

Тролейвоз

**Дослідження можливості застосування дизель-тролейвозів
у залізорудних кар'єрах України**

2020 рік

Зміст

Перелік скорочень та умовних позначень	3
1. Вступ	4
2. Розробка заходів щодо підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів	6
2.1. Тролейно-акумуляторні системи живлення кар'єрних самоскидів	6
2.2. Пропозиції використання тролейвозів на підприємствах Кривбасу.	14
2.3. Розрахунок економічної ефективності впровадження дизель-тролейвозів у виробничий цикл підприємств Кривбасу.....	24
3. Висновки.....	28
Список використаної літератури та джерел.....	30

Перелік скорочень та умовних позначень

АТЦ – автотранспортний цех;

БЕЛАЗ – Білоруський автомобільний завод;

ГД – гірничий департамент;

ГЗК – гірничо-збагачувальний комбінат;

ГТЦ – гірничотранспортний цех;

КР – коефіцієнт розкриву;

ЛЕП – лінії електропередач;

НПАОП – нормативно-правові акти з охорони праці;

ПАР – Південно-Африканська Республіка;

РЗФ – рудозбагачувальна фабрика;

ЦГЗК – Центральний гірничо-збагачувальний комбінат;

ЦПТ – циклічно-поточна технологія.

1. Вступ

Розвиток людства неможливий без видобутку корисних копалин. На початок XXI століття об'єми переміщення гірничої маси у всіх галузях гірничодобувної промисловості світу досягли 10 млрд. тон у рік [1, с. 3]. При цьому 90% гірничої маси перевозиться автомобільним транспортом. Для прикладу, в Австралії та Південній Африці – регіонах зі значними запасами золота, алмазів, вугілля, свинцю; урану, заліза, нікелю, кольорових і благородних металів – показник використання автомобільного транспорту перевищив 90% [2]. У країнах пострадянського простору питома вага автомобільних перевезень у гірничій промисловості складає близько 80%.

Кар'єрний автотранспорт протягом останніх десятиліть отримав інтенсивний розвиток, що дало можливість представляти йому окремий клас мобільних машин зі своїми особливостями проектування, виготовлення, формування парку та експлуатації. Необхідність зниження собівартості перевезень, яка складає до 70% від загальної вартості здобутої сировини, зумовлює зростання вантажопідйомності та продуктивності наявного парку машин. Сформувалася тенденція комплектації парку машин самоскидами 90-220 тон. Усі провідні постачальники кар'єрної техніки: БЕЛАЗ, Caterpillar, Hitachi, Komatsu, Liebherr, Terex, XCMG освоїли виробництво та поставили на ринок самоскиди вантажопідйомністю вище 300 тонн [3]. На даний момент найбільшим кар'єрним самоскидом з цільною рамою є БЕЛАЗ-75710 [4].

Зі збільшенням модельного ряду кар'єрних самоскидів підвищилися вимоги до надійності та експлуатаційної ефективності такої техніки.

Актуальність. Експлуатація кар'єрної техніки ускладнюється через поглиблення кар'єрів, що супроводжується збільшенням поздовжніх ухилів та з'їздів. Наприкінці минуло століття рекомендувалися такі гірничотехнічні умови ефективної експлуатації кар'єрних самоскидів, при яких глибина кар'єра була до 300 м, а довжина транспортування гірничої маси до 5 км. На

сьогоднішній день параметри гірничих розробок суттєво змінилися. Межі ефективної розробки відкритим способом складають 500-600 м, а довжина транспортування 10 км [5].

Тому змінам піддаються основні вузли трансмісії, системи гальм, кермового управління, змінюється розподілення ваги самоскида та його компонування, особливу актуальність отримує зниження ваги машини.

Криворізький залізорудний басейн – головний гірничодобувний центр країни, розташований у Дніпропетровській області. У цьому регіоні активно займаються видобутком покладів залізних руд. Розробка ведеться як закритим (шахтним) так і відкритим (кар’єрним) способом.

У Кривому Розі функціонують чотири великі гірничо-збагачувальні підприємства: Північний, Центральний, Південний та Інгулецький комбінати, що спеціалізуються на видобутку, переробці та виробництві сировини для металургійної промисловості – залізорудного концентрату та окатишів. Окрім цього функціонує гірничо-збагачувальне виробництво ПАТ «АрселорМіттал». У межах цих підприємств розробляється дев’ять кар’єрів, де у якості основного технологічного транспорту, що використовується для перевезення гірничої маси від забою до місця вивантаження є автомобільний. В основному використовуються автосамоскиди марки БЕЛАЗ-75131 вантажопідйомністю 130-136 тон.

Проблемами, з якими стикаються гірничодобувні підприємства Кривого Рогу під час експлуатації кар’єрних самоскидів, є: зниження їхньої продуктивності, при збільшенні глибини кар’єрів; погана екологічна ситуація, внаслідок загазованості дизельними двигунами, якими обладнуються сучасні кар’єрні самоскиди а також, найголовніша – висока вартість паливно-мастильних матеріалів, ціна яких продовжує зростати.

Сучасний світ не стоїть на місці, через виснажування нафтових ресурсів відбувається пошук альтернативних видів палива, запаси яких значні або відновлювані. Комп’ютеризація та автоматизація зменшує ризики так званого

"людського фактору", виконуючи роботу людини або забезпечуючи її безпечну працю, підвищує ефективність експлуатації машин та механізмів.

Використання інноваційних технологій у транспортуванні гірничої маси здатні підвищити ефективність експлуатації кар'єрних самоскидів.

Мета дослідження – підвищення ефективності експлуатації кар'єрних самоскидів, через впровадження інноваційної технології транспортування з використанням дизель-тролейвозів.

Об'єкт дослідження – експлуатація кар'єрного автотранспорту.

Предмет дослідження – експлуатаційні показники кар'єрних самоскидів із різними джерелами живлення.

Методи дослідження: методи аналізу щодо розгляду проблематики ведення сучасних відкритих гірничих робіт та експлуатації кар'єрного автотранспорту, синтезу та порівняння для виявлення спільних та відмінних рис світових та вітчизняних тенденцій ведення гірничої справи. Методи абстрагування та моделювання дали можливість адаптувати наявний досвід використання тролейно-акумуляторних систем живлення та бортових систем діагностування дорожнього полотна, як найбільш перспективних інноваційних технологій для Криворізького басейну. Методи статистичного аналізу, візуально-графічні (схеми, зображення, графіки), економічно-математичні дозволили оцінити та відобразити перспективність пропонуваніх рішень.

2. Розробка заходів щодо підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів

2.1. Тролейно-акумуляторні системи живлення кар'єрних самоскидів

Підвищення вартості нафтопродуктів та скорочення їхніх запасів стимулює розвиток альтернативних видів палива. Заміщення бензину та дизельного пального активно відбувається в автопромисловості. В якості альтернативного палива для використовується водень, паливні елементи, біопаливо та серед інших широкого поширення набула саме електроенергія.

До 70-80% дизельного палива на гірничо-збагачувальних комбінатах, споживає кар'єрний автотранспорт. Тенденція зростання вартості нафтопродуктів, зокрема дизельного пального (рис. 1), свідчить про те, що у найближчому

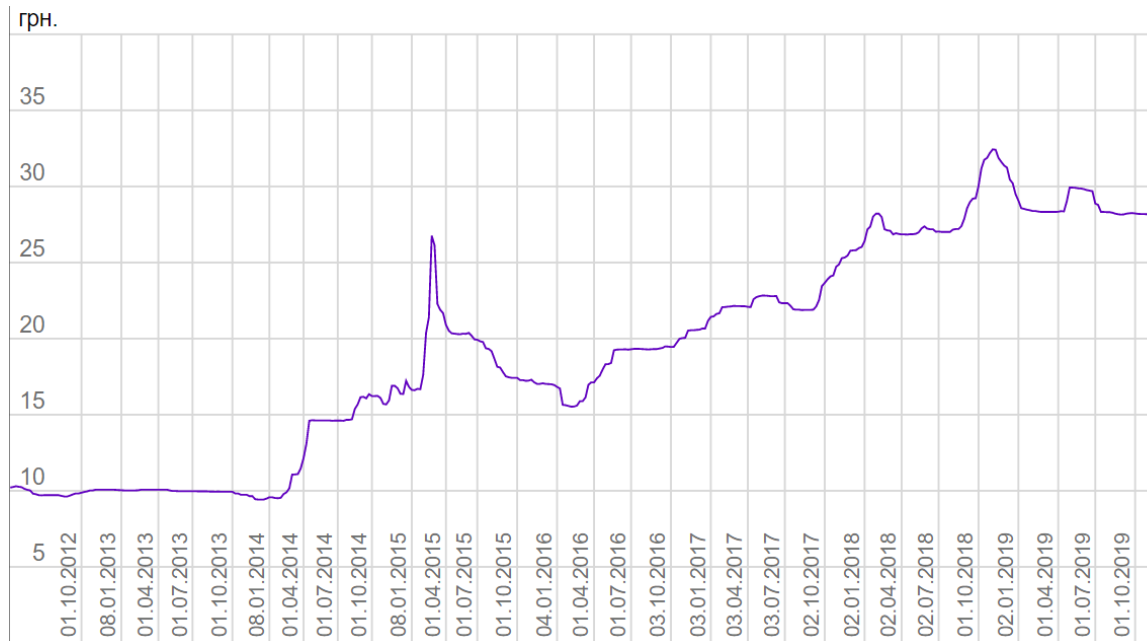


Рис. 1. Тенденція зростання вартості дизельного палива в Україні

майбутньому частка витрат на паливо у собівартості транспортування гірничої маси збільшиться у середньому в 1,5 рази. Тому варто розглянути можливості використання дизель-тролейвозного, тролейвозного та тролейно-акумуляторного транспорту.

Дизель-тролейвоз – це автосамоскид на пневмоколісному ході, що має комбіноване енергоживлення від контактної мережі та дизельного двигуна [25].

Технологія транспортування дизель-тролейвозами не нова, вперше її запропонував український радянський вчений, доктор технічних наук, професор Фіделев Олександр Савелійович у 1949 році. Згідно до розробленої ним конструкції був створений тролейвоз вантажопідйомністю 25 тон, який випробувався у 1952 році на Богураєвському вапняковому кар'єрі (м. Біла Калитва Ростовської області) [26]. У Радянському Союзі розробка перспективної технології продовжилася на Білоруському автомобільному заводі. Перший дизель-тро-

лейвоз марки «БЕЛАЗ» був виготовлений на заводі в 1964 році. Це експериментальна модель дизель-тролейвоза БЕЛАЗ-7524-Э792 вантажопідйомністю 65 тонн, що 1966 року випробовувалася на Красногірському вугільному розрізі (Кузбас), а в 1968 році було виготовлено ще два зразки для міжвідомчих випробувань. Основною причиною розробки таких зразків на той час, була відсутність надійних та економічних дизельних двигунів. Випробування показали, що експлуатація дизель-тролейвозів без довгих підйомів не є доцільною. До ідеї розробки дизель-тролейвозів повернулися у 1986 році, коли було спроектовано, а в 1987 році виготовлено та випробувано два зразки дизель-тролейвоза БЕЛАЗ-75195 вантажопідйомністю 110 тонн на Куржункульському руднику Соколово-Сарбайського ГЗК (Кустанайська обл.) (рис. 2). Дані випробування показали паливно-енергетичну ефективність використання дизель-тролейвоза [27]. У СРСР та пострадянських країнах далі випробувань дизель-тролейвозів справа не заходила, проте у світовій практиці існує десяток прикладів використання дизель-тролейвозів у промисловому процесі.

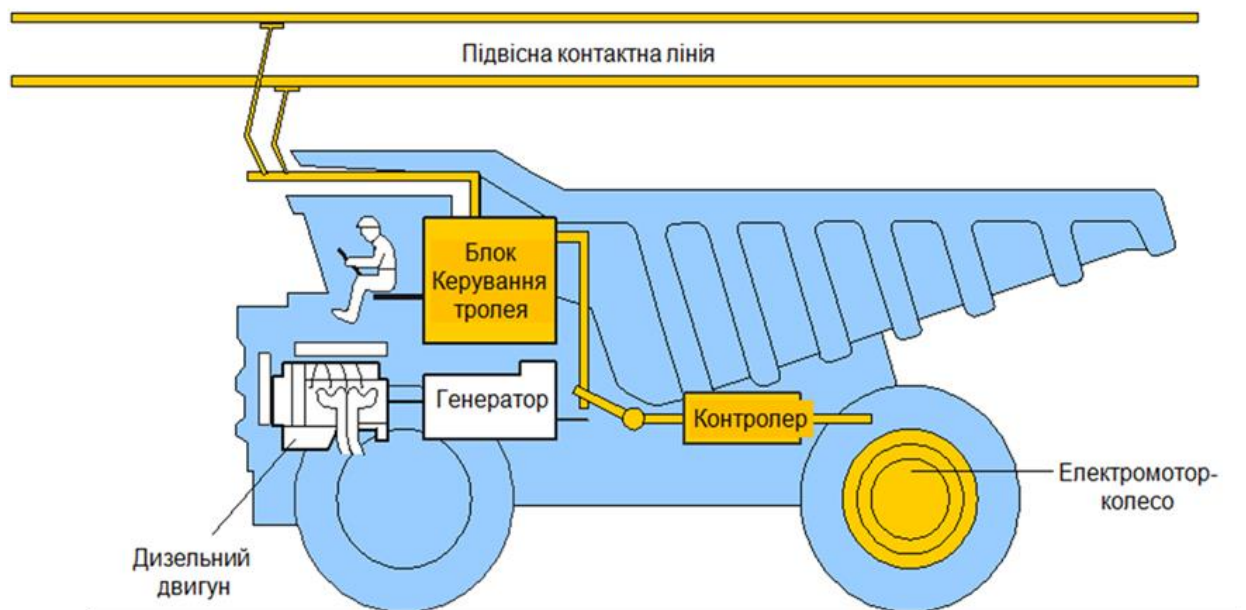


Рис. 2

За кордоном перший дизель-тролейвоз вантажопідйомністю 75 тон було створено у США в 1959 році і експлуатувався він на мідному кар'єрі «Берклі» (штат Монтана). У 1967 на кар'єрі «Чіно» (штат Нью-Джерсі) був випробуваний дизель-тролейвоз на базі самоскида М-100 вантажопідйомністю 90,8 тон,

який експлуатувався на трасі в 400 м. У результаті випробувань було отримано зростання продуктивності на 18-20% і зниження вартості транспортування на 12% [28].

Новим поштовхом розвитку та конструкції дизель-тролейвозів, стало зростання вартості дизельного пального та збільшення масштабів кар'єрних перевезень автотранспортом. У світі реалізовані та успішно працюють тролейні системи на кар'єрах Palabora (ПАР), Rossing, (Намібія), Gecamines (Конго), Barrick Gold (США), Kinshanchi, (Замбія), Sishen Iron (ПАР), Lumwana Copper (Замбія), Grootegeluk Coal (ПАР). Останні три реалізовані компанією Siemens, яка є світовим лідером у сфері впровадження тролейних систем на гірничодобувних підприємствах. Довжина існуючих ліній на різних кар'єрах становить від 2 до 11 км, кількість модифікованих самоскидів сягає від 4 до 80 [10]. Компанія Siemens пропонує два варіанти реалізації інфраструктури підстанцій (рис. 3).

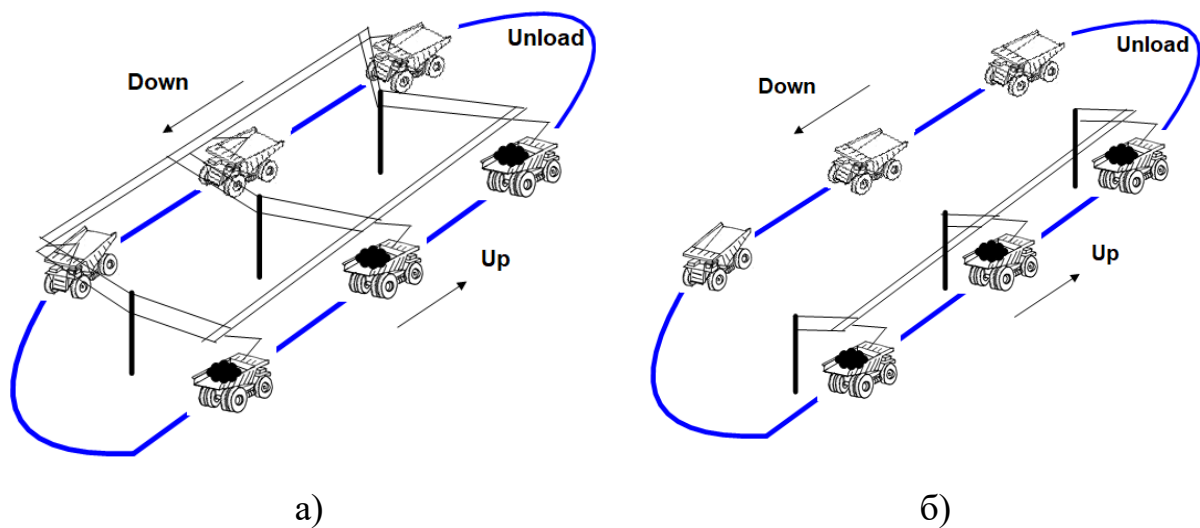


Рис. 3. Інфраструктура підстанцій з
а) функцією регенерації; б) традиційними підстанціями

До основних компонентів тролейних систем входять: система ліній електропередач, тягові підстанції, тролейний бокс та пантограф. Сама тролейна система може встановлюватися на будь-якій ділянці підйому між майданчиком для завантаження і точками розвантаження (відвали або перевантажувальний пункт). До підвісної контактної мережі висуваються вимоги, аналогічні

тяговим приводам на легкій залізничній інфраструктурі: механічна стабільність, надійність в експлуатації та низькі експлуатаційні витрати. Техніка безпеки при експлуатації та обслуговуванні електрифікованих кар'єрних самоскидів та залізничного кар'єрного транспорту аналогічна.

Дизель-тролейвоз за режиму роботи від тролейної лінії працює з обертами двигуна близькими до холостих із підвищенням на 100-120 об./хв., що обумовлено необхідністю нормального функціонування гідравлічних систем. Підйом та опускання струмоприймачів здійснюється за допомогою гідравлічних циліндрів, а живлення – від бортової системи. Перехід від режиму тролейвоза до дизельного відбувається автоматично без зупинки машини [29]. За реалізації традиційної інфраструктури підстанції самоскид отримує живлення від контактної мережі лише на підйомі – це зменшує кількість спожитого палива, підвищує швидкість підйому, проте на відміну від інфраструктури підстанцій з регенеративною функцією, на зворотному шляху енергія гальмування перетворюється на тепло і віддається у повітря. У другому випадку, коли тролей прокладений як на підйомній ділянці так і на спуску, енергія гальмування самоскида рекуперується і віддається в мережу. Рекуперація енергії гальмування є перспективним джерелом економії енергії. Принциповою умовою рекуперації енергії є можливість зміни напрямку потоку енергії між живлячою мережею та тяговими двигунами. Це можливо реалізувати за рахунок роботи тягового двигуна в режимі генератора для самоскидів з електромеханічною трансмісією.

Згідно даних Siemens, отриманих за час експлуатації дизель-тролейвозів Komatsu 730E вантажопідйомністю 190 т на міднорудному кар'єрі Lumwana, де реалізована система підстанцій з функцією регенерації були отримані такі порівняльні дані (табл. 1) [30]. Експлуатація дизель-тролейвозів надає наступні переваги у порівнянні зі звичайними дизельними автосамоскидами [27]: збільшення швидкості самоскида на підйом від 6 до 28 км/год; підвищення продуктивності самоскида на 10-20%; збільшення інтервалів між обслуговуванням дизельного двигуна; зниження витрат на паливо до 70-80%;

зменшення вартості обслуговування дизельного двигуна; мінімізація впливу на оточуюче середовище, зниження рівня шуму та викиду відпрацьованих газів дизельного двигуна.

Таблиця 1.

Порівняння параметрів роботи самоскида в дизельному та тролейному режимі

Параметри	Дизельний режим	Тролейний режим
Швидкість, км/год	12,2	23,7
Витрати палива, л/год	367	37,4
Витрати електроенергії, кВт·год	0	1930

Проте перераховані плюси та ефективність використання дизель-тролейвозів залежать від ряду умов та обмежень: уклону автодоріг та відстані транспортування; ступені тролейзації автодоріг (частки пройденого шляху транспортування із живленням від контактної мережі); співвідношення вартості електроенергії та дизельного палива; річного об'єму перевезень і тривалості експлуатації тролейвозів.

Успішний досвід використання тролейно-акумуляторних локомотивів на залізниці дає можливість розглядати використання таких систем на пневмоколісному транспорті. Тролейвоз або тролейно-акумуляторний самоскид має живлення виключно від контактної мережі або комбіноване живлення від тролей й акумуляторів.

Порівняно з тим же дизель-тролейвозом, де зберігається дизельний двигун, тролейно-акумуляторний локомотив має додаткові переваги: високий ККД електродвигуна, порівняно із дизельним двигуном; зменшення теплових витрат енергії у 3 рази, ніж у аналогічного дизельного двигуна відповідної потужності; відсутність загазованості кар'єра та утворення туману, що значно поліпшує екологічні умови ведення відкритих робіт; виключення витрат на закупівлю, зберігання та транспортування дизпалива; зменшення ваги самоскида за рахунок вилучення двигуна; зменшення витрат на шини через

зменшення його маси; спрощення обслуговування силової установки; холодостійкість електродвигуна.

Повний спектр переваг тролейвоза при перевезенні вантажів відчувається при експлуатації на довгих перегонах та трасах з крутими ухилами. Проте тролейвоз, як і дизель-тролейвоз, має певні обмеження та недоліки, зокрема: живлення електродвигуна від контактної мережі; витрати на створення та підтримання відповідної інфраструктури; підвищені вимоги до конструкції та якості дорожнього покриття; ускладнення навантажувально-розвантажувальних процесів; низьку маневреність.

Головним недоліком тролейвоза є його обмежена маневреність. Саме ця характеристика є однією з головних причин експлуатації кар'єрних самоскидів. Для роботи тролейвоза необхідно прокласти тролейну трасу, а через постійне просування фронту робіт у кар'єрі та його заглиблення, переміщувати або доповнювати новими ділянками контактну мережу. Через близькість високовольтних дротів під час завантаження та розвантаження є ризик їхнього пошкодження та ускладнення технологічного процесу. Встановлення розгалуженої контактної мережі залежить також від проведення буровибухових робіт, що є невід'ємною частиною гірничого процесу. Проектування тролейної мережі в кар'єрі має бути за 300-600 м від зон проведення вибухів [31]. Часткова або повна відмова від контактних ліній забезпечує наявність автономного джерела енергії дизельного двигуна (дизель-тролейвоз) або акумуляторів чи конденсаторів. При застосуванні самоскидів на акумуляторах є можливість відмовитися від будівництва контактної мережі на спуск, тим самим зменшити капітальні витрати на її будівництво та утримання. За такого варіанта автосамоскид на спуску буде заряджати акумулятори завдяки рекуперації енергії та рухатися в глибинній частині кар'єру і забоях за рахунок накопиченої енергії, а при виїзді з кар'єра під'єднуватиметься до контактної мережі.

Сучасні досягнення у проектуванні акумуляторів дозволяють виробникам випускати електричні самоскиди. Зокрема у Швейцарії біля гори

Шассераль із кінця 2017 року працює автосамоскид Komatsu HD 605-7 вантажопідйомністю 65 тон, електромотори котрого живляться від акумуляторної батареї, що складається з 1440 окремих нікель-марганець-кобальтових елементів сумарною ємністю 700 кВт·год та вагою в 4,5 тони [32-33]. Щоденно цей кар'єрний самоскид перевозить гірничу породу з гір у долину з цементного кар'єра. Угору самоскид рухається на електротязі, а вниз із вантажем пересувається за допомогою рекупераційної системи гальм, яка дозволяє йому за коротку поїздку накопичити близько 40 кВт·год енергії. З 2018 року компанія Kunh Schweiz AG модернізувала та випустила ще один зразок електросамоскида під назвою eDumper на базі все ж того Komatsu HD 605-7 (рис. 4). Цей зразок виконує ту саму роботу в тому ж кар'єрі, має акумулятор ємністю 710 кВт·год eDumper, вагу 45 тон, працює на синхронному електродвигуні потужністю 789 к. с. та зменшує до 130 тон викидів CO₂, заощаджуючи 50 тисяч літрів дизельного палива на рік [34].



Рис. 4. Електросамоскиди Komatsu HD 605-7 (зліва) та eDumper (справа)

Перевагами електросамоскидів є: повна заміна дизельного пального електроенергією як джерела живлення самоскида; автономність та краща маневреність у порівнянні з тролейвозом і тролейно-акумуляторним самоскидом; відсутність контактної мережі; екологічність.

Складнощі, що виникають за експлуатацій електросамоскидів: нетривалий термін експлуатації акумуляторів; невеликий запас ходу у порівнянні з тим же самоскидом обладнаним дизельним двигуном; висока вартість акумуляторних батарей.

Аналіз існуючих транспортних систем дозволяє запропонувати для умов Криворіжжя залучення дизель-тролейвозів у транспортний цикл кар'єрів, що обумовлюється: найбільшим парком кар'єрних самоскидів в Україні, кількість яких досягає близько 400 одиниць; параметрами кар'єрів, розробка яких ведеться з 60-70 х років минулого століття; економічною доцільністю.

2.2. Пропозиції використання тролейвозів на підприємствах Кривбасу

Пропонується встановлення тролейної лінії на ряді підприємств Криворізького басейну. Перша пропозиція стосується наступних ділянок доріг Глеюватського кар'єру ПрАТ «ЦГЗК» (рис. 5), ділянка №1 довжиною близько 1,4 км, ділянка №2 сумарною довжиною близько 1,3 км та ділянка

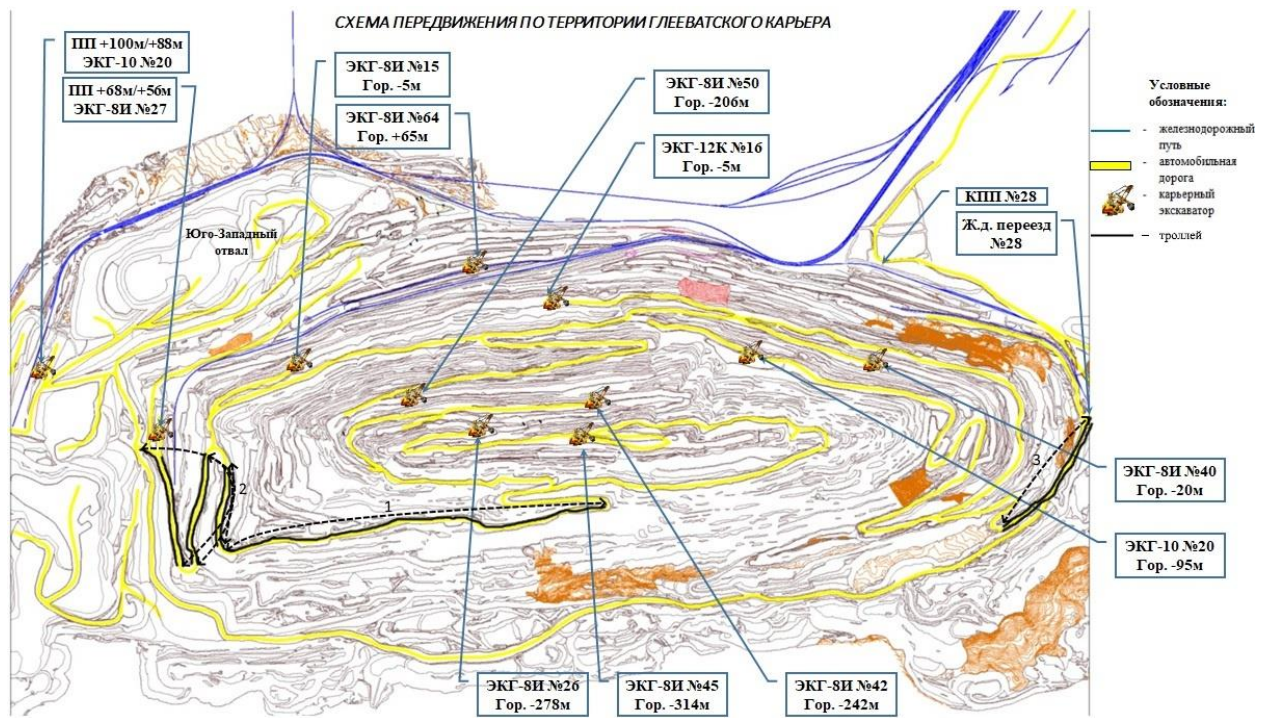


Рис. 5. Схема руху по території Глеюватського кар'єра

№3 довжиною 1,2 км (550 м кар'єрної дороги + частка дороги в 650 м до кар'єру, що засипається).

Ділянка №1 – пряма траса, через її вузькість можливо використовувати лінію тролей лише на підйом, використовується для вивезення гірничої маси із забою (рис. 6).



Ділянка №1



Ділянка №3



Ділянка №2

Рис. 6. Супутникове зображення трас Глеюватського кар'єра під тролєізацію

Ділянка №2 – зигзагоподібна траса зі значним уклоном на підйом, продовження ділянки №1, яка дозволяє прокласти тролєї на прямих ділянках траси, тому що на поворотах встановлення тролєї ускладнене. Ширина траси дає можливість встановити тролєї як на підйом так і на спуск.

Ділянка №3 – траса, яка використовується для вивезення вскришної породи під засипку розробленого кар'єра. Ширина траси дозволяє встановлення тролей в обидві сторони руху.

Також пропонується встановлення тролейної лінії на Петровському кар'єрі ПрАТ «ЦГЗК» (рис. 7).

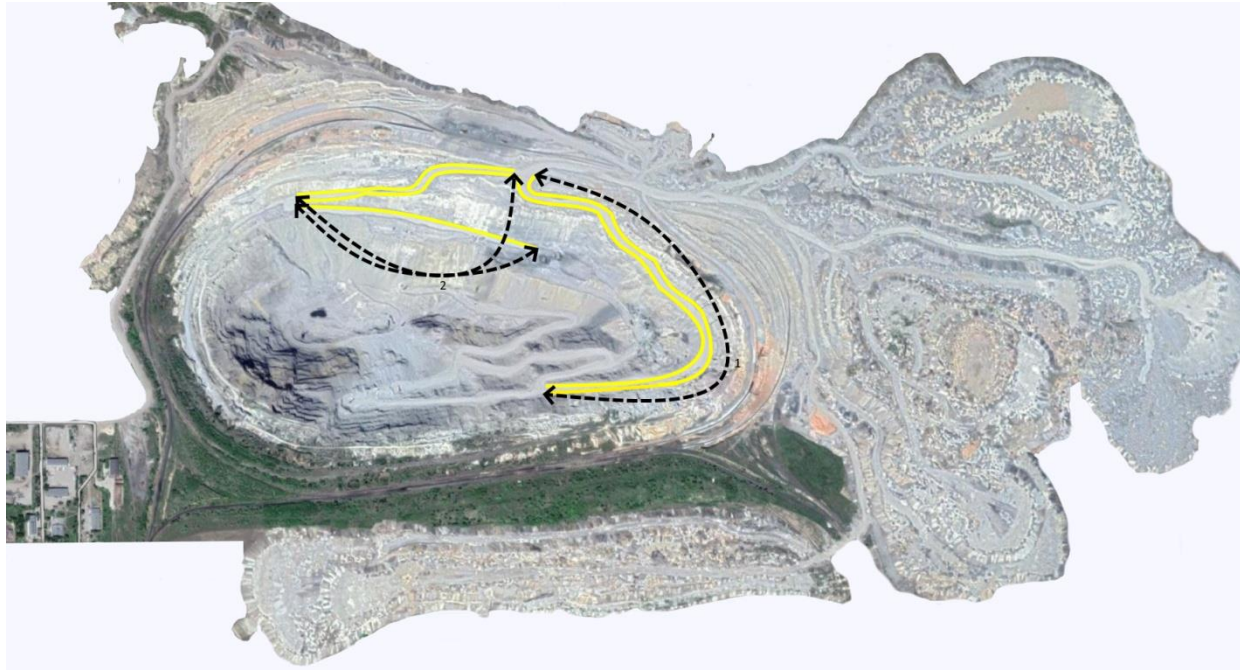


Рис. 7. Супутникове зображення Петровського кар'єра

ділянка №1 довжиною приблизно 1,4 км і ділянка №2 сумарною довжиною близько 1,44 км.

Ділянка №1 – траса, що тягнеться вздовж північно-східного борту кар'єру, використовується для вивезення гірничої маси із забою на перевантажувальний майданчик (північно-західний борт) або на зовнішні відвали №2, №3 поруч з північним та східним бортом кар'єра відповідно. Ширина траси дає можливість встановити тролею як на підйом так і на спуск.

Ділянка №2 – траса під значним уклоном на підйом, що складається з двох частин, які розділяє поворот, тому що на поворотах встановлення тролей є ускладненим. Із забою до повороту встановлення тролей можливе лише на підйом через вузькість траси, а за поворотом можливе встановлення тролей в як на підйом так і на спуск.

Аналогічно до ділянки №1 під тролізацію Петровського кар'єра використовується для вивезення рудної маси на перевантажувальний майданчик або розкривної породи на відвали №2 та №3 (рис. 8).



Рис. 8. Супутникове зображення трас Петровського кар'єра під тролізацію

Обидві ділянки знаходитимуться на достатній відстані від проведення буровибухових робіт, видобувні роботи в кар'єрі ведуться в південному напрямку в межах гірничого відводу поперечними заходками із заглибленням кар'єра під кутом 25-30° згідно висновку про III чергу поглиблення кар'єра №3 від 13.12.2017.

На кар'єрах гірничодобувного підприємства ПАТ «АрселорМіттал» пропонуємо прокладання такої тролейної лінії (рис. 9):

1) кар'єр №2-біс: ділянка №1 сумарною довжиною близько 2 км та ділянка №2 довжиною 2,15 км.

Ділянка №1 – траса, що складається з трьох частин якими автомобільний транспорт (кар'єрні самоскиди) транспортують руду до приймального майданчика, де знаходиться пункт циклічно-поточної технології, з подальшою подачею конвеєрами на поверхневий комплекс, де



Рис. 9. Супутникове зображення кар'єра №2-біс ПАТ «АрселорМіттал» із виділенням трас під тролеїзацію

завантажується рудним бункером і екскаваторами, які працюють під пілонами рудного поверхневого складу, у залізничний транспорт з подальшою поставкою на рудозбагачувальну фабрику. Частина траси праворуч від пункту ЦПТ примикає до ділянки №2 і веде до траси на нижні горизонти де виконується виймання породи – її ширини достатньо для встановлення тролей в обидві сторони руху. Приблизна довжина цієї частини 470 м. Праворуч від приймального майданчика дві частини ділянки №1 розділені поворотом, тому що встановлення тролей на повороті є ускладненим. Частина до повороту можлива з тролеем в обидві сторони, після – лише на підйом. Довжина 940 м і 530 м відповідно.

Ділянка №2 – траса з шириною достатньою для встановлення тролейної інфраструктури з функцією регенерації, яка тягнеться вздовж південного та східного портів кар'єра. Призначена для вивезення розкривної породи на засипку сусіднього з кар'єром №2-біс відпрацьованого затопленого кар'єра.

1) кар'єр №3: (рис. 10) ділянка №1 сумарною довжиною близько 2 км



Рис. 10. Супутникове зображення кар'єра №3 ПАТ «АрселорМіттал» із виділенням трас під тролєізацію

та ділянка №2 довжиною 2,15 км (табл. 2).

Ділянка №1 – траса від забою до приймального майданчика з пунктом ЦПТ. Через її вузькість пропонується встановлення тролєї тільки на підйом.

Ділянка №2 – траса вздовж південного борту кар'єра, яка використовується для вивезення розкривної породи та окислених залізистих кварцитів на відвали вздовж східного борту кар'єра.

Дані кар'єри були обрані для можливого прокладання тролєйної лінії через можливість виділення ділянок автомобільних доріг достатньої довжини, якими так чи інакше регулярно проїжджають кар'єрні самоскиди для вивантаження руди на перевантажувальний майданчик або вивезення розкривних порід на зовнішні відвали.

Таблиця 2.

Параметри тролєйних ліній, що пропонується прокласти

Підприємство	Кар'єр	Ділянки (номер, довжина, тип)	Парк автосамоскидів, що підлягають тролєізації	Загальна довжина лінії, км

ПрАТ «Централь- ний гірни- чозбагачу- вальний комбінат»	Глею- ватський	№1 1,4 км на підйом	28	6,4
		№2 1,3 км в обидві сторони		
		№3 1,2 км в обидві сторони		
	Петров- ський	№1 1,4 км в обидві сторони	26	4,95
№2 1,44 км (730 м на підйом + 710 м в обидві сторони)				
Гірничо- збагачува- льне підп- приємство «Арселор- Міттал»	№2-біс	№1 1,94 км (530 м на підйом + 1,41 км в обидві сторони)	15	7,65
		№2 2,15 км в обидві сторони		
	№3	№1 2 км на підйом	15	6,3
		№2 2,15 (1 км на пі- дйом +1,15 км в оби- дві сторони)		

Головне зниження витрат забезпечується переходом на електроенергію та суттєвим зниженням споживання дизельного палива за тролейного режиму, при тому, що вартість електроенергії менша ніж нафтового палива (рис. 11). Саме ця різниця є головною перевагою тролейзації транспорту.

Існує нижня гранична межа, за якої дизель-тролейвози будуть ефективними, вона визначається умовою рівності витрат на енергоносій, що у свою чергу залежить від фізичних властивостей:

$$\frac{C_{\text{дп}}}{C_{\text{ел}}} = \frac{E_{1\text{л дп}}}{E_{1\text{кВт}\cdot\text{год}}} = \frac{C_{\text{дп}} \cdot \eta_{\text{дп}} \cdot \rho_{\text{дп}}}{\eta_{\text{ел}\eta}} [25],$$

де $C_{\text{дп}}$ – ціна 1 л дизельного палива, грн./л, приймаємо оптову ціну $C_{\text{дп}} = 22,2$ грн./л; $C_{\text{ел}}$ – ціна 1 кВт·год електроенергії, грн./кВт·год, приймаємо $C_{\text{ел}} = 1,956$ грн./кВт·год (з ПДВ); $E_{1\text{л дп}}$ – енергія отримана з 1 л дизпалива, що підводиться до мотор-колеса, кВт·год/л; $E_{1\text{кВт}\cdot\text{год}}$ – енергія отримана з 1 кВт·год електроенергії, що підводиться до мотор-колеса, кВт·год/кВт·год; $C_{\text{дп}}$ – найнижча теплотворна здатність дизпалива, МДж/кг; $\eta_{\text{дп}}$ – ККД дизельного двигуна, %; $\rho_{\text{дп}}$

– густина дизельного палива, кг/л; $\eta_{елл}$ – ККД передачі електроенергії від вхідного фідера підприємства до струмоприймачів дизель тролейвоза, %.

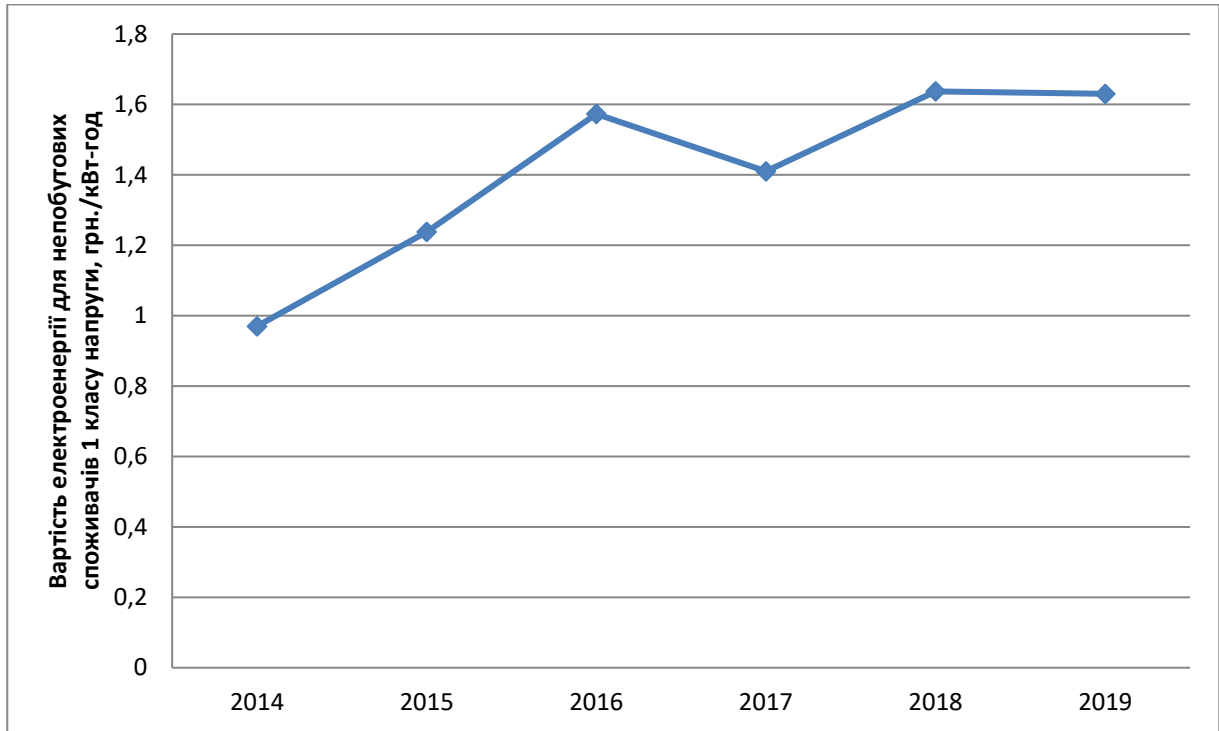


Рис. 11. Динаміка зростання вартості електроенергії для непобутових споживачів 1 класу напруги грн./кВт·год (без ПДВ)

$$\frac{Ц_{дп}}{Ц_{ел}} = \frac{22,2}{1,956} = 11,35 \frac{\text{грн./кВт} \cdot \text{год}}{\text{грн./л}}$$

Тобто в Україні нині таке співвідношення знаходиться на рівні близько 11. Мінімально ефективне співвідношення вартості дизпалива до електроенергії для впровадження тролейних систем лежить в межах 4-5 та залежить від конкретних умов підприємств. Якщо навіть відбудеться підвищення вартості електроенергії, ефективність впровадження дизель-тролейвозів буде високою. Ефективність впровадження дизель-тролейвозів залежить від ряду факторів. Оцінити взаємний вплив зміни капітальних та експлуатаційних витрат за впровадження тролейної системи на кар'єрі можна різними показниками, як техніко-економічними так і економічними.

Простим та показовим є термін окупності інвестицій:

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{ас} - E_{дт}} = \frac{K}{\Delta E'}$$

де E_{ac} – річні експлуатаційні витрати на транспортування гірничої маси звичайними дизельними самоскидами, грн./рік; $E_{дт}$ – річні експлуатаційні витрати на транспортування гірничої маси дизель-тролейвозом, грн./рік; K – капітальні витрати на будівництво контактної мережі з підстанціями та переобладнання існуючого парку самоскидів (встановлення пантографа, блока керування та контролера). Згідно даних компанії БЕЛАЗ орієнтовна вартість 1 км тролейної дороги складає 32,5 млн. грн. (1,3 млн. дол. – за курсом 25 гривень за долар), а переобладнання 1 самоскида марки БЕЛАЗ-75131 коштуватиме 25 тис. грн. (10 тис. дол.).

Основна різниця в річних експлуатаційних витратах на транспортування гірничої маси між звичайними дизельними самоскидами та дизель-тролейвозами припадає на паливо. Тому при оцінці ΔE розраховуємо різницю по економії на дизельному паливі.

Згідно даних про експлуатацію дизель-тролейвозів вантажопідйомністю 190 т на міднорудному кар'єрі Люмвана, де реалізована система підстанцій з функцією регенерації та орієнтовного розрахунку вартості 1 години експлуатації самоскида в дизельному та тролейному режимі з вітчизняною ціною на дизельне паливо та електроенергію, не приймаючи до уваги природні та технічні нюанси, маємо:

$$DP = C_{дп} \cdot Q_{дп}; \quad TP = C_{дп} \cdot Q_{дп} + C_{ел} \cdot Q_e;$$

де DP – дизельний режим; $Q_{дп}$ – витрата дизельного палива, л/год; TP – тролейний режим; Q_e – витрати електроенергії, кВт·год.

$$DP = 22,2 \cdot 367 = 8148 \text{ (грн.)};$$

$$TP = 22,2 \cdot 37,4 + 1930 \cdot 1,956 = 4605 \text{ (грн.)}.$$

Відповідно до цього можна стверджувати про зниження витрат на паливо за живлення від тролєї на рівні $\Delta=45-50\%$.

2.3. Розрахунок економічної ефективності впровадження дизель-тролей- возів у виробничий цикл підприємств Кривбасу

Подальші розрахунки проведемо виходячи з наступних вихідних даних і параметрів, опираючись на дані отримані від ГТЦ-1, 2 ЦГЗК та ГТЦ ГД «АрселорМіттал» (табл. 3):

Таблиця 3.

Параметр	Значення
Середньодобовий пробіг, км	180
Витрата палива БЕЛАЗ 75131, л/100 км	1170
Ступінь тролейзації доріг, %	50
Режим роботи	двозмінний по 12 годин, 365 днів

Визначимо теоретичний річний фонд робочого часу самоскида:

$$T_{\text{рік}} = N_{\text{р. д.}} \cdot n \cdot t_{\text{зм}},$$

де $N_{\text{р. д.}}$ — кількість робочих днів; n — кількість добових змін; $t_{\text{зм}}$ — час зміни, тоді

$$T_{\text{рік}} = 365 \cdot 2 \cdot 12 = 8760 \text{ мотогод}$$

Враховуючи час на перезмінку, обід та заправлення – методом послідовних наближень, отримуємо час самоскида в роботі за зміну $t_{\text{зм}} = 10$ год, тобто його напрацювання в рік складатиме $t_{\text{год}} = 7300$ мотогод.

Згідно нормативів періодичності технічного обслуговування та планового ремонту, визначаємо число планових впливів без ЩО та СО:

$$N = \frac{t_{\text{год}}}{250} = \frac{7300}{250} = 29;$$

$$N_{\text{ТО-1}}^1 = \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ТО-1}}} - \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ТО-2}}} = \frac{7300}{250} - \frac{7300}{500} = 14;$$

$$N_{\text{ТО-2}}^1 = \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ТО-2}}} - \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ТО-3}}} = \frac{7300}{500} - \frac{7300}{1000} = 7;$$

$$N_{\text{ТО-3}}^1 = \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ТО-3}}} - \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ПР-2}}} = \frac{7300}{1000} - \frac{7300}{5000} = 6;$$

$$N_{\text{ПР-1}}^1 = \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ПР-1}}} - \frac{t_{\text{год}}}{t_{\text{ПР-2}}} = \frac{7300}{5000} - \frac{7300}{10000} = 1.$$

Число щозмінних обслуговувань:

$$N_{\text{ЩО}}^1 = \frac{t_{\text{ГОД}}}{t_{\text{ЗМ}}} - (N_{\text{ТО-1}}^1 + N_{\text{ТО-2}}^1 + N_{\text{ТО-3}}^1 + N_{\text{ПР-1}}^1) = \frac{7300}{12} - (14 + 7 + 6 + 1) = 579$$

Загальний час річних простоїв на планові впливи:

$$T_{\text{П}} = N_{\text{ЩО}}^1 \cdot t_{\text{П}}^1 + N_{\text{ТО-1}}^1 \cdot t_{\text{П}}^2 + N_{\text{ТО-2}}^1 \cdot t_{\text{П}}^3 + N_{\text{ТО-3}}^1 \cdot t_{\text{П}}^4 + N_{\text{СО}}^1 \cdot t_{\text{П}}^5 + N_{\text{ПР-1}}^1 \cdot t_{\text{П}}^6,$$

де $t_{\text{П}}^1, t_{\text{П}}^2, \dots, t_{\text{П}}^6$ – час простою самоскида БЕЛАЗ 75131 під час ЩО, ТО-1, ТО-2, ТО-3, СО, ПР-1 відповідно.

$$T_{\text{П}} = 579 \cdot 0,7 + 14 \cdot 5 + 7 \cdot 14 + 6 \cdot 18 + 2 \cdot 10 + 1 \cdot 9,5 = 929 \text{ год.}$$

Нормативний час простою на не плановий вплив розраховуємо згідно додатку 9 [37]:

$$T_{\text{ТР}} = \frac{t_{\text{ПР}} \cdot t_{\text{ГОД}}}{100} = \frac{9,5 \cdot 7300}{100} = 694 \text{ год}$$

Знайдемо ймовірність знаходження кар'єрного самоскида БЕЛАЗ-75131 у стані роботи:

$$P_0 = \frac{t_{\text{ГОД}}}{T_{\text{РІК}}} = \frac{7300}{8760} = 0,833;$$

$$P_1 = \frac{T_{\text{П}}}{T_{\text{РІК}}} = \frac{929}{8760} = 0,106;$$

$$P_2 = \frac{T_{\text{ТР}}}{T_{\text{РІК}}} = \frac{694}{8760} = 0,079;$$

де P_0, P_1, P_2 – імовірності роботи самоскида, простою самоскида через планові ТОР, простою самоскида через поточний ремонт.

Вартість палива для однієї машини на добу:

$$V_{\text{ДПмаш}} = L_{\text{сер,доб}} \cdot V_{\text{сер}} \cdot \text{Ц}_{\text{ДП}},$$

де $V_{\text{сер}}$ – середня витрата палива БЕЛАЗ-75131, приймаємо 11,7 л/км;
 $L_{\text{сер,доб}}$ – середньодобовий пробіг однієї машини (рис. 12).

Вартість палива для парку самоскидів ГТЦ на добу:

$$V_{\text{ДПГТЦ}} = V_{\text{ДПмаш}} \cdot N,$$

де N – кількість самоскидів.

Вартість палива на рік для при експлуатації дизельного самоскида:

$$V_{\text{ДС}}^{\text{РІК}} = V_{\text{ДПГТЦ}} \cdot P \cdot N_{\text{р. д.}}$$

Вартість палива на рік при експлуатації дизель-тролейвоза:

$$V_{\text{ДТ}}^{\text{рік}} = (100 - \%_{\text{тр}}) \cdot V_{\text{ДС}}^{\text{рік}} + \Delta \cdot V_{\text{ДС}}^{\text{рік}} \cdot \%_{\text{тр}},$$

де $\%_{\text{тр}}$ – відсоток тролєізації; Δ – відсоток зниження витрат при їзді із живленням від тролєї.

Результати розрахунку економічної ефективності впровадження дизель-тролейвозів у виробничий цикл ГТЦ-1,2 ПрАТ «ЦГЗК» та ГД ПАТ «Арселор-Міттал» наведені у таблиці 4.

Таблиця 4

Кар'єр	Експлуатаційні витрати звичайної експлуатації, тис. грн.	Експлуатаційні витрати при використанні дизель-тролейвозів, тис. грн.	Річна економія на паливі, тис. грн.	Капітальні вкладення, тис. грн.	Термін окупності, рік
Глеюватський	310581,5	240700,7	69 880,8	208000	3
Петровський	288397,1	223507,8	64 889,3	160875	2,5
№2-біс	166382,9	128946,8	37 436,1	248625	6,6
№3	166382,9	128946,8	37 436,1	204750	5,5

Відповідно до отриманих значень, термін окупності на Глеюватському та Петровському кар'єрах ПрАТ «ЦГЗК» складає **3** та **2,5 роки** відповідно. У той же час помітно, що на кар'єрах №2-біс та №3 термін окупності удвічі довший **6,6** та **5,5** років відповідно. Це пояснюється тим, що парк самоскидів ГТЦ ГД «АрселорМіттал», який обслуговує ці два кар'єри складається з 30 самоскидів БЕЛАЗ-75131 та 15 самоскидів САТ-785.

Останні неможливо переобладнати у дизель-тролейвози, так як вони обладнанні гідромеханічною трансмісією.

На обох кар'єрах, згідно проектних рішень, планується зростання продуктивності, тобто видобутку корисних копалин. Відповідно до цього кількість кар'єрних самоскидів, необхідних для перевезення гірничої маси зросте. Якщо збільшиться кількість самоскидів з електромеханічною трансмісією, наприклад БЕЛАЗ серії 7513, то термін окупності встановлення тролєї скоротиться (рис. 13).

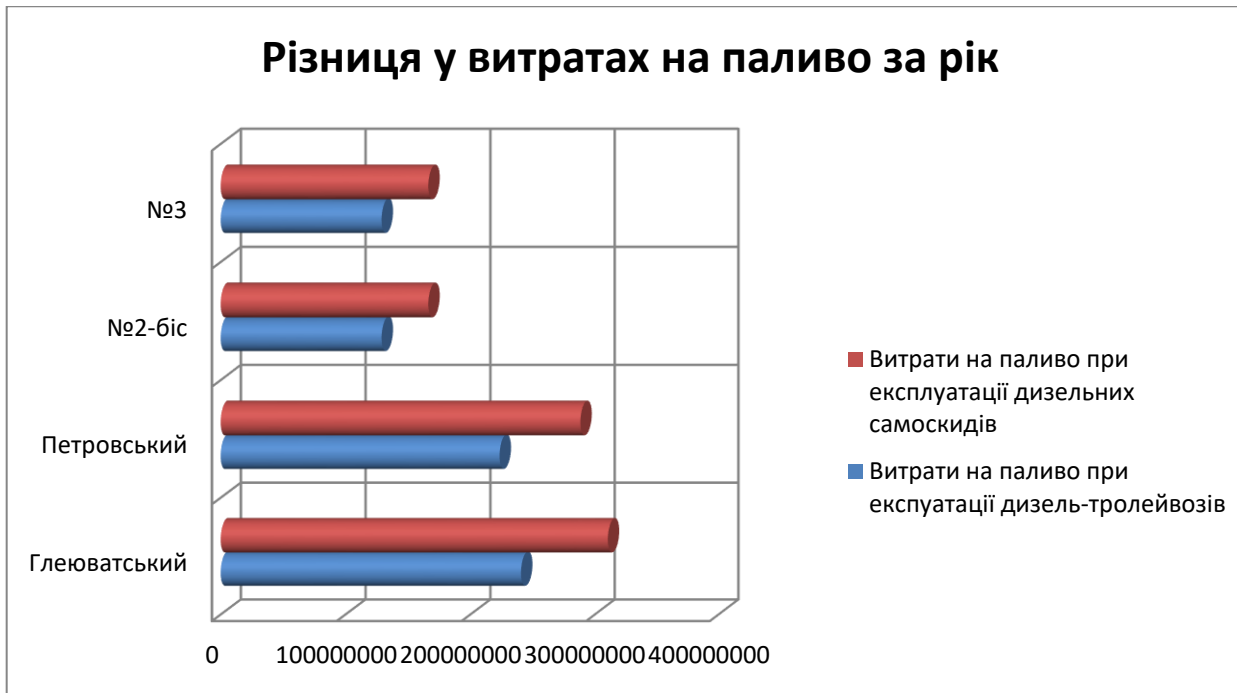


Рис. 12. Графік різниці витрат на паливо за рік

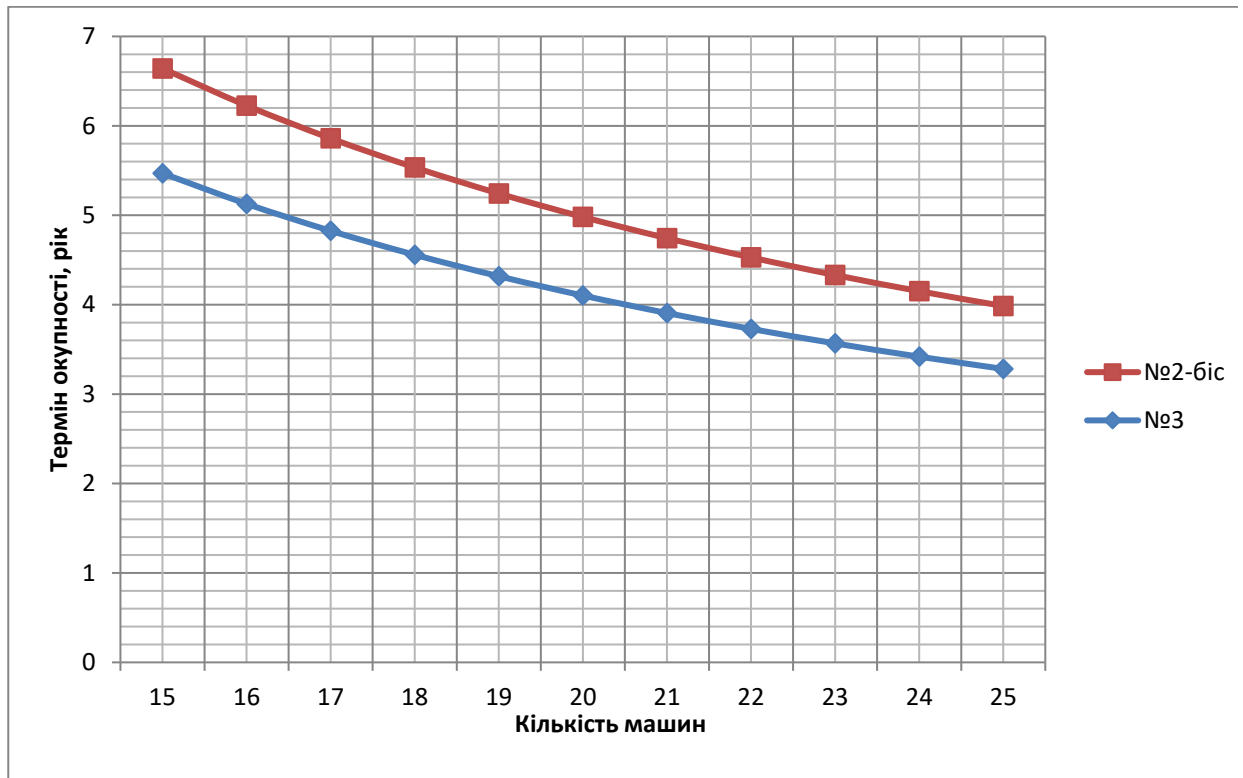


Рис. 13. Графік залежності терміну окупності від кількості машин

3. Висновки

1. Проведений аналіз сучасного стану відкритих гірничих робіт засвідчив, що тенденція збільшення глибини кар'єрів, активує зростання собівартості видобутку корисних копалин та негативно впливає на безпеку ведення цих робіт. Експлуатація автомобільного кар'єрного транспорту, котрий використовується для перевезення приблизно 80% всієї гірничої маси і є основним видом технологічного транспорту при розробці корисних копалин відкритим способом, не є ефективною через: зниження продуктивності; погіршення екологічної ситуації внаслідок загазованості дизельними двигунами; високу вартість паливно-мастильних матеріалів, ціна яких продовжує зростати. Усі ці проблеми актуальні і для Криворізького залізрудного басейну, де функціонують чотири великі гірничо-збагачувальні підприємства: Північний, Центральний, Південний та Інгулецький комбінати, що спеціалізуються на видобутку, переробці та виробництві сировини для металургійної промисловості – залізрудного концентрату та окатишів. Окрім цього функціонує гірничо-збагачувальне виробництво ПАТ «АрселорМіттал». У межах цих підприємств розробляється дев'ять кар'єрів, де основним самоскидом є машини БЕЛАЗ-75131 вантажопідйомністю 130-136 тон.

2. Виділені інноваційні напрями розвитку технологічних систем, які економлять ресурси та використовують альтернативні види палива, автоматизують гірничі роботи. Обрані тролейно-акумуляторні системи живлення кар'єрних самоскидів показали доцільність впровадження дизель-тролейвозів у транспортний цикл кар'єрів, яка підтверджена розрахунком ефективності інвестицій.

Пропонується будівництво тролейних ліній та переобладнання парку дизельних самоскидів у дизель-тролейвози на Глеюватському кар'єрі із загальною довжиною лінії 6,4 км за парку в 28 самоскидів, та Петровському кар'єрі із довжиною лінії 4,95 км парком у 26 самоскидів (ПрАТ «ЦГЗК»). Лінії довжиною 7,65 км та 6,3 км запропоновані на кар'єрах №2-біс та №3

гірничозбагачувального виробництва ПАТ «АрселорМіттал» – на кожному з яких працюватиме по 15 дизель-тролейвозів.

Визначено, що зниження витрат у режимі дизель-тролейвозів складе 45-50%. Ураховучи ступінь тролеїзації близькою до 50% та визначивши з річного фонду роботи самоскида фактичну частку часу, коли він виконує транспортну роботу, термін окупності для Глеюватського та Петровського кар'єрів складе 3 та 2,5 роки, а для кар'єрів №2-біс та №3 6,6 та 5,5 роки відповідно. Для кар'єру №2-біс та №3 довший термін окупності пояснюється меншим парком самоскидів, що можливо переобладнати під дизель-тролейвоз, бо половину парку ГД ПАТ «АрселорМіттал», що обслуговує дані кар'єри, складають самоскиди САТ-785 із гідромеханічною трансмісією, які не можливо переобладнати навідміну від самоскидів БЕЛАЗ-7513 із електромеханічною трансмісією. Встановлено, що за підвищення кількості самоскидів з електромеханічною трансмісією на цих кар'єрах та формування уніфікованого парку машин, термін окупності скоротиться до 4 років для кар'єру № 2-біс та 3,5 років для кар'єру №3.

Список використаної літератури та джерел

1. Карьерные самосвалы особо большой грузоподъемности. Проектирование, технологии, маркетинг / П. Л. Мариев [и др.] – Минск: Интегралполиграф, 2008. – 320.
2. Мінеральні ресурси та добувна промисловість країн світу [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://resource.ukrlife.org>
3. 10 карьерных самосвалов: почти все производители мира [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.popmech.ru/vehicles/282782-10-karernykh-samosvalov-pochti-vse-proizvoditeli-mira/#part0>
4. Карьерные самосвалы серии 7513 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://belaz.by/products/products-belaz/dumpers/dump-trucks-with-electromechanical-transmission/dumpers-series-7571/>
5. Чаадаев А.С. Проблема транспортирования горной массы приотработке алмазоносных трубок с использованием механических транспортных средств / Чаадаев А.С., Зырянов И.В. // ГИАБ. – 2013. - № 6.– С. 222-229.
6. http://leksika.com.ua/16851204/ure/rozkrivni_roboti
7. Кар'єр ПрАТ «Інгулецький ГЗК» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://irm.kr.ua/uk/ob-ekti-erih/kar-er-prat-inguletskij-gzk/2-un/1291-ingok-zagalna>
8. 10 самых больших открытых карьеров мира [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://enki.ua/news/10-samyh-bolshih-otkrytyh-karerov-mira-4379>
9. https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geolog/11931/КОЭФФИЦИЕНТ
10. Большие глубины — новые технологии [Текст] / Н. Н. Мельников, А. А. Козырев, С. В. Лукичѳв // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2013. – №4. – с. 58-66.
11. Anistratov K.Iu. mirovye tendentsii razvitiia struktury parka karernoj tekhniki [World trends in the development of the park's career structure]. Gornaia promyshlennost, 2011, no.6, pp.22-26.

12. Khazin M.L., Tarasov A.P. Ecological and economic evaluation of quarry trolley trucks. Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering, 2018, vol.17, no.2, pp.166-180. DOI: 10.15593/2224-9923/2018.2.6
13. Вартість дизельного палива на АЗС України [online cit.: 2019.02.13] Available from: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/dt>
14. Характеристика криворізького залізорудного басейну як комплексного техногенного родовища [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.novaecologia.org/voecos-141-1.html>
15. Північний гірничо-збагачувальний комбінат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://sevgok.metinvestholding.com/structure>
16. Центральний гірничо-збагачувальний комбінат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://cgok.metinvestholding.com/ua/about/structure>
17. <https://menr.gov.ua>
18. ЮГОК – Производство [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://www.ugok.info/production/detail.php?ELEMENT_ID=30
19. Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://ingok.metinvestholding.com/ua/about/structure>
20. «Відпрацювання Інгулецького родовища кар'єром ПРАТ «ІНГЗК» [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/1973/reports/5f6bf990c22ee99b735ee84e3f3f608f.pdf>
21. АрселорМиттал Кривой Рог [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrrudprom.ua/reference/factory/mitstkriv.html>
22. Реєстр оцінки впливу на довкілля №201910214687 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/4687/reports/910a35f2c3590f1f670bac5322824244.pdf>

23. Реєстр оцінки впливу на довкілля №201910214688 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://eia.menr.gov.ua/uploads/documents/4688/reports/f516e21d39665e51a492592bae4fe05f.pdf>

24. Градова Є. О. Аналіз причин виходу з ладу складових елементів тягового електроприводу кар'єрних самоскидів / Є. О. Градова // Геотехнічна механіка. – 2017. – №134. – с. 88–94. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/141326/08-Gradova.pdf?sequence=1>

25. Тарасов И. П., Журавльов А.Г., Тарасов А. П. (2011) Проблемы карьерного транспорта. Материалы XI Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 12-14 октября 2011 г. Екатеринбург: Влияние технологических параметров троллейвозного транспорта на эффективность его эксплуатации с. 79-87.

26. Тролейвоз [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://leksika.com.ua/16261026/ure/trolleyvoz>

27. Дизель-троллейвозный транспорт БЕЛАЗ: перспективы использования в горном производстве. // Горный журнал. – 2013. – №1. – С. 52–55.

28. Дизель-троллейвоз [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mining-enc.ru/d/dizel-trolejvoz/>

29. Эффективное горнодобывающее производство. Троллейная система для карьерных самосвалов. // БЕЛАЗ-2015. Развитие в реальном времени. – 2015. – С. 221–235.

30. Nurić S., Nurić A., Brčaniновиć M. Haulage solutions with trolley assist diesel-electric ac trucks on the pit mine RMU Banovici // Journal of Mining and Metallurgy A: Mining. – 2009. – Vol. 45, № 1. – P. 78–87.

31. Khazin M.L., Shtykov S.O. Electric mining trucks. Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2018, vol. 16, no. 1, pp. 11–1 <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2018-16-1-11-18>

32. 45-тонный самосвал Komatsu HD 605-7 стал самым тяжелым электрокаром в мире [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://news-term.net/sel_art.php?page=auto&pid=101

33. Komatsu HD 605-7 – самый большой в мире электромобиль [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://unique-autos.ru/blog/mechanics/4543.html>

34. eDumper: электрический самосвал с 5-тонной батареей и эффективной рекуперацией [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hevcars.com.ua/transport/kto-nosit-titul-samogo-bolshogo-elektrokara-v-mire/>

35. Егоров А. Н. Технические и эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции: справочник» / ОАО «БЕЛАЗ». Под общей редакцией А. Н. Егорова. – Минск: «Бенлстан», 2014, 496 с., ил.

36. Внедорожные самосвалы CAT-785 D [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: https://www.cat.com/ru_RU/products/new/equipment/off-highway-trucks/mining-trucks/18089285.html.

37. Положение о техническом обслуживании, диагностировании и ремонте карьерных самосвалов БелАЗ / РУПП «Белорусский автомобильный завод». А. Н. Егоров [и др.]; под общ. ред. А. Н. Егорова – Жодино : РУПП “БелАЗ”, 2004. – 38 с.