

Державний університет «Житомирська політехніка»
Державний університет «Житомирська політехніка»
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Ковалевич Людмила Анатоліївна

УДК 622.2:629.3

ДИСЕРТАЦІЯ

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ ЩЕБЕНЕВИХ КАР'ЄРІВ

Спеціальність 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Л. А. Ковалевич

Наукові керівники Коробійчук Валентин Вацлавович, д.т.н., професор

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Ковалевич Л. А. Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щеленевих кар'єрів. – наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. –

Державний університет «Житомирська політехніка», 2023.

На більшості кар'єрів України гірнича маса транспортується автомобільним транспортом. Частка гірничої маси, що перевозиться автотранспортом досягає 65 %, коефіцієнт готовності коливається в діапазоні 0,48-0,62. Це свідчить про те, що значну частину часу автосамоскиди перебувають у ремонтах, як планових, так і аварійних. Структурний аналіз простоїв парку автосамоскидів показав, що значна частина простоїв - до 30 %, пов'язана з відмовами металокопункцій. Однією з основних причин відмов функціонування металокопункцій кар'єрних автосамоскидів є утворення в них тріщин. Для оцінки напружено-деформованого стану елементів несучих металокопункцій великовантажних кар'єрних автосамоскидів застосовувався метод кінцевих елементів.

Аналіз підсумкових показників роботи кар'єру утруднений, а часом неможливий без використання детальної інформації про особливості технологічних процесів, технічне переозброєння, динаміки мікро- та макроекономічних показників. Неможливо говорити про ефективність або неефективність вжитих управлінських заходів та технологічних рішень: у період зростання глибини кар'єру при закономірному зростанні частки витрат на видобуток корисної копалини витрати на транспорт знижуються, а в період стабілізації глибини, навпаки, частка витрат на видобуток знижується, а на транспорт зростає.

Перспективним напрямком для реалізації інструментів оптимізації процесів відкритих гірничих робіт і зокрема транспортних систем кар'єрів як однієї з найважливіших підсистем є наскрізна цифровізація гірничого

виробництва. Під цим мається на увазі створення системи збору, зберігання та обробки інформації, що охоплює всі аспекти, процеси та об'єкти гірничодобувних підприємств від збору даних про параметри роботи конкретних гірничих машин до системи підтримки прийняття управлінських рішень як на рівні оперативного, так і стратегічного планування.

Ключовими умовами ефективного використання можливостей цифровізації є доступність і комплексне використання інформації різного рівня, а також використання науково обґрунтованих методик обробки інформації, що забезпечують формування дійсно оптимальних параметрів процесу або технологічного комплексу, що розглядається в цілому.

Одним з напрямів удосконалення кар'єрних автосамоскидів є заміна двигунів внутрішнього згорання на більш економічні. Для цього було замінено двигуни ЯМЗ-240 Н на двигуни Cat 3406. Аналіз витрат дизельного палива протягом року показує, що в зимовий період спостерігається зростання палива на 10,6 % у автосамоскидів БелАЗ 548 з двигунами ЯМЗ-240 Н. Також у автосамоскидів БелАЗ 548 з двигунами САТ зимою спостерігається витрачаюта палива на 6,7 %. В цілому при заміні двигунів ЯМЗ-240 Н на Cat 3406 в БелАЗ 548 спостерігаються скорочення витрат палива на 5,4 %.

В дисертаційній роботі було використано метод часткової регресії найменших квадратів для моделювання та прогнозування споживання палива на основі даних системи керування інформацією.

Сто циклів (10 %) з наявних 1000 циклів були випадково вибрані і використані для тестування моделі. Для того, щоб вивчити модель, ці цикли не були використані на етапі побудови моделі. Таким чином була отримана модель, яка має тісну кореляцію з вимірними даними.

Було відібрано статистичні дані про ефективність експлуатації самоскидів БелАЗ-548. Вперше встановлено залежність параметра відмови $\lambda(t)$ самоскидів БелАЗ-548 від терміну служби t (год).

Змінна надійність роботи двигунів самоскидів типу БелАЗ виражається ймовірністю поломки через різні несправності, пов'язані з дизельним двигуном.

Змінна надійність визначається відстанню транспортування та величиною середньозваженого ухилу маршруту транспортування гірської маси. Слід зазначити значну роль значення середньозваженого ухилу дороги, збільшення якого відповідає збільшенню змінної відмови двигуна.

Під час дослідження отримано залежність величини відмови двигуна ЯМЗ-240 Н самоскида БелАЗ 548 від значення середнього ухилу дороги.

Виявлено стійкий взаємозв'язок між проаналізованими значеннями, які характеризують роботу самого транспорту та гірничо-технічні умови, в яких він експлуатується, дозволяє застосовувати цю залежність як обґрунтування проектного значення виходу з ладу самоскидів, не виконуючи надскладних статистичних спостережень. Для ТОВ «Омелянівського кар'єр» залежність продуктивності автосамоскида БелАЗ 548 від відстані транспортування має лінійний характер. Залежність параметра відмови $\lambda(t)$ самоскидів БелАЗ-548 від терміну служби t описується логарифмічною функцією. Несправності двигуна, ведучого моста, системи підвіски, коліс і шин, електрообладнання, системи трансмісії та гальмівної системи становлять 90 % усіх несправностей автосамоскидів БелАЗ 548 на ТОВ «Омелянівського кар'єр». Ці системи обмежують продуктивність самоскидів.

Було встановлено, що немає стійкого взаємозв'язку між значенням ймовірності відмови шин і відстанню транспортування, а також середнім ухилом дороги, який можна було б апроксимувати аналітичним співвідношенням.

Одним з основних факторів, що визначають продуктивність кар'єрних автосамоскидів, є швидкість руху.

В результаті досліджень визначені встановлені швидкості при русі автосамоскидів з вантажем на підйом і середні швидкості порожніх автомобілів при русі на спуск.

Мінімально необхідна кількість експериментальних вимірів визначалося за формулами математичної статистики при рівні довірчої ймовірності 0,95 і становила на горизонтальних ділянках автошляхів для навантажених автосамоскидів 50-55, порожніх - 6-11, на ухилах 8-10 %, відповідно, 3-6 та 5-13,

що обумовлено меншою дисперсією швидкостей руху автосамоскидів при підвищених схилах. Розподіл випадкових значень швидкостей руху автомобілів на ділянках з різною величиною ухилу підпорядковується нормальному закону.

Зі зростанням повздовжнього ухилу автошляхів від 8 до 10 % спостерігається збільшення витрати палива для навантажених автосамоскидів на 8-12 %.

Аналіз отриманих результатів показав, що при підвищенні ухилу від 4 до 9 % час руху навантаженого автосамоскиду зростає на 22 %, порожнього на 12 %, а час циклу збільшується на 13 %, в результаті продуктивність знижується на 12 %. Одним із найважливіших параметрів, що визначають продуктивність кар'єрного автотранспорту, є швидкість руху. В результаті експериментальних досліджень було встановлено середні та встановлені швидкості на ділянках з характерними повздовжніми ухилами.

На підставі отриманих даних встановлено, що при застосуванні автосамоскидів БелАЗ-548 у кар'єрі глибиною 100 м за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 6 до 12 % кут погашення борту ТОВ «Омелянівський кар'єру» Березівського родовища граніту підвищується з $43^{\circ}06'$ до $46^{\circ}27'$, при цьому спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на 356774 м^3 .

Для Жеревського родовища за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 6 до 12 % кут погашення борту кар'єру підвищується з $45^{\circ}6'$ до $49^{\circ}16'$, при цьому спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на $292042,7 \text{ м}^3$.

Ключові слова: щебеневий кар'єр, автомобільний транспорт, витрата палива, експлуатаційні витрати на автотранспорт, ухил капітальної траншеї, довжина транспортування.

ABSTRACT

Kovalevich L. A. Justification of the operating parameters of the technological transport in the conditions of crushed stone quarries. - scientific work with manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.15.03 - open development of mineral deposits. - Zhytomyr Polytechnic State University, 2023.

In most quarries in Ukraine, rock mass is transported by road. The share of rock mass transported by road reaches 65%, the readiness coefficient varies in the range of 0.48-0.62. This indicates that a significant part of the time dump trucks are under repairs, both planned and emergency. Structural analysis of downtime in the dump truck fleet showed that a significant part of downtime, up to 30%, is associated with failures of metal structures. One of the main reasons for failures in the functioning of metal structures of quarry dump trucks is the formation of cracks in them. The finite element method was used to assess the stress-strain state of elements of load-bearing metal structures of heavy-duty quarry dump trucks.

Analysis of the final performance indicators of the quarry is difficult, and sometimes impossible, without the use of detailed information about the peculiarities of technological processes, technical rearmament, dynamics of micro- and macroeconomic indicators. It is impossible to talk about the effectiveness or ineffectiveness of the management measures and technological decisions taken: during the period of increase in the depth of the pit, with a natural increase in the share of costs for extracting a mineral, transport costs decrease, and in the period of stabilization of the depth, on the contrary, the share of costs for extraction decreases, and on traffic is growing.

End-to-end digitalization of mining production is a promising direction for the implementation of tools for the optimization of open-pit mining processes and, in particular, the transport systems of pits as one of the most important subsystems. This means the creation of a system for collecting, storing and processing information that

covers all aspects, processes and objects of mining enterprises, from the collection of data on the parameters of the operation of specific mining machines to the support system for making management decisions both at the level of operational and strategic planning .

The key conditions for the effective use of digitalization opportunities are the availability and complex use of information of various levels, as well as the use of scientifically based information processing methods that ensure the formation of truly optimal parameters of the process or technological complex considered as a whole.

One of the areas of improvement of quarry dump trucks is the replacement of internal combustion engines with more economical ones. For this purpose, YAMZ-240 N engines were replaced with Cat 3406 engines. Analysis of diesel fuel consumption during the year shows that in winter there is an increase in fuel by 10.6% for BelAZ 548 dump trucks with YAMZ-240 N engines. Also, BelAZ 548 dump trucks with CAT engines have a fuel consumption of 6.7% in winter. In general, when replacing YAMZ-240 N engines with Cat 3406 engines in BelAZ 548, fuel consumption is reduced by 5.4 %.

In the dissertation work, the method of partial least squares regression was used to model and predict fuel consumption based on data from the information management system.

One hundred cycles (10%) out of the available 1000 cycles were randomly selected and used to test the model. To study the model, these cycles were not used at the model construction stage. Thus, a model was obtained that has a close correlation with the measured data.

Statistical data on the operational efficiency of BelAZ-548 dump trucks were selected. The dependence of the fault parameter $\lambda(t)$ of BelAZ-548 dump trucks on the service life is established for the first time t (H).

The variable reliability of BelAZ dump truck engines is expressed by the probability of failure due to various malfunctions associated with the diesel engine. Variable reliability is determined by the transportation distance and the weighted average slope of the rock mass transportation route. It should be noted that the weighted

average road slope value plays a significant role, an increase in which corresponds to an increase in the variable engine failure.

During the study, the dependence of the engine failure rate was obtained YAMZ-240 of the BelAZ 548 dump truck depends on the average road slope.

A stable relationship between the analyzed values that characterize the operation of the transport itself and the mining and technical conditions in which it is operated is revealed, which allows us to apply this relationship as a justification for the design value of dump truck failure, without performing super-complex statistical observations. For the Omelianivskyi quarry, the dependence of the performance of the BelAZ 548 dump truck on the transportation distance is linear. Dependence of the fault parameter λ (t) of BelAZ-548 dump trucks on the service life t is described by a logarithmic function. Malfunctions of the engine, drive axle, suspension system, wheels and tires, electrical equipment, transmission system and braking system account for 90% of all malfunctions of BelAZ 548 dump trucks at the Omelianivskyi quarry. These systems limit the performance of dump trucks.

It was found that there is no stable relationship between the value of the probability of tire failure and the transportation distance, as well as the average road slope, which can be approximated by an analytical ratio.

One of the main factors determining the productivity of quarry dump trucks is the speed of movement.

As a result of the research, the established speeds when moving dump trucks with cargo on the ascent and the average speeds of empty cars when driving on the descent were determined.

The minimum required number of experimental measurements was determined by the formulas of mathematical statistics at a confidence probability level of 0.95 and amounted to 50-55 on horizontal sections of roads for loaded dump trucks, 6-11 on slopes of 8-10%, 3-6 and 5-13, respectively, which is due to the lower variance of dump truck speeds with elevated slopes. The distribution of random values of vehicle speeds on sections with different slope values obeys the normal law.

With an increase in the longitudinal slope of roads from 8 to 10 %, there is an increase in fuel consumption for loaded dump trucks by 8-12 %.

Analysis of the results obtained showed that when the slope increases from 4 to 9%, the driving time of a loaded dump truck increases by 22 %, an empty dump truck increases by 12 %, and the cycle time increases by 13 %, as a result, productivity decreases by 12 %. One of the most important parameters that determine the productivity of quarry vehicles is the speed of movement. As a result of experimental studies, average and established speeds were established in sections with characteristic longitudinal slopes.

Based on the data obtained, it was found that when using BelAZ-548 dump trucks in a quarry with a depth of 100 m, due to an increase in the slope of the spiral exit from 6 to 12 %, the repayment angle of the board of LLC "Omelianivskyi quarry" of the Berezovsky granite deposit increases from $43^{\circ}06'$ to $46^{\circ}27'$, while the scheme of transport communications is simplified and mineral losses are reduced by $356,774 \text{ m}^3$.

For the Zharevske deposit, by increasing the slope of the spiral exit from 6 to 12%, the angle of repayment of the quarry side increases from $45^{\circ}6'$ to $49^{\circ}16'$, while the scheme of transport communications is simplified and mineral losses are reduced by 292042.7 m^3 .

Keywords: crushed stone quarry, road transport, fuel consumption, operating costs for motor transport, slope of the capital trench, length of transportation.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у фахових виданнях, які входять до наукометричних баз:

1. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А. та ін. *Технічна інженерія*. Житомир. 2021. № 2 (88). С. 122–128. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7956>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

2. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах Омелянівського кар'єру. / Ковалевич Л. А. та ін. *Всеукраїнський науковий збірник «Наукові праці ДонНТУ» Сер. Гірничо-геологічна*. Покровськ. 2021. Вип. № 1 (25)-2 (26). С. 44–51. DOI: 10.26642/ten-2021-2(88)-122-128. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних GoogleScholar).

3. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на Омелянівському родовищі гранітів / Ковалевич Л. А. та ін. *Технічна інженерія*. Житомир. 2021. № 1 (87). С. 142–148. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7919>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

4. Обґрунтування транспортних робіт в умовах блочного кар'єру. / Кириленко Н.П. та ін. *Геоінженерія*. Київ. 2021. № 5. С. 14–23. DOI: [10.20535/2707-2096.5.2021.230667](https://doi.org/10.20535/2707-2096.5.2021.230667). (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

5. Оцінка експлуатаційних параметрів БелАЗ-548 в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А., Леонець І. В., Качуровський М. В., Коробійчук В. В. *Технічна інженерія*. Житомир. 2022. № 1 (89). С. 125–130. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/8010>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

Статті у закордонних збірниках наукових праць:

6. Optimization of the process of efficiency management of the primary kaolin excavation on the curved face of the conditioned area / Sobolevskyi R. et al. *Rudarsko-geološko-Naftni Zbornik*. 2020. Vol. 35, № 1 (48). P. 123–137. DOI: [10.17794/rgn.2020.1.10](https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.10). (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).

Публікації за матеріалами конференцій:

7. Гаврисюк О. С., Ковалевич Л. А. Оптимізація селективного видобування мергелю при різному геопросторовому розміщенні якісних та шкідливих компонентів. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів* : Тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 21-22 жовтня 2021. Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 17–19.

8. Нові технології в транспорті на кар'єрах / Ковалевич Л. А., Пилипчук А. С., Белобров Д. М. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2021 р.* Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 180.

9. Напрями поліпшення конструкції кузова кар'єрних автосамоскидів / Ковалевич Л. А., Лебля М. В., Купріяничук І. В. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11–15 травня 2021 р.* Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 181.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	12
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ 1 Стан вивченості питання та постановка задач	19
1.1. Останні досягнення в галузі кар'єрних автоперевезень	19
1.2. Тенденції удосконалення кар'єрних автосамоскидів для роботи у стиснених умовах	32
1.3. Напрями поліпшення конструкції кузова кар'єрних автосамоскидів	37
1.4. Перспективи оптимізації параметрів транспортних систем кар'єрів	40
Висновки до розділу 1	47
Розділ 2 Управління затратами паливно-мастильних матеріалів.....	49
2.1. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на ТОВ «Омелянівський кар'єр».....	49
2.2. Дослідження витрати палива автосамоскидами в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».....	54
2.3. Структура затрат палива для самоскидів в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»	65
2.4. Оцінка впливу повздовжнього ухилу автошляхів на рознесення бортів кар'єру.....	66
Висновки до розділу 2	74
Розділ 3. Дослідження експлуатаційних затрат на техобслуговування і ремонт кар'єрних самоскидів.....	75
3.1. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».....	75
3.2. Дослідження несправності двигунів самоскидів	83

3.3. Напрями удосконалення організації системи техобслуговування і ремонту кар'єрних самоскидів	88
Висновки до розділу 3	93
Розділ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАТРАТ НА ШИНИ КАР'ЄРНОГО АВТОТРАНСПОРТУ	95
4.1. Аналіз експлуатації великогабаритних шин самоскидів	95
4.2. Оцінка експлуатаційних параметрів БелАЗ 548 в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».....	98
4.4. Параметри, які визначають затрати на експлуатацію автошин самоскидів	104
4.5. Оцінка впливу повздовжнього ухилу автошляхів на економічні показники ТОВ «Омелянівський кар'єр».....	109
Висновки до розділу 4	117
Загальні висновки.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	121
Додаток А	130
Додаток Б.....	132
Додаток В	133
Додаток Г.....	134

ВСТУП

Актуальність теми. Найпоширенішим видом технологічного транспорту на родовищах, які розробляються відкритим способом, є автотранспорт. У світі спостерігаються тенденції розвитку кар'єрного транспорту, що полягають у підвищенні загальної вантажопідйомності автосамоскидів, водночас скорочується їх загальна кількість.

Затрати на переміщення корисних копалин становлять 60-70 % від загальних затрат на гірничі роботи, зокрема затрати на експлуатацію автотранспорту становлять 30 %.

В організації експлуатації технологічного автотранспорту на кар'єрах існують порушення технологічного режиму (швидкість руху, повнота навантаження автосамоскида, недозаправка палива, зміна запроєктованого маршруту, порушення термінів технічного обслуговування), що призводить до зростання затрат і пониження технологічної продуктивності автосамоскидів. Нині в щебених кар'єрах працює парк застарілих автосамоскидів БелАЗ, які постійно виходять з ладу в процесі роботи. Оскільки країна-виробник цих автосамоскидів Білорусь є агресором, виникають труднощі в підтримці у робочому стані парку технологічного транспорту на кар'єрах. Досі залишаються маловивченими оптимальні значення параметрів роботи технологічного транспорту, дотримання яких в умовах невеликих кар'єрів, глибиною до 100 м дозволить продовжити його строк роботи.

Тому обґрунтування параметрів роботи технологічного автотранспорту в умовах щебених кар'єрів *є актуальною науковою і практичною задачею.*

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т. Державного університету «Житомирська політехніка» у рамках науково-дослідної теми "Наукові дослідження з оцінки впливу на довкілля планової діяльності в районі Судилківського родовища гранодіоритів у Шепетівському

районі Хмельницької області", державний реєстраційний номер: 0119U101934 (2019-2020 рр.). Автор був виконавцем робіт під час проведення досліджень у зазначеній науково-дослідній темі.

Мета роботи полягає в удосконаленні наявних технологій шляхом обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту на щебених кар'єрах, що дозволить зменшити собівартість транспортування гірничої маси, кількість відмов конструктивних вузлів автотранспорту, витрату палива.

Для досягнення сформульованої мети в дисертаційній роботі поставлені та вирішені такі задачі:

- провести аналіз сучасного стану досліджень й перспектив розвитку технології транспортування гірничої маси в кар'єрах;
- оцінити вплив поздовжнього ухилу капітальних траншей на рознесення бортів кар'єрів;
- отримати статистику несправностей автосамоскидів БелАЗ 548. Встановити ймовірність відмови двигуна ЯМЗ-240 Н самоскида від значення середнього ухилу дороги;
- встановити вплив поздовжнього ухилу траси та капітальної траншеї на швидкість руху БелАЗ 548;
- встановити залежності витрат паливно-мастильних матеріалів від величини поздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів та гірничо-експлуатаційних умов використання кар'єрного транспорту на Омелянівському родовищі гранітів.

Об'єкт дослідження – процес транспортування гірничої маси в умовах щебених кар'єрів.

Предмет дослідження – параметри роботи технологічного кар'єрного автотранспорту в умовах щебених кар'єрів.

Методи досліджень. У даній науковій роботі використано такий комплекс сучасних наукових методів досліджень: математичний апарат теорії планування дослідів; методи теорії ймовірності; графоаналітичний та числовий аналіз; статистичне опрацювання результатів із використанням засобів обчислювальної

техніки; гірничо-геометричний аналіз. *Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій підтверджуються* коректністю поставлених завдань, застосуванням основних положень та практики відкритих гірничих робіт, високою збіжністю результатів теоретичних й експериментальних досліджень із фактичними параметрами технологій на діючих кар'єрах, що становить 90 % і підтверджуються актами впровадження розроблених методичних положень і рекомендацій до роботи ТДВ "Березівський кар'єр" та ТОВ «Омелянівський кар'єр».

Наукова новизна одержаних результатів полягає в тому, що вперше:

- отримано залежності, які описують вплив повздовжнього ухилу траси на швидкість руху автосамоскидів, що дозволяє обґрунтувати параметри роботи технологічного автотранспорту на щебених кар'єрах глибиною до 100 м;

- отримано рівняння, які описують залежність ймовірності відмови двигуна ЯМЗ-240 Н самоскидів від значення середнього ухилу дороги, що дозволить керувати відмовами двигунів автотранспорту за допомогою оптимального вибору ухилу доріг та зменшить витрати часу на ремонт автосамоскидів;

- отримано залежність питомої вартості транспортування 1 т гірської маси від повздовжнього ухилу капітальної траншеї в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр», що дозволить покращити техніко-економічні показники роботи щебених кар'єрів, як діючих, так і новостворених.

Практичне значення отриманих результатів роботи. В ході проведення досліджень отримано результати, що мають практичне значення:

- Отримано статистичні дані розподілу часу за операціями циклу роботи автосамоскида БелАЗ 548 в умовах ТОВ «Омелянівській кар'єр».

- Проведено порівняння витрат паливно-мастильних матеріалів для двигунів ЯМЗ-240 Н та Cat 3406, які встановлюються на БелАЗ 548.

- Побудовано функціональний зв'язок між циклом роботи та кількістю спожитого палива за цикл.
- Проведено розрахунок втрат корисних копалин в межах кар'єру залежно від ухилу капітальної траншеї.
- Отримано кореляцію між ймовірністю відмови двигуна та відстані транспортування гірської маси.
- Розроблена методика розрахунку параметра відмови $\lambda(t)$ самоскидів БелАЗ-548 від терміну служби.
- Практичні результати досліджень реалізовані в технологічних процесах ТДВ "Березівський кар'єр" та ТОВ «Омелянівський кар'єр» з сумарним очікуваним економічним ефектом 802 тис грн на рік. Основні результати досліджень реалізовані в навчальному процесі Державного університету «Житомирська політехніка».

Особистий внесок автора у наукові праці, опубліковані у співавторстві: [1] – запропоновано методику визначення витрати палива автосамоскидами в умовах Омелянівського кар'єру; [2] – проведено статистичну обробку отриманих результатів; [3] – обґрунтовано методику проведення дослідження та здійснено натурні дослідження; [4] – проведено математичні обрахунки розташування проміжних майданчиків; [5] – здійснено практичні виміри на кар'єрі та представлено їх розрахунки; [6] – отримано експериментальні дані та проведено їх статистичну обробку; [7] – запропоновано методику оптимізації селективного видобування мергелю; [8] – досліджено та проаналізовано інформаційні джерела за темою роботи; [9] – проведено аналіз інформаційних джерел, визначено напрями поліпшення конструкції кузова кар'єрних автосамоскидів.

Апробація результатів дисертаційних досліджень. Основні положення дисертаційної роботи та її результати обговорювалися на науково-технічних конференціях, семінарах та нарадах, а саме: Всеукраїнській науково-практичній on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки (Житомир, 2021 р.), VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції

студентів, аспірантів та молодих вчених "Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів" (2021 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 9 наукових працях, з них 6 у фахових виданнях, з яких 5 публікацій – у збірниках наукових праць, що включені до переліку міжнародних науково-метричних баз даних та 1 публікація – у закордонних збірниках наукових праць (включена до переліку міжнародної науково-метричної бази даних Scopus), 3 – у збірниках матеріалів національних і міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 129 сторінках машинописного тексту, складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних інформаційних джерел з 91 найменування, 4 додатків на 5 сторінках, містить 27 рисунків, 19 таблиць. Загальний обсяг роботи становить 134 сторінки.

РОЗДІЛ 1

Стан вивченості питання та постановка задач

1.1. Останні досягнення в галузі кар'єрних автоперевезень

Останні досягнення в галузі кар'єрних автоперевезень є електричні самоскиди, що використовуються в гірничодобувній промисловості. Ці транспортні засоби застосовуються для транспортування гірської породи в важких умовах.

Автомобільні системи є однією з найскладніших галузей проектування та застосування електронних систем із вбудованим програмним забезпеченням для зв'язку та керування датчиками, виконавчими механізмами, мікропроцесорами та мережами. Останні досягнення в електронних системах визначають нові системні підходи для вирішення проблем в керуванні автосамоскидів [1–7]. Низько- та високошвидкісні мережі використовуються для некритичних та критичних додатків, враховуючи функції реального часу [5].

Критично важливі програми для безпеки, такі як подушки безпеки, є складними інженерними продуктами і вимагають спільного проектування апаратного та програмного забезпечення, щоб задовольнити високий попит, витрати на виробництво та час розробки в конкурентоспроможній чутливій до ціни автомобільній галузі [6].

Технологія силової електроніки, призначена для тягових приводів, керується вимикачами живлення, тиристорами, біполярними транзисторами, вбудованими комутованими затворами тиристорами та алгоритмами польово-орієнтованого керування машиною. Подальших удосконалень можна досягти за допомогою підходу на системному рівні шляхом розробки подальших інтегрованих модулів силової електроніки [2, 3], що включають перемикачі живлення, контрольну, захисну електроніку та пасивні пристрої.

Додаткова інтеграція досягається із системами керування за допомогою проводів, які використовують електроніку замість механічних засобів керування системою. Для цього потрібні надійні мережі передачі даних та керування із відмовостійкістю [5].

Великі кар'єри, як правило, мають форму стадіонів і можуть бути дуже великими. Наприклад, мідний рудник Чукікамата, який розташований на півночі Чилі, має довжину 6 км, ширину 4 км, глибину 1 км і видобуває приблизно 700 000 тонн руди на добу [12]. Мідний рудник Моренсі, розташований в Арізоні, охоплює понад 36 км², має перепад висоти 920 м і щодня видобуває приблизно 840 000 тон гірської породи [13]. Великі відстані перевезень і круті ухили капітальних траншей становлять виклик для потужніших транспортних систем.

Транспортування корисної копалини та пустих порід від кар'єрів до складів або дробарок здійснюється автосамоскидами. Для необхідної продуктивності самоскиди мають мати високу швидкість руху вгору і вниз, найбільшу вантажопідйомність і найпотужніші системи приводу для транспортування руди та породи від кар'єрів до відвалів для подальшого транспортування та подрібнення мінералів. Основна мета транспортних систем – знизити витрати на одну тонну перевезеного матеріалу. У традиційних автосамоскидах потужність передається на задні колеса за допомогою механічної трансмісії або системи електричного приводу постійного струму. Одним з недоліків самоскидів з механічним приводом є високі витрати на технічне обслуговування та ремонт, які пов'язані з їх складною системою механічних трансмісій. Усунення механічного гідротрансформатора, трансмісії та диференціала є однією з основних переваг електричних самоскидів [3].

Дизель-електричні самоскиди з приводом постійного струму виготовляються вантажопід'ємністю до 240 тонн. Нещодавно було розроблено привід постійного струму для 360-тонних тягачів, для цього були розроблені потужні асинхронні двигуни змінного струму з живленням від інвертора, які використовуються в локомотивах. Міцність і перевантажувальна здатність трифазних асинхронних двигунів разом з інверторами забезпечують компактний привід з більшою потужністю і високою продуктивністю, що відповідає вимогам високої надійності, з'єднання.

Приводи змінного струму з векторним керуванням здійснюють плавну безступінчасту роботу з повним крутним моментом під час руху або гальмування на повній робочій швидкості. Високий пусковий момент і висока максимальна швидкість надають оператору більшу потужність для даного автосамоскида. Плавне та ефективне електричне гальмування гарантує підвищену безпеку та знижує швидкість зношення механічних гальм. Потужні сповільнювачі (електричні гальма) забезпечують точне керування до зупинки, з автоматичним поєднанням електричного та робочого гальма на швидкості нижче 2 км/год. Застосування найсучаснішої електромеханічної конструкції, сучасної силової електроніки робить можливим збільшити потужність автосамоскидів [8–9].

Більш високі робочі швидкості, вища вантажопідйомність, підвищена потужність, вища надійність, більша ефективність та менший рівень обслуговування дають можливість підвищити продуктивність транспортування. Також доступність покращується за рахунок використання більш просунутих електронних систем, які забезпечують підвищену відмовостійкість за допомогою програмного забезпечення, яке полегшує пошук несправностей і можливість віддаленої діагностики [9]. Крім того, навігаційні системи на основі глобальної системи позиціонування (GPS) застосовуються для диспетчерського керування парком вантажівок, що складається з понад 100 одиниць у великих кар'єрах [12–14].

Однією з головних цілей виробничих галузей є підвищення ефективності. Гірничодобувні підприємства не є винятком, оскільки одним з найбільших гірничодобувних завдань є транспортування гірської породи з кар'єру до відвалу, необхідність транспортування все більших обсягів гірської породи підштовхувала автосамоскиди до збільшення розмірів, як показано на рис. 1.1.

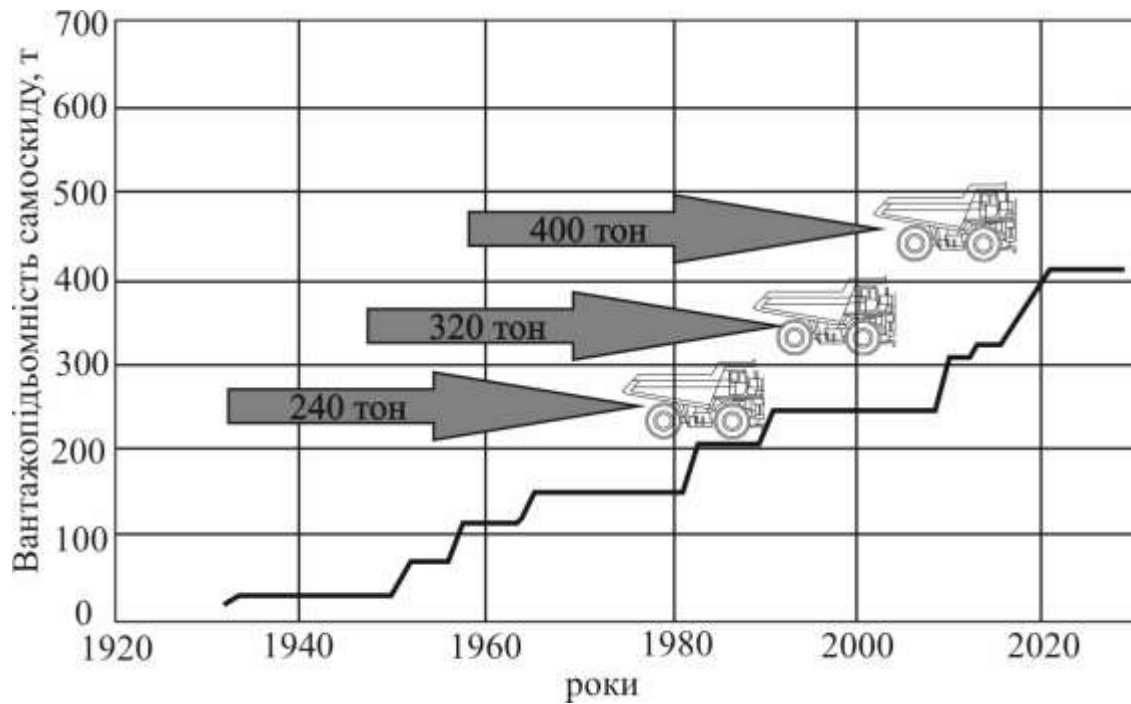


Рис. 1.1. Еволюція розвитку кар'єрних автосамоскидів

Сучасні вантажівки можуть перевозити до 360 тон зі швидкістю 64 км/год і здатні долати ухили до 250 проміле за умови повного навантаження [17–18] на коротких дистанціях.

Цей рівень продуктивності вимагає величезного джерела енергії (близько 2000 кВт) і максимальної ефективності. Вага порожнього транспортного засобу має бути якомога меншою, щоб максимізувати потужність, доступну для транспортування гірської породи.

Розмір і місткість – не єдині потреби, які необхідно задовольнити. Існують інші експлуатаційні та екологічні вимоги:

- висока надійність – середній час між відмовами 24 місяці (MTBF);
- безперервна робота, 95 % електричної готовності;
- мінімальне технічне обслуговування – відсутність щіток, фільтрів або регулярного змащування;
- високі межі ударів і вібрації - 2g у всіх напрямках;
- робота між -40 до +55 °С.

Потужність дизельного двигуна становить 2540–3380 к.с., залежно від моделі вантажівки та вантажу, що перевозиться [17]. Потужність змінного

струму генерується в генераторі змінного струму і випрямляється, щоб створити постійну напругу 2400 В постійного струму. Ця напруга фільтрується і надходить на інвертори, кожен з яких живить один двигун і пару тандемних задніх коліс. Випрямлячі не є рекуперативними, тому система управління гарантує, що напруга постійного струму не досягне надмірного значення під час гальмування вантажівки, використовуючи подрібнювачі для розсіювання енергії електричного гальмування у сітці резисторів.

Трифазні інвертори видають напругу зі змінною амплітудою і частотою для керування тяговими двигунами. Менші вантажівки (240 тонн) використовують IGBT як основні вимикачі живлення. IGBT-пристрої мають важливі експлуатаційні переваги: простіші та менші схеми та більш ефективний захист від перевантаження струму (за рахунок усунення імпульсів руху до зникнення надструму). Крім того, схеми драйверів IGBT підвищують загальну надійність приводної системи, що відповідає жорстким вимогам експлуатації вантажівок.

Більші вантажівки (300 і 360 тонн) використовують GTO як головні вимикачі живлення, щоб задовольнити високі вимоги до потужності. Інвертори побудовані з використанням пристроїв GTO 4500-V, 3000-A, які встановлені в герметичних модулях. Охолоджуюча рідина Fluorinert FC72, яка використовується в модулях, забезпечує так звану «ванну випаровування» охолодження, за допомогою якого тепло передається від силових пристроїв до внутрішніх стінок модуля через безнасосний цикл випаровування-конденсації при низьких температурах. Нефільтроване брудне повітря, що проходить через зовнішні ребра модуля, видаляє відпрацьоване тепло та охолоджує електронні компоненти.

Технологія випарної ванни добре підходить для забруднених середовищ, оскільки модулі повністю герметичні. Шафа приводу змінного струму має потужність приблизно 1 МВт.

Трифазний асинхронний двигун з короткозамкнутою камерою живить кожен комплект двоступеневих планетарних колісних передач. Двигуни мають

вбудовані датчики швидкості, і єдине необхідне технічне обслуговування – змащувати підшипники раз на рік. Найважливішим проєктним фактором для комбінації двигун-інвертор є вибір опору двигуна, який забезпечує необхідний високий пусковий момент без перевищення межі пікового струму інвертора.

Гальмування вантажівки є дуже важливою частиною операції через відносно високу швидкість і дуже високий рівень енергії.

Зношення механічних робочих гальм було майже усунено за допомогою дуже потужної електричної системи сповільнення.

Під час електричного гальмування двигуни діють як генератори, а інвертори перетворюють кінетичну енергію вантажівки в електричну, яка розсіюється через резистори високої потужності. Електричні гальмівні подрібнювачі, що не обслуговуються використовуються замість механічних контакторів для передачі цієї потужності на резистори мережі. Продуктивність електричного гальма досягнуто за допомогою двох модулів подрібнювача GTO. Кожен модуль містить два GTO, які пульсують по черзі з частотою 50 Гц, щоб створити комбіновану частоту 100 Гц. Обидва подрібнювачі керуються для створення комбінованої частоти перемикання 200 Гц на лінії постійного струму, мінімізуючи пульсації напруги. Подрібнювачі здатні витримувати потужність 4500 кВт (6000 к.с.).

Тягові двигуни змінного струму здатні утримувати транспортний засіб нерухомим на повному крутному моменті, але система керування обмежена роздільною здатністю датчиків швидкості двигуна.

Оскільки ростуть вимоги до продуктивності вантажівок, стає зрозумілою потреба в розширених алгоритмах керування. На додаток до вбудованого в двигун контролера, вантажівка також має складний блок керування приводом для керування швидкістю вантажівки, повітряним охолодженням, динамікою автомобіля, моніторингом стану приводу тощо.

Наприклад, блок керування приводом, на додаток до виконання алгоритмів векторного керування для інверторів та двигунів змінного струму, має три різні методи керування для оптимізації роботи двигуна, залежно від руху автомобіля

(швидкість, навантаження та вихідна потужність двигуна). Інвертори та двигуни працюють незалежно один від одного та дають різні швидкості на кожній колісній парі. Це дає можливість реалізувати систему контролю тяги, яка включає антиблокувальну систему (ABS) для запобігання ковзанню коліс і функцію контролю пробуксовування, яка використовується під час розгону. Використання цих методів керування, які є звичайні для автомобільної промисловості, є потужними інструментами, які покращують динаміку, надійність та ефективність вантажівки. Під час нормальної роботи оператор має підтримувати потрібну швидкість лише натисканням на педаль газу або сповільнення. Педаль робочого гальма використовується тільки для аварійної зупинки у випадку відмови системи електроприводу. Сигнали акселератора / гальма подаються безпосередньо в TCU і використовуються як опорні значення для контуру регулювання крутного моменту.

TCU визначає оптимальну робочу точку для двигуна, генерує опорний момент для кожного двигуна змінного струму та активує гальмівні подрібнювачі, якщо потрібно.

Ці приводи мають систему керування на основі орієнтації поля або векторного керування для машин змінного струму, де регулювання крутного моменту та потоку здійснюється окремо.

Тут потік розраховується за допомогою моделі машини на основі фактичних значень струмів і напруг статора та положення ротора. Струми статора перетворюються в обертову систему відліку, яка орієнтована на потік ротора (блок VT), отримуючи два струми, які пропорційні моменту і пропорційні потоку. Обидва струми контролюються пропорційно-інтегральними (PI) блоками. Опорні сигнали для кожного контуру керування надходять від дросельної заслінки, у випадку крутного моменту, і від фіксованого значення потоку. Однак це опорне значення може змінюватися через ослаблення поля, якщо швидкість вантажівки занадто висока. Блок попереднього керування потоком заснований на кривій намагнічування і виправляє будь-які неточності на кривій. Також використовується компенсатор падіння напруги із прямим

зв'язком, що покращує відстеження сигналу. Модулятор із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) використовує оптимізований метод перемикання, щоб покращити форму хвилі струму статора і таким чином краще контролювати крутний момент.

Автомобілі експлуатуються 24 години на добу, сім днів на тиждень, за винятком випадків, коли це необхідно для зміни водіїв, заправки та обслуговування. За таких умов експлуатації бажано постійно контролювати положення та стан транспортного засобу, щоб досягти максимальної ефективності й визначити, коли необхідне технічне обслуговування.

Додатки для видобутку корисних копалин враховують відстеження положення мобільного обладнання, такого як екскаватори, вантажівки або бурові верстати. Інструменти інформаційних технологій інтегрують та покращують планування та виробництво кар'єрів.

Використовуючи системи на основі GPS, оператори можуть знати, чи є вантаж корисною копалиною чи пустою породою, і відповідно спрямовувати вантажівки. Мідний рудник Моренчі, наприклад, має 16 екскаваторів і парк із 100 самоскидів, які оснащені системами GPS, використовуються на самоскидах для відстеження та моніторингу положення [13–14]. Теоретично чотири супутники над горизонтом необхідні для оцінки положення [15] і п'ять для кінематичної зйомки в реальному часі. Якщо деякі супутники затьмарені перешкодами (будівлі, гори, дерева), ситуація погіршується. У випадку кар'єру Чукікамата задіяно близько 130 самоскидів. Для системи GPS необхідно шість або більше супутників через втрату сигналу всередині кар'єру та близькості до бортів. Для вирішення цієї проблеми була використана Глобальна орбітальна навігаційна супутникова система. Як і в системі GPS, ГЛОНАСС також використовує 24-супутникову мережу, але з нижчими взаємними кореляційними перешкодами [16] і кращим покриттям на більших широтах (через більший ухил орбіти, ніж система GPS). Використання комбінованої стратегії дає змогу вибирати супутники з мінімальним розведенням позиції, що призводить до покращення точності та швидкості результуючої позиції. На сьогоднішній день

розширена система повністю запрацювала і є дуже хорошим рішенням. Очікується, що продуктивність системи GPS / ГЛОНАСС буде додатково оптимізована, а застосування екскаваторів та бурових верстатів буде розширено та покращено [12].

Маршрутування вантажівок відбувається за принципом найкращого шляху, який визначається за допомогою комп'ютеризованої системи диспетчеризації. Траншеї та дороги, що постійно змінюються, призначені для досягнення цілей як короткострокового, так і довгострокового планування. Крім того, керування може виконуватися для виконання завдань навіть у темряві або в умовах туману.

Очікуються подальші розробки, коли ефективність роботи можна підвищити без втрати працездатності транспортних засобів, дозволяючи оперативну зміну маршруту руху в момент, коли це стане необхідно [21].

Було б ідеально, щоб самоскиди працювали 100 % часу. Звичайно, це неможливо, тому мета полягає в тому, щоб зменшити причини несправностей та зменшити необхідний час ремонту. Це особливо важливо, коли самоскиди є основною частиною виробничого процесу.

Тому вантажівки оснащені пристроями для контролю стану та продуктивності, такими як система індикації, яка інформує оператора про стан системи за допомогою текстових повідомлень на кольоровому РК-дисплеї.

Технологія віддаленого доступу дає можливість спеціалістам з технічного обслуговування швидше зв'язуватися з електронікою керування вантажівкою через радіо-, телефонні та супутникові канали, скорочуючи час на виявлення та усунення будь-якої несправності або призначати процедури профілактичного технічного обслуговування до того, як виникнуть збої. Застосуванням цієї можливості віддаленої діагностики є використання Інтернету для діагностики та усунення несправностей. Ця нова технологія була успішно продемонстрована на сучасних екскаваторах і самоскидах [25]. Віддалений доступ дозволяє авторизованим технікам у всьому світі контролювати, аналізувати, діагностувати

та робити коригувальні дії. Можна навіть дистанційно вносити зміни в програмне забезпечення керування.

Ця технологія максимізує час безперебійної роботи та знижує витрати на обслуговування, підвищуючи ефективність кар'єру до більш високого рівня. Систему моніторингу можна вдосконалити з більш високою надійністю, що надається системами внутрішньотранспортного зв'язку [20].

Однією з переваг використання електроприводів у вантажівках порівняно зі звичайною механічною трансмісією, гідротрансформатором та диференціалом є можливість отримувати енергію від повітряних тролейбусних ліній постійного струму та обходити або доповнювати дизельний двигун як джерело енергії вантажівки [11]. Повітряні тролейбусні лінії найчастіше встановлюються в кар'єрах, які мають одну дорогу, що виходить з глибокого котловану, або де витрати на паливо набагато вищі, ніж вартість електроенергії. Основною характеристикою роботи приводу є те, що потужність, доступна для тягових двигунів, значно збільшується. Це дозволяє вантажівці швидше рухатися вгору, скорочувати час, який необхідний для транспортування гірської породи, і, таким чином, збільшує продуктивність.

Перевага, яку мають тягові вантажівки змінного струму перед тягачами з приводом постійного струму під час роботи, полягає в тому, що інвертори змінного струму відокремлюють напругу та швидкість тягового двигуна від напруги мережі постійного струму. Це забезпечує максимальне використання обладнання. Наприклад, перевантажені вантажівки постійного струму, які рухаються занадто повільно, не можуть зайняти лінію через фіксовану залежність напруга–швидкість приводів постійного струму та перевантаження, яке може виникнути. Вантажівка з двигуном змінного струму, може під'єднуватися до лінії з будь-якою швидкістю та рухатися по лінії із будь-якою швидкістю незалежно від напруги лінії постійного струму.

Є два способи підключення вантажівок із приводом змінного струму до тролейбусних ліній постійного струму. Перший – це паралельне з'єднання, а другий - це новий непрямий метод, що використовує послідовне з'єднання.

Паралельне підключення використовується, коли напруга тролейбуса відповідає максимальній напрузі лінії постійного струму у 2600 В. Підключення починається, коли оператор переміщує вантажівку під лініями (на будь-якій зручній швидкості) і натискає кнопку, щоб включити систему.

ТСU піднімає пантограф, перевіряє лінійну напругу, піднімає ланку постійного струму до максимуму та замикає лінійний контактор для з'єднання ланки постійного струму паралельно тролейбусній лінії, розвантажує генератор, зменшує оберти двигуна до холостого ходу, а потім підвищує швидкість двигуна, щоб використовувати повну потужність приводу. Під час прямої роботи приводу вся тягова потужність витягується з тролейбусів, що призводить до значної економії палива.

Підйом на гору з двигуном внутрішнього згорання на холостому ходу значно подовжує час роботи між капітальними ремонтами двигуна та збільшує ККД двигуна.

Дизельний двигун використовується на кар'єрах, де вже експлуатуються вантажівки постійного струму на тролейбусних лініях і де мережева напруга знаходиться в межах 1200–1600 В. Операція дизельного прискорення виявилася надзвичайно практичною, оскільки вона дозволяє працювати з новою високовольтною системою приводу змінного струму на існуючій низьковольтній тролейбусній лінії напруги. Робота приводу змінного струму стає можливою завдяки послідовному з'єднанню тролейбусних ліній постійного струму з виходом бортового джерела живлення вантажівки (двигун / генератор / випрямляч) для досягнення робочої напруги 2600 В. Швидкість і продуктивність в обох режимах роботи приводу однакові, але витрата палива нижча під час прямого приводу, ніж під час роботи приводу з дизельним двигуном.

Послідовність підключення починається з конфігурації дизеля, коли вантажівка рухається під лінією. Після того, як оператор піднімає пантограф, ТСU перевіряє лінійну напругу, регулює напругу лінії постійного струму приблизно до подвійної лінійної напруги та замикає лінійний контактор, що з'єднує лінію паралельно з випрямлячем. Потім ТСU підвищує швидкість

двигуна, щоб використовувати повний номінальний рівень потужності приводу, при цьому частина потужності постачається дизельним двигуном, а решта надходить від магістралі.

Ця нова система підсилення дизельним двигуном та послідовність з'єднань дозволяє вантажівці з високовольтною системою приводу змінного струму плавно встановлювати та розривати послідовне з'єднання між дизельним і тролейбусним джерелами живлення, щоб увімкнути та вимикати низьковольтну тролейбусну лінію з будь-якою швидкістю під час роботи на повній дизельній потужності [26].

Використання тролейбусних ліній на найбільш енергоємних ділянках транспортного маршруту призводить до значного зниження споживання палива, економії приблизно до 30 % [19], зниження витрат на обслуговування вантажівки та підвищення продуктивності кар'єру.

Однак у приводу є деякі недоліки. Існують високі витрати на установку, необхідність переміщення ліній і придорожного обладнання, якщо маршрут переміщення змінюється, а також додаткове технічне обслуговування обладнання та навчання водіїв. Незважаючи на те, що техніко-економічні обґрунтування часто показують дуже сприятливі економічні періоди окупності, лише обмежена кількість кар'єрів у всьому світі. Крім того, варто враховувати заходи щодо безпеки [10].

У 2002 році на мідному руднику Чукікамата було проведено кілька випробувань на вантажівках різних виробників. Вибраною вантажівкою був Liebherr T 282 з двигуном потужністю 2610 к.с. і вантажопідйомністю 364 тонни з двигунами змінного струму Siemens / Liebherr. Ця вантажівка рухалася зі швидкістю 10 км/год. Насправді швидкість, яку розвивав T 282, становила 11,2 км/год, що вказує на ефективність системи приводу, ніж очікувалося.

Великі зусилля були зроблені для підтримки динамічної системи сповільнення вантажівки на великій висоті кар'єру. Це було зроблено шляхом збільшення потужності / охолодження сповільнюючих резисторів і сповільнювача вентилятора для розрідженого повітря, на цій висоті. Результати

дуже вражаючі. Якщо оператор покладе педаль сповільнення на підлогу, його скине з сидіння, якщо буде не пристебнутий ремінь безпеки. Порожньою вантажівкою можна плавно маневрувати вперед–назад без найменших кивків.

Перевага вантажних автомобілів із приводом змінного струму із системою уповільнення перед вантажними автомобілями з приводом постійного струму, які використовують керування уповільненням реверсу на основі контактора, полягає в тому, що немає затримки часу, коли оператор натискає педаль уповільнення. Крім того, вантажівка може сповільнюватися до зупинки прямо пропорційно бажанням оператора. Коли швидкість автомобіля наближається до нуля, робоче гальмо вмикається автоматично. Система автоматичного сповільнення та гальмування дозволяє оператору зменшувати залежність від робочих гальм як засобу контролю швидкості транспортного засобу. Зменшивши залежність від робочих гальм, можна швидше спускатися вниз і зменшити загальні витрати на технічне обслуговування вантажівки [22].

На думку експертів, майбутні вдосконалення сучасного рівня техніки мають бути зосереджені на методах підвищення надійності, таких як широке використання тролейбусних ліній і віддалений моніторинг параметрів вантажівки, що дає можливість діагностики та усунення несправностей в Інтернеті. Початкові кроки на цьому шляху, як і показані в [23], відкривають дуже цікаве поле досліджень і розробок. Ще одним досягненням, будуть автоматизовані (безпілотні) самоскиди.

Очікується, що ця функція підвищить рівень безпеки та дозволить більш оптимізований вибір шляху, як описано в [24].

Можливість відправити відповідну вантажівку до певної точки чітко пов'язана зі здатністю оператора завжди знати точне місцезнаходження всіх вантажівок. Це означає, що використання GPS буде звичайним інструментом у більшості кар'єрів.

1.2. Тенденції удосконалення кар'єрних автосамоскидів для роботи у стиснених умовах

Нині гірничодобувна промисловість знаходиться в стадії стабільного підйому. За роки реформ, дефолтів та інфляції на більшості кар'єрів запаси, підготовлені до виїмки ще за часів планової економіки, були вичерпані, а нові не підготовлені. Тобто був порушений нормальний ритм ведення гірських робіт. Розвиток відкритого способу розробки характеризується зростанням концентрації виробництва, супроводжується збільшенням глибини і просторових розмірів кар'єрів, відстаней транспортування та складності доставки гірничої маси.

Аналіз проектних рішень показує, що основні обсяги видобутку на залізородних, кімберлітових, вугільних та інших кар'єрах будуть здійснюватися шляхом освоєння глибоких горизонтів.

Важливим завданням є продовження терміну служби кар'єрів, які досягли своєї проектної глибини, за рахунок їх поглиблення з мінімальним розносом бортів і обсягом гірничо-капітальних робіт, а також у разі переходу від відкритого способу розробки до підземного без зупинки видобувних робіт й істотної втрати потужності.

Ефективність відкритого способу розробки зростає під час інтенсивного поглиблення робочої зони і при мінімальному обсязі розносу бортів кар'єру. Стає доцільним залучення у сферу відкритої розробки родовищ, що залягають на глибині 600 і більше метрів [27].

Нині ряд гірничо-збагачувальних комбінатів працює в умовах обмеженої мінерально-сировинної бази, оскільки значна частина запасів, що залягають у сприятливих гірничо-геологічних умовах, уже відпрацьована або буде відпрацьована в найближчій перспективі, а будівництво підземних копалень для освоєння підкар'єрних запасів корисної копалини ведеться з деяким відставанням.

Внаслідок цього важливим завданням є прискорене введення нових видобувних потужностей, що забезпечує подальше розширення активної сировинної бази за рахунок поглиблення діючих кар'єрів (розширення меж відкритих гірських робіт), введення кар'єрів на нових родовищах і будівництва підземних рудників для відпрацювання підкар'єрних запасів.

Основні фактори, що характеризують умови ведення робіт на надглибоких, супер глибоких кар'єрах, в зоні інтенсивного поглиблення:

- обмежена ширина і круті схили транспортних магістралей – до 36 %;
- відсутність спеціального дорожнього покриття;
- обмеженість і обводненість робочої зони;
- збільшення показників міцності порід за глибиною залягання;
- недостатня ефективність заходів щодо провітрювання і вентиляції, і як наслідок, сильна загазованість робочої зони [27].

Застосування нової технології дозволяє значно скоротити обсяг розкривних робіт в контурах кар'єрів, а також підвищити граничну глибину відкритих гірських робіт, тобто в кінцевому підсумку забезпечує видобуток додаткової кількості корисних копалин, що приносить гірничодобувному підприємству значний прибуток.

Так, наприклад, за розрахунками, під час відпрацювання нижньої частини кар'єрів з використанням нової технології можна досягти скорочення обсягів розкриву на 12–28 % в контурі кар'єра за умови збереження повноти виїмки корисної копалини, або збільшити глибину відкритих гірських робіт на 50–100 м, підвищивши тим самим обсяг видобутої руди на 12–38 % при невеликому збільшенні (3-20 %) обсягів розкривних робіт. При цьому відбувається зниження середнього коефіцієнта розкриву по відношенню до проектного значення.

Згідно з розробленою технологією, транспортування гірської маси з донної частини кар'єру до перевантажувального майданчика ведеться гусеничними самоскидами вантажопідйомністю 20 і 40 тонн. З перевантажувального пункту до збагачувальної фабрики гірська маса транспортується автосамоскидами (рис. 1.2).

У зв'язку з поступовим відпрацюванням запасів корисних копалин рівнинного типу неминучий перехід на розробку родовищ нагірного типу, розташованих, як правило, в неосвоєних районах.

Нагірні кар'єри відчувають значні труднощі у виконанні таких робіт, як оббурювання гостроверхих скельних оголень, проходження напівтраншей на крутих косогорах, на які не можуть підніматися звичайні кар'єрні машини (бурові верстати, автосамоскиди, виймально-навантажувальна техніка).

Збільшення ухилу транспортних берм в глибинній частині кар'єра знижує обсяги гірничо-капітальних робіт, відстань транспортування, веде до збільшення обсягу видобутої руди.

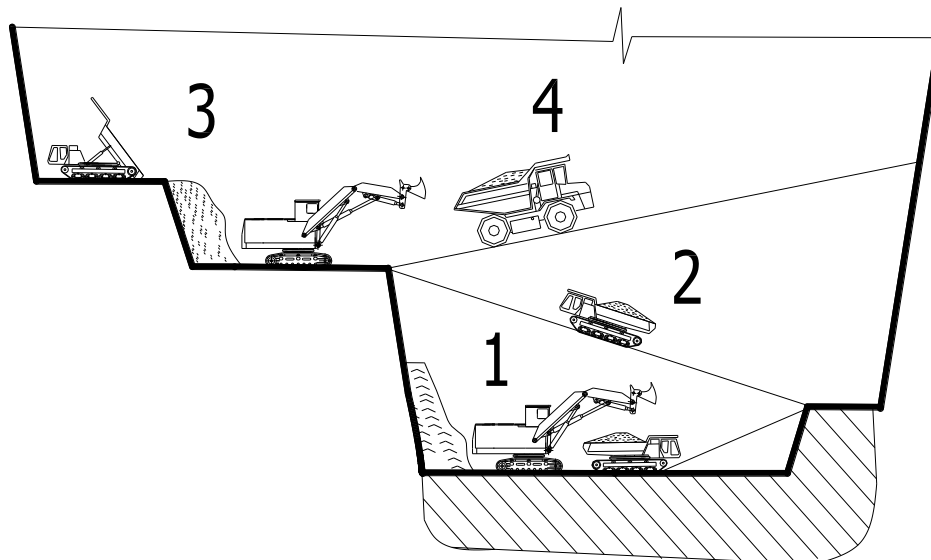


Рис. 1.2. Технологія доопрацювання родовищ із застосуванням гусеничних самоскидів

1 - навантаження в зоні інтенсивної поглиблення; 2 - транспортування гірської маси гусеничними самоскидами по транспортній магістралі з ухилом 20 %; 3 - перевантаження гірничої маси в автосамоскиди; 4 - транспортування самоскидами по дорозі з нормальним ухилом.

Недоліком автомобільного транспорту є те, що автосамоскиди вантажопідйомністю 30–55 т основних світових виробників можуть долати ухили до 7°.

Подолання більш крутих ухилень технічно можливо лише на коротких ділянках, тому що зі збільшенням зтяжного підйому робота двигуна і трансмісії на граничних режимах веде до зниження надійності та виходу з ладу вузлів машини, підвищується зношення шин, зростає витрата палива. При цьому швидкість транспортування падає, а експлуатаційні витрати зростають. Через зниження стійкості, погіршення видимості, неможливості руху на ухилах заднім ходом гостро постають питання безпеки.

Основні переваги гусеничного приводу перед колісним дозволять гусеничному самоскиду успішно здійснювати транспортування гірської маси з місця виїмки до перевантажувальних пунктів або складів. А саме:

- високі тягові можливості гусеничного рушія зможуть забезпечити подолання крутих ухилів на номінальних режимах роботи двигуна і трансмісії на порівняно високих швидкостях руху;

- прохідність і пристосованість гусеничного самоскида до нерівностей шляху здатні виключити витрати на підготовку і спеціальне покриття доріг;

- характерна для машини на гусеничному ході маневреність дозволить з мінімальними втратами часу під'їжджати під навантаження і розвантажуватися;

- порівняно низький питомий тиск на ґрунт забезпечить більш безпечне переміщення по вузьких транспортних магістралях.

Нині світові виробники гусеничної техніки пропонують низку моделей гусеничних самоскидів вантажопідйомністю до 20 т, однак вони не призначені для роботи в умовах кар'єрів.

Повноповоротна платформа з встановленим на ній кузовом дозволить (рис. 1.3):

- встановлювати кузов під навантаження з мінімальними втратами часу на маневрування;

- виключити рух заднім ходом;

- відмовитися від традиційних схем під'їзду під навантаження і виключити обсяги робіт на підготовку майданчика для розвороту;

- виключити розворот машини, і, як наслідок, скоротити втрати енергії і зношення елементів ходової частини.

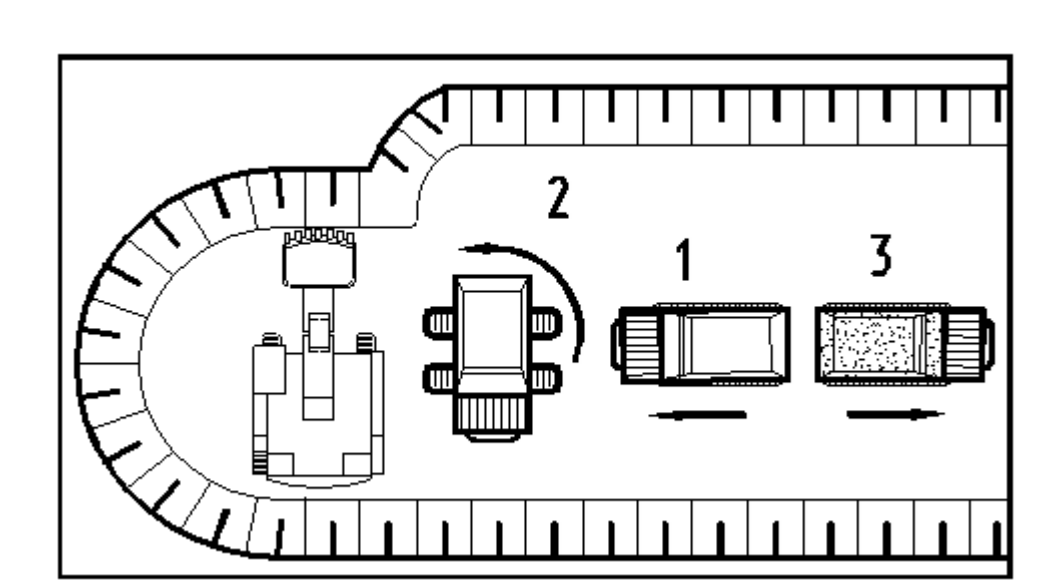


Рис. 1.3. Схема заїзду

Технологія застосування автосамоскидів практично не відрізняється від технології застосування традиційних кар'єрних автосамоскидів. Відмінність полягає в обмеженні транспортування по затяжним горизонтальним ділянкам, оскільки в цих умовах ефект зниження витрати палива значно зменшується і в певних умовах витрата палива навіть зростає порівняно з традиційним дизельним автосамоскидом. За іншими показниками (у т.ч. зниження викиду шкідливих речовин, підвищення ухилу автодоріг та ін.) автосамоскиди на гусеничному ходу перевершують класичні автосамоскиди.

Основною проблемою освоєння запасів корисної копалини є значні обсяги транспортної роботи з доставки корисної копалини до збагачувальної фабрики. Пошук найбільш дешевого виду транспортування корисної копалини під час формування поверхневої транспортної системи з технологічними вузлами підготовки гірської маси для перевантаження її з одного виду транспорту на інший, проміжного складування та завантаження в бункер збагачувальної

фабрики за умови мінімальних витрат на перевезення гірничої маси є актуальним завданням.

Основними перевагами електричних автосамоскидів є: скорочення витрати палива під час підвищення продуктивності. Значне скорочення викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами, підвищення повздовжньому ухилу доріг в кар'єрі і зниження за рахунок цього обсягів розкриву. Застосування кар'єрних автосамоскидів збігається з галуззю застосування класичних кар'єрних автосамоскидів.

При цьому повністю виключається використання дизельних двигунів і знижується загальна кількість, що викидають відпрацьовані гази під час транспортування руди з кар'єру. У нижній частині кар'єру можуть бути використані кар'єрні автосамоскиди або гусеничні самоскиди вантажопідйомністю 20–40 т [28].

1.3. Напрями поліпшення конструкції кузова кар'єрних автосамоскидів

Вібрація – одна з основних причин пошкоджень кузова самоскида і його каркаса, тому будь-яке зниження вібрацій має велике значення. Саме тому має перспективний напрям заміна металевих елементів кузова автосамоскида гумою. Гумове футерування кузова автосамоскида має такі переваги, як зниження сприйманого шуму на 50 % і скорочення вібрацій на 97 %, що помітно покращує умови роботи для водіїв самоскида.

В якості матеріалу для виготовлення захисних футеровок використовуються у переважній більшості марганцеві сталі типу 110М13Л і різні марки гум. Було також зазначено, що гумова футеровка має незаперечні переваги перед металевою за винятком низки випадків: коли продукти стирання гуми можуть забруднювати кінцевий продукт і коли температура корисної копалини перевищує допустиму для гуми.

Тому на ринку послуг на сьогоднішній день поряд з гумовою футеровкою продовжує експлуатуватися і сталева.

Тому нижче під час дослідженні механізмів деформування і руйнування захисних футеровок при ударних навантаженнях і удавлюваннях будуть приведені порівняльні результати випробувань двох футеровок, а в низці випадків двох матеріалів: гуми і сталі. Ударні навантаження, і вдавнення дотичних тіл вносять певний вклад в загальний механізм руйнування футеровок. Тому на першому етапі застосування гумових футеровок в гірському машинобудуванні приділили увагу багато дослідників.

Ці результати були використані для вибору параметрів елементів гумової футеровки, наприклад, вибору товщини футерувальних плит, і для визначення допустимих напружень у матеріалі футерування. Нижче розглянемо процеси удару і вдавнення під час взаємодії футерування із завантаженням та порівняння поведінки гумової і сталевий футеровок.

Взаємодія окремих елементів (кулі, шматки гірської породи) завантаження будемо моделювати системою «куля-площину».

Модель Герца–Динника для удару кулі об площину. Історія цієї моделі сягає корінням часів Ньютона, Сен-Венана і Герца; пізніше вона була розвинена в роботах А.Н. Динника і С.П. Тимошенко.

Найбільш зручно досліджувати прямий центральний удар двох пружних тіл, тобто удар кулі по тілу нескінченно великої маси, обмежене площиною. Таке завдання зазвичай зводиться до розгляду процесу зіткнення двох матеріальних точок із пружним між ними елементом. Цей пружний елемент моделюється пружиною.

Така модель має явні недоліки, але на сьогоднішній день це, мабуть, єдина модель, що дозволяє досліджувати локальні процеси під час удавлювання або зіткненні двох пружних тіл. Правильність її підтверджена в багатьох роботах [29–30].

Футерування призначено для захисту гірничого обладнання від ударного і гідро-абразивного впливу подрібнених матеріалів під час транспортування. Всі футерувальні деталі виготовлені зі спеціальних зносостійких гум. Гумові суміші працездатні за умови температури від -40 до + 70 °С.

Гума, як конструкційний матеріал для зносостійких покриттів і футеровок, міцно зайняла провідні позиції в захисті гірничо-збагачувального обладнання від абразивного і агресивного впливу зовнішнього середовища. У цьому переконує тривала світова практика експлуатації гумових футеровок, що застосовуються для захисту від зношення і ударних навантажень гірничо-збагачувального обладнання: млинів, кузовів автосамоскидів, бункерів та ін.

У світі гумові футеровки широко застосовуються в млинах другої і третьої стадії подрібнення. Найбільш широко гумова футеровка застосовується у кульових млинах, рідше в млинах самоподрібнення.

У футерування з гуми зазвичай застосовується схема «ліфтер-плита», що обумовлено характеристиками зношення цього матеріалу. Вибір найважливіших параметрів, які впливають на зносостійкість і продуктивність млинів: товщина плит, розміри і профіль ліфтерів – залежить від діаметра барабана і швидкості обертання млина, подрібнювального середовища, крупності матеріалу.

Повне використання всіх унікальних особливостей гуми, як футерувального матеріалу, дозволяє отримати суттєві переваги перед металом.

Низька вага гумової футеровки полегшує її транспортування і монтаж. Відсутність необхідності в спеціальних газо-різальних роботах істотно знижує трудовитрати. Монтаж (демонтаж) гумового футерування вимагає в 3-4 рази менше часу, ніж сталевій, при цьому небезпека травматизму мінімальна.

Оптимізовані кузова для кар'єрних самоскидів дозволяють перевозити більше і витратити менше. Еластична гума поглинає енергію ударів, не дозволяючи їй проникати далі, за рахунок чого під гумовим покриттям вдалося розмістити полегшену раму зі сталі з високою конструкційною міцністю. Завдяки такій конструкції кузов здатний поглинати максимальні ударні навантаження за умови мінімальної ваги.

Система кріплення гумових елементів за допомогою болтів не вимагає зварювання під час технічного обслуговування.

Високоякісна гума – чудове рішення для погашення вібраційних і ударних впливів, вона також широко використовується в різних областях застосування

для скорочення впливу і можливих деформацій. Завдяки високій еластичності і іншим властивостям матеріалу енергія ударних впливів ефективно поглинається гумою і розсіюється у вигляді тепла.

1.4. Перспективи оптимізації параметрів транспортних систем кар'єрів

Витрати на технологічний транспорт при видобутку корисних копалин відкритим способом для середніх за глибиною кар'єрів досягають 50 % від повної собівартості видобутку корисної копалини (рис. 1), а для глибоких – перевищують цей показник. Тому підвищення ефективності функціонування транспортних систем кар'єрів робить суттєвий внесок у зниження собівартості видобутку.

Аналіз підсумкових показників роботи кар'єру утруднений, а часом неможливий без використання детальної інформації про особливості технологічних процесів, технічне переозброєння, динаміки мікро- та макроекономічних показників. Наприклад, за даними рис. 1, неможливо говорити про ефективність або неефективність вжитих управлінських заходів та технологічних рішень: у період зростання глибини кар'єру при закономірному зростанні частки витрат на видобуток корисної копалини витрати на транспорт знижуються, а в період стабілізації глибини, навпаки, частка витрат на видобуток знижується, а на транспорт зростає.

Перспективним напрямком для реалізації інструментів оптимізації процесів відкритих гірничих робіт і зокрема транспортних систем кар'єрів як однієї з найважливіших підсистем є наскрізна цифровізація гірничого виробництва. Під цим мається на увазі створення системи збору, зберігання та обробки інформації, що охоплює всі аспекти, процеси та об'єкти гірничодобувних підприємств від збору даних про параметри роботи конкретних гірничих машин до системи підтримки прийняття управлінських рішень як на рівні оперативного, так і стратегічного планування.

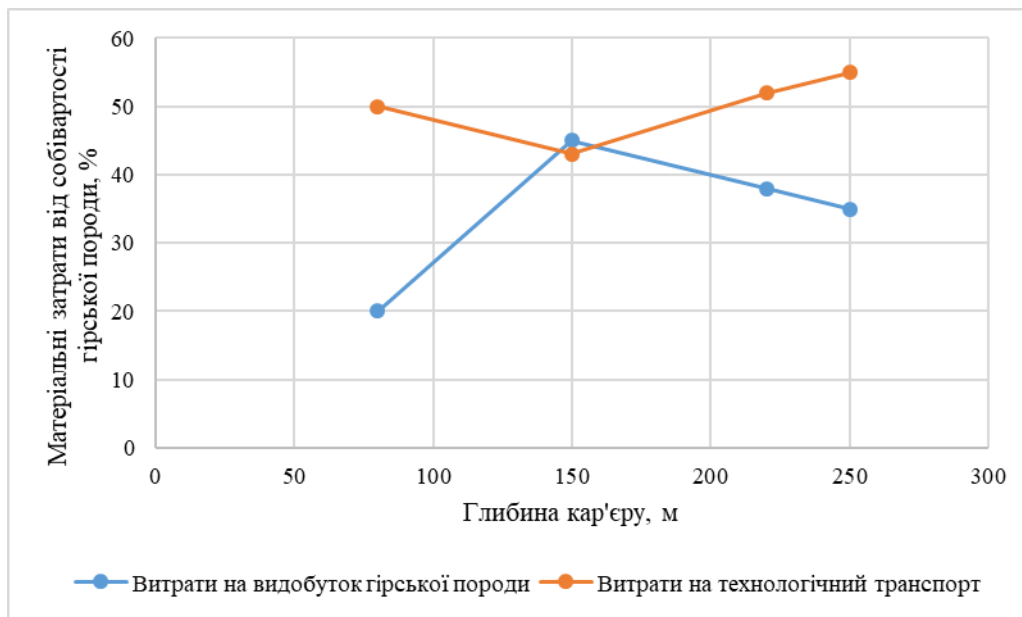


Рис. 1.4. Динаміка структури витрат на видобуток корисних копалин у часі одного з діючих кар'єрів

Ключовими умовами ефективного використання можливостей цифровізації є доступність і комплексне використання інформації різного рівня, а також використання науково обґрунтованих методик обробки інформації, що забезпечують формування дійсно оптимальних параметрів процесу або технологічного комплексу, що розглядається в цілому.

Підхід до створення таких методик – використання комп'ютерного моделювання процесу або системи, що розглядається, в різних видах залежно від кількості та достовірності наявної інформації: статистичного, імітаційного (у тому числі з використанням так званих «цифрових двійників»), економіко-математичного та ін.

Незамінність імітаційного моделювання при вирішенні питань оптимізації транспортних систем кар'єрів підтверджується складністю оцінки справжніх взаємозв'язків гірничотехнічних факторів та показників гірничого виробництва. Для прикладу на рис. 1.5 наведено динаміку показників собівартості перевезень кар'єрним автотранспортом для одного з діючих кар'єрів. Поверхневий аналіз може зробити висновок, що собівартість лінійно залежить від глибини кар'єру.

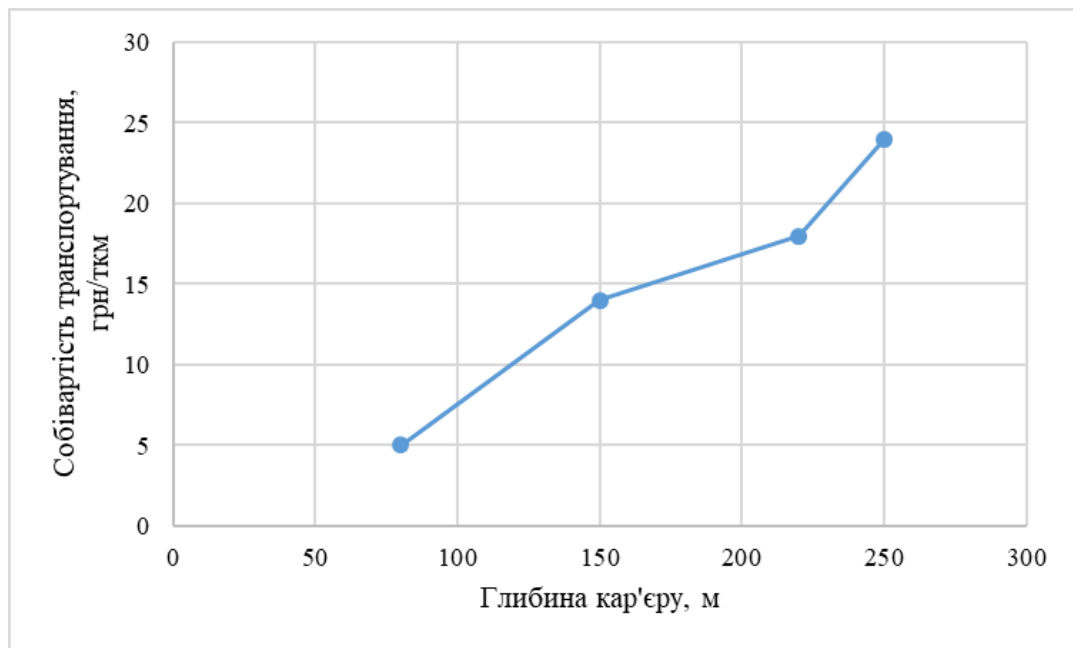


Рис. 1.5. Залежність собівартості перевезень кар'єрним автотранспортом від глибини кар'єру

Збереження собівартості в досить тривалий період на однаковому рівні для кар'єру пояснюється збереженням середньозваженої глибини перевезень з урахуванням нарощування рознесення бортів у верхній частині кар'єру, незважаючи на розвиток у глибину видобувкових робіт, а також комплекс заходів, що дозволяють оптимізувати (скоротити) поточні витрати на технологічний транспорт.

Отже, достовірного взаємозв'язку собівартості перевезень з висотою підйому гірничої маси за даним (обмеженим) набором інформації встановити неможливо. Ведення ж обліку в необхідному обсязі вимагатиме від гірничодобувних підприємств збільшити кількість параметрів, що враховуються в 2–4 рази, і створити систему оперативного доступу до цієї інформації фахівців усіх рівнів. Це спричинить значні додаткові витрати.

Виходом є автоматизація обліку виробничих показників та факторів (цифровізація) та застосування моделювання, яке на додаток до обробки фактичних даних обліку гірничодобувного підприємства дозволяє приймати

обґрунтовані управлінські рішення. Для прикладу на рис. 1.6 наведено результати комплексного імітаційного та техніко-економічного моделювання, яке дозволяє при обмеженому наборі вихідних даних встановити необхідні залежності та тренди, що відображають реальні взаємозв'язки та закономірності технологічних процесів.

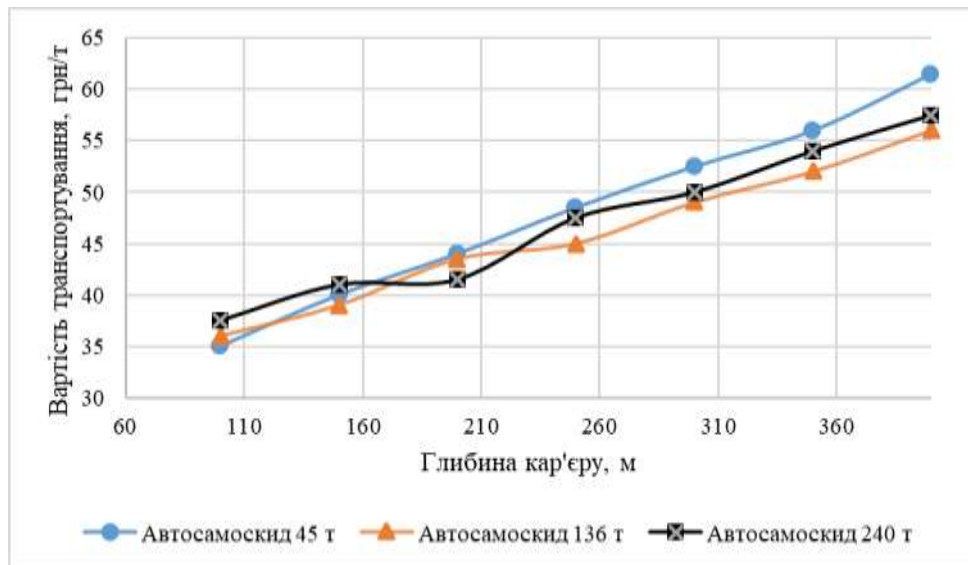


Рис. 1.6. Прогноз зміни собівартості транспортування гірничої маси автомобільним транспортом зі зростанням висоти підйому на основі комп'ютерного моделювання (при різній вантажопідйомності автосамоскидів)

З урахуванням досить тривалої історії розвитку сучасного потужного кар'єрного транспорту, конструктивні характеристики транспортних машин досягли високого рівня і продовжують удосконалюватися. Однак якщо на перших етапах розвитку комплекс конструктивних рішень міг збільшити ефективність роботи машини на 20–50 %, то на сьогодні крок удосконалення експлуатаційних показників лежить у межах 1–5 %, а в окремих випадках до 10 %, і робота з удосконалення стає все більш наукомісткою та трудомісткою. Збереження темпів розвитку на середньострокову перспективу пов'язане з дедалі точнішим обліком факторів, що впливають на формування ефективних інноваційних технологій видобутку корисних копалин.

Отже, помітного підвищення ефективності функціонування транспортних систем кар'єрів (ТСК) можна досягти за рахунок їхньої комплексної оптимізації. Деякі особливості такої оптимізації наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Особливості комплексної оптимізації ТСК за етапами

Етап	Часовий масштаб прогнозу	Особливості
<p>I. Опрацювання стратегії формування (розвитку) транспортної системи кар'єра на весь життєвий цикл з урахуванням динаміки її параметрів та трансформації схем розтину</p>	<p>а) весь життєвий цикл; б) 20-25 років</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Комп'ютерне моделювання функціонування транспортної системи на різних етапах. 2. Комп'ютерне моделювання кар'єру у зв'язку з видами транспорту, що приймаються. 3. Облік перехідних процесів у формуванні ТСК, обґрунтування оптимальних термінів трансформації схем розтину та транспортної системи за етапами розвитку та оптимізація здійснення перехідних процесів. 4. Можливий перегляд прийнятої стратегії у процесі функціонування кар'єру на основі уточнених даних про гірничо-геологічні та гірничотехнічні умови

Етап	Часовий масштаб прогнозу	Особливості
II. Вибір раціональних видів транспорту на стадії проектування кар'єру	10-20 років	<ol style="list-style-type: none"> 1. Розгляд перспективи розвитку кар'єру на життєвому циклі. 2. Прогнозування зміни параметрів за видами транспорту з урахуванням науково-технічного прогресу. 3. Точне визначення параметрів за видами транспорту, адаптоване до конкретних гірничотехнічних умов на основі комп'ютерного моделювання. 4. Облік впливу різних схем розтину та відповідних їм видів транспорту на параметри кар'єру та економіку видобутку корисних копалин
III. Оперативна оптимізація ТСК	5-10 років	<ol style="list-style-type: none"> 1. Технологічна оптимізація комплексу виїмково-вантажних і транспортних машин (уточнення типорозмірів з урахуванням ефективної взаємодії, уточнення парку машин з урахуванням реальної конфігурації виїмкових одиниць та транспортних комунікацій, необхідної продуктивності кар'єру, планів випереджальної підготовки запасів тощо).

Етап	Часовий масштаб прогнозу	Особливості
	1-5 років	2. Эксплуатационная оптимизация выемочно-погрузочных и транспортных машин (подбор моделей, имеющих минимальные эксплуатационные затраты, приемлемую/максимальную надежность, рациональные затраты на создание и функционирование ремонтно-эксплуатационной базы)
IV. Оптимізоване управління ТСК	годину-добу	Системи диспетчерського управління з прогнозною аналітикою, що дозволяє оптимізувати добовий та миттєвий розподіл машин з урахуванням заданих критеріїв (мінімум витрат, максимум продуктивності тощо), наявних обмежень (недостатній парк самоскидів, наприклад, у зв'язку із простоем у ремонті тощо), оперативних змін (вихід з ладу екскаваторів, тимчасове закриття перевантажувальних пунктів тощо)

При обґрунтуванні стратегії формування (розвитку) ТСК слід розглядати гірничо-технологічну систему до кінця життєвого циклу, це дозволить

прогнозувати та планувати параметри перехідних процесів заздалегідь, здійснити їх керовано та ефективно. При цьому необхідно розглядати декілька рівнів прогнозування:

- весь життєвий цикл гірничодобувного підприємства до кінця розробки родовища (досягнення високого рівня точності прогнозу утруднено, проте потрібно сформулювати найефективніший напрямок розвитку гірничотехнологічної системи, передбачити етапи та моменти здійснення перехідних процесів);
- далекострокова перспектива 20—25 років (висуваються підвищені вимоги до точності прогнозування; прийняті на основі прогнозу технологічні, технічні та організаційні рішення повинні з високою ймовірністю забезпечать виконання планових завдань видобутку корисних копалин).

Висновки до розділу 1

1. Технологія приводу в самоскидах за останні роки продемонструвала величезний розвиток, що принесло значне покращення продуктивності зі збільшенням вантажопідйомності.

2. Система дизель-електричний двигун-генератор з асинхронними двигунами змінного струму з живленням від інвертора є єдиним рішенням, яке можна знайти в електричних самоскидах 300 тонн і більше. Використання IGBT транзисторів замість тиристорів GTO може знизити вартість і підвищити надійність силових інверторів за рахунок більш простих і компактних схем драйверів. Передбачається, що IGBT з більш високими номінальними напругами та струмом замінять GTO у великих вантажівках найближчим часом.

3. Використання герметичних модулів для силових напівпровідників є ключовим фактором для підвищення надійності накопичувача через велику кількість пилу в гірничих роботах. Високопродуктивні електричні гальмівні системи, які не потребують обслуговування, замінили механічні контактори для підключення гальмівних резисторів. Асинхронні двигуни з векторним

керуванням забезпечують дуже хороший контроль швидкості, включаючи високий пусковий момент і плавне контрольоване гальмування, на додаток до дуже низьких вимог з обслуговування.

4. Приводи змінного струму забезпечують більш надійну роботу, ніж приводи постійного струму, особливо коли вантажівки перевантажені.

5. Використання систем диспетчеризації на основі GPS підвищує ефективність всього процесу транспортування руди. Використання передових і сучасних технологій, таких як дистанційна діагностика та усунення несправностей в Інтернеті, максимально збільшує час, одночасно знижуючи витрати на обслуговування.

Розділ 2

Управління витратами паливно-мастильних матеріалів

2.1. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на ТОВ «Омелянівський кар'єр»

На сьогодні на видобуток щебеневої сировини задіяно 6 автосамоскидів таких марок: типу БелАЗ 548 (3 шт.) з вантажопідйомністю 40 т та Foton Auman (3 шт.) з вантажопідйомністю 13 т [46].

На цих кар'єрних самоскидах БелАЗ 548 використовують як двигун внутрішнього згоряння двигуни, вироблені Ярославським та Уральським автозаводами з V-подібним розташуванням робочих циліндрів та газотурбінним нагнітачем [46].

Офіційні джерела, що регулюють витрату палива на маш.-год, вказують, що 1 машино-година враховує час технологічних операцій, час переміщення обладнання в межах кар'єру, час технологічних перерв у роботі (на початку зміни – для виконання підготовчих операцій та технічного обслуговування, під час зміни – для відпочинку та особистих потреб, в кінці зміни – для виконання заключних операцій) [46].

Визначаючи кількість палива для машини під час зміни, необхідно помножити витрату палива за машино-годину роботи на фактичну кількість годин роботи механізму.

У чинному законодавстві норми витрат пального та мастильних матеріалів для будівельної техніки зазначені у таких нормативних актах:

1) ДБН В.2.8-12-2000 «Типові норми затрат пального і змащувальних матеріалів для експлуатації техніки в будівництві» (затверджені наказом Держбуду України від 12.01.2000 р. № 9, введені в дію з 01.07.2000 р.);

2) Норми затрат палива й мастильних матеріалів на автотранспорті, затверджені наказом Міністерства транспорту України від 10.02.98 р. № 43.

Потреба в дизельному паливі для всіх працюючих самоскидів у кар'єрі розраховується за ДБН В.2.8-12-2000 за такою формулою [46]:

$$H_{in} = q_e N_e C 10^{-3}, \quad (2.1)$$

де H_{in} – індивідуальна норма затрати палива, кг/маш.·год.;

q_e – питома затрата палива за умови нормальної потужності двигуна, г/к.с.·год. (за даними інструкції з експлуатації);

N_e – номінальна потужність двигуна, к.с. (за даними інструкції з експлуатації);

C – інтегральний коефіцієнт, який враховує середні умови експлуатації машини протягом робочої зміни і визначається окремо за формулою, наведеною нижче;

10^{-3} – перевідний коефіцієнт грамів у кілограми.

Розрахунок інтегрального нормативного коефіцієнту:

$$C = K_{ДВ} \cdot K_{ДН} \cdot K_{ТН} \cdot K_{ТЗ}, \quad (2.2)$$

де $K_{ДВ}$ – коефіцієнт використання двигуна в часі;

$K_{ДН}$ – коефіцієнт використання двигуна за потужністю;

$K_{ТН}$ – коефіцієнт, що враховує зміни питомої затрати пального залежно від ступеня використання двигуна за потужністю;

$K_{ТЗ}$ – коефіцієнт, який враховує затрату пального на запуск і регулювання роботи двигуна, а також щомісячне технічне обслуговування машин на початку зміни, дорівнює 1,03.

Результати розрахунку інтегрального нормативного коефіцієнта за формулою (2.2) для самоскидів, які працюють на ТОВ «Омелянівський кар'єр», наведені в табл. 2.1.

За відсутності стандартів або технічних даних, необхідних для розрахунку в технічній документації виробника самоскида, проводяться контрольні вимірювання витрати палива.

Розрахунок тимчасових лінійних норм проводиться за 1 годину роботи самоскида (л/год), за одну технологічну операцію (л) або за пробіг самоскида [46] під час виконання спеціальних робіт (л/100 км).

Таблиця 2.1

Розрахунок інтегрального нормативного коефіцієнта автосамоскидів

Тип (марка) машини	Інтегральний коефіцієнт	$K_{ДВ}$	$K_{ДН}$	$K_{ТН}$	$K_{ТЗ}$
БелАЗ-548	0,531	0,86	0,4	1,5	1,03
Foton BJ 3251	0,425	0,86	0,4	1,2	1,03

Розрахунок потреби в дизельному паливі самоскидів ТОВ «Омелянівський кар'єр» наведений в табл. 2.2.

Таблиця 2.2

Розрахунок потреби в дизельному паливі самоскидів

Тип (модель) машини	Потужність двигуна N_e , к.с. (кВт)	Питома затрата пального q_e , г/к.с.·год	Інтегральний коефіцієнт	Норма затрати палива H_{in} , кг/маш.·год	Річні затрати палива*, т/рік
БелАЗ-548 (3 шт.)	450 (334)	228	0,531	50,85	423,0
Foton BJ 3251 (3 шт.)	336 (250)	202	0,425	28,85	240,0

Примітка: *річна кількість робочих днів 260 в 2 зміни по 8 год

Отже, потреба дизельного палива становить 663 тонни в рік [46].

Потреба в моторних оливах для всіх працюючих самоскидів розраховується за такою формулою:

$$H_{im} = q_{em} \cdot H_{in} \cdot 10^{-2} / \rho_{\delta}, \quad (2.3)$$

де H_{im} – річні затрати моторних мастил, л/рік;

q_{em} – питома затрата моторних мастил, л/100 л (за даними інструкції з експлуатації);

H_{in} – річні затрати дизельного палива, кг/рік;

ρ_{δ} – густина дизельного палива, 0,85 кг/л.

Потреба в моторних мастилах вказана в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахунок потреби в моторних мастилах самоскидів

Тип (модель) машини	Річні затрати палива, л/рік	Питома затрата мастил q_{em} , л/100 л	Річні затрати мастил H_{im} , л/рік	Річні затрати мастил H_{im}^* , т/рік
БелАЗ-548	497 647	4,3	21 399	19,26
Foton BJ 3251	282 353	3,2	9 035	8,13

Примітка: *при густині моторного мастила 0,9 кг/л

Отже, потреба моторних мастил становить 27,4 тонни в рік [46].

Нормативи затрат мастил знижуються на 50 % для всіх самоскидів, що експлуатуються до 3-х років. Нормативи підвищуються до 20 % для самоскидів, які експлуатуються більше 8-ми років [46].

Для умов ТОВ «Омелянівський кар'єр» потреби палива варіюються від пори року, які наведено на рис. 2.1.

Одним з напрямів удосконалення кар'єрних автосамоскидів є заміна двигунів внутрішнього згорання на більш економічні. Для цього було замінено двигуни ЯМЗ-240 Н на двигуни Cat 3406. Аналіз витрат дизельного палива протягом року показує, що в зимовий період спостерігається зростання палива на 10,6 % у автосамоскидів БелАЗ 548 з двигунами ЯМЗ-240 Н.

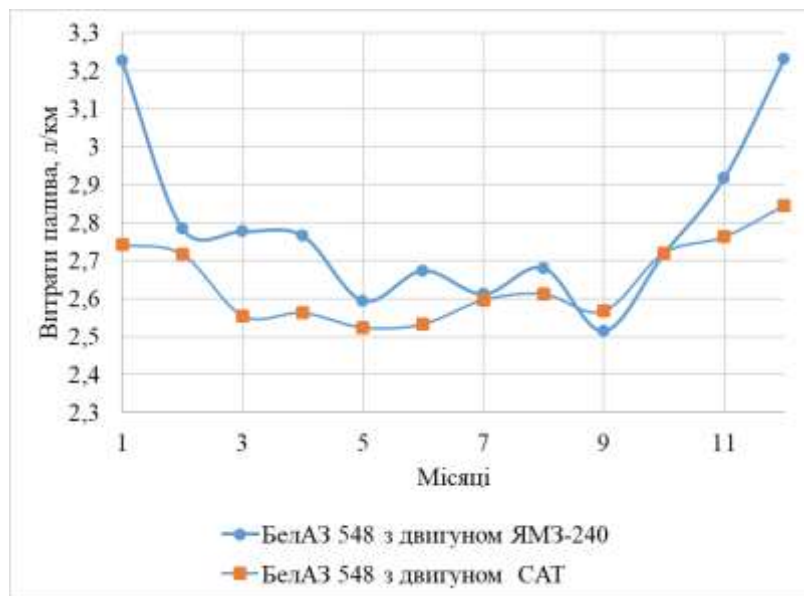


Рис. 2.1. Витрати палива на родовищі самоскидами залежно від пори року

Також у автосамоскидів БелАЗ 548 з двигунами Cat 3406 зимою спостерігається витрата палива на 6,7 %. В цілому під час заміни двигунів ЯМЗ-240 Н на Cat 3406 в БелАЗ 548 спостерігаються скорочення витрат палива на 5,4 %.

2.2. Дослідження витрати палива автосамоскидами в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Майже третина загального обсягу палива, яке було спожито та викидів парникових газів пов'язано з використанням важких дизельних автомобілів [46]. Тому моделювання споживання палива кар'єрним транспортом (та викидів парникових газів) має першорядне значення як для органів охорони навколишнього середовища. В результаті було опубліковано значну кількість публікацій з моделювання / аналізу споживання палива автомобілем. За останні роки дослідження моделювання енергії транспортних засобів були зосереджені переважно на легкових автомобілях. Наприклад, в публікації [35] здійснено аналіз оцінки життєвого циклу в китайській промисловості легких автомобілів. Автори вважають, що викиди парникових газів і споживання енергії можуть бути додатково зменшені за умови збільшення вмісту A_1 в автомобілі. Мураторі та ін. [36] використовували моделювання для оцінки споживання енергії для особистого транспорту. Хайям і Баб Хадіашар [37] пропонують інтелектуальну систему керування енергією з використанням контролерів нечіткої логіки для легких гібридних електромобілів.

Хао та ін. [38] оцінили вплив нової китайської політики на споживання енергії та викиди парникових газів легкових автомобілів. Однак є декілька останніх публікацій, які присвячені конкретному питанню з моделювання енергії кар'єрних автосамоскидів. У працях [39–46] наведено умови ведення на гірничих підприємствах. Уайт та ін. [47] проаналізували статистичні дані про споживання палива та змодельовали попит на енергію вантажівок в Ірландії. Чжао та ін. [48] стверджують, що покращення ефективності двигуна, аеродинамічного опору та опору коченню деяких типів вантажних автомобілів у Китаї може підвищити енергетичну ефективність вантажівок.

З іншого боку, кар'єрні транспортні роботи відрізняється від інших галузей промисловості. Цикл завантаження та транспортування гірничих матеріалів включає основні етапи навантаження, транспортування, розвантаження, маневрування та повернення до пунктів завантаження. Кар'єрні дороги мають

більш жорстку поверхню, ніж автомобільні дороги. Вантажопідйомність кар'єрних автосамоскидів може перевищувати 350 тонн, а кількість пилу [46], що утворюється, зазвичай вище. Крім того, операція характеризується коротшими циклами, ніж транспортування в інших галузях промисловості. Такі умови транспортування під час видобутку корисних копалин призводять до специфічних випадків із споживанням палива, що потребують спеціального дослідження. Кекоєвич і Комленович [49] вивчали вплив потужності та факторів навантаження двигуна на споживання палива. Шуу та ін. [50] запропонували загальну модель порівняння споживання енергії для самоскидів у кар'єрах. Дисуреат [51] використовував регресійні та штучні нейронні мережі для прогнозування споживання дизельного палива та електроенергії. Богунович та ін. [52] розробили інтегровану систему середовища даних для аналізу споживання енергії на кар'єрі. Однак вплив циклічності на витрату палива для вантажних автомобілів за цикл не вивчався у літературі. У нещодавньому дослідженні [53] встановлено зв'язок між споживанням палива для кар'єрних автомобілів та циклічною діяльністю, моделювання відбувалося в межах підходу нейронної мережі. Однак через природу нейронних мереж не було побудовано жодного функціонального зв'язку між незалежними змінними (наприклад, навантаженням, транспортуванням тощо) та витратою палива. Це дослідження спирається на попередню публікацію та вносить свій внесок у цю сферу, пропонуючи функціональний зв'язок між змінними. Також визначаються норми витрати палива для різних режимів роботи вантажівок. Крім того, у цьому дослідженні результати порівнюються з рекомендованою виробником вантажівок формулою. Дослідження застосовує часткову регресію найменших квадратів та авторегресивну інтегральну ковзну середню для прогнозування споживання палива на основі циклічної активності (наприклад, часу навантаження, часу перевезення вантажу тощо).

Оскільки вплив циклічної діяльності на споживання палива вантажними автомобілями під час наземних гірничодобувних робіт у літературі не розглядається тому пропонується методологія оцінки цих ефектів [46]. У цьому

підході кількість палива, спожитого за один повний цикл навантажувальних робіт, відноситься до компонентів циклу. Повний цикл складається з основних етапів завантаження, маневрування, транспортування, розвантаження та повернення. Кожен із компонентів циклу пов'язаний із певною часткою загального витраченого палива за один повний цикл навантаження. Тому функціональна залежність між компонентами циклу (як незалежні змінні) та кількістю споживаного палива за цикл (як залежна змінна) визначає частку кожного компонента у загальній витраті палива автомобіля. Хоча виробники вантажних автомобілів пропонують приблизні оцінки витрат палива для різних моделей та розмірів вантажівок, існують значні невизначеності щодо фактичних показників споживання палива, які обумовлені специфічними умовами різних майданчиків. Специфічні умови (якість доріг тощо) призводять до значних відхилень у фактичному споживанні палива щодо оцінок виробника. Недостатня / надмірна оцінка енергетичної потреби кар'єру призводить до значних труднощів у прийнятті рішень щодо бюджету кар'єру. Для того, щоб надати достовірні та конкретні оцінки споживання палива для вантажівок, у цьому дослідженні оброблені статистичні дані з Омелянівського щебеневого кар'єру. У цьому підході в першу чергу враховуються варіації споживання палива, які обумовлені конкретними умовами видобутку. Ця мета досягається використанням достатньо великої бази статистичних даних про споживання палива.

Для обробки даних був використаний метод часткової регресії найменших квадратів [46], який в основному використовується для моделювання лінійної регресії між кількома залежними змінними та (множинними) незалежними змінними. Перевагою цього методу перед звичайною лінійною множинною регресією є те, що він поєднує основні функції моделей регресування, аналіз основних компонентів та аналіз канонічної кореляції [54]. У контексті лінійних регресій рішення найменших квадратів для рівняння (2.4) задається рівнянням (2.5).

$$Y = XB + \varepsilon \quad (2.4)$$

$$B = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (2.5)$$

Часто проблема полягає в тому, що $X^T X$ є єдиним через те, що кількість змінних (стовпців) у X перевищує кількість об'єктів (рядків). Метод часткової регресії найменших квадратів [46] обходить це шляхом розкладання X на ортогональні оцінки (T) та навантаження (R) (рівняння (2.6)) [55]:

$$X = TR \quad (2.6)$$

Крім того, метод часткової регресії найменших квадратів регресує Y не на X , на першому стовпці балів. Метою цього методу є включення інформації щодо X та Y у визначення балів та навантажень [46]. Оцінки та навантаження вибираються таким чином, щоб максимально описати коваріантність між X та Y .

Дані про споживання палива були проаналізовані та змодельовані за допомогою методики інтегрованої моделі авторегресії в контексті аналізу часових рядів [46]. Підготовка / попередня обробка даних є одним із перших і найважливіших кроків аналізу часових рядів. Основні статистичні дані щодо споживання палива зведені в табл. 2.4. Розроблені [56], моделі за допомогою інтегрованої моделі авторегресії забезпечують статистично надійний підхід до прогнозування часових рядів. Моделі спрямовані на опис автокореляцій у даних [57]. У моделі за допомогою інтегрованої моделі авторегресії майбутнє значення змінної має бути лінійною комбінацією минулих значень і помилок, виражених у вигляді рівняння (2.7):

$$y_t = \vartheta_0 + \varphi_1 y_{t-1} + \varphi_2 y_{t-2} + \dots + \varphi_p y_{t-p} + \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} - \vartheta_2 \varepsilon_{t-2} - \dots - \vartheta_q \varepsilon_{t-q} \quad (2.7)$$

де y_t – це фактичне значення, ε_t – це випадкова помилка в момент часу t , φ_i та ϑ_i – коефіцієнти, а p і q – цілі числа, які часто називають поліномами авторегресії та поліномами ковзного середнього, відповідно [46].

Наприклад, інтегровані моделі авторегресії (1,0,1) можна представити у вигляді рівняння (2.8):

$$y_t = \vartheta_0 + \varphi_1 y_{t-1} + \varepsilon_t - \vartheta_1 \varepsilon_{t-1} \quad (2.8)$$

Дані були отримані для більш ніж 1000 циклів перевезення щебеневої сировини на ТОВ «Омелянівський кар'єр». Дослідними вантажівками були вантажівки з жорсткою рамою БелАз 540, які були обладнані бортовими системами реєстрації даних і завантажувалися екскаватором ЕКГ-5А (ківш 5 м³). База даних включала масу гірської породи [46], яка транспортується, умови транспортування та витрату палива за цикл.

В табл. 2.4 наведено узагальнену статистику всіх змінних за допомогою критерію Груббса. Незалежними змінними було корисне навантаження, час завантаження [46], час затримки простою, час завантаження, час порожнього руху та порожній час простою.

Залежною (вихідною) змінною був об'єм палива, який спожитий за цикл. Метод часткової регресії найменших квадратів був використаний для моделювання та прогнозування споживання палива на основі даних системи керування інформацією, яка наведена у табл. 2.5.

Результат прогнозування витрати палива за 100 циклів ілюструється на рис. 2.2.

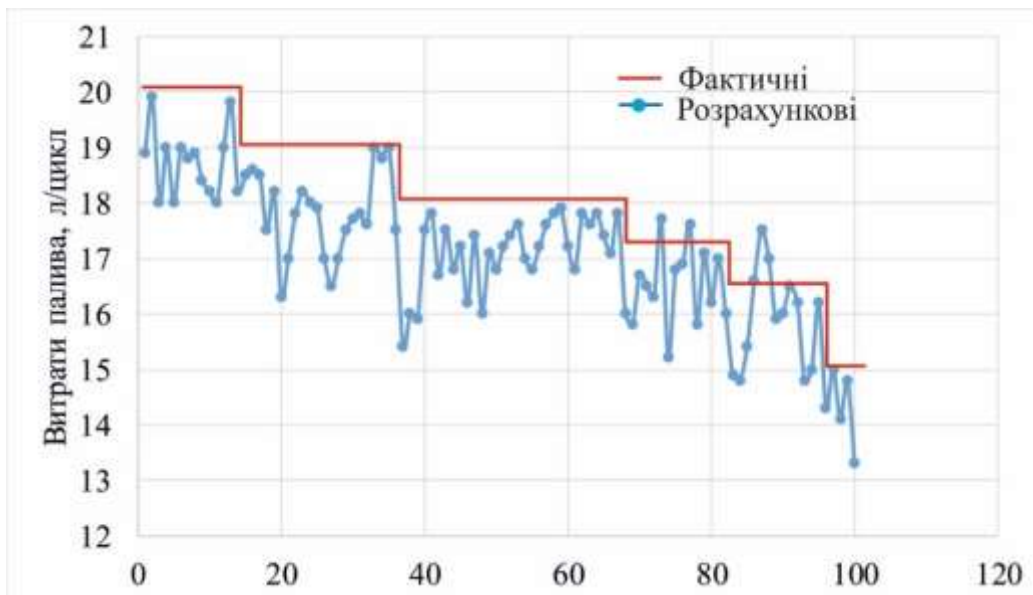


Рис. 2.2. Фактичні та прогнозовані витрати палива за 100 циклів

Сто циклів (10 %) з наявних 1000 циклів були випадково вибрані і використані для тестування моделі. Для того, щоб вивчити модель, ці цикли не були використані на етапі побудови моделі.

Середньоквадратична помилка та середня абсолютна помилка у відсотках для набору даних тестування становили 1,17 та 6,01 % відповідно [46]. Прогнозування ґрунтується на лінійній комбінації минулих спостережень, яка потребує стаціонарного ряду без будь-якої конкретної тенденції в даних.

З іншого боку, інтегрована модель авторегресії – модель і методологія аналізу тимчасових рядів [58]. Тому прогнозування ґрунтується на лінійній комбінації спостережень, яка потребує стаціонарного ряду без будь-якої конкретної тенденції в даних. Широко використовуваним методом передачі даних у стаціонарний ряд є застосування диференціації. У більшості випадків достатньо одного або двох порядків диференціації для підготовки даних для методу [46]. Параметр d - це порядок диференціації в комбінованій моделі (тобто інтегрована модель авторегресії (p, d, q)). Застосування інтегрованої моделі авторегресії до сезонних даних потребує подальшого розмежування в сезонній частині.

Таблиця 2.4

Статистика змінних, які пов'язані із споживанням палива на кар'єрних самоскидах

Показник	Мінімум	Максимум	Середні
Незалежний			
Корисне навантаження, т.	24	52	42
Час завантаження, с	52	320	75
Час простою (завантажений), с	30	350	52
Час у дорозі (завантажений), с	32	856	280
Час у дорозі (порожній), с	28	769	260
Час простою (порожній), с	0	6000	329
Залежний			
Витрата палива, л/цикл	13,2	56,3	17,1

У цьому випадку модель називається сезонною і представлена (p, d, q) $(P, D, Q) S$ з порядком сезонного диференціювання D і циклом S , P і Q є авторегресивні та ковзні середні складові сезонної частини даних [46]. У цьому випадку було вибрано $D = 1$ для врахування сезонності моделі. Найкращі параметри p, q, P та Q моделі були отримані на основі обох виправлених інформаційний критерій [59] та критерій Шварца Байєса [60].

Статистика споживання палива

Статистика	Витрата палива (л/цикл)
Кількість спостережень	998
Мінімум	13,2
Максимум	36,3
1-й кuartиль	13,3
Медіана	15,1
3-й кuartиль	18,4
Середнє значення	14,1

Низькі значення середньої абсолютної похибки за період прогнозування на 100 циклів показують хороші показники інтегрованої моделі авторегресії під час прогнозування споживання палива (табл. 2.5).

Параметри моделі разом із верхнім та нижнім 95 % інтервалами впевненості для прогнозів узагальнено у табл. 2.5. Прогноз споживання палива за 100 циклів імітує поведінку кривої з відносно вузькими межами 95 %, як показано на рис. 2.3.

Діагностика моделі – це остання частина моделювання за допомогою інтегрованої моделі авторегресії, яку можна виконати шляхом огляду залишків. Залишки моделі досліджувалися за допомогою тесту Лjungа та Бокса на предмет задоволення стану ряду білого шуму. Ряд білого шуму – це послідовність статистично незалежних та однаково розподілених випадкових величин.

Аналіз експериментальних даних про витрати палива показав, що час порожнього простою вантажівки є основним фактором непотрібних витрат

палива. Оскільки черги вантажівок біля мехлопат є ключовим причиною порожнього простою, варто докласти зусиль, щоб зменшити черги. Основні причини збільшення простою порожнього простою є: відсутність рівної поверхні уступу, нерівномірно розкладений негабарит, незручне розташування відвалів, а також відсутність диспетчеризації [46]. Окрім технічних параметрів, навички водія вантажівки та екскаватора і стиль водіння мають прямий вплив на споживання палива.

Змінні, що демонструють найбільшу позитивну кореляцію з витратою палива – це час порожнього руху, час навантаження та час порожнього простою. Час навантаження та порожнього руху залежить від відстаней перевезення та максимально допустимих швидкостей. Стан дорожнього покриття транспорту, ухили та повороти визначають максимальну швидкість. Таким чином, кращі дорожні умови мають значний вплив на споживання палива, скорочуючи час навантаження та час порожнього руху. Третя змінна, яка позитивно корелює з витратою палива – це порожній час простою [46]. Експлуатаційні вантажівки або простоюють у чергах з мехлопатами та дробарками, або перевозять гірську породу.

Модель регресії представлена у рівнянні (2.9). Коефіцієнти змінних часу у рівнянні (2.9) дорівнюють нормі витрати палива в різних режимах роботи в літрах / цикл. Відповідні норми споживання представлені в літрах за секунду / 1000 циклів роботи у табл. 2.5. В вказано у тоннах, а всі інші незалежні змінні рівняння (2.9) у секундах.

$$\begin{aligned}
 \Pi = & 1,37071 + 0,00483B + 0,00399t_{\text{зав}} + 0,0048t_{\text{пор.пр}} + \\
 & 0,01472t_{\text{пор.рух}} + 0,00378t_{\text{зав.пр}} + 0,0420t_{\text{зав.рух}}, \text{ л/цикл} \quad (2.9)
 \end{aligned}$$

де Π – витрата палива (літри за цикл); B – корисний вантаж (тони); $t_{\text{зав}}$ – час завантаження (с); $t_{\text{пор.пр}}$ – час простою порожньої машини (с); $t_{\text{пор.рух}}$ – час руху

порожнього самоскида (с); $t_{\text{зав.пр}}$ – час простою завантаженого автосамоскида (с); $t_{\text{зав.рух}}$ – час руху завантаженого автосамоскида (с).

Виробники вантажівок надають оцінки споживання палива на годину для різних потужностей двигунів і коефіцієнтів навантаження (K_H). K_H – це частина максимальної доступної потужності вантажівки, яка потрібна для виконання певної операції [46]. Наприклад, K_H для перевезення вантажів еквівалентна потужності, яка необхідна для перевезення певної кількості вантажу на певну відстань з врахуванням умов експлуатації, таких як: стан дорожнього покриття, швидкість, навички та стиль водіння оператора, погодні умови, ухили дороги тощо. Залежно від умов експлуатації K_H може коливатися від 0,2 до 0,5. Виробники обладнання використовують K_H для приблизної оцінки витрати палива в різних режимах роботи. У цьому дослідженні були використані дані фактичного споживання палива парком вантажних автомобілів в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр». Однією з переваг моделі, запропонованої в цій роботі, є те, що оцінки є більш точними та специфічними для конкретного місця, ніж ті, що пропонуються виробниками, які базуються на одній незалежній змінній K_H для різних потужностей / типів двигунів. Зрозуміло, мета формули виробників – дати дуже приблизну оцінку витрати палива.

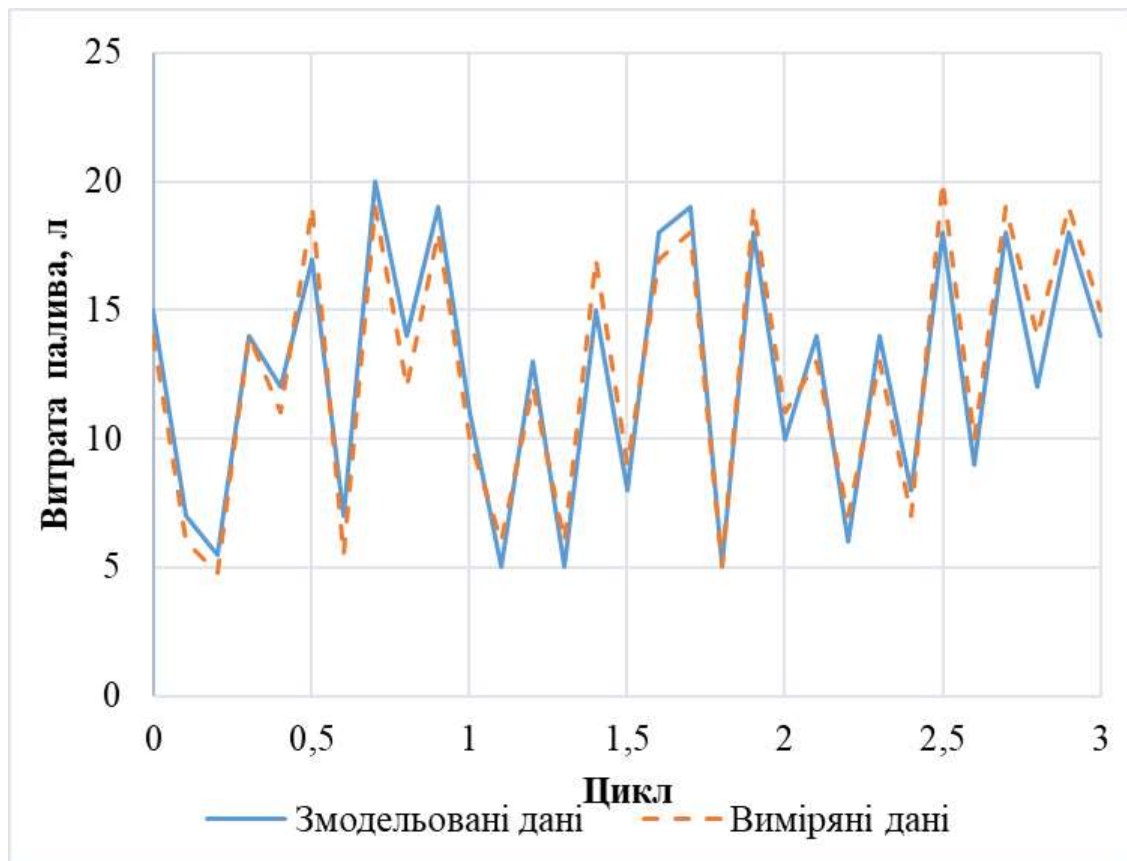


Рис. 2.3. Витрати палива за один цикл під час руху автосамоскида

Таким чином була отримана модель, яка має тісну кореляцію з вимірними даними. Усі інші змінні мають ті ж значення та одиниці, що й у рівнянні (6). Хоча можливі перешкоди в мережі доріг / ухили та сезонні умови не були безпосередньо розглянуті у рівнянні (6) їх вплив сильно корелює з часом циклу. Оскільки база даних містить оперативні дані про перевезення протягом одного року, наслідки зміни відстані, сезонні коливання та зміна мережі (протягом одного року) вже включені до бази даних [46]. Ці дані є репрезентативними для одного року роботи конкретного дослідження. У загальному підсумку, хоча методи були використані на конкретному прикладі, вони застосовні до інших операцій у ТОВ «Омелянівський кар'єр».

2.3. Структура витрат палива для самоскидів в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Затрата палива у самоскида залежить від ваги самого самоскида та його відношення до корисного навантаження, а також від стадії транспортного циклу та відстані транспортування корисної копалини. Дослідження встановило структуру споживання палива самоскидами БелАЗ для транспортного циклу.

Залежно від відстані транспортування гірської маси для умов ТОВ «Омелянівський кар'єр» отримані дані про затрати палива для самоскидів БелАЗ, що зведені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Затрати палива залежно від відстані транспортування і глибини родовища

Затрата палива Q_m , %	$h = 12$ м, $L = 1$ км	$h = 24$ м, $L = 3,6$ км
	100 %	100 %
Q_o	11	4
Q_n	33	32
Q_z	56	64

Дані в таблиці показують, що зі збільшенням транспортної відстані структура споживання палива різко змінюється щодо споживання палива під час очікування, завантаження та розвантаження Q_o , що призводить до його відносного зменшення майже утричі [46]. Частка палива, затраченого під час руху самоскида з гірською масою, становить 56–64 % від загальної вартості рейсу, і в цей час потужність двигуна фактично використовується в повному обсязі. Економія палива на цьому етапі транспортної схеми можливо завдяки обліку та використанню технологічних факторів, а саме завдяки вибору та формуванню оптимального в усіх відношеннях маршруту перевезення.

У свою чергу, решта загального споживання пального за умови порожнього руху, завантажуються, розвантажуються і не перевищує 32–33 %, тоді

як потужність двигуна використовується лише на 30 %. Завдяки цьому існує значна економія палива під час експлуатації кар'єрних самоскидів [46].

Отже, теоретично затрата палива – це сума двох величин, перша з яких визначає затрату палива під час руху самоскида з гірською масою, а друга – палива, спожитого під час руху порожнім, а також завантаження та розвантаження самоскида. Але практично в цьому співвідношенні слід враховувати також паливо, яке непродуктивно витрачається в результаті відхилення самоскида від заданого маршруту внаслідок непередбачених затримок з виїздом на маршрут і передчасного повернення в гараж, а також несанкціонованого зливу палива та його неповне заправлення.

Дані за фактичною затратою дизельного палива на ТОВ «Омелянівський кар'єр», зведені в табл. 2.7, показують, що обладнання самоскидів системою нормування затратою палива і включення її в інформаційну систему управління автомобільним транспортом, дозволило скоротити затрати палива за рахунок контролю за невиробничими операціями майже на 9,3 %.

Таблиця 2.7

Динаміка затрат дизельного палива на ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Показники	2018 рік	2019 рік	Зміна показників, %
Відстань транспортування, км	3,6	3,6	–
Затрата дизельного палива, т	920	980	9,3

2.4. Оцінка впливу повздовжнього ухилу автошляхів на рознесення бортів кар'єру

Конструкція та параметри неробочих бортів кар'єрів мають задовольняти вимоги стійкості та розташування на них транспортних й запобіжних берм.

Розмістити транспортні комунікації без додаткового рознесення бортів кар'єру можна лише в малостійких породах, що становлять кар'єрний масив, коли кути стійкого укусу не перевищують 30° [68].

Під час розробки родовищ, які представлені міцними скельними породами, кути погашення бортів за технологічними умовами, як правило, менше кутів допустимих за фактором стійкості. Так на щебневих кар'єрах кути погашення бортів за технологічними умовами становлять $32\text{--}40^\circ$, а за фактором стійкості $38\text{--}45^\circ$ [69].

Кут укусу неробочого борту кар'єра на момент погашення знаходиться з виразу:

$$\tan \gamma = \frac{H}{\sum_{i=1}^{p-1} b_{zi} + \sum_{\eta=1}^m B_{\text{тр}\eta} + h_i \cos \alpha_i}, \quad (2.10)$$

де b_{zi} – ширина запобіжної берми безпеки на i -му горизонті, м;

$B_{\text{тр}\eta}$ – ширина внутрішньої капітальної траншеї на η -й ділянці траси, м;

η – порядковий номер ділянки петлевої траси без зміни напрямку руху або витку спіральної траси;

α_i – кут заукоски i -го уступу на граничному контурі кар'єру, град.

m – кількість ділянок петлевої траси;

p – число уступів, які розкриті на неробочому борті кар'єру;

h_i – висота i -го уступу, м.

При відомих величинах H , h_i , α_i , b_{zi} , $B_{\text{тр}\eta}$ завдання визначення кута погашення борту зводиться до знаходження величини m .

Для спіральної форми траси число витків спіралі визначається через середній радіус кривизни контуру кар'єру [70].

$$R_{\text{ср}} = \frac{P_{\text{дн}} + P_{\text{пов}}}{4\pi}, \quad (2.11)$$

де $P_{\text{дн}}$, $P_{\text{пов}}$ – периметр кар'єру, відповідно, по дну та по поверхні, м.

Периметр кар'єру по дну зазвичай визначається як периметр еліпса

$$P_{\text{дн}} = \frac{\pi(A+B)}{2}, \quad (2.12)$$

де A , B – відповідно довжина та ширина дна кар'єру, м.

Величини $P_{\text{дн}}$, $P_{\text{пов}}$ пов'язані між собою кутом погашення борту кар'єру

$$P_{\text{пов}} = P_{\text{дн}} + 2\pi H \text{ctg } \gamma. \quad (2.13)$$

Відстань між витками спіралі по вертикалі

$$S_{\text{сп}} = 2\pi i R_{\text{сп}}, \quad (2.14)$$

де i – кривинний ухил спіральної траси, проміле. Число витків спіралі на глибині кар'єру H дорівнює

$$m = \frac{H}{S_{\text{сп}}} = \frac{2H}{\pi i((A+B)+2H \text{ctg } \gamma)}. \quad (2.15)$$

За умови припущення, що h_i , α_i , b_{zi} , $B_{\text{тр}i}$ величини постійні по всій глибині кар'єру та з урахуванням (4.11) отримаємо:

$$\tan \gamma = \frac{3H}{(H-h) + \frac{6HB_{\text{тр}}}{\pi i((A+B)+2H \text{ctg } \gamma)} + 3H \text{ctg } \alpha}. \quad (2.16)$$

Перетворимо цей вираз у вигляді:

$$A \text{tg}^2 \gamma + B \text{tg } \gamma + C = 0, \quad (2.17)$$

де $A = 0,5\pi(H-h)(A+B)i + 1,5\pi H(A+B)i \text{ctg } \alpha + 3HB_{\text{тр}}$,

$$B = \pi H i ((H - h) + 3H \operatorname{ctg} \alpha - 1,5(A + B)),$$

$$C = -3\pi H^2 i.$$

Шляхом розв'язання квадратного рівняння (2.17) визначаються технологічно досяжні значення кута погашення борту кар'єру.

З підвищенням повздовжнього ухилу автомобільного з'їзду знижується кількість витків спіральної траси, що призводить до збільшення кута борту кар'єру і, як наслідок, зниження обсягів розкривних робіт.

Скорочення обсягів додаткового рознесення бортів кар'єру на спіральній формі траси визначається виразом:

$$\Delta V = \frac{1}{3} H ((S_{\text{пов}} - S'_{\text{дн}} + \sqrt{S_{\text{дн}} (S_{\text{пов}} - S'_{\text{пов}})}), \quad (2.18)$$

де $S_{\text{пов}}$, $S_{\text{дн}}$ – площа кар'єру по поверхні та по дну за умови першопочаткового значення повздовжнього ухилу спірального з'їзду, м; $S'_{\text{пов}}$ – площа кар'єру по поверхні при підвищеному повздовжньому ухилі, м.

Для еліптичної форми дна кар'єру

$$S_{\text{дн}} = \frac{\pi AB}{4}, \quad (2.19)$$

$$S_{\text{пов}} = \frac{\pi A_{\text{пов}} B_{\text{пов}}}{4}, \quad (2.20)$$

де $A_{\text{пов}}$, $B_{\text{пов}}$ – відповідно довжина та ширина кар'єру по поверхні, м.

$$A_{\text{пов}} = A + 2 \operatorname{ctg} \gamma, \quad (2.22)$$

$$B_{\text{пов}} = B + 2 \operatorname{ctg} \gamma. \quad (2.23)$$

Згідно «Єдиних правил безпеки при розробці родовищ корисних копалин відкритим способом» ширина запобіжних берм передбачається рівною 1/3 висоти уступу.

Кут укосу неробочого борту кар'єру зі збільшенням глибини не залишається постійним, що обумовлено зміною параметрів транспортної схеми (ухил, кількість горизонтів, розкритих в одному напрямку) та гірничо-геологічних властивостей масиву.

У разі застосування петлевого з'їзду кут укосу неробочого борту на момент погашення визначається кількістю та протяжністю ділянок із постійним напрямком траси. Вихідними параметрами визначення числа зміни напрямку петлевої траси є: керівний ухил з'їзду, висота уступу, протяжність неробочого борту, зайнята з'їздом, глибина кар'єру, кут укосу торцевих частин. Під час розрахунків визначається кількість уступів розкритих в одному напрямку, кількість змін напрямку петлевої траси, кут укосу неробочого борту.

Для встановлення кількості змін напрямку петлевої траси кар'єр по глибині зверху вниз розбивається на зони з висотою, що дорівнює глибині розташування капітального з'їзду до зміни напрямку протилежного.

Кількість уступів, розкритих траншеєю в одному напрямку, для i -ї зони дорівнює:

$$n_i = \frac{L_k - \sum_{i=1}^{n'-1} L_i - 2ctg \gamma \sum_{i=1}^{n'-1} q_i h_i}{h_i (ctg \gamma + \frac{1}{\vartheta_i})}, \quad (2.24)$$

де L_k – протяжність неробочого борту кар'єру, що зайнятий автомобільним з'їздом, м;

i – порядковий номер зони;

L_i – довжина горизонтальних ділянок траси, м;

n' – кількість ділянок внутрішньої траншеї з різним напрямом траси;

γ – кут укосу неробочого борту на момент погашення кар'єру, град;

q_i – кількість уступів, які розкриваються внутрішньою траншеєю в одному напрямку;

h_i, ϑ_i – висота уступу і ухил траси в i -й зоні, ‰.

Відповідно до Єдиних правил безпеки, під час затяжних ухилів (більше 60 %) доріг мають влаштуватися горизонтальні майданчики довжиною не менше 50 м і не більше ніж через кожні 600 м довжини затяжного ухилу. З огляду на це отримаємо

$$n_i = \frac{L_k - \sum_{i=1}^{n'-1} \frac{n_i h_i}{12} - 2 \operatorname{ctg} \gamma \sum_{i=1}^{n'-1} q_i h_i}{h_i (\operatorname{ctg} \gamma + \frac{1}{\vartheta_i})}, \quad (2.25)$$

Отримана кількість уступів округляється до цілого числа в меншу сторону, тому що петлева траса має розташовуватися у межах довжини неробочого борту. Число змін напрямку петлевої траси дорівнює числу зон.

Зниження обсягу неробочого борту кар'єру [71] зі збільшенням повздовжнього ухилу петлевого з'їзду становитиме

$$\Delta V = \frac{1}{2} H^2 (\operatorname{ctg} \gamma_1 - \operatorname{ctg} \gamma_2) L_k, \quad (2.26)$$

де γ_1, γ_2 - кути укосу неробочого борту за умови першопочаткового і підвищеного значення повздовжнього ухилу з'їзду, град.

Внаслідок скорочення параметрів кар'єру з глибиною у розрахунках необхідно враховувати об'єм торцевих частин

$$\Delta V_T = \frac{2}{3} H^3 \operatorname{ctg} \gamma_T (\operatorname{ctg} \gamma_1 - \operatorname{ctg} \gamma_2). \quad (2.27)$$

Тоді зниження обсягів рознесення неробочого борту кар'єру дорівнює

$$\Delta V_D = \Delta V - \Delta V_T = \frac{(3L_k - 2H \operatorname{ctg} \gamma_T) (\operatorname{ctg} \gamma_1 - \operatorname{ctg} \gamma_2) H^2}{6}. \quad (2.28)$$

Ширина транспортних берм відповідає середньому значенню для умов двосмугового зустрічного руху та скельних порід на підшві уступу. Висота

уступів прийнята відповідно до параметрів вантажного обладнання. Допустимий кут заукошування уступів на граничному контурі взятий рівним 60° .

На підставі отриманих даних встановлено, що під час застосування автосамоскидів БелАЗ-548 у кар'єрі глибиною 100 м за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 60 до 90 ‰, кут погашення борту ТОВ «Омелянівський кар'єр» підвищується з 43° до 46° (рис. 2.4), при цьому спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на 356774 м^3 .

Для Жеревського родовища (рис. 2.5) за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 60 до 90 ‰ кут погашення борту кар'єру підвищується з 45° до 49° , при цьому спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на $292042,7 \text{ м}^3$.

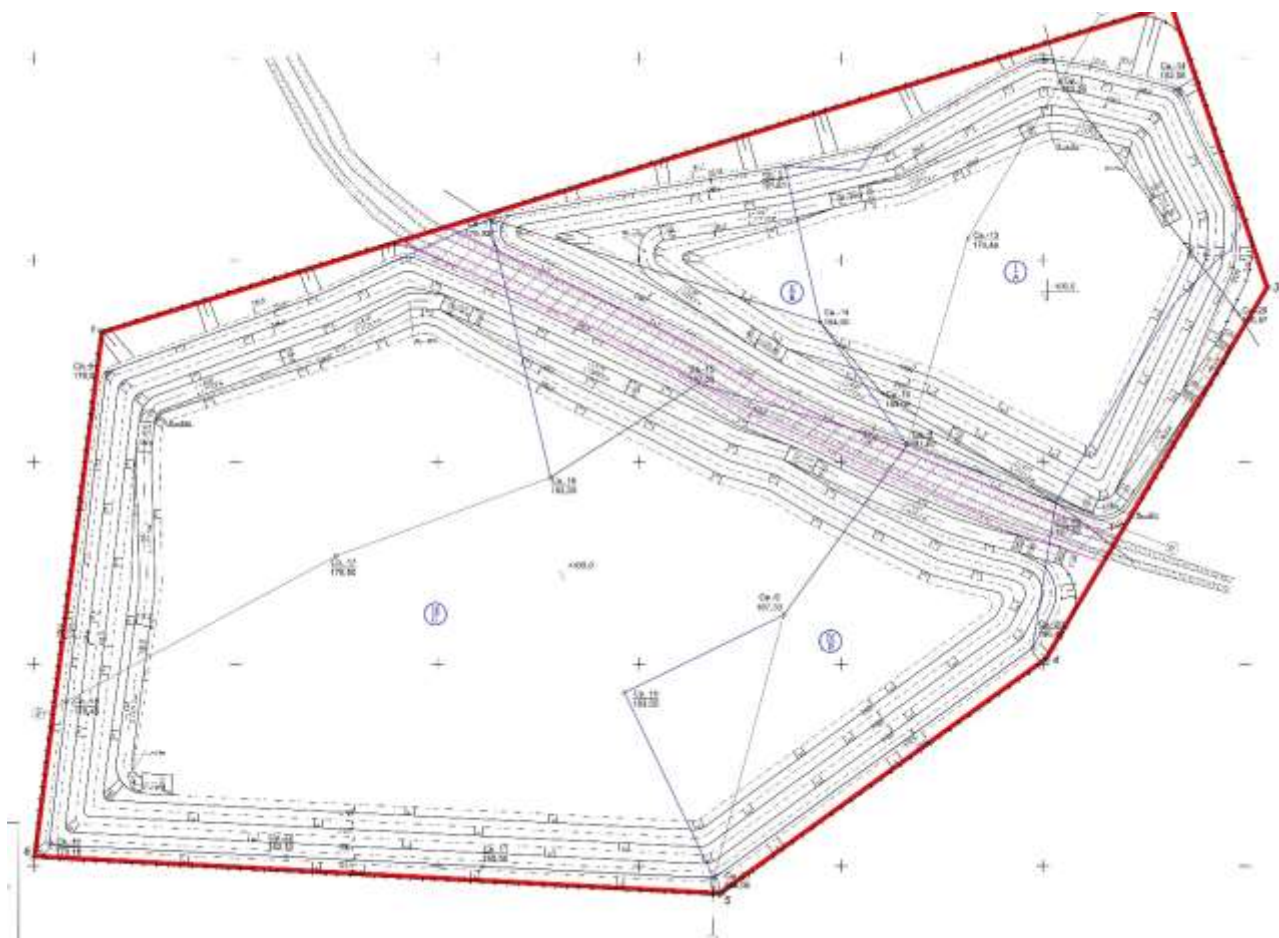


Рис. 2.4. Положення кар'єру на кінець відпрацювання Жеревського родовища граніт-порфірів

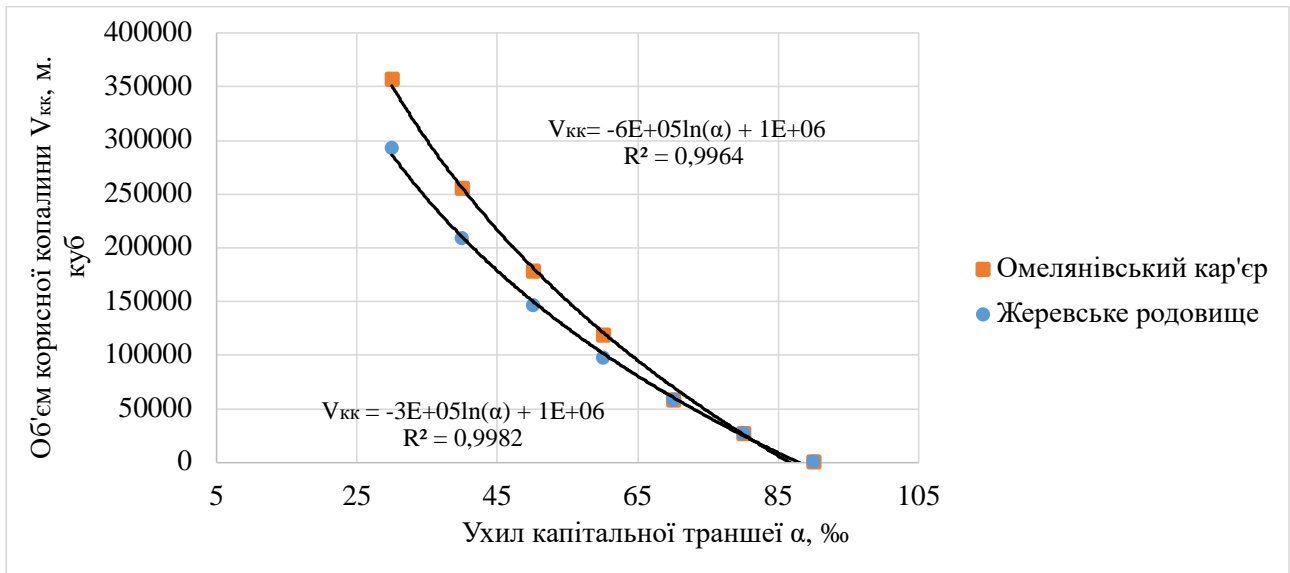


Рис. 2.5. Залежність втрат корисної копалини в межах кар'єру від ухилу капітальної траншеї

Разом зі зменшенням повздовжнього ухилу капітальної траншеї збільшується час проведення капітальних робіт (рис. 2.6).

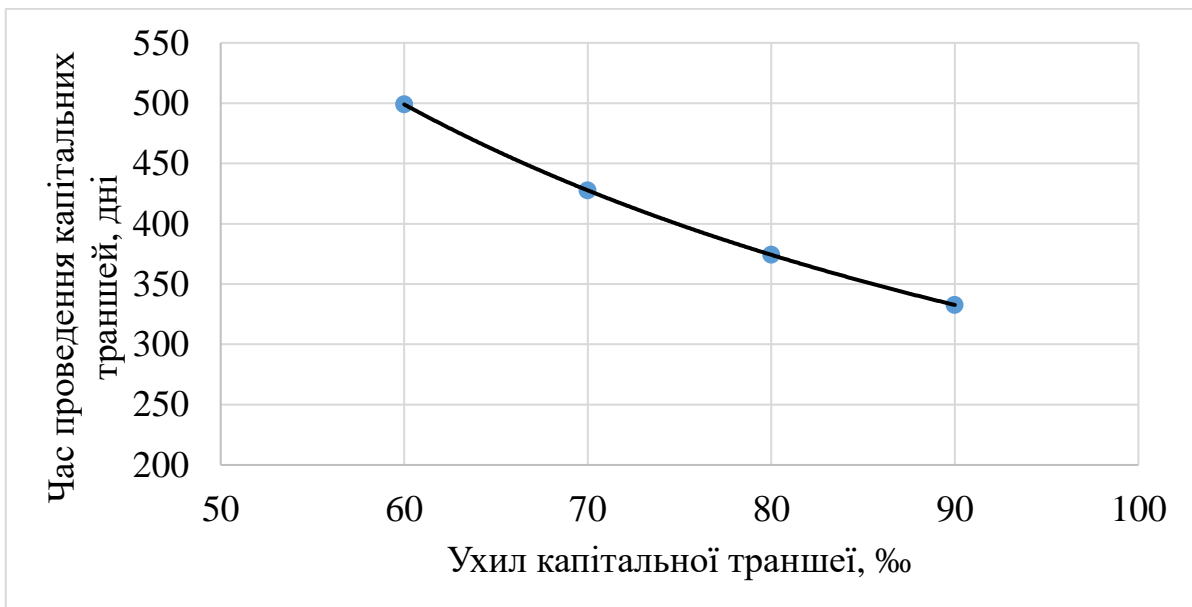


Рис. 2.6. Залежність часу проведення капітальної траншеї на ТОВ «Омелянівський кар'єр» від її ухилу

Розміри кар'єрного поля мають значення. Так при наявності невеликих розмірів спостерігається утворення декількох витків, що збільшує втрати корисної копалини. На більшості кар'єрів, які мають глибину біля 100 м, капітальні траншеї мають не більше одного витка, незалежно від ухилу капітальної траншеї.

Висновки до розділу 2

1. Аналіз витрат дизельного палива протягом року показує, що в зимовий період автосамоскиди БелАЗ 548 з двигунами ЯМЗ-240 Н більше витрачають паливо на 10,6 %. Також автосамоскиди БелАЗ 548 з двигунами Cat 3406 зимою більше витрачають паливо на 6,7 %. В цілому при заміні двигунів ЯМЗ-240 Н на Cat 3406 в БелАЗ 548 спостерігаються скорочення витрат палива на 5,4 %.

2. Із збільшенням транспортної відстані структура споживання палива різко змінюється щодо споживання палива під час очікування, завантаження та розвантаження Q_o , що призводить до його відносного зменшення майже утричі. Частка палива, затраченого під час руху самоскида з гірською масою, становить 56–64 % від загальної вартості рейсу, і в цей час потужність двигуна фактично використовується в повному обсязі.

3. Розроблена інтегрована модель авторегресії, яка дала практичне уявлення про основні причини споживання палива. Був побудований функціональний зв'язок між циклом роботи та кількістю спожитого палива за цикл. Прості автосамоскида найбільше вплинули на зміну споживання палива за цикл.

4. Встановлено, що під час застосування автосамоскидів БелАЗ-548 у кар'єрі глибиною 100 м за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 60 до 110 ‰ кут погашення борту ТОВ «Омелянівський кар'єр» Березівського родовища граніту підвищується з 43°06' до 46°27', при цьому спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на 356774 м³.

Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЗАТРАТ НА ТЕХОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТ КАР'ЄРНИХ САМОСКИДІВ

3.1. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Кар'єрний транспорт має низку особливостей, які відрізняють його від громадського транспорту [61–66]:

1. Пункти завантаження та розвантаження постійно змінюють своє положення, слідуючи за фронтом гірничодобувної промисловості, що вимагає періодичного переміщення транспортних комунікацій та обладнання (залізниці, дороги, конвеєри).

2. Цикл кар'єрних транспортних засобів періодичних дій (залізничних, автомобільних тощо) складається з завантаження, переміщення з вантажем, вивантаження та повернення порожніх авто.

3. Транспортування з кар'єру відбувається, як правило, на великому схилі при розробці як глибинних, так і високогірних родовищ.

4. Для продуктивного використання гірничо-транспортної техніки (екскаваторів та рухомого складу) необхідно узгодити їх параметри. Основними вимогами до кар'єрного транспорту є: забезпечення заданого вантажообігу; безперебійна робота (точне дотримання графіка – для циклічних засобів та безперервності потоку – для транспортних засобів безперервної дії); можливо, менш трудомістка робота (через використання механізації та автоматизації основних та допоміжних процесів під час транспортування); безпека руху та управління роботою. Одним з основних положень при виборі схем транспортування є відокремлення вантажного руху від розкривних і мінеральних ресурсів, що доцільно, наприклад, в умовах великої та середньої виробничої потужності кар'єрів (якщо дозволяють геологічні умови), оскільки це забезпечує ритмічність та безперебійну роботу всього підприємства. Вибір виду та засобу кар'єрного

транспорту визначається низкою факторів і насамперед характеристиками вантажу, що перевозиться, дальністю перевезень, масштабами робіт та темпами їх розвитку. Потужність транспортних засобів залежить від масштабів робіт (вантажобігу), а темп видобутку корисних копалин визначає вимоги до експлуатаційної надійності кар'єрних транспортних засобів.

Розробка параметрів автосамоскидів та екскаваторної техніки безпосередньо взаємозв'язане. Як правило, вибір оптимального співвідношення ємності ківша екскаватора та вантажопідйомності автосамоскида складає виконання умов завантаження кузовів у 5–12 циклів екскавацій [66].

Очевидно, що зменшення кількості циклів завантажує екскаватор автосамоскидів, дозволяє підвищити продуктивність усього екскаваційно-транспортного комплексу. Це здійснюється за рахунок збільшення потужності екскаватора при незмінній вантажопідйомності автосамоскида.

Продуктивність екскаватора та транспортної машини визначається кількістю (місткість, маса) вантажу, що переміщується за одиницю часу (секунда, час, зміна, рік). Розрізняють технічну та експлуатаційну продуктивність. Технічна продуктивність Q визначає технічні параметри машин та властивості транспортування вантажу. Експлуатаційне виробництво Q_e залежить не лише від технічних параметрів машин та вантажу, а й від фактичних умов експлуатації [66].

Технічна та експлуатаційна продуктивність, пов'язана між собою співвідношенням

$$\frac{Q_e}{Q} = K_e \quad (3.1)$$

де K_e – загальний експлуатаційний коефіцієнт використання машин, що представляє собою добуток коефіцієнтів нерівномірності завантажень машини K_H , використання у часі K_B та готовності машини K_T . За умови безперервної роботи з нормальним завантаженням $K_e = 1$, при неповному завантаженні та простоях $K_e < 1$.

За значенням технічної продуктивності розраховують головні конструктивні параметри машин, що забезпечують цю продуктивність [66].

Виробництво автомобільного транспорту визначається як сумарна продуктивність усіх одиниць транспорту (автосамоскидів).

$$Q = \sum Q_a \quad (3.2)$$

Індивідуальна продуктивність окремих одиниць (самоскидів) в одиниці часу визначається як:

$$Q_a = r q_i, \quad (3.3)$$

де $r = \frac{1}{T_p}$ - кількість рейсів в одиниці часу;

q_i – маса вантажу (в кузові автосамоскиду);

T_p – час рейсу.

Час рейсу автосамоскида складається з часу завантаження t_z та розвантаження t_p , а також часу руху в вантажному $t_{p,v}$ та порожньому напрямі $t_{p,p}$:

$$T_p = t_z + t_{p,v} + t_{p,p} + t_p \quad (3.4)$$

Якщо розглядати дані про часу рейсу, то з них, відповідно, основна частина припадає на час руху. При значних відстанях транспортування часом завантаження та розвантаження можна знехтувати [66].

Якщо ж відстань транспортування не перевищує 2 кілометри (середня відстань транспортування гірничої маси в кар'єрах), то нехтувати цими величинами не можна.

Час розвантаження, що складається з часу піднімання та опускання кузова практично не залежить від вантажопідйомності автосамоскида (складає в середньому 40 секунд).

Час завантаження залежить від часу циклу екскаватора та відповідно з паспортом завантаження кількості циклів (кількості завантажених ківшів).

На рис. 3.1 наведено статистичні дані розподілу часу по операціях циклу роботи автосамоскида БелАЗ 548 в умовах Омелянівського кар'єру [66]. Даний тип автосамоскида працює в парі з екскаватором ЭКГ-5А, який має об'єм ківша 5 м³. З даної діаграми ми бачимо, що значний час циклу роботи автосамоскида витрачається на простій порожньої машини. На це впливає два чинники: відсутність автоматизованої системи керування рухом авто та значною кількістю негабаритних шматків у зірваному розвалі гірської породи (10–15 %) [40, 65].

Автоматизована система зменшила б простої на 10–20 % простою самоскидів, але через високу вартість таких систем та технічної підтримки немає доцільності встановлення на такому відносно невеликому кар'єрі. Негабаритні шматки знижують продуктивність не лише автосамоскидів, а й екскаваторів [66]. Екскаватори вимушені витратити час на обкопування негабаритних шматків у розвалі гірської породи та складування. Часто через обмеженість робочого майданчика негабаритні шматки ускладнюють операцію під'їзду автосамоскида до екскаватора.

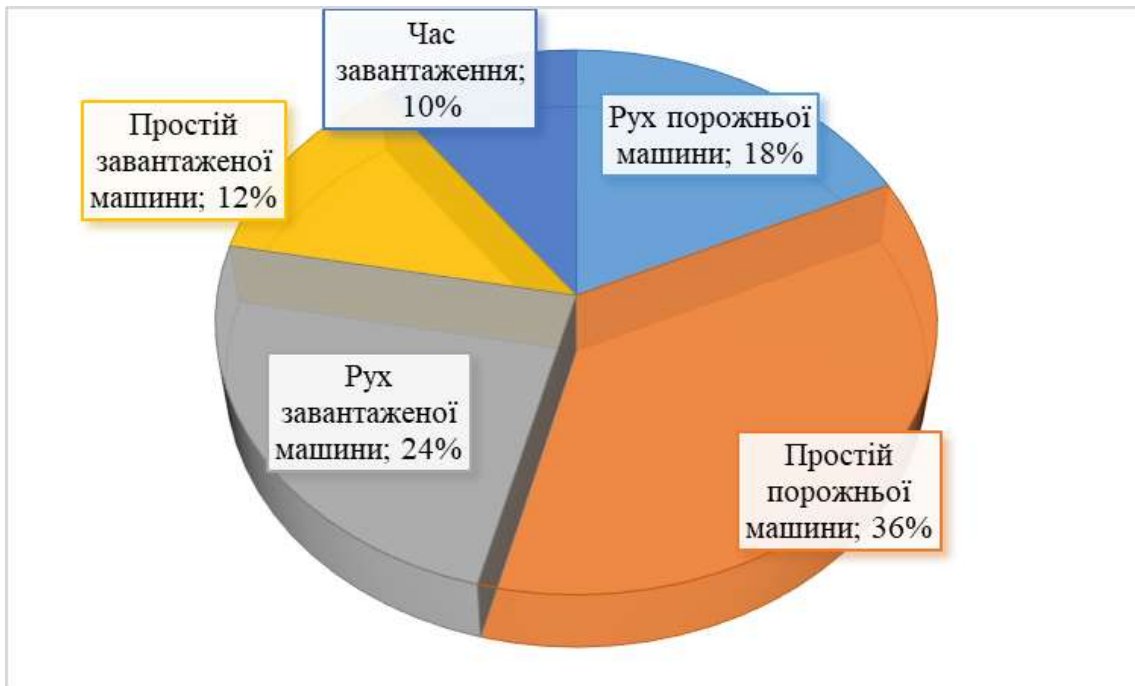


Рис. 3.1. Діаграма часу циклу автосамоскида за добу на Омелянівському кар'єрі

Разом з тим зі збільшенням відстані транспортування зменшується продуктивність автосамоскидів [66], залежність для ТОВ «Омелянівський кар'єр» наведена на рис. 3.2.

Для ТОВ «Омелянівський кар'єр» залежність продуктивності автосамоскида БелАЗ 548 від відстані транспортування має лінійний характер.

У зв'язку з тривалою експлуатацією автосамоскидів на Омелянівському кар'єрі час, який затрачається на ремонт БелАЗів становить 18...25 % від календарного фонду часу [66]. Існуюча система технічного обслуговування та ремонту кар'єрних вантажівок характеризується тим, що із 8760...8784 годин річного календарного фонду продуктивний час становить у середньому 2500...3600 годин, тоді як за 1 годину продуктивної роботи самоскидів, час простою ремонту коливається від 0,3...1,1 години. Виробнича база Омелянівського кар'єру дозволяє проводити ремонтні роботи, але через брак оригінальних запчастин самоскиди дуже швидко

повертаються в ремонтні майстерні. Також постійні мінливі умови функціонування транспортних засобів призводять до перенавантаження на вузли та частини самоскидів, а отже, призводить до відмов.

Було відібрано статистичні дані про ефективність експлуатації самоскидів БелАЗ-548. Статистичні дані були взяті з гаражних документів (табл. 3.1).

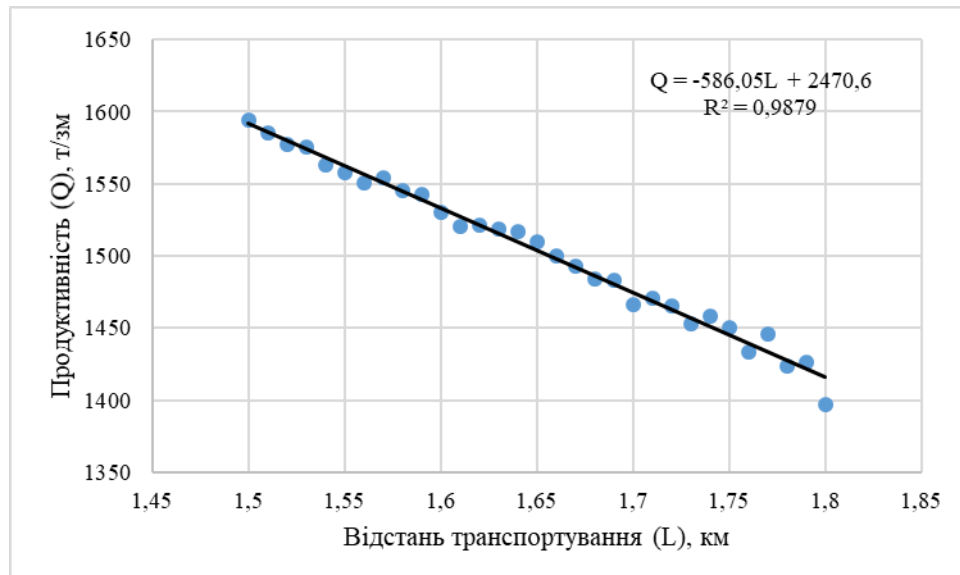


Рис. 3.2. Залежність продуктивності автосамоскида БелАЗ 548 від відстані транспортування в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

З рис. 3.3 видно, що несправності двигуна, ведучої вісі, системи підвіски, коліс і шин, електрообладнання, системи трансмісії та гальмівної системи становлять 90 % усіх несправностей. Ці системи обмежують продуктивність самоскидів [66].

За статистичними даними в Україні мінусових середньомісячну температуру мають три місяці, з цим пов'язана менша кількість поломок при мінусових температурах.

За час побудови математичної моделі динаміки старіння автомобілів БелАЗ-548 вантажопідйомністю 40 тонн було прийнято передумову

незалежності вихідних параметрів, за допомогою якої змінюється параметр відмови $\lambda(t)$ [62].

У результаті досліджень була побудована крива зміни параметра відмови $\lambda(t)$ залежно від терміну служби t , яку можна описати залежністю [66]:

$$\lambda(t) = 0,0066 \ln(t) + 0,0381 \quad (3.5)$$

Таблиця 3.1

Статистика поломок самоскидів БелАЗ 548

Система	Кількість поломок, шт.		
	загальна кількість	при плюсових температурах	при мінусових температурах
Силовий агрегат	789	523	266
Двигун	598	425	173
Ведуча вісь	423	247	176
Колеса та шини	365	200	165
Гальмівна система	367	203	164
Електрична система	280	198	82
Трансмісійна система	275	152	123
Кабіна, кузов	145	76	69
Передня вісь	92	47	45
Система керування	82	40	42
Механізм скидання	45	27	18
Всього	3461	2138	1323

Однак ризик невдач зростає у процесі тривалої експлуатації машини (рис. 3.4).



Рис. 3.3. Статистика несправностей автосамоскидів БелАЗ 548

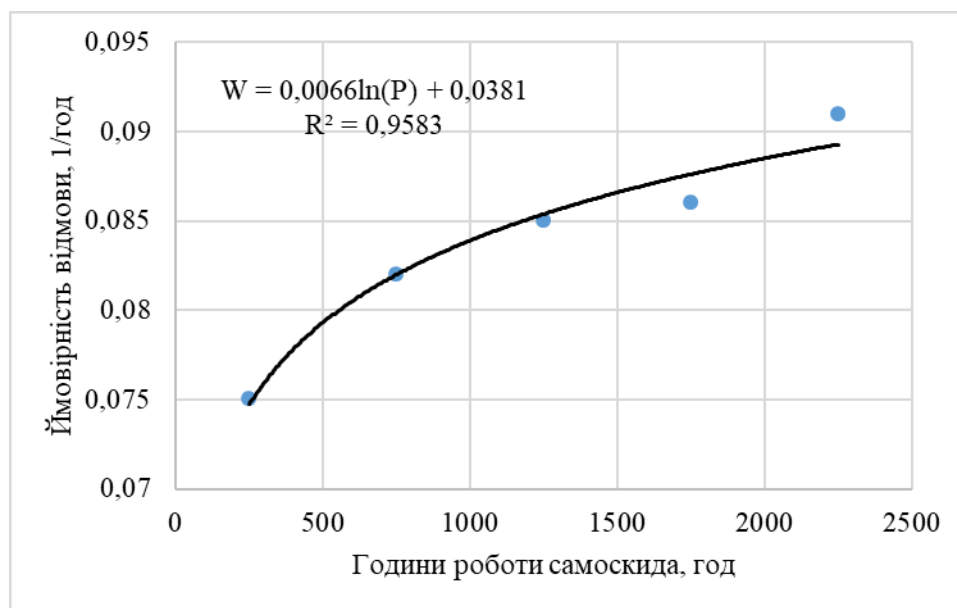


Рис. 3.4. Залежність параметра відмови $\lambda(t)$ самоскидів БелАЗ-548 від терміну служби t (год)

Основними напрямками покращення транспорту на ТОВ «Омелянівський кар'єр» є:

- заміна двигунів ЯМЗ-240Н на двигуни фірми Caterpillar;
- заміна металевого футерування кузова на гумове зменшує ударні навантаження на машину в 20 разів, що підвищує строк служби всіх вузлів кар'єрного автотранспорту.

3.2. Дослідження несправності двигунів самоскидів

Досвід експлуатації дизельних двигунів на самоскидах показує, що порушення нормативних значень, за умови яких можлива їх нормальна робота, призводить, як правило, до різного роду поломок двигуна.

Змінна надійність роботи двигунів самоскидів типу БелАЗ виражається ймовірністю поломки через різні несправності, пов'язані з дизельним двигуном. Змінна надійність визначається відстанню транспортування та величиною середньозваженого ухилу маршруту транспортування гірської маси. Ці дані наведені в таблицях 3.2 та 3.3.

Таблиця 3.2

Залежність надійності двигуна від відстані транспортування і середнього ухилу дороги

Умови роботи самоскидів		Ймовірність відмови двигуна протягом зміни
Відстань транспортування, км	Середній ухил, ‰	
0,40	20,0	0,051
1,80	18,2	0,066
2,30	48,0	0,098
1,2	21,5	0,067
1,7	65,0	0,113

Загальна тенденція збільшення відмов двигуна спостерігається зі збільшенням транспортної відстані. Варто зазначити значну роль значення середньозваженого ухилу дороги, збільшення якого відповідає збільшенню змінної відмови двигуна (табл. 3.3. та рис. 3.5).

Таблиця 3.3

Залежність ймовірності відмови двигуна від середнього ухилу дороги

V	0,066	0,051	0,067	0,063	0,071	0,098	0,094	0,113	0,134
$i, \%$	18,2	20	21,5	32	32	48	53	65	71

Відмова двигуна протягом зміни різко зростає із збільшенням середнього ухилу дороги.

Трасування кар'єрних автодоріг проводиться з розрахунку мінімального обсягу земляних робіт, особливо на поверхні кар'єру. Разом з тим воно повинно гарантувати безпеку руху автотранспорту з можливо великими швидкостями.

Дорога в плані складається з прямолінійних ділянок, сполучених кривими. На кривих ділянках знижуються швидкості руху автомашини, проте криві малого радіуса дозволяють найбільш повно використовувати, основна перевага автотранспорту – маневреність.

Мінімально допустимі радіуси заокруглень автосамоскидів на постійних дорогах становлять 50–60 м, на тимчасових дорогах в кар'єрі 15–20 м, на петлевих заїздах під навантаження 9–15 м.

Повздовжній профіль автодороги проєктується у вигляді плавної лінії, що складається з майданчиків, ухилів і вертикальних кривих, які з'єднують ділянки з різними ухилами.

Під час вибору керівного (розрахункового) ухилу враховуються глибина кар'єру [66], інтенсивність руху, тягові властивості автомашин і кліматичні особливості району. Застосування великих ухилів дозволяє значно скоротити обсяги земляних робіт, однак при цьому знижуються швидкість руху автомашини, а також пропускну здатність доріг і безпеку руху.

У результаті вибір оптимального ухилу автодороги проводиться на підставі оцінки техніко-економічних показників стосовно конкретних гірничотехнічних умов з урахуванням тягових властивостей машини і безпеки руху.

Для сучасних типів автосамоскидів (колісна формула 4×2) величина керівного підйому з цих міркувань практично обмежується величиною 70–120 ‰.

Ухили в порожняковому напрямку обмежуються умовами безпеки руху і зазвичай не перевищують 120–150 ‰.

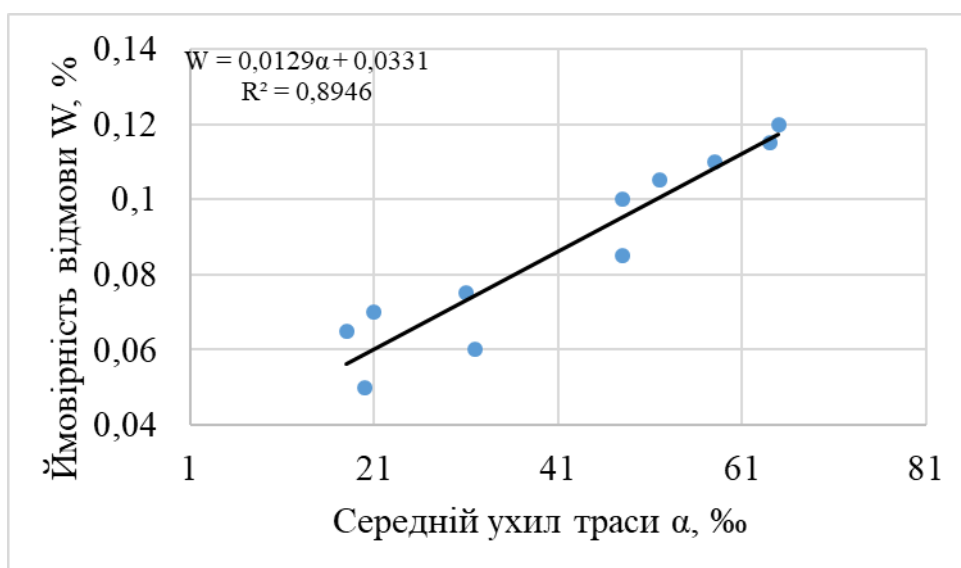


Рис. 3.5. Залежність величини відмови двигуна ЯМЗ-240 Н самоскида БелАЗ 548 від значення середнього ухилу траси

Наявність такої залежності між величиною середнього ухилу дороги та величиною відмови двигуна характеризує як роботу транспортного засобу, так і реальні умови, в яких він експлуатується, і дозволяє застосовувати цю залежність як обґрунтування розрахункової відмови двигунів самоскидів.

Завдяки проведеним дослідженням [66] було виявлено, що вартість ремонту зростає із збільшенням терміну служби самоскида, і вона визначається вартістю ремонту на початку експлуатації самоскида, а також швидкістю приросту затрат на технічне обслуговування та ремонт по мірі збільшення пробігу транспорту.

Практика показує, що зношення важких самоскидів під час експлуатації відрізняється у різних кар'єрах і залежить як від видобутку корисних копалин [66] (глибина кар'єру, насипна щільність, абразивність гірських порід тощо), так і від дорожньо-кліматичних умов експлуатації транспорту. Таким чином, частота відмов деталей самоскида буде значно відрізнятися, що спричинює різну частоту їх обслуговування.

Таблиця 3.4

Час безперервної роботи різних агрегатів самоскида

Агрегат	Кількість відмов в зміну	Пробіг безперервної роботи, км
Карданна коробка передач	0,087	900–1000
Стартер	0,054	1400–1500
Насос	0,043	1800–1950
Компресор	0,040	1950–2100
Генератор	0,024	3250–3400
Паливна система	0,015	4500–4700
Гідромеханічна система	0,015	4500–4700
Циліндри пневмогідравлічної підвіски	0,013	5400–5600
Гальмівні колодки	0,012	7200–9000

Показником для визначення частоти технічного обслуговування і ремонту є не години роботи самоскида, а його пробіг [66]. Наприклад, час безперервної роботи самого ненадійного агрегату самоскида (карданна коробка передач) складає близько 1000 км, а найнадійнішого (гальмівні колодки) – до 9 тис. км.

Чим складніше конструкція самоскида, тим більша кількість відмов за зміну. З іншого боку, надійність самоскида визначається відстанню

транспортування та величиною середнього ухилу дороги транспортування гірської маси. Ці дані зведені в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Залежність надійності самоскида від відстані транспортування і середнього ухилу дороги

Умови роботи транспорту		Ймовірність відмови транспорту W_a
Відстань транспортування, км	Ухил дороги, ‰	
0,50	21,5	0,0316
1,90	19,6	0,0184
2,40	48,0	0,0222
1,30	22,5	0,0241
1,80	68,0	0,0326

Аналіз даних в табл. 3.5, що між величиною ймовірності виходу з ладу самоскида та відстанню транспортування, а також ухилом дороги не існує стабільного взаємозв'язку, який можна було б описати аналітичним співвідношенням.

Таблиця 3.5

Залежність ймовірності виходу з ладу самоскида від співвідношення L/a

W	0,0193	0,0195	0,034	0,0229	0,0225	0,0242	0,0314	0,0322	0,0332
L/a	0,1	0,063	0,054	0,049	0,043	0,039	0,033	0,025	0,022

Існування стійкого взаємозв'язку між проаналізованими значеннями, які характеризують роботу самого транспорту та гірничо-технічних умов, в яких він експлуатується, дозволяє застосовувати цю залежність як обґрунтування проєктного значення виходу з ладу самоскидів, не виконуючи надскладних статистичних спостережень.

Щоб підтримувати самоскид у постійній готовності, необхідно періодично проводити його технічне обслуговування та ремонт, що мають вирішальний вплив на продуктивність кар'єрних транспортних засобів, а також визначають тривалість його простоїв [66].

У результаті технічного обслуговування та ремонту простої самоскидів становлять 20–30 % календарного часу, а вартість обслуговування та ремонту залежно від вантажопідйомності самоскидів, досягає 35 % загальних експлуатаційних витрат. У той же час частка кількості робітників, зайнятих ремонтом технологічних транспортних засобів, коливається від 18 до 20 %.

3.3. Напрями удосконалення організації системи техобслуговування і ремонту кар'єрних самоскидів

Ремонтне господарство розміщене на території промислового майданчика діючого кар'єру в межах земельного відводу.

Для обслуговування та ремонту технологічного обладнання на підприємстві існує ремонтний цех, в якому знаходиться таке обладнання: зварювальний апарат, точильний верстат, токарний верстат, свердлильний верстат та ін.

В основу організації ремонту устаткування на підприємстві покладена система планово-попереджувальних ремонтів, що складається з технічного обслуговування, поточних і капітальних ремонтів. Періодичність і тривалість цих ремонтів залежать від конструктивних і ремонтних особливостей обладнання та умов його експлуатації. Під час визначення обсягів робіт з ремонту і технічного обслуговування керуються документами з експлуатації обладнання, а також «Положенням про технічне обслуговування устаткування гірничодобувних підприємств», затвердженим наказом Міністерства промполітики України № 281 від 4 липня 2003 року.

Технічне обслуговування виконується експлуатаційним персоналом у період між плановими ремонтами. Поточні ремонти виконуються на підприємстві силами експлуатаційного персоналу, а при необхідності – із залученням інших фахівців.

Поточні ремонти основного гірничодобувного обладнання виконуються при зупинках цього обладнання і поділяються на: перший поточний ремонт (T_1), другий поточний ремонт (T_2) і третій (T_3). Тривалість і періодичність поточних ремонтів вказані в інструкціях з експлуатації обладнання.

Капітальні ремонти технологічного обладнання виконуються на спеціалізованих ремонтних підприємствах.

Поточний ремонт (ПР) технологічного електрообладнання виконується на місці його встановлення силами технічного персоналу, що обслуговує даний агрегат, а середній (СР) та капітальний ремонт (КР) виконується підрядними спеціалізованими організаціями.

Основним завданням ремонтної служби підприємства є забезпечення підтримки устаткування, машин і механізмів у стані, придатному для експлуатації. Для виконання цього завдання розробляється система планово-попереджувальних ремонтів (ППР) за затвердженими графіками.

Планово-попереджувальне обслуговування і ремонт складається з системи технічного обслуговування, огляду та безпосередньо ремонту.

Ремонт обладнання проводиться агрегатно-вузловим методом. Для забезпечення ремонту обладнання агрегатно-вузловим методом на підприємстві наявний незнижуваний запас змінних вузлів і деталей обладнання.

У складі служби механіка є ремонтна бригада, яка виготовляє запасні частини і проводить дрібно-вузловий ремонт обладнання. Ремонт обладнання проводиться згідно з графіком ППР на поточний рік. Перед зупинкою обладнання на ремонт, агрегат оглядається, складається відомість дефектів.

Поряд з плановими ремонтами мають місце позапланові та аварійні ремонти, які виникають в результаті недбалого ставлення до своїх обов'язків обслуговуючого персоналу або раптової поломки механізмів (поломка вала, розрив зварних швів та ін.). Удосконалення методів ремонту і зміцнення технологічної дисципліни, впровадження послідовного вузлового методу є запорукою скорочення простоїв і аварій устаткування.

Графік ППР на рік передбачає регулярне проведення середніх, капітальних і поточних ремонтів, за існуючими нормами проведення ремонтів та обслуговування механізмів. На кожен одиницю обладнання, поставленого на ремонт, складається календарний графік.

Облік виконання ремонтних робіт здійснюється за фактично виконаними обсягами. Якість виконання ремонту контролюється електромеханіком, начальником кар'єра. Для обліку і своєчасного усунення несправностей устаткування, майстри заповнюють журнали прийому-здачі змін. Начальник і механік кар'єра зобов'язані щодня перевіряти журнал прийому-здачі змін і вживати заходів щодо усунення несправностей. Основними вимогами, що визначають збільшення терміну служби деталей і вузлів устаткування, машин і механізмів, їх раціональної експлуатації є:

- закріплення обладнання за експлуатаційним і обслуговуючим персоналом письмовим розпорядженням;
- доступ до праці робітників, які мають відповідну технічну підготовку, знають правила технічної експлуатації і пройшли інструктаж з техніки безпеки;
- використання обладнання за прямим призначенням;
- недопущення перевантажень, які ведуть до передчасного зносу і поломки;
- проведення в плановому порядку модернізації обладнання;
- виконання якісного і своєчасного догляду та огляду машин, механізмів і обладнання, що забезпечує безаварійну і безпечну їх експлуатацію.

Догляд передбачає:

- утримання в чистоті робочих місць, машин, механізмів і обладнання;
- регулярне змащування всіх механізмів відповідно до інструкцій і картами змащування;
- ремонт відповідно існуючій системі ППР.

Догляд здійснюють:

- машиністи екскаваторів і бурового верстата, а також їх помічники щоденно;

– слюсар і електрик, навчені і атестовані та мають посвідчення встановленого зразка;

– механік (енергетик), майстри, згідно їх посадових інструкцій.

Загальний контроль за здійсненням належного догляду за машинами, механізмами та устаткуванням покладається на особу відповідальну за їх справний стан.

Система оглядів передбачає: щозмінні огляди машиністами та обслуговуючим персоналом під час прийому і здачі зміни з обов'язковим записом результатів огляду в журналі прийому-здачі змін.

Періодичні огляди, не рідше одного разу на 5 днів, електрослюсарями згідно затверджених графіків.

Не рідше одного разу на 10 днів механіком (енергетиком) і майстрами за затвердженими графіками.

Регулярні огляди за графіком, але не рідше одного разу на місяць, особами відповідальними за технічний стан машин, механізмів і обладнання.

Складське господарство розміщене на території промислового майданчика в межах земельного відводу. Промисловий майданчик відсипаний по всій території скельними та пухкими розкритими породами з покриттям поверхні щебнем, жорсткою та плануванням їх грейдером.

Підприємство має в експлуатації наступне складське господарство: на території дробильно-сортувального комплексу – склади фракційного щебню і піску з відсіву дроблення. Для складування щебню і піску із відсіву дроблення використовується склад відкритого типу. Форма складу – табельна або конусна. В основі складу знаходиться щебінь.

Розвиток складів – площадний, а після досягнення проектної висоти – периферійний з виділенням робочих площадок. Частина піску із відсіву дроблення планується розмістити на відвалі розкритих порід. Схема формування складу піску із відсіву дроблення аналогічна складування розкритих порід.

Для контролю за витратою щебню зі складу використовуються автомобільні ваги. Параметри складу готової продукції: висота – до 5–7 м, кут укосу продукції в конусі – до 40–45°.

Параметри складу піску із відсіву дроблення: висота до 10 м, кут укосу ярусу – до 25°. Форма складу відповідає основи поверхні відвалу обмежений по висоті висотою черпання застосовуваного екскаватора. Розміри майданчика складу пов'язані з параметрами радіусу повороту застосовуваного автомобільного транспорту та схемою під'їзду його під розвантаження. Для перевезення піску із відсіву дроблення зі складу ДСК використовується автосамоскид. Автосамоскид розвантажується на майданчику складу, а бульдозер виштовхує пісок з відсіву дроблення на укіс. Довжина фронту робіт на складі становить близько до 100 м., а орієнтовна місткість складу залежить від прийнятої висоти складування.

Матеріальний склад призначений для прийому, зберігання та видавання обладнання, матеріалів та запасних частин, необхідних під час експлуатації підприємства. На складі передбачена наявність вантажопідйомного обладнання, стелажів, вагового обладнання.

Відкрита стоянка автомобілів 15×55 м призначена для зберігання технологічних та господарчих автомобілів різних марок в кількості до 20 шт. У холодну пору року можливий обігрів двигунів технологічних автомобілів гарячим повітрям. Витрата повітря на обігрів одного автомобіля становить 1000 м³/год.

Зберігання паливно-мастильних матеріалів передбачено в місцях зберігання палива, розташованих на майданчику підприємства.

Доставка паливо-мастильних матеріалів з майданчика підприємства та заправка дизпаливом гірничого обладнання забезпечується автомобілем-заправником.

Витрати паливних та мастильних матеріалів визначені, виходячи з прийнятого до експлуатації обладнання, його завантаження, прийнятих на підприємстві норм розрахунку.

Заправка машин та гірничого обладнання, працюючих на дизельному паливі, виконується на спеціально обладнаних місцях на майданчику кар'єру та робочих місцях в кар'єрі, обладнаних «подушками-екранами», що попереджають фільтрацію в підземні води, і обладнання найпростішими нафтовловлювачами з використанням дерев'яної тирси [42].

Для попередження забруднення поверхневих та підземних вод паливно-мастильними матеріалами необхідно максимально обережно здійснювати заправку та змазку машин.

Для попередження попадання ПММ на поверхню майданчика та підшову кар'єру при випадкових проливах палива рекомендується застосування спеціальних піддонів.

Висновки до розділу 3

1. Затрати на шини в залежності від вантажопідйомності кар'єрних автосамоскидів складають в загальних матеріальних затратах 15,0–34,0 %.

2. Встановлена залежність відмови шин від співвідношення відстані транспортування і середньозваженого ухилу траси, що дозволяє прогнозувати величину ймовірності відмов.

3. Встановлено, що залежно від затрат на ремонт і вантажопідйомності весь парк самоскидів можна поділити на дві категорії, що відрізняються за затратами на 10 % і більше.

4. Залежність ймовірності відмови самоскида від відношення відстані транспортування до середнього ухилу дороги дає можливість спрогнозувати значення цих відмов.

5. В результаті розроблених організаційних заходів, впроваджених на кар'єрі з використанням інформаційної системи, вдалося скоротити затрати для ремонту на 10 %.

6. Встановлено, що на ТОВ «Омелянівський кар'єр» найбільше часу в циклі роботи автосамоскида БелАЗ 548 займає операція простою порожнього автосамоскида. Це пов'язано з відсутністю автоматизованої системи керування

рухом авто та значною кількістю негабаритних шматків у зірваному розвалі гірської породи (10–15 %).

7. Для ТОВ «Омелянівський кар'єр» залежність продуктивності автосамоскида БелАЗ 548 від відстані транспортування має лінійний характер. Залежність параметра відмови λ (t) самоскидів БелАЗ-548 від терміну служби t описується логарифмічною функцією. Несправності двигуна, ведучого моста, системи підвіски, коліс і шин, електрообладнання, системи трансмісії та гальмівної системи становлять 90 % усіх несправностей автосамоскидів БелАЗ 548 на ТОВ «Омелянівський кар'єр». Ці системи обмежують продуктивність самоскидів.

8. Основними напрямками покращення транспорту на ТОВ «Омелянівський кар'єр» є:

- заміна двигунів ЯМЗ-240Н на двигуни фірми Caterpillar;
- заміна металевого футерування кузова на гумове зменшує ударні навантаження на машину в 20 разів, що підвищує строк служби всіх вузлів кар'єрного автотранспорту.

Розділ 4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИТРАТ НА ШИНИ КАР'ЄРНОГО АВТОТРАНСПОРТУ

4.1. Аналіз експлуатації великогабаритних шин самоскидів

На самоскиді БелАЗ встановлено шість коліс, передні колеса зроблені одинарними, колеса задньої осі – подвійними, а їх обод відокремлений розпірним кільцем.

Статистичні показники про причини зношування автошин, які експлуатуються в умовах кар'єрів, показують, що вирішальними є три основні фактори: перегрів шин, перевантаження і недостатнє їх накачування.

Нормативні показники по відстані транспортування гірничої маси, температурі навколишнього середовища, максимального нормативного навантаження і максимальної швидкості руху самоскида з вантажем зведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1

Нормативні показники

Відстань рейсу, км		Максимально допустиме навантаження (%)				
при температурі середовища, °С		для самоскидів, які експлуатуються з максимальною швидкістю				
до + 25°	від + 26° до + 40°	50 км/год	40 км/год	32 км/год	24 км/год	16 км/год
до 8	до 5	100	101,5	103	107	112
8-15	5-10	86	92	100	101,5	103
15-20	10-15	82	86	92	96	100

Порушення нормативних показників, при яких реалізується їх нормальна експлуатація, призводить, зазвичай, до розривання дротів корду або його наскрізного розривання і відшарування протектора.

Як показують дані, щодо визначення надійності роботи самоскидів типу БелАЗ, що виражається ймовірністю поломок за рахунок різних несправностей,

пов'язаних з шинами, цей показник визначається відстанню транспортування і величиною середнього ухилу дороги транспортування гірничої маси. Дані зведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Залежність надійності автошин від відстані транспортування і середнього ухилу дороги

Умови роботи транспорту		Ймовірність змінної відмови шини $W_{ш}$
Відстань транспортування, км	Ухил дороги,‰	
0,50	21,5	0,075
1,90	19,6	0,039
2,40	48,0	0,044
1,30	22,5	0,041
1,80	68,0	0,064

Аналіз цих даних показує, що немає стійкого взаємозв'язку між значенням ймовірності відмови шин і відстанню транспортування, а також середнім ухилом дороги, який можна було б апроксимувати аналітичним співвідношенням.

Вищенаведені дані можна навести у вигляді залежності між значенням ймовірності відмови шин ($V_{ш}$) і величиною відношення відстані транспортування до середнього ухилу дороги. Дані зведені в табл. 4.3. Ймовірність відмови в роботі самоскиду за рахунок пошкодження автошин обернено пропорційна до значення цього відношення і визначається за наступною формулою:

$$V_{ш} = 0,034 + 0,002 / (L / \alpha) \quad (4.1)$$

При значеннях $0,06 < L / \alpha < 0,1$ ймовірність відмови прямує до практично постійної величини, що дорівнює 0,038.

Залежності між значенням ймовірності відмови шин ($V_{ш}$) і величиною відношення відстані транспортування до середнього ухилу дороги

W	0,037	0,038	0,043	0,046	0,047	0,049	0,057	0,064	0,072
L/α	0,1	0,063	0,054	0,049	0,043	0,039	0,033	0,025	0,022

На рис. 4.1 наведена графічна залежність, вказаних в табл. 4.3 значень.

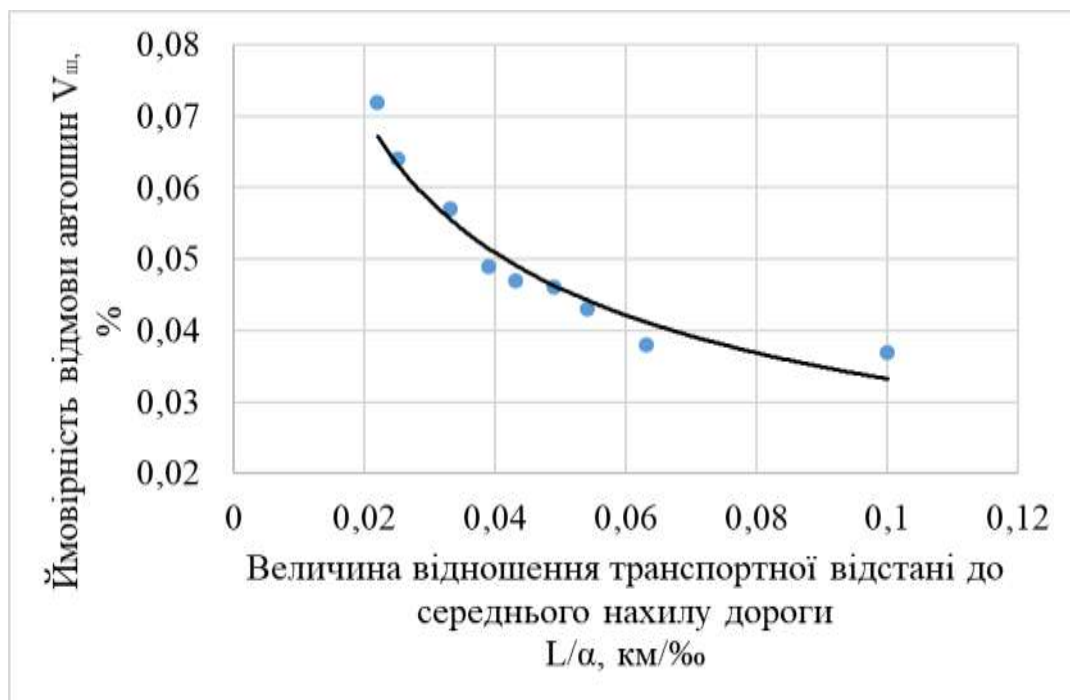


Рис. 4.1. Залежність ймовірності відмови автошин від величини відношення транспортної відстані до середнього ухилу дороги

Таким чином, наявність стабільного взаємозв'язку між розглянутими значеннями, які характеризують як експлуатацію транспортного засобу, так і реальні умови, в яких він застосовується, дозволяє використовувати це відношення як обґрунтування передбачуваного величини відмови шин самоскидів, не проводячи складні статистичні дослідження.

4.2. Оцінка експлуатаційних параметрів БелАЗ 548 в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Одним з основних факторів, що визначають продуктивність кар'єрних автосамоскидів, є швидкість руху [42].

У результаті досліджень визначені встановлені швидкості під час руху автосамоскидів з вантажем на підйом і середні швидкості порожніх автомобілів за умови руху на спуск [42].

Мінімально необхідна кількість експериментальних вимірів визначалася за формулами математичної статистики за умови рівня довірчої ймовірності 0,95 і становила на горизонтальних ділянках автошляхів для навантажених автосамоскидів 50–55, порожніх – 6–11, на ухилах 80–100 ‰, відповідно, 3–6 та 5–13, що обумовлено меншою дисперсією швидкостей руху автосамоскидів на підвищених схилах. Розподіл випадкових значень швидкостей руху автомобілів на ділянках з різною величиною ухилу підпорядковується нормальному закону.

Для визначення швидкостей руху автосамоскидів БелАЗ залежно від величини повздовжнього ухилу постійних автошляхів із щебеневим покриттям рекомендуються регресійні формули, отримані у результаті статистичної обробки даних експерименту:

під час підйому завантаженого самоскида:

$$V = 0,0557\alpha + 13,4, \text{ км/год}; \quad (4.2)$$

під час спуску порожнього самоскида:

$$V = 0,0414\alpha + 24,733, \text{ км/год}. \quad (4.3)$$

де α -повздовжній ухил капітальної траншеї, ‰.

Результати експериментальних досліджень є фактичним обґрунтуванням встановлення найбільш ймовірних величин швидкостей руху автосамоскидів (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

Максимальна швидкість руху автосамоскида БелАЗ 548 по кар'єрних автодорогах

Повздовжній ухил, ‰						
0	20	40	60	80	100	120
Завантажене авто на підйом						
30,5	25,2	17,4	14,0	11,6	10,0	9,0
Порожнє авто на спуск						
29	32,3	33,0	31,3	28,0	24,5	20,0

Наведені дані свідчать про те, що навантажені автосамоскиди під час руху на горизонтальних ділянках щебених автошляхів мають дещо більшу швидкість порівняно зі швидкістю порожніх, що обумовлено характеристикою амортизаторів підвіски, які забезпечують кращу плавність ходу за умови повного завантаження автомобіля. Зростання вертикальних прискорень при сильних зовнішніх збуреннях і створення дискомфорту умов праці змушує водія знижувати швидкість руху порожнього автосамоскида [42].

На ділянках автомобільних доріг із ухилами 30–40 ‰ порожні автосамоскиди розвивають найбільші швидкості руху (рис. 4.2, 4.3). Зі збільшенням повздовжніх ухилів автошляхів спостерігається поступове зниження швидкостей руху порожніх автомобілів, що обумовлено необхідністю реалізації великих

гальмівних зусиль під час гальмування на більш крутому ухилі та психологічними факторами.

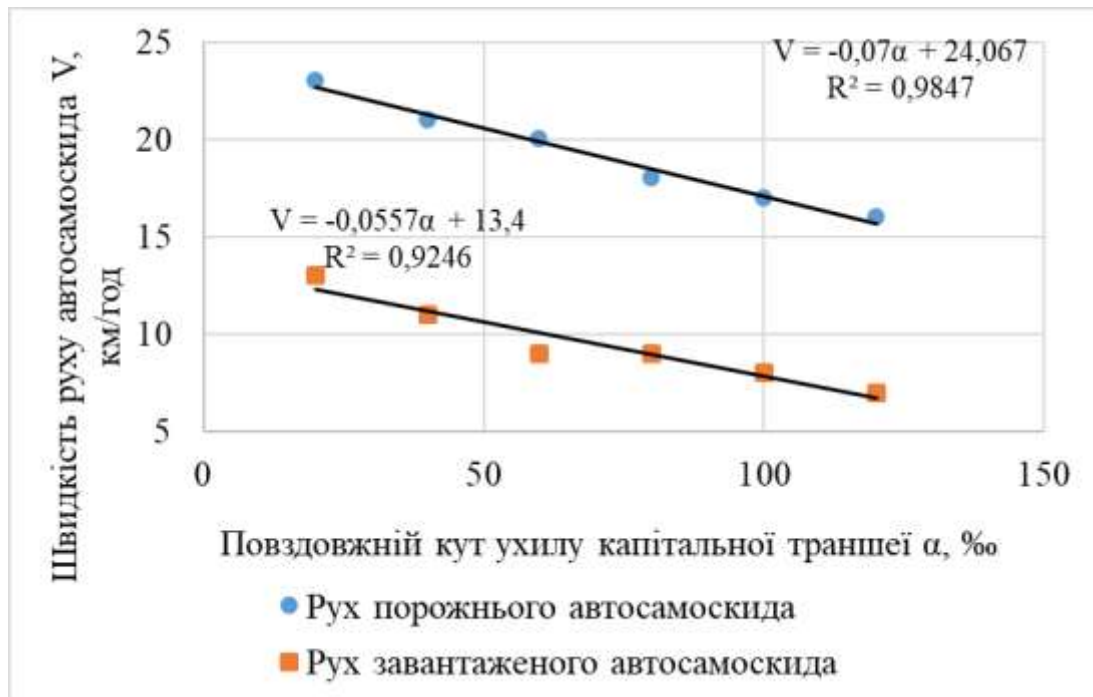


Рис. 4.2. Вплив повздовжнього ухилу траси на швидкість руху БелАЗ 548 на підйом

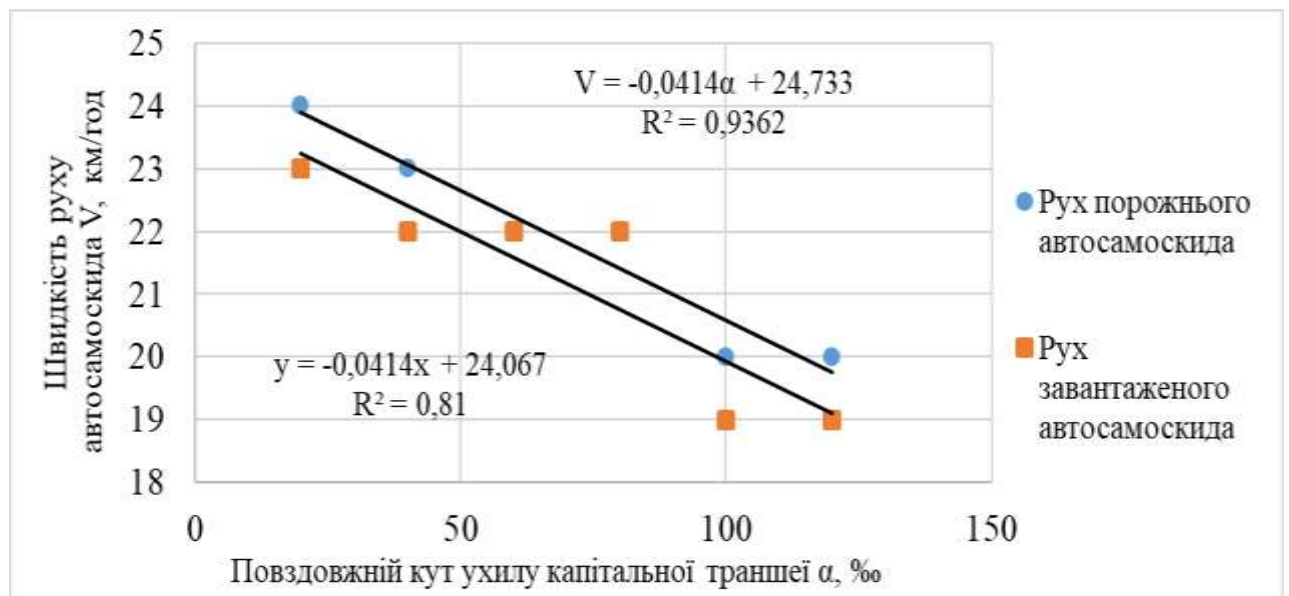


Рис. 4.3. Вплив повздовжнього ухилу траси на швидкість руху БелАЗ 548 на спуск

Рекомендуються наступні швидкості руху автосамоскидів на спуск

Ухил, ‰	0–60	70–80	90–100	110–120	Більше 130
Швидкість руху, км/год	20–25	20–23	18–21	17–20	Не більше 18

Швидкість руху на підйом з вантажем визначається питомою потужністю і для БелАЗ 548 при ухилі 100 ‰ варіюється в інтервалі 8,5–12,8 км/год [42].

У процесі проведення експериментальних робіт встановлено закономірності витрати дизельного палива автосамоскидами БелАЗ-548, залежно від величини повздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів (рис. 4.4).

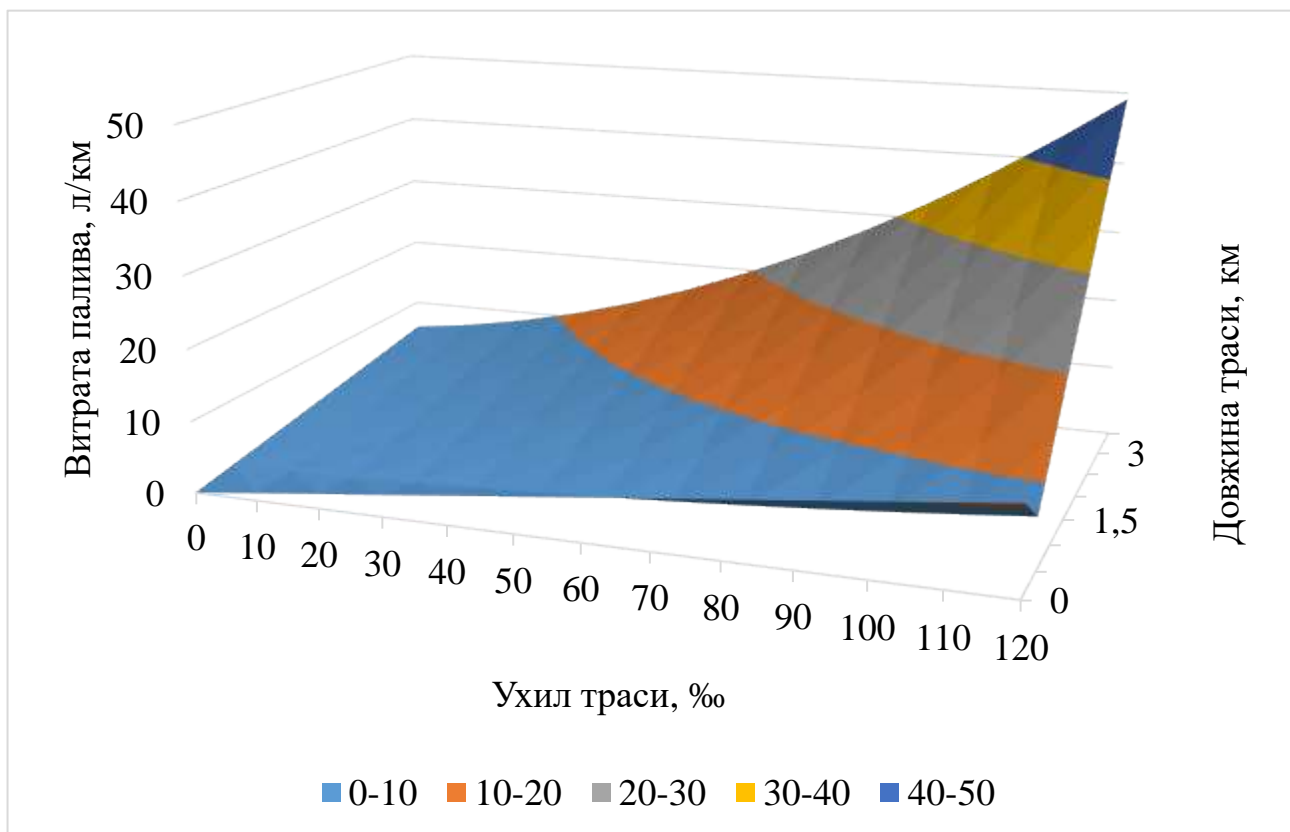


Рис. 4.4. Залежність витрати палива за транспортний цикл від повздовжнього ухилу та довжини траси

Аналіз отриманих експериментальних даних свідчить, що частка палива, яке витрачається під час руху автосамоскида з навантаженням, становить 65–80 % всього витраченого палива за рейс. На інших операціях транспортного циклу (рух порожнього автосамоскида, навантаження, розвантаження, маневри тощо) витрата палива сягає 20–35 % [66, 42].

Зі зростанням повздожнього ухилу автошляхів від 80 до 100 ‰ спостерігається збільшення витрати палива для навантажених автосамоскидів на 80–120 % (табл. 4.5).

Таблиця 4.5.

Витрати палива завантаженого БелАЗ 548 за умови руху під гору, залежно від повздожнього ухилу траси, л/100 км

Повздожній ухил траси, ‰					
10	30	50	70	90	110
193,6	236,3	308,5	387,3	433,2	590,8

З метою оцінки витрати пального автосамоскидами БелАЗ, залежно від величини повздожнього ухилу кар'єрних автодоріг, запропоновано регресійна формула (рис. 4.5), яка отримана шляхом статистичної обробки експериментальних даних.

$$Q = 156,02e^{0,1089i} \text{ , л/100 км} \quad (4.4)$$

де i – повздожній ухил траси, ‰.

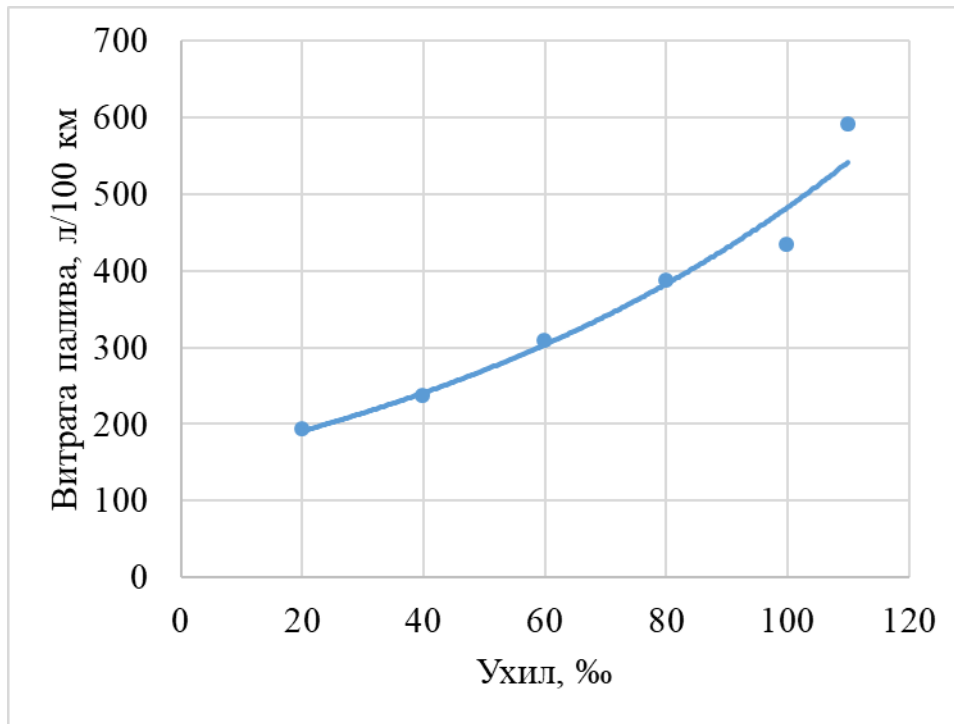


Рис. 4.5. Залежність витрати палива завантаженого БелАЗ 548 за умови руху під гору, залежно від повздовжнього ухилу траси, л/100 км

Залежність питомої витрати палива на транспортування 1 т гірської маси від ухилу капітальної траншеї в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр» наведено на рис. 4.6.

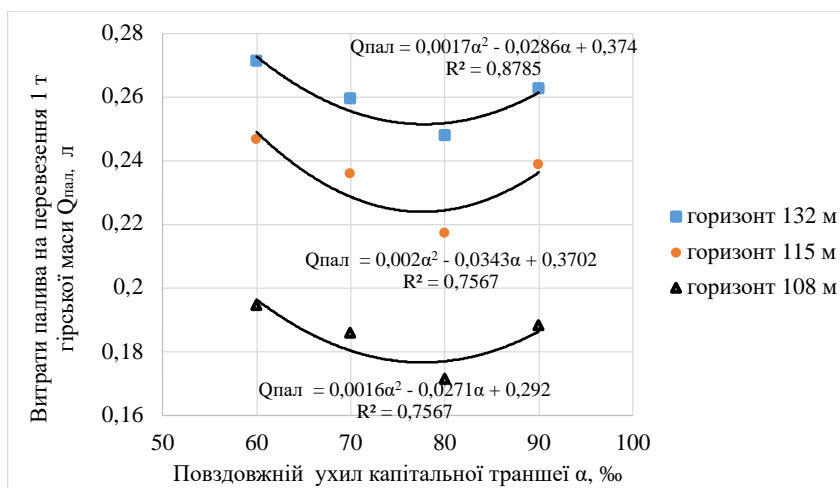


Рис. 4.6. Залежність питомої витрати палива на транспортування 1 т гірської маси від ухилу капітальної траншеї в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Аналіз отриманих результатів показав, що під час підвищення ухилу від 40 до 90 % час руху навантаженого автосамоскида зростає на 22 %, порожнього на 12 % [42].

Одним із найважливіших параметрів, що визначають продуктивність кар'єрного автотранспорту, є швидкість руху. У результаті експериментальних досліджень було встановлено середні швидкості на ділянках з характерними повздовжніми ухилами.

4.4. Параметри, які визначають затрати на експлуатацію автошин самоскидів

Оскільки умови експлуатації габаритних шин самоскидів сильно відрізняються від експлуатації звичайних шин, серед характеристик, що впливають на тривалість роботи шин, необхідно зазначити:

- стан доріг на родовищі;
- технологічна якість автошин;
- правильність розміщення вантажу в кузові самоскида, що визначає ступінь навантаження на автошину;
- значення внутрішнього тиску повітря в автошині;
- якість обслуговування і ремонту автошин.

Процес експлуатації шин супроводжується значним виділенням теплоти, тоді як теплостійкість автошин береться за головний критерій їх експлуатаційних характеристик. Критичні температури процесу теплообміну становлять приблизно 120 °С для шин з тканинним каркасом, 95 °С для шин з каркасом із сталевих канатів та 105 °С для нейлонових шин.

Залежність терміну служби шини від величини внутрішнього тиску повітря в ній є лінійною. Тому велика увага приділяється контролю тиску в шинах на ТОВ «Омелянівський кар'єр».

У цьому напрямку щодня після закінчення зміни цей тиск контролюється в кожній шині, а також для узгодження її температури, відповідно, з манометрами та термометрами, які пройшли метрологічні випробування.

Для регулювання тиску повітря в шинах безпосередньо в кар'єрі встановлена компресорна станція, яка забезпечує споживачів стисненим повітрям, що дозволяє водіям самоскидів закачувати повітря в шини у будь-який момент під час зміни.

Контроль за підтримкою номінального значення тиску в шинах із записом у спеціальному журналі та зі складанням акту здійснює механік в кар'єрі або майстер під час проведення технічного обслуговування самоскида. Особливо важливо виявити причину надлишкового тиску в шинах порівняно з номінальним. З них найбільш основними є перевантаження, перевищення швидкості, робота на великих відстанях або підвищення температури від дефектів шин.

Таким чином, лише одночасне вимірювання тиску та температури в шинах є об'єктивним засобом діагностики технічного стану шин. Ця система дозволяє збільшити термін служби шин на 15 % і зменшити завдяки цьому заходу експлуатаційні витрати на 3 %.

Ідея постачання самоскидів датчиками температури та тиску, які входять до системи управління, що дозволить прийняти управлінське рішення щодо зменшення швидкості або зменшення навантаження на самоскиди, або виконати це та інше.

Універсальною характеристикою експлуатаційних властивостей великих шин, що визначає ефективність їх використання [42], є продуктивність TCG (тонн-кілометрів за годину). Для розрахунку індексу TCG застосовується така формула:

$$TCG = Q_{cp} \cdot V_{cp}, \quad (4.4)$$

де Q_{cp} – середнє значення навантаження на шину, яке визначається як середнє арифметичне навантаження на шину, коли самоскид завантажений і порожній:

$$Q_{cp} = (Q_{зав} + Q_{пор}) / 2, \quad (4.5)$$

V_{cp} – середнє значення швидкості руху самоскида по маршруту транспортування корисної копалини:

$$V_{cp} = L \cdot n / t, \quad (4.6)$$

де L – відстань, яку проходить самоскид за один рейс, n – число рейсів за робочий день, t – загальна кількість роботи за зміну.

Формула (4.4) дійсна за умови [42], якщо відстань за один рейс не перевищує 3,0 км та якщо навантаження на шину не перевищує її паспортної величини більше 15 %. Крім того, формула (4.4) показує, що насправді моніторинг роботи шин зводиться до вирішення двох задач: визначення навантаження самоскида та визначення середньої швидкості його руху.

Як показали дослідження, такі дії дозволяють запобігти розриванню шин, що прослужили свій термін експлуатації, або зменшити позапланове технічне обслуговування та, таким чином, підвищити готовність машин, оскільки, наприклад, може відбутися позапланова заміна шини самоскида до 8 годин.

Дані, отримані на ТОВ «Омелянівський кар'єр», показали, що контроль максимального навантаження на шину дозволяє понизити експлуатаційні затрати на 5 %.

У розділі невеликі пошкодження шин (проколи та невеликі порізи) ліквідовуються холодною вулканізацією без зняття з колісної осі спеціальними вулканізаційними агентами. Встановлення та демонтаж великих коліс можна віднести до числа складних ремонтних операцій, що виконуються робітниками з певною кваліфікацією. Для механізації цього процесу використовується спеціальний гідравлічний знімач. Для зняття дуже важких коліс самоскидів використовуються спеціальні самохідні машини на колісному ході, оснащені маніпуляторами, що захоплюють колеса з двох сторін на поверхні кочення шини.

Затрати часу на заміну переднього колеса самоскида БелАЗ становлять 2 години, заміна заднього зовнішнього колеса займає вже 4,5 години, а заднього внутрішнього – 5,5 годин (табл. 4.6).

Своєчасний ремонт шин зменшує час простою самоскидів, що спричинене порізами, розривами та відшаруванням шин. Спостереження показали, що шина зазвичай ламається, коли термін її експлуатації вичерпується більш ніж на 72 %, при цьому кількість шин, які вийшли з ладу через розрив, становить 35% із

середнім пробігом 20 тис. км. Досвід контролю шин, які вичерпали 72 % свого життя, зменшив кількість шин, які вийшли з ладу через їх розрив, на 15 %, що збільшило їх пропускну здатність на 8 тис. км і, в свою чергу, зменшило експлуатаційні затрати на 5 %.

Дорожнє покриття складається з одного або декількох, конструктивних шарів. Верхній шар, або шар, зношення характеризує експлуатаційні якості дороги: зчеплення, рівність тощо. Нижній же, або несучий шар, забезпечує міцність конструкції одягу. Несучий шар розташовується на дорожній основі, що виконує функції дренажного шару і передавального навантаження на земляне полотно. У кар'єрах штучне покриття передбачають тільки тоді, коли підстилаючими ґрунтами є наноси, глинисті сланці і подібні до них породи, які змінюють свої властивості при зволоженні. Матеріалом для дорожньої основи слугують вапняки, пісковики та інші породи, одержані зазвичай під час ведення розкривних робіт.

На пісковиках, вапняках, піщанистих сланцях тощо. Штучна основа автошляхів не передбачається. Конструкцію дорожнього покриття вибирають, залежно від завантаженості руху, терміну експлуатації дороги, наявності місцевих матеріалів, кліматичних і ґрунтових умов та ін.

Розрізняють дорожні покриття вдосконалені (капітальні і полегшені), перехідні і нижчі.

До вдосконалених капітальних покриттів належать: цементно-бетонних, залізобетонні, асфальтобетонні і чорні щебеневі (укладаються в гарячому стані) на основах: бетонній, щебеневій, гравійній, гравійно-щебеневій, жужільній, з брукового або колотого каменю, а також ґрунтощебеневій, ґрунтогравійній і ґрунтовій, укріпленій в'язучими матеріалами.

До вдосконалених полегшеним покриттям належать чорні (оброблені в'язучими бітумами) щебеневі і чорні гравійні на основі: щебеню, гравію, ґрунтощебеню, а також на ґрунтогравійній і ґрунтовій основах, які укріплені в'язучими матеріалами.

До покриттів перехідного типу належать: щебеневі, гравійні, шлакові, ґрунтощебеневі і ґрунтогравійні, оброблені в'язучими матеріалами, ґрунтові, укріплені в'язучими матеріалами.

До покриттів нижчого типу зараховують: ґрунтові, укріплені гравієм або щебнем, ґрунтові з підібраним гранулометричним складом.

Експлуатаційні якості дороги оцінюються в першу чергу міцністю дорожнього одягу, станом проїжджої частини, що визначає можливу швидкість руху машин і зношеністю дорожнього покриття.

Найбільшого поширення на вітчизняних кар'єрах отримали постійні автодороги з щебеним покриттям. Дороги цього типу успішно експлуатуються в кар'єрах. Дуже ефективною обробка щебених покриттів чорними, в'язучими матеріалами (бітум, асфальтові емульсії). Це зберігає покриття, надає йому велику рівність, зменшує пилоутворення. Обробка в'язучими матеріалами найбільш перспективна для кар'єрних автодоріг.

Зі збільшенням вантажопідйомності машин для стаціонарних доріг набуває поширення монолітне цементно-бетонне покриття, яке відрізняється високою міцністю і довговічністю. Конструкція тимчасових кар'єрних автодоріг помітно відрізняється від конструкції доріг стаціонарних. На тимчасових дорогах зазвичай обмежуються профілюванням їх бульдозерами і укочуванням дорожніми катками. Покриттям для дорожніх проїздів слугують розкривні породи або покрівля пласта корисної копалини. Однак зі збільшенням вантажопідйомності машин виникає необхідність у застосуванні більш досконалих дорожніх покриттів.

На кар'єрах отримали застосування збірно-розбірні залізобетонні дорожні покриття, що складаються з готових залізобетонних елементів (плит). Плити укладаються на підготовлену основу і скріплюються між собою. Основні переваги збірних залізобетонних покриттів – висока міцність, простота пристрою, транспортабельність і можливість неодноразового укладання на дорозі.

Значна економія бетону і зниження вартості досягаються під час використання плит з попередньо напруженою арматурою. В цьому випадку робочої сталеві арматури, яка закладається в плиту, повідомляється попередній натяг, близьке за величиною до розрахункового межі міцності. У такому стані арматура знаходиться до повного затвердіння бетону, після чого зусилля її стиснення передається на бетон. Отримується за рахунок попереднього натягу арматури стиснення плити підвищує її пружність і тріщинуватість.

Таблиця 4.6

Експлуатаційні показники шин самоскидів

Число шин, що вийшли з ладу через розриви		Середня прохідність шин, км		Рівень зменшення експлуат. затрат, %
без контролю	з контролем шин, які вичерпали 70 % ресурсу	без контролю	з контролем шин, які вичерпали 70 % ресурсу	
8	6	93600	121400	4

У результаті техніко-організаційних заходів, проведених на кар'єрі для скорочення затрат на шини, вдалося знизити експлуатаційні затрати на шини в цілому до 6 %.

4.5. Оцінка впливу повздовжнього ухилу автошляхів на економічні показники ТОВ «Омелянівський кар'єр»

Збільшення ухилів автодоріг технологічного призначення призводить, з одного боку, до зростання витрат на експлуатацію кар'єрних автосамоскидів, а з

другого, до скорочення відстані транспортування гірничої маси, витрат на будівництво та утримання автомобільних доріг, а також вартості гірничо-капітальних робіт.

В економіко-математичній моделі розрахунок основних параметрів автомобільного транспорту проводиться на основі даних, отриманих у процесі проведення експериментальних досліджень роботи автосамоскидів на підвищених ухилах автошляхів.

Річна продуктивність автосамоскида (т/рік) розраховується за формулою

$$P_{\text{річ}} = \frac{G_a K_3 T_{\text{зм}} k_H n_{\text{зм}} N_{\text{дн}}}{T_{\text{ц}}}, \text{ т.} \quad (4.7)$$

де G_a – вантажопідйомність самоскида, т;

k_3 – коефіцієнт, який розраховує завантаження автосамоскида;

$T_{\text{зм}}$ – тривалість зміни, год;

$n_{\text{зм}}$ – кількість змін на добу;

$N_{\text{дн}}$ – кількість робочих днів на рік;

k_H – коефіцієнт нерівномірності руху;

$T_{\text{ц}}$ – тривалість одного циклу руху автомобіля, год.

Тривалість транспортного циклу визначається з використанням встановленої залежності швидкості руху навантажених та порожніх автосамоскидів від величини повздовжнього ухилу автошляхів.

Робочий парк автосамоскидів

$$N_{\text{ав}} = \frac{Q_k}{P_{\text{річ}}}, \text{ шт.} \quad (4.8)$$

де Q_k – річний обсяг перевезень автотранспортом, т.

Річні експлуатаційні витрати на транспортування гірничої маси визначаються методом калькуляції за формулою:

$$B = \sum_{i=1}^n B_i = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6 + B_7, \quad (4.9)$$

де B_1 – витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт автомобілів, тис. грн;

B_2 – експлуатаційні витрати на утримання гаражного господарства, тис. грн;

B_3 – витрати на дизельне паливо та мастильні матеріали, тис. грн;

B_4 – витрати на відновлення зношення автошин, тис. грн;

B_5 – амортизаційні відрахування на відновлення та капітальний ремонт автомобілів, тис. грн;

B_6 – експлуатаційні витрати на утримання та ремонт кар'єрних автошляхів, тис. грн;

B_7 – накладні витрати, тис. грн.

Розрахунок кожного з елементів витрат проводиться диференційовано з урахуванням впливу гірничо-технічних умов експлуатації.

Витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт автомобілів визначаються за формулою

$$B_1 = B_n L N_a k_i, \quad (4.10)$$

де B_n – питомі витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт для даної моделі автосамоскида в еталонних умовах експлуатації, грн на 1000 км пробігу; L – річний пробіг автосамоскида, тис. км; k_i – інтегральний коефіцієнт обліку умов експлуатації, який за даними роботи; N_a – парк автомобілей. Експлуатаційні витрати на утримання гаражного господарства

$$B_2 = B_y N_a, \quad (4.11)$$

де B_y – вартість утримання гаражного господарства для одного автомобіля, тис. грн [72].

Розрахунок витрат на дизельне паливо та мастильні матеріали проводиться на основі результатів проведених експериментальних досліджень з паливної економічності кар'єрних автосамоскидів [74–92].

$$B_3 = B_{\partial.n} q_n L N_a, \quad (4.12)$$

де $B_{\partial.n}$ – вартість дизельного палива, грн/т;

q_n – питома витрата дизельного палива, г/100 км.

Витрати відновлення зношення автошин визначаються за формулою:

$$B_4 = \frac{B_{ш} L N_a}{L_{ш} k_i^{ш}}, \quad (4.13)$$

де $B_{ш}$ – вартість комплекту автошин, тис. грн; $L_{ш}$ – нормативний пробіг автошин, тис. км; $k_i^{ш}$ – інтегральний коефіцієнт обліку гірничо-технічних умов.

Амортизаційні відрахування на відновлення та капітальний ремонт автосамоскидів розраховуються за формулою:

$$B_5 = \frac{(k_a - B_{ш})(A_B + A_{к.р.}) L N_a}{100}, \quad (4.14)$$

де A_B , $A_{к.р.}$ – норма амортизаційних відрахувань, відповідно, відновлення і капітальний ремонт, % на 1000 км пробігу; k_a – вартість автосамоскида, тис. грн.

Норма амортизації визначається за формулою

$$A = A_B + A_{к.р.} = 100 \left(\frac{1}{L_H^c} + \frac{\varepsilon}{L_H^{к.р.}} \right), \quad (4.15)$$

де $L_H^c, L_H^{k.p.}$ – нормативний пробіг, відповідно, до списання та капітального ремонту, тис. км; ε – відношення витрат за капітальний ремонт до вартості автосамоскиду.

$$L_H^c, L_H^{k.p.} = \int(G_a, i, L). \quad (4.16)$$

Експлуатаційні витрати на утримання та ремонт кар'єрних автошляхів

$$B_6 = B_{\partial.n.}L_{\partial.n.} + B_{\partial.m.}L_{\partial.m.}, \quad (4.17)$$

де $B_{\partial.n.}, B_{\partial.m.}$ – вартість утримання, відповідно, 1 км постійних і тимчасових автошляхів, тис. грн; $L_{\partial.n.}, L_{\partial.m.}$ – протяжність, відповідно постійних та тимчасових автошляхів, км.

Витрати на накладні витрати визначаються у відсотках від фонду заробітної плати водіїв автосамоскидів:

$$B_7 = B_1B_n, \quad (4.18)$$

де B_n – коефіцієнт, що враховує частку накладних витрат.

Капітальні вкладення на автотранспорт, ремонтно-технічну базу та будівництво кар'єрних автошляхів визначається за формулою:

$$K = (k_a - k_{\text{зал}})N_a + k_{\text{гар}}k_m N_a + k_6 L, \quad (4.19)$$

де $k_{\text{зал}}$ – залишкова вартість автосамоскида, тис. грн; k_m – коефіцієнт, що враховує необхідну кількість машино-місць у гаражі для проведення технічних оглядів та поточних ремонтів автосамоскидів; $k_{\text{гар}}$ – вартість гаражного господарства з розрахунку на одне авто, тис. грн; k_6 – вартість будівництва 1 км кар'єрних технологічних автодоріг, тис. грн.

Так, наприклад, на ТОВ «Омелянівський кар'єр» у даний момент є три горизонти до яких організовано під'їзд (рис. 4.7).

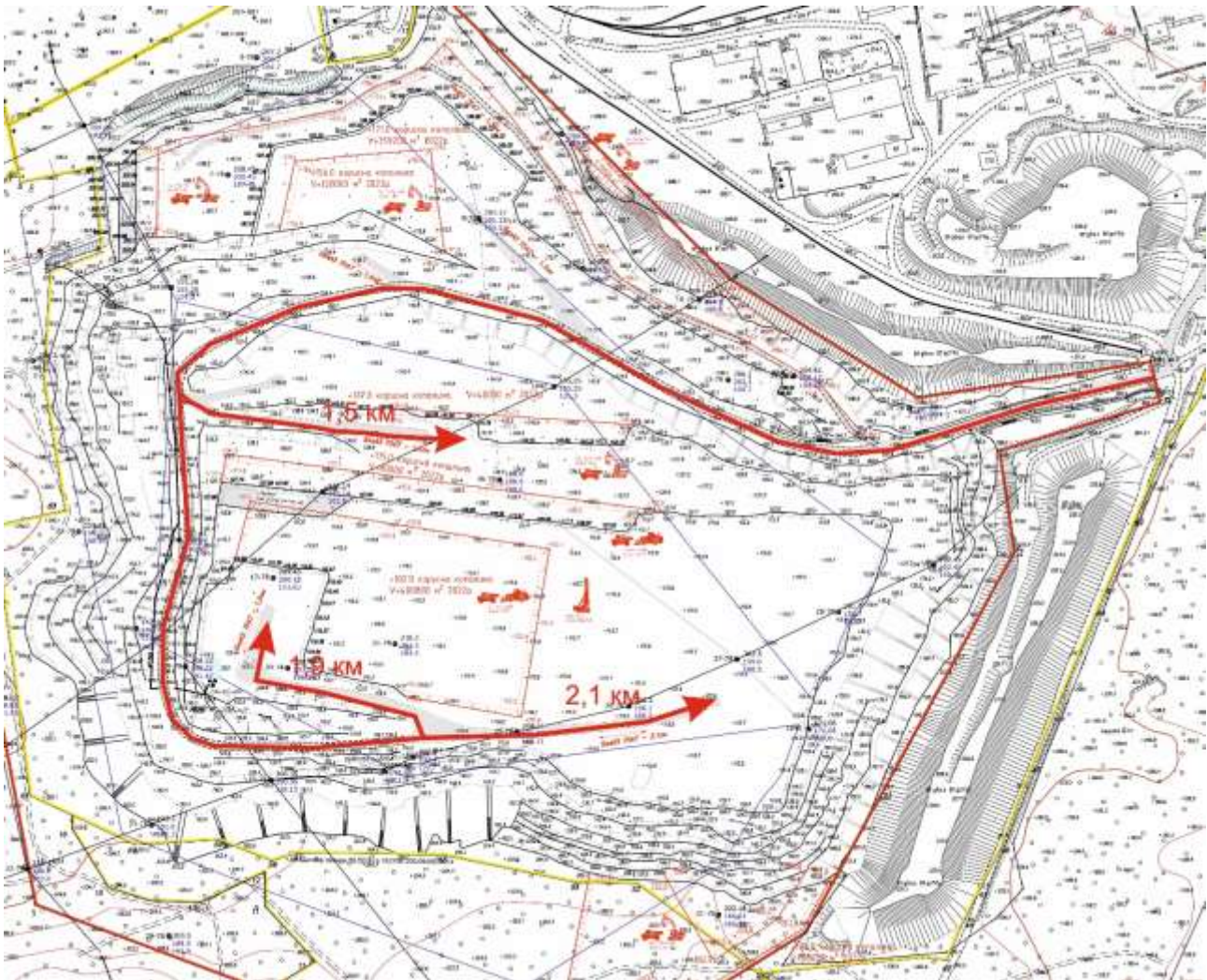


Рис. 4.7. Зведений план гірничих виробок ТОВ «Омелянівський кар'єр» Березівського родовища граніту

Зі збільшенням повздовжнього ухилу капітальної траншеї зменшується протяжність траси руху автосамоскидів, на рис. 4.8 наведені залежності довжини траси транспортування на ТОВ «Омелянівський кар'єр» від ухилу капітальної траншеї.

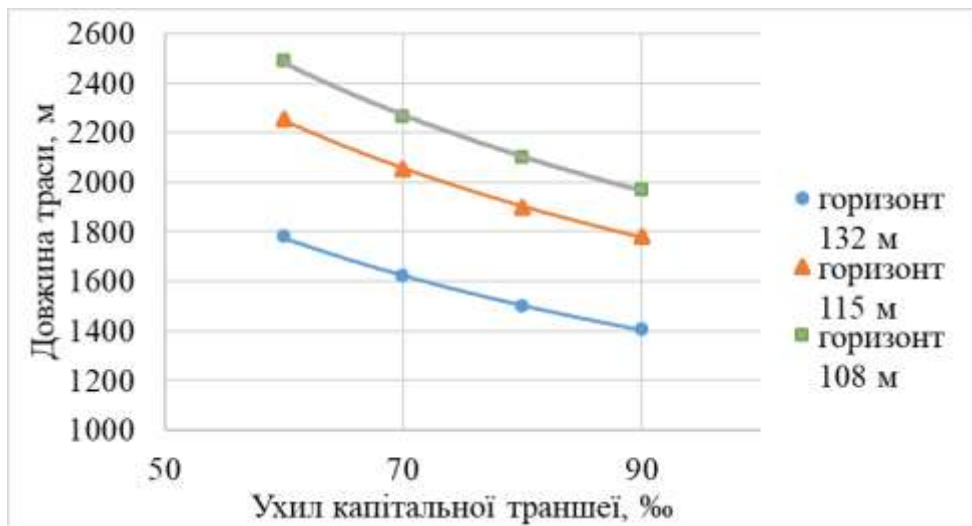


Рис. 4.8. Залежність довжини траси транспортування на Омелянівському кар'єрі від ухилу капітальної траншеї

Зі збільшенням довжини траси збільшується час транспортування гірничої маси, що має вплив на парк автосамоскидів. На рис. 4.9 наведено залежності тривалості руху автосамоскидів до трьох горизонтів ТОВ «Омелянівський кар'єр» від повздовжнього ухилу капітальних траншей. Під час розрахунків були враховані швидкості руху автосамоскидів БелАЗ 548 як завантаженого, так і порожнього.

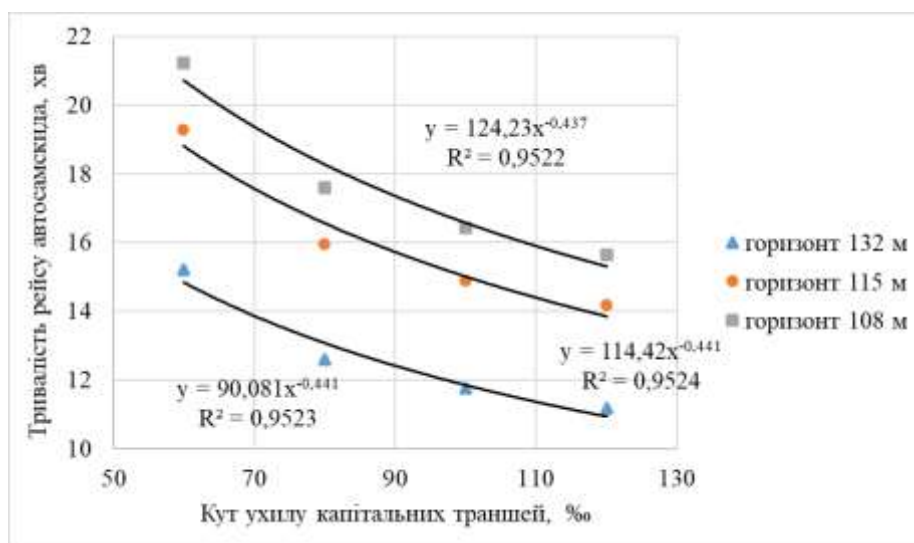


Рис. 4.9. Залежності тривалості руху автосамоскидів на ТОВ «Омелянівський кар'єр» від повздовжнього ухилу капітальних траншей

З використанням розглянутих методичних положень проведено визначення наведених витрат (рис. 4.10) на транспортування гірської маси та оптимізація повздовжнього ухилу автошляхів для автосамоскидів БелАЗ-548 представлено зміну питомих наведених витрат, залежно від повздовжнього ухилу автошляхів за обсягу перевезень 3 млн т на рік та висоті підйому гірничої маси 100–120 м.

При заданій висоті підйому гірничої маси збільшення ухилу автошляхів призводить до скорочення відстані транспортування. Так, при кільцевій схемі зі збільшенням ухилу капітальних траншей з 60 до 110 ‰ зменшується довжина траси з 2,48 до 1,71 км.

Аналіз зміни експлуатаційних, капітальних та питомих наведених витрат свідчить про те, що для автосамоскида БелАЗ 548 на ухилах від 60 до 110 ‰ залишаються постійними витрати на основну та додаткову заробітну плату водіїв, утримання гаражного господарства та накладні витрати.

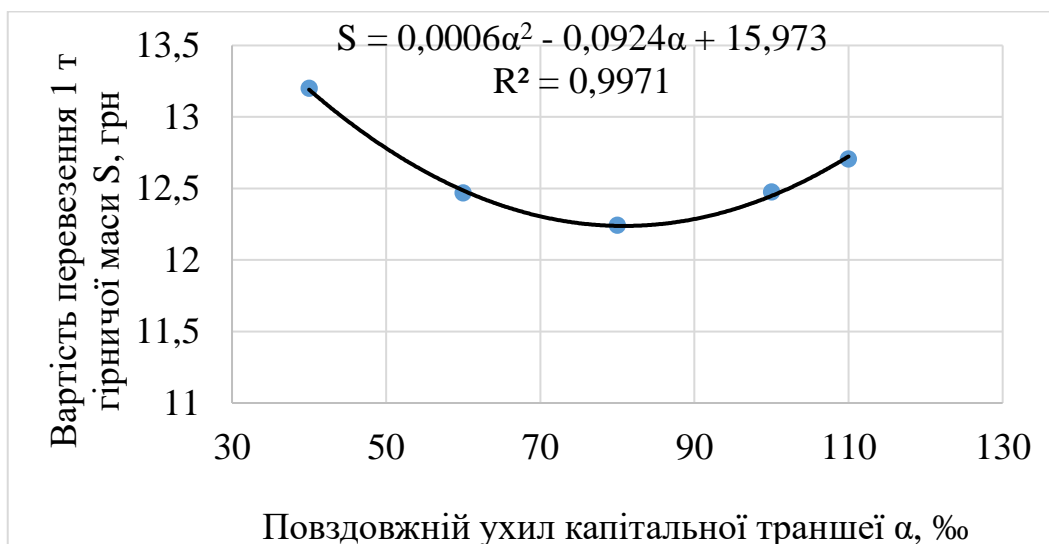


Рис. 4.10. Залежність питомої вартості транспортування 1 т гірської маси від повздовжнього ухилу капітальної траншеї

Внаслідок скорочення відстані транспортування та загального пробігу автосамоскидів при збільшенні ухилу з'їздів знижуються витрати на відновлення зношених автошин, утримання та ремонт кар'єрних автошляхів. Разом з тим витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт автомобілів зростають. Витрати на дизельне паливо та мастильні матеріали є мінімальними на ухилах 60 %, а потім поступово зростають. Подальше збільшення ухилу призводить до різкого зростання витрат за цією статтею, що обумовлено скороченням пробігу автомобілів до капітального ремонту та списання.

Капітальні витрати на автотранспорт, ремонтно-технічну базу та будівництво кар'єрних автошляхів зі зростанням ухилу знижуються внаслідок скорочення протяжності з'їздів, зменшення робочого та облікового парку автосамоскидів. Витрати на гірничо-капітальні роботи зі збільшенням ухилу істотно зменшуються через скорочення обсягів траншей та додаткового рознесення бортів кар'єру.

У результаті проведення розрахунків за запропонованою методикою та з урахуванням даних раніше проведених досліджень встановлено раціональні умови застосування автосамоскидів БелАЗ 548 в умовах щебених кар'єрів. Наведені значення умов можуть бути скориговані для конкретних підприємств.

Висновки до розділу 4

1. Вперше отримано залежність впливу повздовжнього ухилу траси на швидкість руху БелАЗ 548 в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».
2. Встановлено, що швидкості руху навантажених автосамоскидів БелАЗ-548 під час роботи на щебеневій автодорозі з ухилом 80 % становлять 14,5 км/год, з підвищенням ухилу до 100 % швидкості руху знижуються на 12–17 %.
3. Отримані регресійні рівняння описують закономірності зміни швидкості руху та витрати дизельного палива автосамоскида БелАЗ 548, залежно від величини повздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів; помилка оцінки

швидкості руху навантажених автосамоскидів на підйом не перевищує 0,34-0,65 км/год, а витрати палива 193,6–590,8 л/100 км.

4. Вперше встановлено залежність довжини траси транспортування на ТОВ «Омелянівський кар'єр» від ухилу капітальної траншеї.

5. Вперше встановлено залежності тривалості руху автосамоскидів на ТОВ «Омелянівський кар'єр» від повздовжнього ухилу капітальних траншей.

Загальні висновки

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій наведено теоретичне узагальнення і нове вирішення актуальної науково-практичної задачі з обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щибених кар'єрів шляхом встановлення залежностей між технологічними параметрами транспортування щибеневої сировини автомобільним транспортом.

Основні наукові й практичні результати роботи полягають:

1. Аналіз документів з діагностики кар'єрних автосамоскидів дозволив встановити, що несправності двигуна, ведучої вісі, системи підвіски, коліс і шин, електрообладнання, системи трансмісії та гальмівної системи становлять 90 % усіх несправностей. Встановлена залежність відмови шин від співвідношення відстані транспортування і середньозваженого ухилу траси, що дозволяє прогнозувати величину ймовірності відмов. На підставі цих даних було побудовано криву параметра відмови $\lambda(t)$ залежно від терміну служби t , яку можна описати логарифмічною залежністю, що дозволить прогнозувати кількість справного автотранспорту на рейсі.

2. На підставі отриманих даних встановлено, що під час застосування автосамоскидів БелАЗ-548 у кар'єрі глибиною 100 м за рахунок збільшення ухилу спірального з'їзду від 60 до 90 ‰, кут погашення борту ТОВ «Омелянівський кар'єр» підвищується з 43° до 46°, водночас спрощується схема транспортних комунікацій та зменшуються втрати корисної копалини на 356774 м³.

3. Проведено аналіз витрат дизельного палива протягом року, який показав, що в зимовий період автосамоскиди БелАЗ 548 з двигунами ЯМЗ-240 Н більше витрачають палива на 10,6 %. Також автосамоскиди БелАЗ 548 з двигунами Cat 3406 зимою більше витрачають палива лише на 6,7 %. В цілому за умови заміни двигунів ЯМЗ-240 Н на Cat 3406 в БелАЗ 548 спостерігаються скорочення витрат палива на 5,4 %. Дані дослідження дозволяють стверджувати, що заміна двигунів ЯМЗ-240 Н на Cat 3406 в БелАЗ 548 призведе до економії палива та зменшить поломки кар'єрного автотранспорту.

4. Встановлено, що швидкості руху автосамоскидів БелАЗ-548 при русі по щебеневій автодорозі в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр» з ухилом 80 ‰ становлять 14,5 км/год, з підвищенням ухилу до 100 ‰ швидкості руху знижуються на 12–17 %, було побудовано функціональний зв'язок між циклом роботи та кількістю спожитого палива за цикл. Дане дослідження дозволяє спрогнозувати продуктивність БелАЗ 548 залежно від ухилу капітальної траси в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».

5. Вперше отримані рівняння, які описують закономірності зміни швидкості руху та витрати дизельного палива автосамоскида БелАЗ 548 в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр», залежно від величини повздовжнього ухилу кар'єрних автошляхів, витрати палива складають 193,6–590,8 л/100 км. Дані дослідження дозволять обрахувати економічну складову процесу транспортування гірничої маси в умовах ТОВ «Омелянівський кар'єр».

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. An integrated approach to power electronics systems / Lee F. C., van Wyk J. D., Boroyevich D., Barbosa P. *Power Conversion Conf. PCC-Osaka*. 2002. Vol. 1. P. 7–12.
2. Liang Z., Lee F. C. Embedded power technology for IPEM's packaging applications. *IEEE APEC*. 2001. Vol. 2. P. 1057–1061.
3. Wyk J. D. van, Lee F. C., Boroyevich D. Power electronics technology: Present trends and future developments. *IEEE*. June 2001. Vol. 89, № 6. P. 799–802.
4. Jahns T. M., Blasko V. Recent advances in power electronics technology for industrial and traction machine drives. *IEEE*. June 2001. Vol. 89. P. 963–975.
5. Leen G., Heffernan D. Expanding automotive electronic systems. *IEEE Computer*. Jan. 2002. Vol. 35. P. 88–93.
6. Hanxleden R., Botorabi A., Kupczyk S. A co-design approach for safety-critical automotive applications. *IEEE Micro (Special Issue on Embedded Fault-Tolerant Systems)*. 1998. Vol. 18. P. 66–79.
7. Kassakian J. G. Automotive electrical systems – The power electronics market of the future. *IEEE APEC*. 2000. Vol. 1. P. 3–9.
8. Brown G. M., Koellner W. G. A GTO powered AC drive system increases the performance of off-highway haul trucks. *Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*, Oct. 3–7. 1999. P. 222–233.
9. Brown G. M., Ebacher B. J., Koellner W. G. Increased productivity with AC drives for mining excavators und haul trucks. *Conf. Rec. IEEE-IAS Annu. Meeting*. 2000. Vol. 1. P. 28–37.
10. Feasibility study to reduce injuries and fatalities caused by contact of cranes, drill rigs, and haul trucks with high tension lines / Sacks H. K., Cawley J. C., Homce G., Yenchek M. *IEEE Trans. Ind. Applicat.* 2001. Vol. 37. P. 914–919.
11. Woof M. Trolley dolly. *World Mining Equip.* 2002. Vol. 6, № 8. P. 35–37.

12. Contreras H. GPS+ GLONASS technology at chuquicamata mine, chile. *ION GPS 98, 11th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Sept. 15–18, 1998. Nashville, Tennessee. P. 93–97.
13. Flinn J. A., Waddell C., Lowery M. A. Practical aspects of GPS implementation at the morenci copper mine. *ION GPS-99, 12th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Sept. 14–17, 1999. Nashville, Tennessee. P. 915–919.
14. Flinn J. A., Shields S. M. Optimization of GPS on track-dozers at a large mining operation. *ION GPS-99, 12th Int. Tech. Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation*, Sept. 14–17, 1999. Nashville, Tennessee. P. 927–932.
15. Lennen G. Combined GPS/GLONASS satellite positioning system receiver : U.S. Patent 5 923 287, July 1999.
16. Centre for Astrophysics and Space Science, Sweden. URL: http://www.oso.chalmers.se/~geo/gg_comp.html.
17. The Liebherr T282. URL: <http://www.wcsscience.com/extreme/liebherr.html>.
18. Mining Journal. URL: www.mining-journal.com/MININGINFO/equipment/megatr.html.
19. The truck trolley dump system. Energy for dump trucks, Siemens AG, Munich, Germany, Pub. A19100–V300B414_X-7600.
20. Johnson L. Intra vehicle communications system in a mining vehicle monitoring system : U.S. Patent 6 469 638, Oct. 2002.
21. Kageyama M. Vehicle travel route control system : U.S. Patent 6 484 078, Nov. 2002.
22. Smith J. F. Automatic engine retarder and transmission control in off highway earth moving equipment : U.S. Patent 6 249 733, June 2001.
- 23 Doyle T. F. Method and apparatus for monitoring parameters of vehicle electronic control units : U.S. Patent 5 815 071, Sept. 1998.
24. Sudo T., Nagai T., Miyake K. Method and Apparatus for preparing URNG course data for an unmanned dump truck : U.S. Patent 6 044 312, Mar. 2000.

25. Maximize uptime and reduce service costs with the new remote access system for mining shovels and draglines. *Siemens Energy & Automation, Inc.* 2003. URL: <http://www.sea.siemens.com/mining/case/miremote.html>.
26. Brown G. M. System, Method and apparatus for connecting electrical sources in series under full load : U.S. Patent Applicat. Pub./0 025 399 A1, Feb. 2003.
27. Anisimov O. O. Research on parameters of the working area on an internal dump for developing open pits. *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2018. № 1. P. 27–34.
28. Дриженко А. Ю. Відкриті гірничі роботи. Д. : НГУ, 2014. 590 с.
29. Біліченко М. Я., Денищенко О. В. Основи теорії та розрахунки засобів транспортування вантажів шахт : навч. посіб. / 2-е вид. Д. : Національний гірничий університет, 2008. 103 с.
30. Салов В. О. Основи експлуатаційних розрахунків транспорту гірничих підприємств : навч. посіб. Д. : Національний гірничий університет, 2005. 199 с.
31. Транспорт на гірничих підприємствах : підруч. для вузів / Біліченко М. Я., Півняк Г. Г., Ренгевич О. О. та ін. ; за. ред. М. Я. Біліченка. ; 3-є вид. перероб. та доп. Д. : Національний гірничий університет, 2005. 636 с.
32. Демиденко М. А. Економічно-математична модель підвищення ефективності управління кар'єрним транспортом. *Економічний вісник Національного гірничого університету*, 2003, 1, С. 92-98.
33. Адамчук А. А., Шустов О. О. Системний підхід до вибору нових засобів транспорту для роботи на глибоких кар'єрах. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. № 54. С. 8–18.
34. Мороз М. М. Організація перевезення гірничої маси на ПАТ Кременчуцьке кар'єроуправління Кварц. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*. 2014. № 2. С. 171–180.
35. Potential for reducing GHG emissions and energy consumption from implementing the aluminum intensive vehicle fleet in China / Du J. D., Han W. J., Peng Y. H., Gu C. C. *Energy*. 2010. Vol. 35, Issue 12. P. 4671–4678.

36. Highly-resolved modeling of personal transportation energy consumption in the United States / Muratori M., Moran M. J., Serra E., Rizzoni G. *Energy*. 2013. Vol. 58. P. 168–177.
37. Khayyam H., BabHadiashar A. Adaptive intelligent energy management system of plug-in hybrid electric vehicle, *Energy*. 2014. Vol. 69. P. 319–335.
38. Scenario analysis of energy consumption and greenhouse gas emissions from China's passenger vehicles / Hao H., Liu Z., Zhao F. et al. *Energy*. 2015. Vol. 91. P. 151–159.
39. Korobiichuk V. Study of ultrasonic characteristics of Ukrainian red granites at low temperatures Systems. *Control and Information Technology*. Warsaw. P. 20–21.
40. Закусило Р. В., Кравець В. Г., Коробійчук В. В. Засоби ініціювання промислових зарядів вибухових речовин : монографія. Житомир : ЖДТУ, 2011. 212 с.
41. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / Коробійчук В. В., Соколевський Р. В., Подчашинський Ю. О. та ін. *Вісник ЖДТУ*. 2007. № 3 (42). С. 143–150.
42. Дослідження витрати палива автосамоскидами в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А та ін. *Технічна інженерія*. 2021. № 2 (88). С. 122–128.
43. Ljung G. M. and Box G. E. P. On a measure of a lack of fit in time series models. *Biometrika*, 1978, Vol. 65 (2), P. 297–303.
44. European integration: treatment of stone processing enterprises waste in Ukraine / Korobiichuk V. V. et al. *Вісник ЖДТУ*. 2017. № 1 (79). С. 182–190.
45. Shamrai V. I., Korobiichuk V. V., Sobolevskyi R. V. Management of waste of stone processing in the framework of Euro integration of Ukraine. *Вісник ЖДТУ*. 2017. № 2 (80), Т. 1. С. 234–239.

46. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на Омелянівському родовищі гранітів / Ковалевич Л. А. та ін. *Технічна інженерія*. 2021. № 1 (87). С. 142–148.
47. Whyte K., Daly H. E., Gallachoir B. P. O. Modelling HGV freight transport energy demand in Ireland and the impacts of the property construction bubble. *Energy*. 2013. Vol. 50. P. 245–251.
48. Zhao H., Burke A., Miller M. Analysis of Class 8 truck technologies for their fuel savings and economics. *Transp Res Part D Transp Environ*. 2013. Vol. 23. P. 55–63.
49. Kecojevic V., Komljenovic D. Haul truck fuel consumption and CO2 emission under various engine load conditions. *Min Eng*. 2010. Vol. 62 (12). P. 44–48.
50. Sahoo L. K., Bandyopadhyay S., Banerjee R. Benchmarking energy consumption for dump trucks in mines. *Appl Energy*. 2014. Vol. 113. P. 1382–1396.
51. Dessureault S. Data mining, mining data: energy consumption modelling. *CIM Bull*. 2007. Vol. 100. P. 1–7.
52. Analysis of energy consumption in surface coal mining / Bogunovic D. et al. *SME Trans*. 2009. Vol. 326. P. 79–87.
53. Siami-Irdemoosa E., Dindarloo S.R. Prediction of fuel consumption of mining dump trucks: a neural networks approach. *Appl Energy*. 2015. Vol. 151. P. 77–84.
54. Forecasting the transport energy demand based on PLSR method in China / Zhang M., Mu H., Li G., Ning Y. *Energy*. 2009. Vol. 34 (9). P. 1396–1400.
55. Mevik B-H., Wehrens R. The pls package: principal component and partial least squares regression in R. *J Stat Softw. Journal of Statistical Software*. 2007. Vol. 18, Issue 2. P. 1–23.
56. Box G. E. P., Jenkins G. Time series analysis, forecasting and control. San Francisco : Holden-Day, 1970. 553 p.
57. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. Forecasting: principles and practice. Monash University, Australia, 2013. URL: <http://otexts.org/fpp/>.

58. Pai P-F., Lin C-S. A hybrid ARIMA and support vector machines model in stock price forecasting. *Omega*. 2005. Vol. 33, Issue 6. P. 497–505.
59. Akaike H. A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans Automatic Control*. 1974. Vol. 19 (6). P. 716–23.
60. Schwarz G. E. Estimating the dimension of a model. *Ann Stat*, 1978, Vol. 6 (2), P. 461–464.
61. Ksenevich V. I. Career trolley transport and environmental issues. *Mountain Journal*. 1998. № 2. P 22–24.
62. Andreeva L. I., Krasnikova T. I. The relationship of failure and the aging process of mining machines. Technological equipment for the mining and oil and gas industry. *Readings in memory of V R Kubachek*. Sat. Proceedings of the X Intern. scientific tech. conf., April 19–20, 2012. Ekaterinburg : UGGU, 2012. P. 345–350.
63. Potapov M. G. Career transport / Ed. 4th, 1980. 225 p.
64. Собко Б. Ю., Ложніков О. В. Дослідження параметрів транспортної системи відкритої розробки обводнених розсипних родовищ. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2018. № 56. С. 82–93.
65. Дослідження впливу буровибухових робіт на якість блочної продукції кар'єру на основі визначення геометричних характеристик її тріщинуватості / Коробійчук В. В. та ін. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2007. № 3 (42). С. 143–150.
66. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А. та ін. *Наукові праці ДонНТУ*. 2021. № 1 (25)–2 (26). С. 44–51.
67. Максимов С. В., Монастирська О. Ю. Застосування динамічного підходу до використання критерію економічної ефективності автотранспортної системи кар'єру. *Проблеми розвитку транспортних систем і логістики* : матеріали III Міжвузівської науково-практичної конференції, 3–8 травня 2012 р. Євпаторія. 2012. С. 68–69.
68. Максимов С. В., Монастирська О. Ю. Використання показника «приведені витрати» як критерію економічної ефективності роботи транспортної

системи гірничо-збагачувального комбінату. *Європейський вектор економічного розвитку*. 2013. № 1 (14). С. 135–141.

69. Стрілець О. П., Пчолкін Г. Д., Чорний, М. Ю. Дослідження впливу довжини тимчасової частини автодороги на продуктивність великовантажних автосамоскидів. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2017. № 50. С. 132–136.

70. Темченко О. А. Визначення впливу технологічного ризику на ефективність роботи кар'єрного транспорту. *Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. Сер. Гірництво. 2008. № 16. С. 84–89.

71. Біліченко М. Я. Транспорт на гірничих підприємствах. нав. пос. Д. : Державний ВНЗ «НГУ», 2005. 636 с.

72. Дриженко А. Ю. Кар'єрні технологічні гірничотранспортні системи : моногр. Д. : Державний ВНЗ «НГУ», 2011. 542 с.

73. Анісімов О. О., Довгальок І. А. Дослідження показників роботи кар'єрних самоскидів та підвищення їх продуктивності в умовах Стрижавського родовища мігматитів. *Development of mineral deposits*, 2015. С. 25–31. URL: <http://znp.nmu.org.ua/pdf/2015/49.Pdf>.

74. Кооперація роботи автомобільно-конвеєрного комплексу з трьома пунктами передислокації / Ященко Б. Є., Костянський А. Н., Баранов І. В., Логвинчук Р. М. *Вісник КТУ*. 2005. № 10. С. 5–9.

75. Investigation of leznikovskiy granite by ultrasonic methods / Korobiichuk I. et al. *Archives of Mining Sciences*. 2018. Т. 63, № 1. Р. 75–82.

76. Слободянюк Р. В., Пижик М. М. Вдосконалення технології гірничих робіт з кільцевою схемою руху кар'єрних автосамоскидів. *Вісник ЖДТУ. Сер. Технічні науки*. Житомир : ЖДТУ, 2016. № 1 (76). С. 151–157.

77. Максимов І. І., Слободянюк Р. В. Особливості визначення раціонального положення перевантажувального пункту у кар'єрі. *Вісник Криворізького національного університету*. Кривий Ріг : КНУ, 2017. Вип. 44. С. 73–79.

78. Vilkul Y., Slobodyanyuk V., Maximov I. Optimization of capacity and the number of crushing and transfer stations at the deep open pits. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. № 4. P. 116–120.

79. Максимов І. І., Слободянюк Р. В. Аналіз впливу розміщення точки звезення гірничої маси на сумарний об'єм автотранспортної роботи. *Вісник ЖДТУ. Сер. «Технічні науки»*. 2018. 1 (81). P. 274–280. DOI: 10.26642/tn-2018-1(81)-274-280.

80. Коробійчук В. В. Метод оцінки тиску, що виникає при тепловому розширенні кристалів солей і льоду в порах природного каменю. *Вісник ЖДТУ. Сер. Технічні науки*. 2011. № 3 (58). С. 176–179.

81. Коробійчук В. В. Залежність внутрішньопорового тиску від пружних властивостей природного каменю. *Вісник ЖДТУ, Сер. Технічні науки*. 2012. № 1 (60), С. 123–126.

82. Обґрунтування транспортних робіт в умовах блочного кар'єру. / Кириленко Н. П. та ін. *Геоінженерія*. Київ. 2021. № 5. С. 14–23.

83. Застосування інформаційно-коп'ютерних технологій для дослідження гірничо-екологічних особливостей родовищ рудних і нерудних корисних копалин / Криворучко А. О., Коробійчук В. В., Подчашинський Ю. О., Ремезова О. О. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Сер. Технічні науки*. 2007. № 1 (40). С. 186–195.

84. Shamrai V., Korobiychuk V. Influence of grinding-polishing of natural stone on its shine and lightness shades. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2014. Vol. 5. № 5. P. 71.

85. Definition of hue of different types of pokostivskiy granodiorite using digital image processing / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4/5 (82). P. 52–57.

86. Коробійчук В. В., Коробійчук І. В., Ломаков Г. М. Дослідження впливу агресивного середовища на колірне забарвлення поверхні каменю. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. № 28. С. 45.

87. Коробійчук В. В., Жуков С. О., Астахов В. І. Вплив технологічних чинників на якість лицювального каменю. *Вісник Криворізького національного університету*. 2014. № 28. С. 78.

89. A procedure for modeling the deposits of kaolin raw materials based on the comprehensive analysis of quality indicators / Sobolevskyi R. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 3 (3). С. 54–67.

90. Hot properties of labradorite under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1, № 12 (97). P. 14–20.

91. Analysis of change in the decorative properties of granites under thermal exposure / Korobiichuk V. et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. С. 35–43.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

Статті у фахових виданнях, які входять до наукометричних баз:

1. Дослідження витрати палива автосамоскидами в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А. та ін. *Технічна інженерія*. Житомир. 2021. № 2 (88). С. 122–128. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7956>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

2. Дослідження надійності парку автосамоскидів в умовах Омелянівського кар'єру. / Ковалевич Л. А. та ін. *Всеукраїнський науковий збірник «Наукові праці ДонНТУ» Сер. Гірничо-геологічна*. Покровськ. 2021. Вип. № 1 (25)-2 (26). С. 44–51. DOI: 10.26642/ten-2021-2(88)-122-128. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних GoogleScholar).

3. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на Омелянівському родовищі гранітів / Ковалевич Л. А. та ін. *Технічна інженерія*. Житомир. 2021. № 1 (87). С. 142–148. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7919>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

4. Обґрунтування транспортних робіт в умовах блочного кар'єру. / Кириленко Н.П. та ін. *Геоінженерія*. Київ. 2021. № 5. С. 14–23. DOI: [10.20535/2707-2096.5.2021.230667](https://doi.org/10.20535/2707-2096.5.2021.230667). (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

5. Оцінка експлуатаційних параметрів БелА3-548 в умовах Омелянівського кар'єру / Ковалевич Л. А., Леонець І. В., Качуровський М. В., Коробійчук В. В. *Технічна інженерія*. Житомир. 2022. № 1 (89). С. 125–130. URL: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/8010>. (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних WorldCat; BASE; eLibrary, GoogleScholar).

Статті у закордонних збірниках наукових праць:

6. Optimization of the process of efficiency management of the primary kaolin excavation on the curved face of the conditioned area / Sobolevskiy R. et al. *Rudarsko-geološko-Naftni Zbornik*. 2020. Vol. 35, № 1 (48). P. 123–137. DOI: [10.17794/rgn.2020.1.10](https://doi.org/10.17794/rgn.2020.1.10). (Входить до переліку міжнародної наукометричної бази даних Scopus).

Публікації за матеріалами конференцій:

7. Гаврисяк О. С., Ковалевич Л. А. Оптимізація селективного видобування мергелю при різному геопросторовому розміщенні якісних та шкідливих компонентів. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів* : Тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, 21-22 жовтня 2021. Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 17–19.

8. Нові технології в транспорті на кар'єрах / Ковалевич Л. А., Пилипчук А. С., Белобров Д. М. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11-15 травня 2021 р.* Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 180.

9. Напрями поліпшення конструкції кузова кар'єрних автосамоскидів / Ковалевич Л. А., Лебля М. В., Купріяничук І. В. *Тези Всеукраїнської науково-практичної on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених, присвяченої Дню науки, 11–15 травня 2021 р.* Житомир : Житомирська політехніка, 2021. С. 181.

Додаток Б



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
Ministry of Education and Science of Ukraine, Zhytomyr Polytechnic State University

вул. Чуднівська, 103, м. Житомир, 10005
103, Chudnivska Str., Zhytomyr, Ukraine, 10005
Phone/fax: (0412) 24-14-22, 24-14-23, e-mail: rector@ztu.edu.ua, https://ztu.edu.ua, код ЄДРПОУ 05407870

СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ВІДПОВІДАЄ ДСТУ ISO 9001:2015
QUALITY MANAGEMENT SYSTEM ISO 9001:2015

Від 03.05.2023 № 44-24.00/504
На № _____ від _____

ДОВІДКА

про впровадження результатів дисертаційного дослідження
Ковалевич Людмили Анатоліївни

Засвідчую, що основні наукові та практичні результати кандидатської дисертаційної роботи Ковалевич Людмили Анатоліївни на тему «Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щелепних кар'єрів» впроваджені в організацію навчального процесу Державного університету «Житомирська політехніка» в таких формах:

1) при складанні навчальних (робочих) програм та викладанні таких дисциплін: «Відкриті гірничі роботи», «Організація та планування гірничих робіт»;

2) у наукових виданнях, які використовувалися у навчальному процесі та знаходяться у бібліотеці Житомирського державного технологічного університету:

1. Ковалевич Л.А. Дослідження витрати палива автосамоскидами в умовах Омелянівського кар'єру / Л.А. Ковалевич, І.В. Леонець, М.В. Лебля, Д.О. Дубінчук, М.С. Куницька // Технічна інженерія. Житомир, 2021. № 2 (88). С. 122-128. URI: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7956>.

2. Ковалевич Л.А. Динаміка споживання паливно-мастильних матеріалів самоскидами на Омелянівському родовищі гранітів. / Л.А. Ковалевич, В.Г. Левицький, Д.М. Білобров, Н.П. Кириленко, В.І. Шамрай // Технічна інженерія. Житомир, 2021. № 1 (87). С. 142-148. URI: <http://eztuir.ztu.edu.ua/123456789/7919>.

3. Кириленко Н.П. Обґрунтування транспортних робіт в умовах блочного кар'єру. / Н.П. Кириленко, В.І. Шамрай, Л.А. Ковалевич, М.В. Лебля, А.М. Махно // Геоінженерія. Київ № 5 (2021). С. 14-23. DOI: <https://doi.org/10.20535/2707-2096.5.2021.0005>.

Перший проректор Державного
університету «Житомирська політехніка»
д.е.н., проф.



О.В. Олійник

Додаток В

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор ТДВ "Березівський кар'єр"

Поліщук Юрій Вікторович

«10» березня 2023 р.

ДОВІДКА

про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Ковалевич Людмили Анатоліївни на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щебеневих кар'єрів»

Результати досліджень Ковалевич Людмили Анатоліївни використовуються в діяльності ТДВ "Березівський кар'єр" для підвищення ефективності управління якістю булощебеневої сировини. Особливо важливими для практичного використання є:

- методика розрахунку продуктивності автосамоскида БелАЗ 548 на різних ухилах капітальної траншеї;
- методика визначення пально-мастильних матеріалів для автосамоскида БелАЗ 548.

Використання результатів дисертаційної роботи дають змогу зменшити витрати палива, підвищити раціональність використання сировини та ефективність використання транспортного обладнання.

Очікуваний розрахунковий економічний ефект на ТДВ "Березівський кар'єр" при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Ковалевич Людмили Анатоліївни «Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щебеневих кар'єрів» становить 457 тис. грн. на рік.

Отримана практична цінність результатів впровадження автором дисертаційної роботи дозволяє рекомендувати їх до використання іншими підприємствами, які видобувають щебенеvu сировину.

Начальник дільниці



Додаток Г



ДОВІДКА

**про впровадження наукових результатів дисертаційної роботи
Ковалевич Людмили Анатоліївни на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук на тему «Обґрунтування параметрів роботи
технологічного транспорту в умовах щебеневих кар'єрів»**

Інтегрована модель авторегресії, яка дала практичне уявлення про основні причини споживання палива, що була одержана в результаті досліджень Ковалевич Людмили Анатоліївни використовується в діяльності ТОВ «Омелянівський кар'єр» для підвищення ефективності видобування щебеневої сировини.

Очікувальний розрахунковий економічний ефект на ТОВ «Омелянівський кар'єр» при прийнятті до впровадження результатів дисертаційних досліджень Ковалевич Людмили Анатоліївни на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щебеневих кар'єрів» становить 345 тис. грн. на рік.

Результати дисертаційної роботи можуть бути рекомендовані до використання іншими аналогічними підприємствами, які розробляють поклади булощебеневої сировини.

Головний інженер

Погорелов Є.В.

ТОВ «ОМЕЛЯНІВСЬКИЙ КАР'ЄР»

Місцезнаходження: 11560, Житомирська обл., Коростенський р-н, с. Горцик, вул. Центральна, 71
Адреса для листування: 11560, Житомирська обл., Коростенський р-н, с. Горцик, вул. Центральна, 71
Код ЄДРПОУ 00292400, ІПН 002924006092
IBAN: UA 673 5100 5000 0026 0095 1195 6900, в АТ «УкрСиббанк», МФО 351005
Тел: +38 (050) 358-87-90, e-mail: omkar@kovalska.com | kovalska.com