo A40G». Максимальний приріст продуктивності становить 6,47 і 9,47 % відповідно – максимальне зростання ефективності використання виймально-навантажувального обладнання досягається саме при роботі екскаватора «Volvo EC480» із автосамоскидом «Volvo A40G».

Для автосамоскидів «Volvo FM 6×4» і «Volvo A40G» максимальна норма виробки досягається при роботі з екскаватором «Volvo EC480». Приріст норми виробки автосамоскидів становить 9,52 і 14,16 % відповідно. Максимальне зростання ефективності використання автосамоскидів досягається саме при роботі автосамоскида «Volvo A40G» із екскаватором «Volvo EC480».

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що в конкретних умовах розмір ковша екскаватора значно впливає на норму виробки автосамоскидів, ніж типорозмір автосамоскида на продуктивність екскаватора. Це пов'язано з тим, що застосування екскаватора «Volvo EC480» з місткістю ковша 3,3 м<sup>3</sup> дозволяє скоротити час простою автосамоскидів під навантаженням у 1,6 раза незалежно від типорозміру автосамоскида, що забезпечує зменшення часу рейсу автосамоскида в 1,15–1,2 раза.

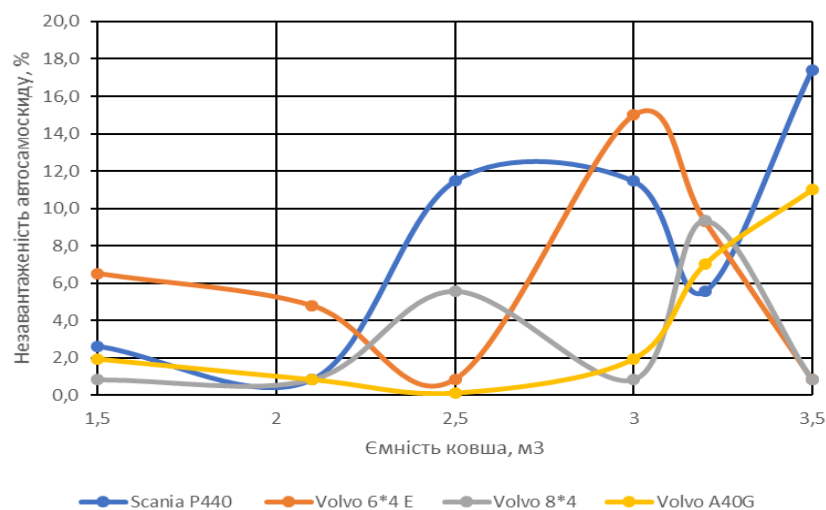
Виконані дослідження продуктивності основного гірничотехнічного обладнання з урахуванням відмінної комплексної механізації циклічної технології дозволяють стверджувати про доцільність використання на невеликих кар'єрах автосамоскидів «Volvo A40G» (вантажність 39 т) разом з однокішсовими гідравлічними екскаваторами «Volvo EC480» (ковш 3,3 м<sup>3</sup>).

Було здійснено дослідження впливу коефіцієнта наповнення ковша екскаватора на продуктивність обладнання в умовах кар'єру. На продуктивність автосамоскида, що працює разом з однокішсовим екскаватором, впливає ефективність використання геометричної місткості ковша екскаватора. Ефективність можна оцінити коефіцієнтом наповнення ковша екскаватора з наступним завантаженням у автосамоскид. Цей коефіцієнт впливає на співвідношення ємностей ковша екскаватора і кузова автосамоскида, а відповідно на величину кількості повних ковшів у кузові. Під час розрахунків кількості повних ковшів у кузові автосамоскида дробову частину зазвичай округляють, що також впливає на остаточний результат продуктивності обладнання.

Треба зазначити, що під час досліджень розрахунок проводився для транспортування гірничої маси трьома уступами висотою по 6 м, при цьому транспортний шлях з'їздами для колісних автосамоскидів склав 238 м (ухил 80 ‰), а гусеничних – 75 м (кут з'їзду 20 ‰). Відповідно шлях транспортування для колісних машин і гусеничних склав 2,8 та 2,6 км.

При визначенні норми виробки автосамоскидів під час досліджень встановлено, що для наявного обладнання обмежувальним фактором стала саме кількість ковшів екскаватора в кузові автосамоскида за його вантажністю. Результати досліджень із впливу коефіцієнта наповнення ковша на ефективність використання вантажності автосамоскидів наведено на рисунку 3.

Аналіз графіка на рисунку 3 показує, що, чим менша вантажність автосамоскида, тим більша розбіжність, пов'язана з незавантаженістю автосамоскида. У той же час збільшення вантажності автосамоскидів як колісних, так і гусеничних зі збільшенням об'ємів ковша екскаватора призводить до повного завантаження автосамоскидів.



a)

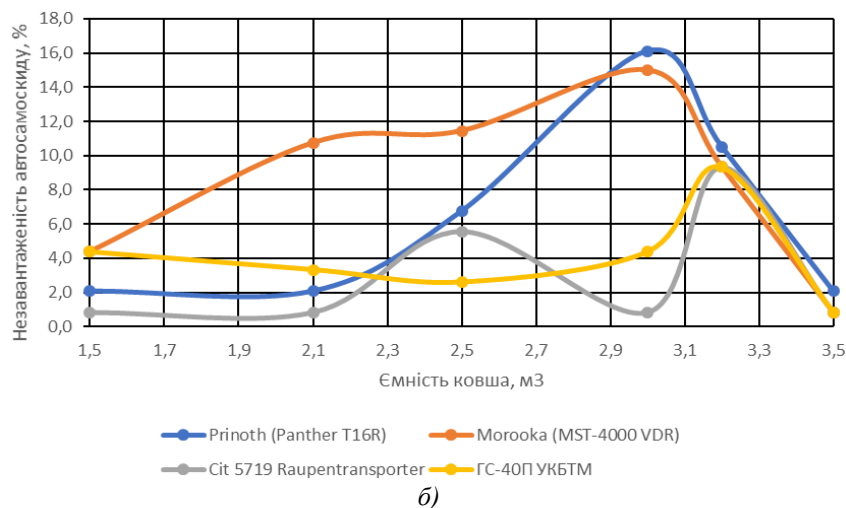


Рис. 3. Графіки залежності ефективності використання вантажності автосамоскидів від місткості ковша екскаватора при використанні:  
 а – колісних автосамоскидів; б – гусеничних автосамоскидів

При роботі екскаватора «CAT 336 D2L» максимальна ефективність використання вантажності автосамоскидів досягається при завантаженні автосамоскида «Volvo FM 6×4» з дотриманням коефіцієнта наповнення ковша 1–1,05 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 0–4,8 %). При роботі автосамоскида «Volvo A40G» з екскаватором «CAT 336 D2L» ефективність використання вантажності вкрай низька (відхилення розрахункової вантажності від паспортної до 17,7 %). Натомість максимальна ефективність автосамоскидів «Volvo A40G» досягається при роботі з екскаватором «Volvo EC480» при коефіцієнті наповнення ковша 1,0 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 4,1 %). Результати щодо ефективності роботи комплексів обладнання узгоджуються з результатами про доцільність використання як транспортного обладнання автосамоскидів «Volvo A40G» вантажністю 39 т при завантаженні їх екскаваторами «Volvo EC480».

На основі виконаних досліджень залежності продуктивності основного виробничого обладнання від різного компонування циклічної технології відпрацювання порід розкриття можна зробити висновок про наявність відхилень розрахункової вантажності автосамоскидів від заявленої постачальником.

Збільшення корисного використання екскаваторів «Volvo EC480» в часі, за рахунок повного завантаження автосамоскидів, веде до збільшення продуктивності виймально-навантажувального обладнання в 1,1 раза. В той же час на основі проведених досліджень можна стверджувати, що типорозмір екскаватора в умовах Андріївського кар'єру суттєво впливає на норму виробки автосамоскидів. Приріст норми виробки автосамоскида «Volvo A40G» вантажністю 39 т при завантаженні його екскаватором «Volvo EC480» становить 14,16 % порівняно із його завантаженням екскаваторами «CAT 336 D2L». Застосування екскаватора «Volvo EC480» з місткістю ковша 3,3 м³ дозволяє скоротити час простою автосамоскидів під навантаженням у 1,6 раза незалежно від типорозміру автосамоскида порівняно з екскаватором «CAT 336 D2L», що забезпечує зменшення часу рейсу автосамоскида в 1,15–1,2 раза.

Проведені дослідження з ефективності використання вантажності наявних автосамоскидів дозволили встановити, що при роботі екскаватора «CAT 336 D2L» максимальна ефективність використання вантажності автосамоскидів досягається при завантаженні автосамоскида «Volvo FM 6×4» з дотриманням коефіцієнта наповнення ковша 1–1,05 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 0–4,8 %). Під час роботи автосамоскида «Volvo A40G» з екскаватором «CAT 336 D2L» ефективність використання вантажності вкрай низька (відхилення розрахункової вантажності від паспортної до 17,7 %). Натомість максимальна ефективність автосамоскидів «Volvo A40G» досягається при роботі з екскаватором «Volvo EC480» при коефіцієнті наповнення ковша 1,0 (відхилення розрахункової вантажності від паспортної 4,1 %).

На основі виконаних досліджень основного виробничого обладнання циклічної технології відпрацювання порід розкриття можна зробити висновок про доцільність використання як транспортного обладнання автосамоскидів «Volvo A40G» вантажністю 39 т при завантаженні їх екскаваторами «Volvo EC480».

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Аналіз сучасного стану використання гірничого обладнання на кар'єрах показав, що організація циклічної (транспортної) технології здійснюється без дотримання загальноприйнятих, на відкритих гірничих роботах, принципів та підходів у визначенні оптимального співвідношення місткості ковша екскаватора та кузова автосамоскида, з-поміж масиву

наявного обладнання. В роботі розглядається удосконалення розкривних робіт у кар'єрах шляхом підвищення ефективності циклічної технології на відпрацюванні порід розкриву.

Визначено оптимальне поєднання виймально-навантажувального і транспортного обладнання, на основі отриманих розрахункових значень продуктивності виймально-навантажувального і транспортного обладнання ЦТ, при різних їх комбінаціях:

- для екскаваторів «CAT 336 D2L» і «Volvo EC480» максимальна продуктивність досягається при роботі з автосамоскидом «Volvo A40G». Максимальний приріст продуктивності становить 6,47 і 9,47 % відповідно – максимальне зростання ефективності використання обладнання досягається саме при роботі екскаватора «Volvo EC480» із автосамоскидом «Volvo A40G»;

- для автосамоскидів «Volvo FM 6×4» і «Volvo A40G» максимальна норма виробки досягається при роботі з екскаватором «Volvo EC480». Приріст норми виробки автосамоскидів становить 9,52 і 14,16 % відповідно. Максимальне зростання ефективності використання автосамоскидів досягається саме при роботі автосамоскида «Volvo A40G» із екскаватором «Volvo EC480»;

- визначено, що типорозмір екскаватора впливає більш суттєво на норму виробки автосамоскидів, ніж типорозмір автосамоскида на продуктивність екскаватора. Це пов'язано з тим, що застосування екскаватора «Volvo EC480» з місткістю ковша 3,3 м<sup>3</sup> дозволяє скоротити час простою автосамоскидів під навантаженням у 1,6 рази незалежно від типорозміру автосамоскида, що забезпечує зменшення часу рейсу автосамоскида в 1,15–1,2 рази.

Порівняння роботи колісних та гусеничних автосамоскидів показує більшу продуктивність у колісних машин, що пов'язано із їх більшою швидкістю. Треба зазначити, що при зволоженні суглинків, глини гусеничні машини є більш прохідними. Потенціал гусеничних машин не повністю досліджений, тому є необхідність розглянути використання цих машин в умовах діючих кар'єрів України.

#### Список використаної літератури:

1. Загальнодержавна програма розвитку мінерально-сировинної бази України на період до 2030 року (44) : Відомості Верховної Ради України. – 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>.
2. Технологія екологічнобезпечної відкритої розробки нерудних родовищ твердих корисних копалин : монографія / В.І. Симоненко та ін. – Дніпро : Журфонд, 2022. – 365 с.
3. Стрілець О.П. Вплив фракційного складу гірничої маси на продуктивність великовантажних автосамоскидів / О.П. Стрілець, Г.Д. Пчолкін, М.Ю. Чорний // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2017. – № 50. – С. 125–131.
4. Стрілець О.П. Дослідження впливу довжини тимчасової частини автодороги на продуктивність великовантажних автосамоскидів / О.П. Стрілець, Г.Д. Пчолкін, М.Ю. Чорний // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – 2017. – № 50. – С. 132–136.
5. Дриженко А.Ю. Відкриті гірничі роботи : підручник / А.Ю. Дриженко ; М-во освіти і науки України. – Д. : НГУ, 2014. – 590 с.
6. Собко Б.Ю. Дослідження ефективності впровадження землезберігаючих технологій при відпрацюванні східної ділянки Біляївського родовища каолінів / Б.Ю. Собко, О.В. Черняєв, Л.С. Гриценко // Збірник наукових праць НГУ. – 2017. – № 52. – С. 16–23.
7. PRINOTH Sells First Units in the UK [Electronic resource]. – Access mode : <http://surl.li/gymbt>.
8. НПАОП 0.00-1.24-10. Правила охорони праці під час розробки родовищ корисних копалин відкритим способом. – К. : Державний комітет України з пром. безпеки, охорони пр. та гірничого нагляду, 2010. – 63 с.
9. СОУ-Н МПП 73.020-078-1:2007. Норми технологічного проектування гірничодобувних підприємств із відкритим способом розробки родовищ корисних копалин. Ч. 1. – К. : Міністерство промислової політики України, 2007. – 288 с.

#### References:

1. VRU (2011), *Zahalnodержavna prohrama rozvytku mineralno-syrovynnoi bazy Ukrainy na period do 2030 roku (44)*, Vidomosti, [Online], available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3268-17#Text>
2. Symonenko, V.I. et al. (2022), *Tekhnolohiia ekolohobezpechnoi vidkrytoi rozrobky nerudnykh rodovyshch tverdikh korysnykh kopalyn*, monohrafiia, Zhurfond, Dnipro, 365 p.
3. Strilets, O.P., Pcholkin, H.D. and Chorny, M.Iu. (2017), «Vplyv fraktsiinoho skladu hirnychoi masy na produktyvnist velykovantazhnykh avtosamoskydiv», *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, No. 50, pp. 125–131.
4. Strilets, O.P., Pcholkin, H.D. and Chorny, M.Iu. (2017), «Doslidzhennia vplyvu dovzhyny tymchasovoi chastyny avtodorohy na produktyvnist velykovantazhnykh avtosamoskydiv», *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho hirnychoho universytetu*, No. 50, pp. 132–136.
5. Dryzhenko, A.Iu. (2014), *Vidkryti hirnychi roboty*, pidruchnyk, M-vo osvity i nauky Ukrainy, NHU, D., 590 p.
6. Sobko, B.Iu., Cherniaiev, O.V. and Hrytsenko, L.S. (2017), «Doslidzhennia efektyvnosti vprovadzhenia zemlezberihaiuchykh tekhnolohii pry vidpratsiuванні skhidnoi dilianky Biliaivskoho rodovyshcha kaoliniv», *Zbirnyk naukovykh prats NHU*, No. 52, pp. 16–23.
7. PRINOTH Sells First Units in the UK, [Online], available at: <http://surl.li/gymbt>



8. Derzhavnyi komitet Ukrainy z promyslovoi bezpeky, okhorony pratsi ta hirnychoho nahliadu (2010), *NPAOP 0.00-1.24-10. Pravyla okhorony pratsi pid chas rozrobky rodovyshch korysnykh kopalyn vidkrytym sposobom*, К., 63 p.
9. Ministerstvo promyslovoi polityky Ukrainy (2007), *SOU-N MPP 73.020-078-1:2007. Normy tekhnolohichnoho proektuvannia hirnychodobuvnykh pidpriemstv iz vidkrytym sposobom rozrobky rodovyshch korysnykh kopalyn. Part 1*, К., 288 p.

**Анісімов** Олег Олександрович – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-8286-7625>.

Наукові інтереси:

– видобуток рудних та нерудних корисних копалин.

E-mail: anisimov.o.o@nmu.one.

**Гриценко** Леонід Сергійович – старший науковий співробітник, асистент кафедри відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0001-7709-7240>.

Наукові інтереси:

– видобуток та переробка нерудних корисних копалин.

E-mail: hrytsenko.l.s@nmu.one.

**Давіденко** Наталія Дмитрівна – магістр, аспірантка кафедри відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Наукові інтереси:

– використання гусеничних автосамоскидів.

E-mail: davidenko.n.d@nmu.one.

**Сидоренко** Іван Костянтинівич – студент гр. 184-22-7 кафедри відкритих гірничих робіт Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Наукові інтереси:

– гірництво.

E-mail: Sydorenko.I.K@nmu.one.

**Чернясва** Олена Валентинівна – молодший науковий співробітник Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Наукові інтереси:

– видобуток корисних копалин, охорона праці в гірництві.

E-mail: leka110112@gmail.com.

**Anisimov O.O., Hrytsenko L.S., Davydenko N.D., Sydorenko I.K., Cherniaieva O.V.**

#### **Factors affecting the productivity of excavator and truck complexes**

To improve stripping works by increasing the efficiency of excavation, loading and transportation equipment the article considers conditions of development of the open pits, where loam and clay are excavated.

Determination of research directions is connected to the analysis of the modern state of mining works in the open-pit, review of literary sources on improvement of overburden works in open-pit conditions, allows us to formulate aims and problems on substantiation of the technological scheme of work of cyclic complexes at development of overburden. The analysis of factors of influence on productivity of cyclic technology of development of overburden at open pits is carried out and technical interaction of equipment of cyclic technology is explored. During researches the interrelation of excavator parameters with dump trucks was set and the influence of excavator bucket filling factor on productivity of cyclic technology equipment in open pit was studied. During researches probabilistic-statistical methods of results processing, the theory of mass service at planning of variable productivity of the equipment are applied. It is defined, that excavator output rate value is directly proportional to efficiency of using geometric capacity of the bucket. Changing of the excavator output rate from the efficiency of using the geometric capacity of the bucket is established, which connected with rounding of the fractional part of the bucket to a smaller integer value. It is established, that at operation of CAT 336 D2L excavator the maximum efficiency of the dump load capacity use is reached at loading of Volvo FM 6×4 dump truck with bucket filling factor 1–1,05 (the deviation of rated load capacity from nameplate 0–4,8 %). The maximum efficiency of Volvo A40G is reached when working with an excavator Volvo EC480 at a bucket filling ratio of 1.0 (the deviation of the calculated payload from the passport capacity of 4,1 %). On the basis of received calculated values of productivity of available loading and transport equipment of cyclic technologies, at various combinations of application, it is possible to define an optimum combination of loading and transport equipment. The proposed solutions of stripping operations in clay and loam mining conditions allow increasing the efficiency of using the main production equipment when carrying out mining operations.

**Keywords:** main extraction; loading and mining transport operations; technology of using cyclic equipment; minerals; rate of production of mining equipment; excavator; dump truck.

Стаття надійшла до редакції 16.03.2023.