

Ю. А. МОНАСТИРСЬКИЙ, д-р техн. наук, проф., І. С. МАКСИМЕНКО, аспірант
Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ ЗМІНИ ВИТРАТ ПАЛИВА АВТОСАМОСКИДАМИ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗАМИ НА ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРАХ

Мета. Підвищення ефективності роботи кар'єрного автомобільного транспорту за рахунок зменшення витрат палива шляхом встановлення дизель-тролейвозного обладнання на кар'єрні автосамоскиди.

Методи дослідження. Положення теорії автомобілів та транспортних процесів і систем, методи теорії планування експериментів, аналіз літературних джерел, наукове узагальнення раніше виконаних досліджень.

Наукова новизна. На підставі дослідження процесу транспортування вантажів кар'єрними автосамоскидами та дизель-тролейвозами встановлені закономірності зміни витрат палива кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 90, 130 та 220 тонн від довжини траси, закономірності зміни питомих витрат палива дизель-тролейвозами від довжини траси при різних частинах тролейної ділянки та закономірності зміни питомих витрат палива від питомої частини тролейної ділянки при різних довжинах трас руху.

Практична значимість. Результати досліджень будуть використані при оцінці доцільності використання та прогнозування роботи дизель-тролейвозів на базі кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю від 90 до 220 т.

Результати. Встановлені закономірності зміни лінійних витрат палива від довжини їздки з вантажем кар'єрними автосамоскидами з електромеханічною трансмісією. Середні розрахункові лінійні витрати палива для автосамоскидів вантажопідйомністю 90 т складають 10-12 л/км, 130 т – 16-18 л/км, 220 т – 24-26 л/км. Менші значення відповідають трасам більшої довжини за рахунок меншої питомої частини витрат палива під час непродуктивних операцій транспортного циклу. Встановлена параболічна залежність питомих витрат палива дизель-тролейвозу від довжини траси руху та лінійна залежність питомих витрат палива дизель-тролейвозу від тролейної частини ділянки маршруту. Встановлено, що абсолютна довжина траси руху впливає не дуже суттєво на питомі витрати палива, більш суттєвий вплив має частина тролейної ділянки в загальній довжині траси. При збільшенні тролейної частини траси з 30 до 70 % на найдовшій трасі величина відносних витрат палива зменшується з 0,76 до 0,41. Для зменшення витрат палива при впровадженні дизель-тролейвозів необхідно мати траси максимальної довжини з максимальною довжиною тролейної ділянки, це може призвести до зменшення загальних витрат палива у 2,5 рази.

Ключові слова: кар'єр, транспорт, автосамоскид, дизель-тролейвоз, витрати палива, дорожні умови експлуатації.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-29-33

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Питання зменшення витрат палива кар'єрного транспорту завжди є пріоритетним, особливо в умовах обмеження енергетичних ресурсів [1-3] та розвитку світової промисловості у напрямку зменшення витрат викопного палива. Застосування пріоритетних напрямів у розвитку кар'єрного автомобільного транспорту може вирішити поставлене питання [4, 5]. Одним з таких напрямів є електрифікація автотранспорту та впровадження дизель-тролейвозів, які дозволяють значно економити паливо та зменшувати викиди відпрацьованих газів [6].

Аналіз досліджень і публікацій. Використанням в глибоких кар'єрах дизель-тролейвозів займаються практично всі провідні світові виробники кар'єрних автосамоскидів [7-14].

Катерпіллар (Caterpillar) перейшов від випробувань чотирьох дизель-тролейвозів на базі автосамоскидів CAT-795 F AC вантажопідйомністю 337 т на 700-метровій трасі до роботи десяти аналогічних машин на 3 км тролейній лінії на мідному руднику Аїтік (Aitik) шведської компанії Буліден (Boliden). Було встановлено, що CAT-795F AC може рухатися по 10-відсотковому фізичному ухилу та дорожнім умовам із твердим покриттям зі швидкістю 28 км/год, що практично в 2 рази вище проти режиму, з рухом лише на дизельному двигуні, при цьому економія палива складає до 40 літрів на один кілометри шляху [8, 9]. Буліден (Boliden) заявляє, що скоротить споживання дизельного палива автосамоскидами CAT-795 F AC у тролейвозному виконанні на 5500 куб. м/рік на тролейній лінії довжиною 1,7 км на кар'єрі Кевіца (Kevitsa) [9]. Сім дизель-тролейвозів Комацу (Komatsu) замовила Купер Монтайн Майнінг (Copper Mountain Mining) у Канаді для використання на одно кілометровій тролейній трасі. Планується скорочення викидів вуглекислого газу, а відповідно і витрат палива в кар'єрі на 30% в термін до 2035 року. Компанія Перші Квантові Мінерали (First Quantum Minerals) впроваджує додатково 11 дизель-тролейвозів на базі автосамоскидів Лібхер (Liebher) T-284 вантажопідйомністю 363 т, з них три вантажівки на кар'єрі Вартовий (Sentinel) і вісім на кар'єрі Кобре Панама (Cobre Panama) у Панамі. Незабаром парк із 38 Лібхер (Liebher) T-284 у Панамі буде найбільшим у світі парком вантажівок ультракласу у тролейвозному виконанні [10]. Лібхер (Liebher) T-236 вантажопідйомністю 100 т впрова-

джується у тролейвозній модифікації на головній під'їзній дорозі рудника Ерзберг (Erzberg) у Австрії [11]. Компанія РНЦ Мінералс (RNC Minerals) заявила, що вивчає можливість використання дизель-тролейвозів на своєму нікель-кобальтовому проєкті Дюмонт (Dumont) у Квебеку, Канада. На головних гірничих виставках світу Баума (Bauma) останнім часом з'являється все більше експонатів дизель-тролейвозної тематики [12-14].

В Україні залізорудна компанія Ferrexpo планує електрифікувати 14 кілометрів кар'єрних автошляхів шляхів в кар'єрах Полтавського ГЗК, Єриствського ГЗК та Біланівського ГЗК. При цьому планується протягом 10 років отримати економію операційних витрат у понад \$400 млн і зменшити обсяги викидів вуглецю на 526 тис. т за рахунок зменшення витрат дизельного пального [6].

Отже, впровадження дизель-тролейвозів на основі кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією вантажопідйомністю від 100 т є сучасним ефективним рішенням підвищення ефективності роботи кар'єрного автомобільного транспорту за рахунок зниження витрат палива та збільшення продуктивності його роботи, це буде доцільним і на залізорудних кар'єрах України. Але питання визначення показників роботи особливо витрат палива ще потребують досліджень відповідно умов експлуатації машин.

Постановка задачі. Розглянути у відносних величинах, для машин різної вантажопідйомності, зміни витрат дизельного палива при різних дорожніх умовах експлуатації, які характеризуються довжиною траси руху та питомому відношенню довжини тролейної частини (ступені тролізації) у загальній довжині траси.

В якості базових значень прийняті показники роботи кар'єрних автосамоскидів, які можуть бути використані в даних умовах експлуатації, вантажопідйомністю 90, 130 та 220 т не обладнаних тролейною системою. Автосамоскиди даних вантажопідйомностей є найбільш розповсюдженими машинами при перевезенні залізних руд та вскришних порід на українських кар'єрах у Кривому Розі та Горішніх Плавнях.

Викладення матеріалу та результати. Дослідження виконувалися на основі положень теорії автомобілів та транспортних процесів і систем, методів теорії планування експериментів, методик визначення параметрів роботи кар'єрного автомобільного транспорту та визначення витрат палива кар'єрними автосамоскидами з електро-механічною трансмісією [15]. Аналіз автомобільних трас руху в залізорудних кар'єрах України показав, що довжина їздки з вантажем коливається від 1,0 до 5,0 км при ухилах від 6 до 12 %, середня швидкість руху по трасах складає близько 20 км/год, при цьому з вантажем від 8 до 12 км/год, без вантажу швидкість близька до обмеженої нормативами експлуатації для українських кар'єрах величини у 30 км/год.

Вихідними даними для досліджень прийняті: довжина траси руху в навантаженому стані l від 1 до 5 км, частина траси руху з тролейною ділянкою Tr від 30 до 70 % від довжини руху з вантажем, ділянки без тролі розташовані у вибоях чи на перевантажувальних майданчиках в основному мають ухил близький до горизонтального, тому швидкості руху автосамоскидів на цих ділянках прийнята середньою при русі з вантажем - 10 км/год.

При розрахунку витрат дизельного палива (табл.1) були прийняті наступні вихідні дані: кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 90 т двигун – Cummins KTA-38C, потужність 783 кВт; кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 130 т двигун – Cummins KTTA-50C, потужність 1194 кВт; кар'єрний автосамоскид вантажопідйомністю 220 т двигун – Cummins QSK-60 C, потужність 1715 кВт; питомі витрати палива двигунами при номінальній потужності від 202 до 209 г/(кВт·год.), витрати палива кар'єрним автосамоскидом при русі з вантажем відповідають витратам палива двигуна при роботі при номінальному навантаженні; при маневруванні та русі без вантажу як кар'єрним автосамоскидом так і дизель-тролейвозом витрати палива складають за усередненими даними [7-14] 40 % від номінальних витрат, під час очікування завантаження, завантаження та очікування розвантаження витрати палива машин дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на холостому ходу, під час руху в тролейному режимі витрати палива дизель-тролейвозом дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на 7 % від номінальних витрат.

Таблиця 1

Сумарні витрати палива, (літрів) на трасах різної довжини самоскидами різної вантажопідйомності

Довжина траси, км	1	2	3	4	5
Вантажопідйомність 90т	22,33	42,94	63,54	84,14	104,75
Вантажопідйомність 130 т	35,06	67,42	99,77	132,12	164,47
Вантажопідйомність 220 т	50,61	97,30	143,99	190,68	237,38

Практично не змінні витрати палива від довжини їздки з вантажем (рис.1) доводять, що при маневруванні витрачається не велика кількість палива і маневрування не є визначальним при встановленні витрат палива, на відміну від суттєвого впливу маневрових операцій на продуктивність та загальний час їздки з вантажем. Середні розрахункові лінійні витрати палива для самоскидів вантажопідйомністю 90 т складають 10-12 л/км, 130 т – 16-18 л/км, 220 т – 24-26 л/км, при чому менші значення відповідають трасам більшої довжини за рахунок меншої питомої частини витрат палива під час непродуктивних операцій транспортного циклу. За даними криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів витрати палива кар'єрними автосамоскидами з електромеханічною трансмісією БЕЛАЗ-75131 вантажопідйомністю 130 т знаходяться на рівні 15 - 20 л/км, а БЕЛАЗ-75306 вантажопідйомністю 220 т – на рівні 25 – 30 л/км. Таким чином розрахункові значення витрат палива відповідають фактичним значенням що підтверджує достовірність розрахунків.

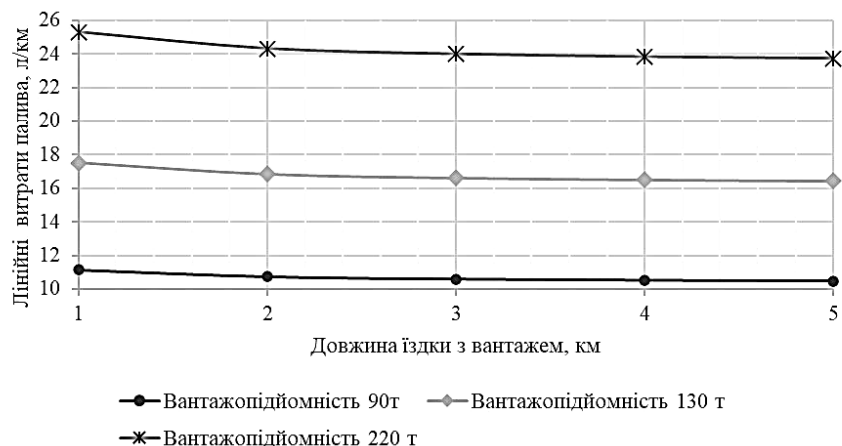


Рис. 1. Закономірності зміни лінійних витрат палива від довжини їздки з вантажем

Для визначення ефективності впровадження дизель-тролейвозів необхідним є знання про витрати палива, тому що складова витрат палива у загальних витратах на транспортування гірничої маси може сягати 50-60 %. При цьому різноманіття виробників кар'єрних автосамоскидів та різних двигунів внутрішнього згорання на однакових машинах обумовлює доцільність встановлення не абсолютних значень для певного автосамоскиду, а саме питомих, які дозволять їх адаптувати для різних машин. На основі теоретичних досліджень встановлені закономірності зміни питомих витрат палива, тобто відношення витрат палива кар'єрного автосамоскиду тролейвоза до витрат палива звичайного кар'єрного автосамоскиду які працюють на однакових трасах від довжини трас руху при різних частинах тролейної ділянки (рис.2) та від частини тролейної ділянки при різних довжинах трас руху (рис. 3).

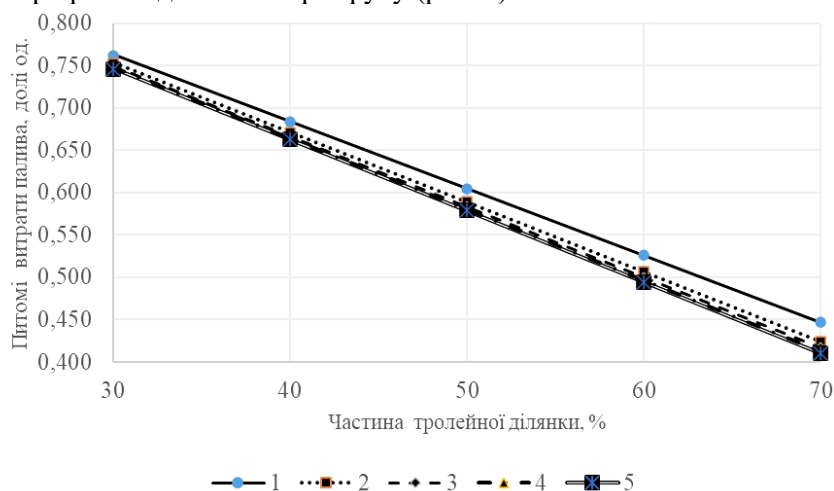


Рис. 2. Закономірності зміни питомих витрат палива від частини тролейної ділянки при різних довжинах трас руху

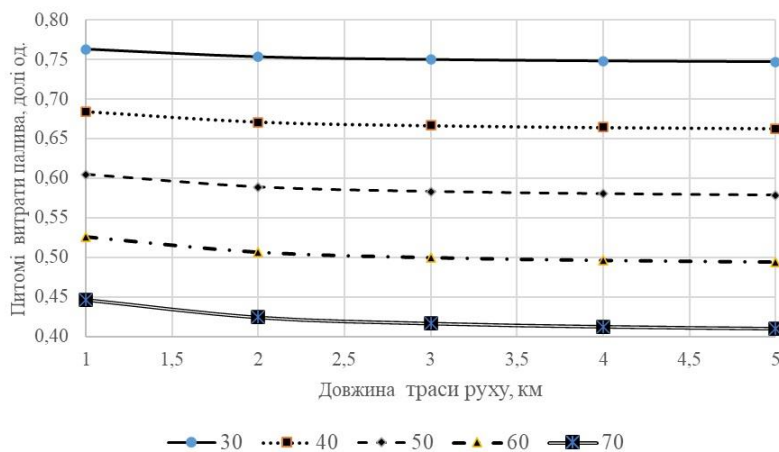


Рис 3. Закономірності зміни питомих витрат палива від довжини трас руху при різних частинах, у відсотках, тролейної ділянки

Встановлено, що довжина траси руху, як і у випадку з продуктивністю, впливає не дуже суттєво на питомі витрати палива, суттєвий вплив має питома частина тролейної ділянки в загальній довжині траси. Максимальне відносне зменшення витрат палива спостерігається на найдовшій трасі з найбільшою тролейною ділянкою, практично в 2,5 рази (питомі витрати на рівні 0,4). Такий висновок доводить що для зменшення абсолютної величини витрат палива необхідно мати траси максимальної довжини з максимальною довжиною тролейної ділянки. Зменшення витрат палива обумовить, за нормативами заводів виробників двигунів внутрішнього згорання, збільшення інтервалу проведення технічного обслуговування та зменшення витрат пов'язаних з ним.

Для встановлених закономірностей отримана, за допомогою методики раціонального планування експериментів, двохфакторна аналітична залежність питомих витрат палива від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки, долі одиниць

$$PP = -0.0008p + 0.0022l^2 - 0.0194l + 1.021,$$

де p - питома частина тролейної ділянки, процент від загальної довжини траси руху, % (межі від 30 до 70 %), l - загальна довжина траси руху, км (межі від 1 до 5 км).

Встановлено, що на питомі витрати палива довжина траси впливає по параболічній залежності, а питома частина тролейної ділянки - по лінійній залежності.

Висновки та напрямки подальших досліджень. Використовуючи встановлені закономірності можливо визначати прогнозні витрати палива для конкретних трас руху при оцінці доцільності використання дизель-тролейбусів на базі кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 90, 130 та 220 т. Означені закономірності витрат палива також можуть бути використані для автосамоскидів іншої вантажопідйомності з відповідним корегувальним коефіцієнтом потужності двигуна та питомих витрат палива.

Список літератури

1. Пахомов В.І., Гірін І.В., Тищенко В.Ю., Жалдаченко О.А. Обґрунтування раціональної організації експлуатації кар'єрних автосамоскидів // Вісник Криворізького національного університету Збірник наукових праць Випуск 52, м. Кривий Ріг, КНУ, 2021, с. 58-64
2. Hirin I.V., Tyshchenko V.Yu. Comparative analysis of safety design for electric vehicle and internal combustion engine cars // Вісник Криворізького національного університету Збірник наукових праць Випуск 51, м. Кривий Ріг, КНУ, 2020, с. 57-62
3. Пахомов В.І., Гірін І.В., Гірін В.С. Дослідження та розробка заходів, спрямованих на зниження токсичності викидів промислового автотранспорту // Вісник Криворізького національного університету Збірник наукових праць Випуск 50, м. Кривий Ріг, КНУ, 2020, с. 73-78.
4. Сістук В.О., Монастирський Ю.А. Пошук оптимальної схеми установки кар'єрного автосамоскида під навантаження для умов глибоких кар'єрів // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства», м. Кривий Ріг, КНУ, 2022 р. С.128.
5. Монастирський Ю.А., Потапенко В.В. Адаптивна система технологічного автотранспорту кар'єру // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції «Розвиток промисловості та суспільства», м. Кривий Ріг, КНУ, 2022 р. С.124.
6. Ferrexpo планує електрифікувати кар'єрний транспорт / <https://gmcenter.ua/news/ferrexpo-planuie->

- elektризувати-kar-iemij-transport/?fbclid=IwAR2skv5J7ZG2qbdh0AZ4Qvq6M582hm1xVMqLiPjchVgsEg8q5iv2rBPxixA
7. Siemens patented all-electric Mobile Mining Truck based on proven technology / <https://imining.com/2021/11/04/siemens-patented-electric-mobile-mining-truck-based-proven-technology/>
 8. Caterpillar introduces trolley assist system for CAT® electric drive mining trucks / https://www.cat.com/en_AU/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html
 9. Trolley assist for diesel-electric trucks in mining: 3 reasons why it is taking off. Thanks to Boliden's recent trial at its Aitik open-pit mine, in Sweden, the subject of trolley assist is back on the mining industry's agenda. / <https://new.abb.com/mining/mineoptimize/systems-solutions/mining-electrification/trolley-assist-for-diesel-electric-trucks>
 10. Trolley-assisted haul roads construction and maintenance / <https://www.globalroadtechnology-blog.com/industry-articles/trolley-assisted-haul-roads-construction-and-maintenance>
 11. Liebherr Trolley Trucks Testing Success at Austrian Mine <https://www.heavyliftnews.com/liebherr-trolley-trucks-testing-success-at-austrian-mine/>
 12. An introduction to trolley-assist haulage systems/ <https://globalroadtechnology.com/trolley-assist-haulage-systems/>
 13. 5 things you may not have known about the Trolley Assist System <https://www.liebherr.com/en/ind/latest-news/news-press-releases/detail/5-things-you-may-not-have-known-about-the-trolley-assist-system.html>
 14. Can a dirty industry come clean? How mining equipment is becoming more sustainable / <https://www.mobilehydraulictips.com/can-a-dirty-industry-come-clean-how-mining-equipment-is-becoming-more-sustainable/>
 15. **Y. Monastyrskyi, V. Sistuk, I. Maksymenko.** Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). (2023). Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference. P.705 – 709. <https://ebooks.ktu.edu/pdfreader/transport-means-2023.-part-ii.-proceedings-27th-international-scientific-conference/> . doi:10.5755/e01.2351-7034.2023.P2.

Рукопис подано до редакції 21.03.24

УДК 622.7

Т.А. ОЛІЙНИК, д-р техн. наук, проф., О.В. БУЛАХ, Л.В.СКЛЯР, кандидати техн. наук, доценти, Криворізький національний університет

М.О. ОЛІЙНИК, канд. техн. наук, менеджер продукту, компанія "Weir Minerals"

ОСОБЛИВОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ ГЕМАТИТОВИХ РУД ПІДЗЕМНОГО ВИДОБУТКУ КРИВБАСУ В КРУПНОСТІ 1-0 ММ

Мета. Метою даної роботи є проведення досліджень сухим способом на залізних рудах підземного видобутку з визначенням технологічних показників на вібраційному полігармонічному гравітаційному сепараторі.

Методи дослідження. Мінералогічний, хімічний аналізи. Гранулометричний склад матеріалу визначався за допомогою ситового аналізу, обробка та узагальнення матеріалу дозволили створити оптимальні умови розділення мінеральних зерен за крупністю на похилій поверхні вібраційного полігармонічного гравітаційного сепаратора.

Наукова новизна. На підставі визначення параметрів сепарації гематитових кварцитів підземного видобутку Кривбасу і особливостей їх мінерально-технологічного складу встановлено, що ефективність процесу класифікації у повітряному середовищі за граничним зерном 1 мм вище 97 % може бути досягнута за рахунок використання полігармонічного високочастотного розсіву з визначеним кутом нахилу декі, що дозволило отримати товарний залізорудний концентрат з масовою часткою заліза загального 65,32% при його виході 57,48% та вилученні заліза загального у концентрат 61,91%.

Практична значимість. Дослідження та промислові випробування зі збагачення залізних руд підземного видобутку Кривбасу сухим способом з використанням вібраційного полігармонічного гравітаційного сепаратора показали доцільність, перспективність, високу ефективність та можливість реалізації на гірничо-збагачувальних комбінатах, які здійснюють переробку рядової залізорудної сировини з отриманням концентрату зі значною часткою корисного компонента, що забезпечує можливість отримання високоякісної продукції.

Результати. В результаті проведених промислових випробувань сепарації мінеральної сировини у повітряному середовищі за рахунок використання полігармонічного високочастотного розсіву доведено можливість отримання з гематитових руд підземного видобутку Кривбасу високоякісного залізорудного концентрату крупністю 1-0 мм 57,48% за виходом з масовою часткою заліза загального 65,32 % і масовою часткою оксиду кремнію 5,9 % . Ефективність сепарації при цьому 97,37 %.

Ключові слова: видобуток підземний, сепаратор полігармонічний високочастотний, розділення, крупність, склад гранулометричний, поверхня просіювальна, ефективність.

doi: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-33-39