

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

МАКСИМЕНКО ІВАН СЕРГІЙОВИЧ

УДК 622.6:656.1:629.3

ДИСЕРТАЦІЯ

**Обґрунтування параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів
дизель-тролейвозів при видобутку залізних руд**

133 – Галузеве машинобудування

13 – Механічна інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

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

_____ І. С. Максименко

Науковий керівник – **Монастирський Юрій Анатолійович**,
доктор технічних наук, професор

Кривий Ріг - 2024

АНОТАЦІЯ

Максименко І.С. Обґрунтування параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів при видобутку залізних руд - Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування» – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2024.

Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання з підвищення ефективності та екологічності кар'єрного автотранспорту шляхом впровадження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів з електромеханічною трансмісією, що дозволить зменшити витрати на транспортування та зменшити витрати палива та відповідно викиди шкідливих речовин в атмосферу кар'єру від автотранспорту та доведена можливість ефективного застосування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів, що має важливе значення в галузі.

У ході аналітичних досліджень процесів експлуатації, обслуговування і ремонту кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів, були встановлені параметри надійності роботи, закономірності зміни параметрів функціонування та обсяги викидів шкідливих речовин, які дозволили визначити ефективні параметри експлуатації кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах та обґрунтувати перспективи декарбонізації технологічного автомобільного транспорту при видобутку залізних руд у глибоких кар'єрах.

Отримала подальший розвиток методика визначення показників надійності роботи кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в глибоких кар'єрах. Вперше встановлені двопараметричні закономірності зміни питомої продуктивності та питомих витрат палива кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів від довжини траси та питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси. Удосконалена методика економіко-математичного визначення

умов ефективної експлуатації кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів при розробці родовищ корисних копалин яка дозволяє визначити ефективність експлуатації кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах і додатково враховує генерування електричної енергії при функціонуванні кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів.

Результати досліджень будуть використані при плануванні подальшого розвитку технологічного автомобільного транспорту при розробці залізорудних кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривого Рогу. Результати досліджень використовуються у навчальному процесі Криворізького національного університету.

Ключові слова: видобуток, електропривод, енергоефективність, кар'єр, кар'єрний самоскид, корисні копалини, математична модель, моделювання, параметри, розробка родовищ, руда, транспортування.

ABSTRACT

Maksimenko I.S. Justification of the parameters of the operation of trolley assisted truck haulage during the extraction of iron ores - Qualification scientific work with the rights of the manuscript.

Dissertation for the Doctor of Philosophy degree in specialty 133 «Mechanical Engineering» - Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2024.

The dissertation is a completed scientific study that addresses the urgent scientific task of increasing the efficiency and environmental friendliness of quarry transport by introducing diesel trolley assisted dump trucks with electromechanical transmission. This will reduce transportation costs and emissions of harmful substances into the atmosphere from quarry transport. The study proves the possibility of effective application of diesel trolley assisted dump trucks in iron ore quarries of Kryvyi Rih mining and processing plants, which is of great importance in the field.

Through analytical studies of the processes of operation, maintenance, and repair of diesel trolley assisted dump trucks, parameters of operational reliability, functional patterns, and volumes of harmful emissions were established. These parameters made it possible to determine effective operating parameters for diesel trolley assisted dump trucks in iron ore quarries and justify the prospects for decarbonizing technological automotive transport in deep iron ore quarries.

The methodology for determining the reliability indicators of diesel trolley assisted dump trucks in deep quarries has been further developed. For the first time, two-parametric patterns of changes in specific productivity and specific fuel consumption of diesel trolley mine dump trucks depending on the track length and the specific weight of the trolley section in the total track length have been established. The method of economic and mathematical determination of the conditions for the effective operation of diesel trolley assisted dump trucks in mineral deposit development has been improved. This method allows determining the efficiency of operating diesel trolley assisted dump trucks in iron ore quarries

and additionally takes into account the generation of electrical energy during the operation of diesel trolley assisted dump trucks trucks.

The research results will be used in planning the further development of technological automotive transport in the development of iron ore quarries of Kryvyi Rih mining and processing plants. The research results are used in the educational process of Kryvyi Rih National University.

Keywords: extraction, electric drive, energy efficiency, quarry, trolley assisted dump trucks, minerals, mathematical model, modeling, parameters, deposit development, ore, transportation.

Список публікацій здобувача:

• **в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:**

1. Monastyrskiy, Yurii, Sistuk, Volodymyr, Potapenko, Volodymyr, & Maksymenko, Ivan (2020). The sustainable future of open-pit trucks operation. *International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic*, (pp.166). E3S Web of Conferences 07005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607005>

2. Монастирський, Ю. А. Максимова, О.С., Потапенко, В.В., & Максименко, І.С. (2020). Аналіз адекватності моделі технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2 (15), 79-87. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.395>

3. Monastyrskiy, Y., Sistuk, V., & Maksymenko, I. (2023). Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). *Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference*. (pp. 705 – 709). Kaunas University of Technology. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P2>

4. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2024). Дослідження закономірностей зміни продуктивності дизель тролейвозів у залізрудних кар'єрах Криворізького басейну. *Вісник Криворізького національного університету*, 1 (22), 35-39. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2024-1-58-36-40>

5. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2024). Перспективи декарбонізації автомобільного транспорту глибоких кар'єрів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1 (22), 252-257. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1367>

• **які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:**

6. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2023). Перспективи застосування дизель тролейвозів на залізрудних кар'єрах Криворізького

басейну. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.164). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ublji>

7. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2023, жовтень 23-25). Визначення закономірностей зміни показників роботи дизель тролейвозів на залізорудних кар'єрах України. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* (с. 243-245). Видавництво Вінницького національного технічного університету. <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/802>

8. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Панченко, А. К., & Грищенко, К. А. (2023, листопад 22-24). Перспективи декарбонізації технологічного автотранспорту залізорудних кар'єрів *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту* (с. 176). Центральноукраїнський національний технічний університет, кафедра експлуатації та ремонту машин. <https://dspace.kntu.kr.ua/items/f29c184b-7dac-466e-82af-e42a6f55633b>

9. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Грищенко, К. Г., Косяк, О. О., & Ципченко Д. К. (2024, травень 22-24). Дослідження закономірностей зміни продуктивності дизель тролейвозів у залізорудних кар'єрах Криворізького басейну. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.121). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ubjez>

10. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Грищенко, К. Г., Косяк, О. О., & Ципченко Д. К. (2024, травень 22-24). Дослідження закономірностей зміни витрат палива автосамоскидами дизель тролейвозами на залізорудних кар'єрах. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.120). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ubjez>

які додатково відображають наукові результати дисертації:

11. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2020, вересень 8-10). Передумови необхідності теоретичного визначення витрат палива двигунами

внутрішнього згорання кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією при русі в режимі електродинамічного гальмування. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування* (с. 80). Херсонська державна морська академія. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/seutto__2020.pdf

12. Максименко, І.С. (2022, жовтень 3-7) Сучасні кіберфізичні системи кар'єрного автомобільного транспорту гірничо-збагачувальних комбінатів. *Розвиток промисловості та суспільства* (с. 164). Видавничий центр Криворізького національного університету. <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.knu.edu.ua/storage/files/2/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%97%202022/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B2%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84.%20%D0%A1%D0%A2%D0%90%D0%9B%D0%98%D0%99%20%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%9A%20-%202022.pdf.pdf>

13. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2020, листопад 26). Доцільність теоретичного визначення витрат палива двигунами кар'єрних автосамоскидів при русі в режимі електродинамічного гальмування. *Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки* (с. 72 – 73). Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

14. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2022, листопад 21-22). Режими роботи електромеханічної трансмісії кар'єрного автосамоскиду вантажопідйомністю 130 т для моделювання в тренажерах. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології* (с. 87-88). Харківський національний автомобіле-дорожній університет. <https://dl2022.khadi-kh.com/enrol/index.php?id=3751>

ЗМІСТ

ВСТУП	11
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ КАР'ЄРНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ	18
1.1. Загальні положення.....	18
1.2. Традиційні системи транспортування автосамоскидами.....	20
1.3. Дизель-тролейвозні системи кар'єрних перевезень.	24
1.4. Висновки до розділу 1.	32
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗІВ.....	34
2.1. Загальні положення.....	34
2.2. Постановка задачі.....	35
2.3. Результати досліджень.....	41
2.4. Висновки до розділу 2.	52
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗІВ У ПОРІВНЯННЯ З КАР'ЄРНИМИ АВТОСАМОСКИДАМИ	54
3.1. Вихідні дані.....	54
3.2. Визначення закономірностей зміни продуктивності роботи.	55
3.3. Визначення закономірностей зміни витрат палива.	60
3.4. Визначення зміни викидів відпрацьованих газів при функціонування дизель-тролейвозів.	66
3.5. Висновки до розділу 3.	72
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ЇХ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ	74
4.1. Методика економіко-математичного моделювання.....	74

4.2. Вихідні дані та постановка задачі економіко-математичного моделювання.	83
4.3. Результати економіко-математичного моделювання	84
4.4. Аналіз можливих місць застосування дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах Криворізького басейну.....	95
4.5. Висновки до розділу 4.	102
ВИСНОВКИ.....	103
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	106
Додаток А.....	118

ВСТУП

Сучасні залізорудні кар'єри України досягли глибин 300 – 500 м, що переводить їх в розряд глибоких. З поглибленням кар'єрів все гостріше стає проблема забруднення атмосфери відпрацьованими газами кар'єрних автосамоскидів, одночасно посилюються екологічні вимоги до виробництва, особливо гірничого. В таких умовах пошук шляхів зменшення викидів відпрацьованих газів шляхом переведення кар'єрних автосамоскидів на альтернативні види палива чи на електричну тягу є актуальною науковою проблемою.

Система транспортування автосамоскидами є найпоширенішою системою транспортування, яка зараз використовується у великих кар'єрах. Вона забезпечує високу продуктивність у поєднанні з гнучкістю швидкого переміщення та регулювання вантажопідйомності. Оскільки світ рухається до декарбонізації в рамках переходу до цільових показників чистих нульових викидів, актуально розглядати питання декарбонізації автотранспортних систем у великих кар'єрах.

Більшість кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 130 т, що використовуються на залізорудних кар'єрах України, мають електромеханічну трансмісію, яка забезпечує ефективне транспортування вантажів, тому одним з можливих варіантів вирішення поставленої проблеми є їх переобладнання в дизель-тролейвози, також можливо використання автосамоскидів вантажопідйомністю 90 та 220 т.

У світі реалізовані та успішно працюють тролейні системи на кар'єрах Palabora (South Africa), Rossing, (Namibia), Gecamines (Congo), Barrick Gold (USA), Kinshanchi, (Zambia), Sishen Iron (South Africa), Lumwana Copper (Zambia), Grootegeluk Coal (South Africa), довжина існуючих ліній від 2 до 11 км, кількість модифікованих автосамоскидів на кожному з кар'єрів від 4 до 80. Досвід експлуатації дизель-тролейвозів свідчить переваги у порівнянні зі звичайними дизельними автосамоскидами: збільшення швидкості самоскида на підйом з 6 до 24 км/год; підвищення продуктивності самоскида на 10-30%;

зниження витрат на паливо на 70-80%; мінімізація впливу на оточуюче середовище, зниження рівня шуму та викиду відпрацьованих газів дизельного двигуна. Проте перераховані позитивні моменти та ступінь ефективності використання дизель-тролейвозів, залежать від ряду умов та обмежень, а саме: уклін автодоріг, відстань транспортування, ступінь троллейзації автодоріг (частка пройденого шляху транспортування із живленням від контактної мережі), співвідношення вартості електроенергії та дизельного палива, річний об'єм перевезень, тривалість експлуатації троллейвозного транспорту.

Отже, робота направлена вирішення актуального наукового завдання з підвищення ефективності та екологічності кар'єрного автотранспорту шляхом впровадження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів з електромеханічною трансмісією, яка дозволить зменшити витрати на транспортування та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу кар'єру від автотранспорту і довести можливість ефективного застосування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів є актуальним науковим завданням, що має важливе значення в галузі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тематика роботи пов'язана із Законом України № 5460-VI від 16.10.2012 «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», зокрема зі статтею 4, п.1 «Освоєння нових технологій транспортування енергії, впровадження енергоефективних, ресурсозберігаючих технологій, освоєння альтернативних джерел енергії».

Тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри гірничих машин та обладнання Криворізького національного університету, а саме: «наукове обґрунтування технічних умов експлуатації гірничих машин, комплексів та обладнання (монтаж, демонтаж, діагностування стану, ремонт, змащення та технічне обслуговування) з урахуванням їх взаємодії з навколишнім середовищем»; а також «дослідження надійності гірничих

машин, комплексів, агрегатів та їх елементів, розроблення методів підвищення рівня їх якості».

Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності та екологічності кар'єрного автотранспорту шляхом впровадження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів з електромеханічною трансмісією, що дозволить зменшити витрати на транспортування та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу кар'єру від автотранспорту.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Провести аналіз сучасних методів підвищення ефективності роботи та декарбонізації кар'єрного автомобільного транспорту.

2. Виконати математичне моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів та визначити ймовірності знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в працездатному чи іншому стані для обґрунтування надійності їх роботи.

3. Розробити математичну модель та визначити показники роботи дизель-тролейвозів та кар'єрних автосамоскидів для встановлення закономірностей зміни питомої продуктивності, питомих витрат палива та викидів шкідливих речовин дизель-тролейвозами по відношенню до кар'єрних автосамоскидів від довжини траси та питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси.

4. За допомогою економіко-математичного моделювання визначити ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами.

5. Встановити можливі місця застосування дизель-тролейвозів в кар'єрах Криворізького залізорудного басейну.

Об'єктом досліджень є виробничий процес експлуатації кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів на гірничих підприємствах.

Предмет дослідження: закономірності функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів, параметри надійності роботи рухомого

складу технологічного автотранспорту гірничих підприємств з видобутку залізних руд, показники викидів шкідливих речовин в атмосферу кар'єру .

Методи дослідження: аналіз літературних джерел та наукове узагальнення раніше виконаних досліджень для визначення актуальності питання, постановки задач досліджень та вибору методів дослідження; математичний апарат марківських випадкових процесів для визначення ймовірності знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в працездатному чи іншому стані при обґрунтуванні надійності їх роботи; теорія транспортних процесів і систем, а саме визначення параметрів роботи автомобілів з адаптацією до кар'єрного автомобільного транспорту для встановлення закономірностей зміни питомої продуктивності, питомих витрат палива та викидів шкідливих речовин дизель-тролейвозами по відношенню до кар'єрних автосамоскидів; методи теорії планування експериментів для обґрунтування кількості варіантів розрахунків при збереженні достовірності та точності встановлених закономірностей; методи математичної статистики для встановлення рівнянь визначених закономірностей; економіко-математичне моделювання для визначення ефективності застосування дизель-тролейвозів. **Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечуються:** коректністю постановки задач; застосуванням апробованих раніше математичного апарату, методів та методик; порівняння результатів дослідження з фактичними даними підприємств та теоретичним узагальненням виявлених закономірностей.

Наукова новизна:

1. Вдосконалена методика визначення параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів шляхом врахування додаткових видів технічного обслуговування і ремонту та зв'язків між ними, яка дозволяє визначати ймовірності знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в працездатному чи іншому стані. Встановлено, що ймовірність працездатного стану кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів може

досягати 0,80...0,86, що на 0,19...0,27 вищі за фактичні показники роботи кар'єрних автосамоскидів аналогічної вантажопідйомності.

2. Вперше встановлені двопараметричні закономірності зміни питомої продуктивності та питомих витрат палива дизель-тролейвозами по відношенню до кар'єрних автосамоскидів аналогічної вантажопідйомності від довжини траси та питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси. Питома продуктивність зростає по параболічній залежності при зростанні довжини траси та зростає по лінійній залежності при зростанні питомої частини тролейної ділянки траси. Питомі витрати палива та відповідно викиди шкідливих речовин зменшуються по параболічній залежності при зростанні довжини траси та зменшуються по лінійній залежності при зростанні питомої частини тролейної ділянки траси.

3. Удосконалена методика визначення ефективності застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами, яка диференційовано враховує схожі витрати та додатково до існуючої економіко-математичної методики враховує інвестиції пов'язані з переобладнанням кар'єрних автосамоскидів в дизель-тролейвози і будівництво тролейної лінії, прибуток від генерування електричної енергії при русі із гори у долину під тролеями в режимі електродинамічного гальмування. Термін окупності інвестицій зменшується по ступеневій залежності при зростанні довжини траси.

Практична цінність:

Результати досліджень будуть використані при плануванні подальшого розвитку технологічного транспорту при розробці залізородних кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів та у навчальному процесі Криворізького національного університету.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються як додатковий матеріал при проведенні лекцій, практичних занять, самостійній роботі здобувачів вищої освіти при підготовці бакалаврів за освітньо-професійними програмами «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на

автомобільному транспорті)», магістрів за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» у курсах дисциплін «Експлуатація та обслуговування машин», «Гірничотехнічні умови експлуатації автомобілів в кар'єрах», «Кар'єрні автосамоскиди», «Основи наукових досліджень», «Методологія наукових досліджень» (див. Додаток А).

Особистий внесок здобувача. У друкованих працях, опублікованих у співавторстві, особисто здобувачеві належить: проведення аналізу сучасних методів підвищення ефективності роботи та декарбонізації кар'єрного автомобільного транспорту [8, 11, 12, 13, 14]; виконання математичного моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів та визначення ймовірності знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в працездатному чи іншому стані для обґрунтування надійності їх роботи [1, 2]; розроблення математичної моделі та визначення параметрів роботи дизель-тролейвозів та кар'єрних автосамоскидів для встановлення закономірностей зміни питомої продуктивності, питомих витрат палива та викидів шкідливих речовин дизель-тролейвозами по відношенню до кар'єрних автосамоскидів від довжини траси та питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси [3, 4, 7, 9, 10]; виконання економіко-математичного моделювання та визначення ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами [5]; встановлення можливих місць застосування дизель-тролейвозів в кар'єрах Криворізького залізничного басейну [6].

Апробація результатів дисертації. Результати й основні положення праці здобувач доповідав та обговорював на таких заходах: The International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic (Міжнародна конференція зі сталого майбутнього: екологічні, технологічні, соціальні та економічні питання) (ICSF 2020) (22.04.20), 11-та міжнародна науково-практична конференція «Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування» (Херсон, 2020 р.), IV Всеукраїнська науково-технічна конференція «Створення,

експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки» (Полтава, 2020 р.), Міжнародна науково-технічна конференція «Розвиток промисловості та суспільства» (Кривий Ріг, 2022, 2023, 2024 рр.), VIII міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Автомобіль і електроніка. Сучасні технології» (Харків, 2022 р.), 27th International Scientific Conference «Transport Means» (Palanga, 2023) (27 Міжнародна наукова конференція «Транспортні засоби» (Паланга, 2023 р.)), XVI Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту», (Вінниця, 2023 р.), Міжнародна науково-практична конференція «Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту», (Кропивницький, 2023 р.), VIII міжнародна науково-технічна конференція «Науково-прикладні аспекти автомобільної і транспортно-дорожньої галузей», (Луцьк, 2024).

Обсяг і структура роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел із 86 найменувань та додатку. Загальний обсяг роботи складає 117 с.

Роботу виконано на кафедрах автомобільного транспорту і гірничих машини та обладнання Криворізького національного університету.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТА ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ КАР'ЄРНОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1. Загальні положення.

Усі сектори суспільства повинні підтримувати декарбонізацію. Гірничодобувний сектор повинен заохочувати використання технологій відновлюваної енергії та інших економічно ефективних технологій з низьким рівнем викидів як засіб боротьби зі зміною клімату [3]. Можна стати конкурентоспроможними та замінити традиційні компанії з високим рівнем викидів, зробивши електрифікацію кар'єрного обладнання пріоритетною технологією [16]. Завдяки розвитку технологій електрифікації та акумуляторів дизельне обладнання на гірничодобувних підприємствах і транспорті може бути поступово замінено поєднанням електроенергії та технологій зберігання енергії. Гірничодобувний сектор, ймовірно, приділить більше уваги виробництву електроенергії та зберігання акумуляторів у результаті переходу на «повністю електричний» кар'єр [3].

Транспорт має вирішальне значення для скорочення викидів, пов'язаних з гірничодобувними роботами, зокрема парком кар'єрних автосамоскидів [54, 55, 58]. Гірничодобувний сектор замінює викопне паливо використанням відновлюваної електроенергії, щоб зменшити вплив нестабільності цін на паливо та декарбонізацію. Особливо для віддалених кар'єрів, які значною мірою покладаються на виробництво дизельного палива на місці, виробництво електроенергії з відновлюваних джерел і парк автосамоскидів з нульовим рівнем викидів є критично важливими для досягнення значного скорочення викидів у загальних викидах гірничого підприємства [58, 65] .

З високим попитом на корисні копалини та виснаженням високоякісних ресурсів існує багато проблем, які постають перед гірничодобувним сектором. До них належать:

- Збільшення глибини та зменшення вмісту корисного компоненту: за останні два десятиліття глибини кар'єрів значно зросли. Деякі кар'єри опускаються на глибину понад 1000 м [43]. Варто зазначити, що в майбутньому видобуток родовищ неминуче проводитиметься на більшій глибині та з меншим вмістом корисного компоненту у порівнянні з поточною практикою, і ця тенденція, як очікується, продовжуватиметься [10, 41].

- Високі експлуатаційні витрати: у міру того, як кар'єри стають глибшими, а коефіцієнти розкриття збільшуються з нижчим вмістом, потрібно видобувати більше відходів. Відповідно зростає парк вантажних автомобілів, що потребує більшої кількості операторів і обслуговуючого персоналу, що призводить до збільшення споживання дизельного палива [9, 10, 15, 24, 30, 45]. Крім того, оскільки вміст руди знижується, потрібно переробляти більше руди, щоб досягти аналогічного виробництва металу. Зменшення вартості перевезення вантажівками, що становить близько половини операційних витрат гірничодобувної діяльності, зараз є більш важливим, ніж будь-коли [42].

- Нестабільність цін на паливо: нестабільність цін на викопне паливо суттєво впливає на життєздатність видобутку, але перебуває поза контролем більшості гірників [17]. У короткостроковій перспективі ціна на викопне паливо демонструє схильність до стабілізації, тоді як у довгостроковій перспективі вона демонструє значне зростання.

Системи транспортування автосамоскидами широко розгорнуті в існуючих кар'єрах і будуть поширюватися на більшості поточних діючих кар'єрах. З метою оцінки вибору системи транспортування для видобутку корисних копалин необхідно порівняти всі ці системи видобутку з багатьох метричних точок, щоб вибрати оптимальну операційну систему для видобутку корисних копалин на основі наступних критеріїв:

- Енергоефективність, капітальні та поточні витрати, вимоги до обслуговування, термін служби, вимоги до додаткової інфраструктури та виробництво тепла є фінансовими показниками системи.

- Викиди та вплив на навколишнє середовище (шум/пил/вібрація) є екологічними параметрами системи.

- Безпека та продуктивність є показниками для вимірювання сценаріїв впровадження системи.

- Гнучкість, ємність, масштабованість, методи заправки/підзарядки/заміни які є параметрами продуктивності системи.

1.2. Традиційні системи транспортування автосамоскидами.

Традиційні системи транспортування автосамоскидами продовжують домінувати на кар'єрах, тому що автосамоскиди з дизельними двигунами є надзвичайно гнучкими в роботі з різними породами з гарними можливостями рухатися під уклоном та високою маневреністю [52]. Класична система транспортування автосамоскидами складається з наступних технологічних процесів: маневри та черги у місці завантаження, завантаження, транспортування гірничих порід, маневри та черги у місці розвантаження, розвантаження, виїзд з місця розвантаження, повернення порожнього автосамоскиду до вибою [2, 4, 5]. На сьогодні система транспортування автосамоскидами є найбільш роботоздатною, гнучкою та широко використовуваною системою на відкритих гірничих роботах, а застосування автономних автосамоскидів ще більше підвищує безпеку та ефективність транспортного процесу [2, 57].

Система транспортування автосамоскидами продовжує залишатися переважною системою транспортування кар'єрів, вибраною для кар'єрів через її простоту реалізації, високу гнучкість і високу масштабованість.

- Простота реалізації. Більшість авансових витрат системи автосамоскидів – це автосамоскиди та навантажувачі. Кар'єр нового проекту

може розпочати роботу з відносно невеликим парком автосамоскидів і екскаваторів та розширити виробничі потужності шляхом придбання більших одиниць у міру розвитку кар'єру [52]. З точки зору планування підприємства та планування гірничих робіт, для завершення транспортного циклу потрібні кілька сегментів транспортування з відповідними параметрами дороги, наприклад, ухил і ширина дороги. З самого початку кар'єру автосамоскиди та навантажувачі є дуже передбачуваним і контрольованим засобом транспортування з економічної та експлуатаційної точок зору [42].

- Висока гнучкість. Завдяки високій гнучкості систем автосамоскидів вони стали домінуючою системою в розробці корисних копалин [14]. Оскільки системи автосамоскидів складаються з окремих незалежних елементів, диспетчери кар'єру можуть відправляти кожну одиницю на спеціалізований робочий вибій для виконання виробничих вимог кар'єру. Завдяки меншій кількості обмежень щодо конструкції кар'єру та відсутності переміщення основної інфраструктури можна легко змінити графік розгортання парку автосамоскидів і завдання видобутку. Найголовніше те, що автосамоскиди здатні адаптуватися до різних форм рудних тіл і геологічних умов, щоб адаптуватися до непередбачених змін у кар'єрі.

- Висока масштабованість. У міру розвитку кар'єру будуть додані додаткові автосамоскиди, щоб забезпечити довший цикл перевезення, а також використовуватимуться більшого розміру автосамоскиди та екскаватори, щоб скористатися перевагами економії на масштабі [23]. Крім того, кількість і тип використовуваних автосамоскидів і навантажувачів можна легко регулювати, щоб змінити швидкість виробництва [42].

Однак у традиційній системі технологічного автомобільного транспорту є багато проблем:

- Високі експлуатаційні витрати. Приблизно 40...60% (залежно від комбінації вантажного обладнання) поточних витрат припадає на транспортування та переробку корисних копалин, особливо на екскаваторно – автомобільний комплекс [5, 27, 38]. Відстань транспортування починає

зростати, коли кар'єри стають глибшими, що суттєво знижує продуктивність автосамоскидів. Щоб вийти на номінальний рівень видобутку кар'єра, необхідно збільшити кількість автосамоскидів, або створювати пункти перевантаження на інші види транспорту. Експлуатаційні витрати, включаючи капітальні витрати, споживання палива, робочу силу, розмір транспортної траншеї, технічне обслуговування та ремонт машин сервісними центрами, все зростають зі збільшенням кількості автосамоскидів [42].

- Викиди CO₂ і витрати дизельного палива. Автосамоскиди з дизельним двигуном виділяють значну кількість газів і унікальних токсичних речовин, спричинених дизельними двигунами [1]. Згідно зі статистичними даними міжнародного енергетичного агентства, один кар'єрний автосамоскид щорічно викидає до 1000 т CO₂ для поглинання яких знадобилося б 46 000 дерев [7, 26, 25].

- Дефіцит робочої сили. Підраховано, що для роботи (включаючи експлуатацію та технічне обслуговування) звичайного автосамоскиду потрібно приблизно сім осіб [23]. Дві 12-годинні робочі зміни складаються з 4,4 операторів (0,4 для покриття відпусток і відсутності) і 2,7 робітників з технічного обслуговування [41].

- Коливання цін на пальне. Витрати на паливну енергію є одними з найбільш значних витрат у гірничодобувній галузі, в середньому становлять від 15 до 40% (залежно від компонентів гірничої системи) загальних експлуатаційних витрат кар'єри [24]. Класична система екскаватор - автосамоскид чутлива до нестабільності ринку викопного палива, оскільки значна частина її енергії походить від дизельного палива. Очікується, що споживання енергії, головним чином при роботі автосамоскидів з дизельним двигуном, ще більше зросте, оскільки розширюється видобуток корисних копалин і зростає попит на чисті метали для перетворення енергії [24].

- Ризики безпеки. Будучи найпоширенішим видом транспортного обладнання, кар'єрні автосамоскиди є співучасниками багатьох аварій на

діючих кар'єрах [1]. Приблизно одна третина смертельних випадків у австралійських кар'єрах пояснюється зіткненнями транспортних засобів [52].

- Технічне обслуговування. Автосамоскиди з двигунами внутрішнього згоряння є складними системами, вимагають високої кваліфікації механіків і високих витрат на обслуговування, особливо дизельних двигунів. Іншою високою ціною є позашляхові шини, оскільки знос шин буде сильним із збільшенням одиниць автосамоскидів. Тим часом допоміжне обладнання (наприклад, грейдер, водовоз і бульдозер) використовується для підтримки транспортної дороги та зменшення впливу на навколишнє середовище за умови належного технічного обслуговування для підтримки продуктивності системи екскаватор - автосамоскид. Вартість обслуговування звичайної системи екскаватор - автосамоскид становить значну частину експлуатаційних витрат на транспортування.

Використовуючи ефект масштабу кар'єри віддають перевагу використанню автосамоскидів більшої вантажопідйомності для підвищення продуктивності та зниження експлуатаційних витрат. Однак більші автосамоскиди не можуть усунути недоліки системи екскаватор - автосамоскид, і вони мають інші негативні впливи на наступні процеси (дроблення та подрібнення). Високі вибої та схеми вибухових робіт з рідкою сіткою свердловин, ускладнюють відокремлення руди від масиву і викликають неконтрольоване руйнування з високим виходом негабариту. Більша частка негабаритного матеріалу робить стадію подрібнення в процесі дроблення та помелу значно дорожчою з точки зору всієї перспективи від вибою кар'єру до фабрики, у міру зниження якості подачі руди [8, 42].

Великі кар'єри все більше інвестують в автономні транспортні автосамоскиди (АНТ). Значне зниження ризику зіткнення було досягнуто за допомогою АНТ, а також високого рівня продуктивності та продуктивності шин [48]. Незважаючи на те, що автономні технології можуть зменшити витрати оператора та підвищити енергоефективність, що становить значну частину витрат на транспортування, вони вимагають більших інвестицій

порівняно зі звичайними вантажівками з такою ж місткістю [6]. Навіть з такою складністю, включаючи необхідне апаратне та програмне забезпечення, ці АНТ не можуть подолати багато проблем із збільшенням відстані транспортування [42]. Що ще важливіше, хоча АНТ є більш ефективними по фактору палива, вони не можуть досягти фактичної декарбонізації гірничодобувної промисловості.

Компанія Siemens [50] оцінює, що під час підйому на ухил 70–80% відсотків дизельного палива споживається під час транспортних операцій. Для самоскидів надвеликої вантажопідйомності більше 40% загальної енергії витрачається на повернення маси транспортного засобу до верхньої транспортної точки [18].

1.3. Дизель-тролейвозні системи кар'єрних перевезень.

Після кризи постачання нафти в середині 1970-х років гірничодобувна промисловість звернула увагу на технологію економії палива шляхом використання дизель-тролейвозів. Кілька кар'єрів, обладнаних великими позашляховими електричними автосамоскидами, розглядали можливість впровадження дизель-тролейвозів у свою роботу. Загальний вигляд системи дизель-тролейвозів показано на рисунку 1.1.

Як рішення, яке є практичним першим кроком на шляху до кар'єрних ділянок з низьким рівнем викидів, дизель-тролейвоз є перевіреною технологією, здатною забезпечувати зовнішню електроенергію для дизель-електричного обладнання. Останні досягнення в технології електричного керування зробили цей тип перевезень привабливою альтернативою звичайним дизель-електричним перевезенням [28].

Системи дизель-тролейвозів отримують електроенергію для дизель-електричних автосамоскидів через зовнішнє джерело живлення. Дизель-електричні кар'єрні автосамоскиди оснащені дизельним двигуном, який

генерує струм, що живить електричні двигуни задніх коліс, щоб передавати крутний момент на колеса. За допомогою дизель-тролейвозної системи колісні двигуни живляться від зовнішнього джерела струму. Системи дизель-тролейвозів складаються з трьох підсистем: електроживлення, розподіл електроенергії по тролеям та автосамоскиди з вдосконаленням дизель-тролейвозними додатками [12].

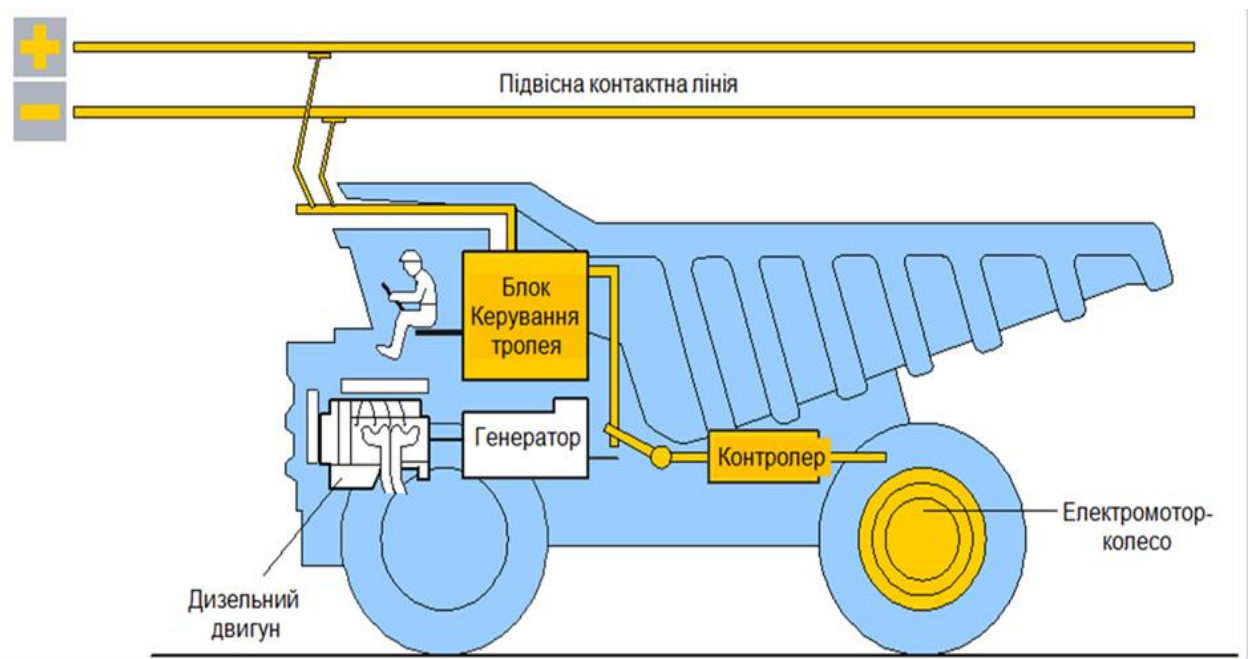


Рис.1.1. Принципова схема кар'єрного автосамоскиду дизель-тролейвозу

Метою технологічного транспорту є перевезення максимального обсягу корисного вантажу за годину, мінімізуючи експлуатаційні витрати протягом одного циклу перевезення у прийнятних межах ризику [32]. Таким чином, модуль живлення, який виробляє електроенергію від дизельного двигуна, може бути інтегрований з електрикою підвісного троллейвоза для досягнення додаткової економії палива [22, 34, 39, 53]. Система дизель-тролейвозів є найбільш економічно ефективною на бортах кар'єру, де використовується більша частина загальної енергії [32].

Після того, як оператори маневрують дизель-електричними вантажівками, покидаючи робочу зону (вибій), щоб прибути до тролейної

лінії, оператори визначають найбільш відповідний час і швидкість наближення, щоб увійти в режим тролейвозу та щоб підняти пантограф. Вантажівка перемикається на електроживлення від тролєї коли пантограф активується та підключається до повітряної електричної лінії. Крім того, дизельний двигун автосамоскиду переходить у режим холостого ходу, чи працює з невеликим навантаження, значно економлячи паливну енергію та зменшуючи викиди CO₂ [39].

Оскільки потужність електричного колісного двигуна зазвичай перевищує потужність двигуна внутрішнього згорання, повна потужність електричних колісних двигунів може досягти прискорення в режимі руху з вантажем під тролейною лінією [19]. З точки зору електроенергії, за допомогою пантографів дизель електричні автосамоскиди можуть отримувати електроенергію від повітряної тролейної лінії. Тим не менш, дизельна енергія все ще потрібна в вибоях кар'єру, у пункті розвантаження/дробарки і на зворотному шляху [32].

1. Електропостачання в кар'єрі.

Лінії електропередачі від основної підстанції доставляють живлення змінного струму до стратегічно розташованих випрямних підстанцій, забезпечуючи живлення постійного струму до тролейної лінії вздовж дороги. Випрямні підстанції повинні бути встановлені на пересувних опорах для мобільності, щоб адаптуватися до змін маршруту транспортування [12]. Випрямні підстанції подають електроенергію в повітряну розподільну систему вздовж маршруту перевезення.

2. Розподіл електроенергії.

Повітряний розподіл електроенергії забезпечується системою контактної мережі, яка подає електроенергію вздовж транспортної дороги. Система контактної мережі дозволяє автосамоскидам проїжджати під ним і підключатися до мережі постійного струму. Напруга, що постачається системою контактної мережі, залежить від колісних двигунів, які

використовують дизель-тролейвозами [40]. Контактна мережа підтримується стовпами, розташованими приблизно на 20–30 м уздовж дороги. Фактична конструкція та відстань опорних стовпів залежать від характеристик транспортної дороги.

3. Автосамоскиди дизель-тролейвози.

Конверсія автосамоскиду в дизель-тролейвоз необхідна в режимі тяги, коли працює дизель-тролейвозна система, яка в деяких випадках вимагає перемонтувати ланцюг колісного двигуна для послідовної роботи під час руху під тролеями. Система пантографа необхідна для підключення електричного кола автосамоскиду до повітряної електромережі, шляхом підняття або опускання.

У кожній із заявок на дизель-тролейвозу систему широко розголошували різноманітні переваги переходу на неї. Оцінки продуктивності системи дизель-тролейвозів були отримані з аналізу кількох південноафриканських парків, які використовували цю технологію в минулому [12]. Відповідно до наявних звітів і досвіду виробництва на кар'єрах, системи дизель-тролейвозів пропонують такі переваги порівняно з альтернативами автосамоскид - екскаватор. Перевагами дизель-тролейвозів є:

1. Зменшені викиди.

Найбільш важливою перевагою є значне скорочення викидів CO₂ автопарком [40]. Згідно зі статистичними даними АББ (ABB), один кар'єрний автосамоскид викидає близько 1000 т CO₂ на рік [7]. Системи найбільш ефективні на крутих ухилах, де утворюється найбільше викидів.

2. Знижені витрати дизельного палива.

На рампі з використанням дизель-тролейвозних систем можлива істотна економія дизельного палива. Відповідно до прикладу дослідження, використання дизель-тролейвозних систем зменшує споживання дизеля для перевезення по похилій ділянці на 19 літрів на кілометр на вантажівку [21]. Величина отриманої економії залежить від відносної ціни на дизельне паливо та електроенергію. Дійсно, порівняно недорога електроенергія є більш

популярною, ніж дизельне паливо, а ціни на викопне паливо продовжували зростати протягом останніх кількох років. З іншого боку, цікаво відзначити, що кілька кар'єрів, перетворених на дизель-тролейвозних системах, розташовані в південній Африці, де регіон зіткнувся з найбільшими проблемами постачання нафти протягом 1970-х років. Зменшене споживання дизельного палива може зменшити навантаження на віддалені кар'єри з проблемами постачання нафти [29].

3. Підвищена продуктивність.

Електродвигуни також мають більший крутний момент на низьких швидкостях, ніж традиційні двигуни внутрішнього згорання [31], це означає, що електрифіковані автосамоскиди можуть прискорюватися швидше та забезпечувати кращу швидкість на основному вантажному уклоні кар'єру [40]. Завдяки високій здатності автосамоскидів до нахилу під час роботи від електромережі система дизель-тролейвозу спрощує доступ до глибших частин кар'єру зі збільшенням глибини видобутку. Використання дизель-тролейвозних систем під час перевезень у гору зазвичай підвищує продуктивність системи перевезення. Звіт [12] показує, що отримані переваги — збільшення швидкості автосамоскиди на уклоні вантажної дороги з 13 км/год до 27 км/год. Загальне підвищення продуктивності автосамоскиди залежить від відносної довжини та ухилу дороги підйомів у гору під час циклу перевезення, і це збільшення продуктивності сприяє використанню дизель-тролейвозних систем для довгих перевезень у гору.

4. Збільшений термін служби двигуна внутрішнього згорання.

Усі кар'єри з дизель-тролейвозними системами повідомили про значне збільшення життєвих циклів і часу роботи двигуна та колісного двигуна. Збільшення швидкості на ухилах призводить до скорочення часу, протягом якого колісні двигуни працюють з повним навантаженням; Таким чином, менше ймовірність перегріву двигуна та колісних редукторів. З тими ж двигунами можна долати довші ухили без надмірного зносу колісних

редукторів, таким чином покращуючи систему транспортування для глибоких кар'єрів .

5. Зменшений розмір автопарку.

У дизель-тролейвозних системах одна вантажівка може завершити один цикл за коротший час завдяки своїй високій швидкості, що означає, що парк може перевозити більший можливий корисний вантаж за годину. Таким чином, скорочення кількості необхідних автосамоскидів, ймовірно, дозволить досягти виробничих вимог. Менша кількість автосамоскидів призводить до зменшення витрат на технічне обслуговування та робочу силу, а також зменшення капітальних витрат на придбання вантажівок.

6. Нижча вартість обслуговування.

Під час перевезення робота дизельного двигуна автосамоскида на холостому ході зменшує навантаження на двигун і тим самим збільшує термін служби двигуна. З точки зору одного автосамоскиду, дизель-тролейвозні системи потребують менше обслуговування, ніж звичайні дизельні автосамоскиди через скорочене обслуговування двигуна внутрішнього згорання автосамоскиду та менше їх капітальних ремонтів. З іншого боку, вважається, що економія буде компенсована збільшенням вартості технічного обслуговування електричних машин і тролейної системи [21].

7. Нижчі загальні експлуатаційні витрати.

Через витрати на інфраструктуру та модернізацію автосамоскидів, хоча система вимагає великих початкових капітальних витрат, загальні експлуатаційні витрати можуть бути нижчими, ніж у звичайних дизельних автосамоскидів, оскільки дизель-тролейвозна система здатна зменшити викиди (залежно від податкової політики вуглецю), споживання енергії, кількість автосамоскиди та витрати на технічне обслуговування.

Тим часом існує кілька недоліків дизель-тролейвозних систем проти звичайних автосамоскидів:

1. Високі авансові капітальні витрати.

Дизель-тролейвозна система є складнішою за звичайну систему автосамоскид - екскаватор щодо інфраструктури електропостачання кар'єру, розподілу електроенергії над машинами та модернізації автосамоскидів у дизель-тролейвоз, що означає високі початкові капітальні витрати. Згідно з дослідженнями, вартість інфраструктури на один кар'єрний автосамоскид для адаптивних заходів і систем, які потребують повітряного кабелю, становить близько 75% від загальної ціни автосамоскиди [20].

2. Обмеження щодо проектування та планування кар'єрів.

Найсуттєвішими перевагами автомобільного транспорту є його гнучкість до графіка видобутку та легкість налаштування під особливості розробки родовища корисних копалин. Встановлення дизель-тролейвозних систем накладає певну кількість обмежень на проектування та планування кар'єру. Незважаючи на те що тролейні лінії можна переносити, цей процес потребує спеціально навчених робітників, спеціального обладнання та певного часу. Вартість і обмеження, пов'язані з операцією перемикання дизель-тролейвозів, скоріше всього, перешкоджатимуть регулярному переміщенню транспортних комунікацій і обмежуватимуть схеми руху. Перемикання тролейвозів є однією з проблем структурної конструкції тролейної траси, яка може впливати на продуктивність транспортної системи. В той же час система дизель-тролейвозів зберігає більшість переваг у гнучкості завдяки використанню автосамоскидів з електромеханічною трансмісією [33].

3. Додаткові обслуговування системи дизель-тролейвозів.

Існуючий досвід роботи системи дизель-тролейвозів показує, що відстань між повітряною тролейною лінією та поверхнею траси руху має постійно та ретельно контролюватися [56]. Існує потреба формувати тролейні ділянки трас руху без різких поворотів та відносно жорсткі вимоги щодо вертикальних допусків між поверхнею траси руху та повітряними тролейними лініями. У операторів кар'єрних автосамоскидів, які працюють у як дизель-тролейвози виникають певні складнощі щодо мінімального блукання по

колісній траєкторії через вимогу розташувати пантограф під лініями електропередачі. У цьому випадку необхідна підтримка високої якості дорожнього одягу та необхідно більше допоміжного дорожньо – ремонтного обладнання. Також існують, додаткові витрати на технічне обслуговування, ремонт і утримання тролейної інфраструктури.

4. Обмеження продуктивність системи.

Тролейні ділянки трас мають обмежену пропускну здатність і можуть пропустити лише певну кількість дизель-тролейвозів, як через обмеження по відстані між машинами, так і через обмеження електромережі. Коли дизель-тролейвоз рухається під контактною лінією, то може бути, що через обмеження мережі наступний повинен чекати його виходу з під лінії або їхати з приводом від дизельного двигуна. Також повільно рухоме обладнання, таке як бульдозери, грейдери чи інші технологічні машин при русі по тролейній ділянці можуть уповільнити дизель-тролейвоз. Графіки руху дизель-тролейвозів повинні бути збалансовані відповідно плановим виробничим завданням та вимогами до обслуговування, враховуючи продуктивність роботи дизель-тролейвозів. От же, враховуючи обмеження пропускну здатності тролейної ділянки, парк дизель-тролейвозів вимагає більш ефективної стратегії керування транспортним процесом та диспетчеризації перевезень.

5. Необхідність додаткових обсягів електроенергії.

Встановлення тролейних ліній для використання дизель-тролейвозів потребує постачання в кар'єр додаткової електроенергії. Запровадження системи вантажних перевезень вказує на те, що дизель-тролейвозів може бути економічно доцільним у ситуаціях без дуже високого співвідношення витрат на дизельне паливо та електроенергію. Для віддалених кар'єрів біля яких є можливість розташування відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції чи вітряні турбіни це буде як альтернатива для задоволення потреб в електроенергії системи дизель-тролейвозів.

6. Підвищені вимоги до операторів.

Навчання операторів кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів має важливе значення для системи транспортування руди та порід, оскільки поки що оператори визначають найбільш відповідний час для підняття або опускання пантографа, при впровадженні автоматичного підняття та опускання пантографу в зоні тролейної лінії така проблема може не стояти. Вищі швидкості дизель-тролейвозів в поєднанні з відносно вузькими траєкторіями руху під тролеями вимагають від операторів кращих навичок і концентрації уваги. Оператор повинен точніше орієнтуватися у габаритах машин, щоб точно рухатися по траєкторії та уникати можливого зіткнення з опорами контактної мережі. При втрачанні контакту пантографу із тролейним дротом на ухилі через помилкове керування можливі аварійні ситуації зниження швидкості та втрата продуктивності перевезень.

У більшості випадків розташування тролейної лінії на керівній транспортній траншеї на постійний довгостроковий маршрут на виїзді з кар'єру призведе до найбільшої економічної вигоди. Економічна доцільність впровадження дизель-тролейвозів залежить від певної кількості факторів, таких як доступність електроенергії, збільшені витрати на дизельне паливо та мінімальні витрати на електроенергію, величина заробітної плати операторів і відповідні вимоги до обслуговування та ремонту машин.

1.4. Висновки до розділу 1.

1. Дизельний кар'єрний автосамоскид у порівнянні з іншими видами технологічного транспорту демонструє кращі показники щодо гнучкості, капітальних витрат, заправки, надійності, масштабованості та можливостей, але має низькі показники по енергоефективності, комплексному впливу на навколишнє середовище, як то шум, пил, викиди забруднюючих речовин та витратам викопного палива. Через певні обмеження дизель-тролейвоз демонструє середні показники за всіма параметрами, але він, може

використовувати електричну енергію з відновлювальних джерел, має значно меншу кількість викидів відпрацьованих газів в атмосферу. Через обмеження гнучкості та значні капіталовкладення дизель-тролейвозів з двома тролейними лініями, які йдуть у гору та у долину, навряд чи буде потрібен у великомасштабному впровадженні. Однак дизель-тролейвозна система підходить для глибоких кар'єрів які мають одну чи декілька основних транспортних ліній що розташовуються на неробочих бортах кар'єру за межами дії вибухових робіт і не потребують переміщення та відновлення тролейних ліній після проведення підривання гірничих порід.

2. Для обґрунтування параметрів функціонування дизель-тролейвозів при розробці залізних руд необхідно вирішити такі наукові завдання:

- встановити надійність роботи дизель-тролейвозів;
- визначити технічні параметри роботи дизель-тролейвозів та кар'єрних автосамоскидів на трасах різної довжини з різною питомою вагою тролейної ділянки в загальній довжині траси;
- визначити ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами в умовах, аналогічних умовам залізрудних кар'єрів України;
- встановити можливі місця застосування дизель-тролейвозів в кар'єрах Криворізького залізрудного басейну.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ ДИЗЕЛЬ- ТРОЛЕЙВОЗІВ

2.1. Загальні положення.

Особливістю досліджуваної системи технологічного автотранспорту із застосуванням кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів є те, що вона складається з парку модернізованих кар'єрних самоскидів і функціонує по певних шляхах, які задаються конфігурацією доріг для вивозу видобутої гірничої маси. Аналітичний огляд основних робіт, спрямованих на вдосконалення системи технічного сервісу технологічного автотранспорту виявив недостатній рівень її організації стосовно кар'єрних автосамоскидів – дизель-тролейвозів [35, 62, 77, 79].

Незважаючи на наявність значної кількості теоретичних досліджень, відсутні комплексні математичні моделі, які б дозволяли описати процес експлуатації машин із урахуванням усіх технологічних та ресурсних станів техніки, переходів між ними, процесів втрати, підтримання та відновлення працездатного стану, одночасно досягнувши мінімальних витрат на технічний сервіс кар'єрного автотранспорту.

Комплексне запровадження, системний принцип раціоналізації системи технічного сервісу кар'єрних самоскидів – дизель-тролейвозів полягає в одночасному розвитку діагностичних та моніторингових систем у рамках програми розвитку обслуговування за фактичним станом і використанні всіх переваг планово-попереджувальної системи та в сучасних системах управління технологічними процесами на гірничо-збагачувальних комбінатах [64].

Надійність системи технологічного автотранспорту кар'єру є основним показником як для економічно ефективного управління функціонуванням

транспортних засобів, так і для виробництва в цілому [63]. Тривала й надійна робота машин можлива за умови своєчасного, систематичного і якісного проведення технічного обслуговування й ремонту, тому обґрунтування параметрів функціонування технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів, яке дозволить знизити витрати на технічний сервіс кар'єрних самоскидів – дизель-тролейвозів є актуальним науковим завданням.

2.2. Постановка задачі.

Метою досліджень є підвищення ефективності експлуатації технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів шляхом застосування обґрунтованих параметрів технічного сервісу, а саме надійності роботи машин. Завдання вдосконалення системи технічного сервісу відноситься до планування й розробки методів управління технічним обслуговуванням і ремонтом рухомого складу, оптимізації за критерієм мінімізації наведених витрат на послугу «транспортування гірничої маси». Об'єктом досліджень є процеси технічної експлуатації кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів глибоких кар'єрів, а предметом – взаємозв'язок параметрів технічного обслуговування й ремонту та техніко-економічних показників кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів які працюють в глибоких кар'єрах.

Технологічні стани кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів, як і звичайних кар'єрних автосамоскидів із часом змінюються випадковим заздалегідь непередбаченим чином. Важливим моментом є те, що у першому наближенні можна припустити залежність технологічного стану кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у майбутньому від його поточного стану та незалежності від того, як і коли був досягнутий цей стан у даний момент часу. Для математичного опису таких технологічних станів вважається за доцільне застосування математичного апарата, відомого як «марківські випадкові процеси». Більше того, враховуючи, що розглядаються три технологічні

підсистеми станів кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза, можна застосувати математичне моделювання за схемою «марківського процесу з дискретними станами й безперервним часом».

На рисунку 2.1 представлений розмічений граф підсистем технологічних станів кар'єрного автосамоскида, який може бути застосований без змін і до дизель-тролейвоза при функціонуванні у кар'єрі, згідно до якого імовірності знаходження у кожному з них описуються за допомогою системи диференціальних рівнянь Колмогорова:

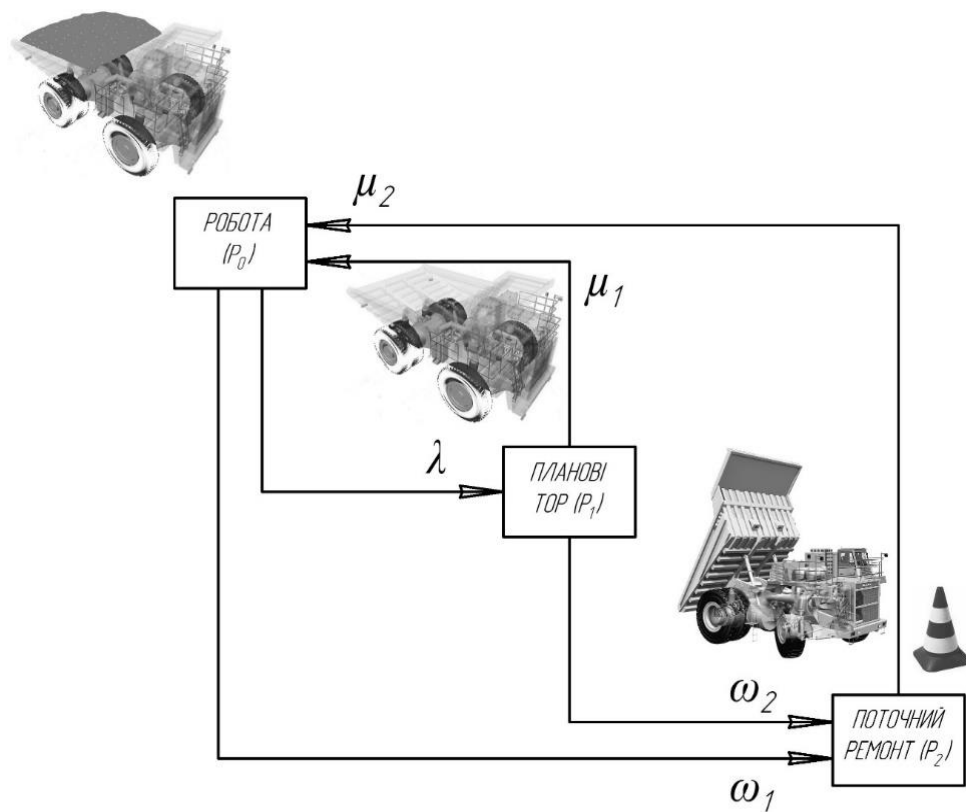


Рис. 2.1. Розмічений граф підсистем технологічних станів кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза:

λ – інтенсивність переходів кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза зі стану роботи у стан планових технічних обслуговувань і ремонтів; ω_1 – інтенсивність переходів кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза зі стану роботи у стан непланових поточних ремонтів; ω_2 – інтенсивність переходів кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза зі стану технічних обслуговувань у стан планових ремонтів; μ_1, μ_2 – інтенсивності повернень кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у стан роботи зі станів планових технічних обслуговувань і ремонтів і непланових ремонтів відповідно.

$$\begin{cases} \frac{dP_0}{dt} = -(\lambda + \omega_1)P_0 + \mu_1P_1 + \mu_2P_2; \\ \frac{dP_1}{dt} = \lambda P_0 - (\mu_1 + \omega_2)P_1; \\ \frac{dP_2}{dt} = \omega_1P_0 + \omega_2P_1 - \mu_2P_2, \end{cases} \quad (2.1)$$

де: $P_0 = P_0(t)$ – імовірність знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів у стані роботи;

$P_1 = P_1(t)$ – імовірність знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів у стані планових технічних обслуговувань і ремонтів;

$P_2 = P_2(t)$ – імовірність знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів у стані непланового поточного ремонту.

У початковий момент часу, передбачається, що дизель-тролейвоз перебуває у стані роботи

$$P_0(t=0) = 1; \quad P_1(t=0) = 0; \quad P_2(t=0) = 0. \quad (2.2)$$

При цьому повинна також виконуватися умова повноти системи технологічних станів кар'єрного автосамоскиду дизель-тролейвозу:

$$P_0(t) + P_1(t) + P_2(t) = 1. \quad (2.3)$$

Рівняння (2.1) та початкові умови (2.2) визначають задачу Коші. Для рішення цієї задачі необхідно знайти загальний розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.1), а потім, згідно з початковими умовами (2.2), визначити частковий розв'язок.

Рішення системи (2.1) знаходиться у вигляді:

$$P_i(t) = X_i \cdot e^{\theta_i t}; \quad (i = 0, 1, 2). \quad (2.4)$$

Підставляючи (2.4) у систему диференціальних рівнянь (2.1), отримується однорідна система лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} -(\lambda + \omega_1 + \theta)X_0 & + \mu_1 X_1 & + \mu_2 X_2 = 0; \\ \lambda X_0 & -(\mu_1 + \omega_2 + \theta)X_1 & = 0; \\ \omega_1 X_0 & + \omega_2 X_1 & -(\mu_2 + \theta)X_2 = 0. \end{cases} \quad (2.5)$$

Для того щоб система лінійних алгебраїчних рівнянь (2.5) мала ненульовий розв'язок, необхідно, щоб її визначник дорівнював нулю:

$$\begin{vmatrix} -(\lambda + \omega_1 + \theta) & \mu_1 & \mu_2 \\ \lambda & -(\mu_1 + \omega_2 + \theta) & 0 \\ \omega_1 & \omega_2 & -(\mu_2 + \theta) \end{vmatrix} = 0. \quad (2.6)$$

Розкриваючи визначник (2.6), отримується алгебраїчне рівняння для знаходження власних чисел:

$$\theta^3 + \theta^2(\lambda + \omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2) + \theta(\lambda\mu_2 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2) = 0. \quad (2.7)$$

Розв'язок цього рівняння має вигляд

$$\begin{aligned} \theta_1 &= 0; \\ \theta_2 &= \frac{-(\lambda + \omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2) - \sqrt{D}}{2}; \\ \theta_3 &= \frac{-(\lambda + \omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2) + \sqrt{D}}{2}, \end{aligned} \quad (2.8)$$

де: $D = (\lambda + \omega_1 + \omega_2 + \mu_1 + \mu_2)^2 - 4(\lambda\mu_1 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2)$.

У свою чергу, власні вектори, які відповідають знайденим власним числам (2.8), знаходяться шляхом підстановки цих чисел у систему лінійних алгебраїчних рівнянь (2.5).

Для значень $\theta = \theta_i$ отримується система двох рівнянь:

$$\begin{cases} -(\lambda + \omega_1 + \theta_i)X_0 + \mu_1 X_1 + \mu_2 X_2 = 0; \\ \lambda X_0 - (\mu_1 + \omega_1 + \theta_i)X_1 = 0; \end{cases} \quad (i=1, 2, 3). \quad (2.9)$$

Уважаючи $X_0 = 1$, шляхом розв'язку (2.9) знаходяться координати власного вектору, відповідного до власного числа θ_i :

$$\begin{aligned} x_1^{(i)} &= 1; \\ x_2^{(i)} &= \frac{\lambda}{\mu_1 + \omega_1 + \theta_i}; \\ x_3^{(i)} &= \frac{\theta_i^2 + \theta_i(\lambda + \mu_1 + 2\omega_1) + \omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1 + \theta_i)}. \end{aligned} \quad (i=1,2,3) \quad (2.10)$$

Ураховуючи (2.10), загальний розв'язок системи диференціальних рівнянь (2.1) запишеться у вигляді:

$$\begin{aligned} P_0(t) &= C_1 + C_2 e^{\theta_2 t} + C_3 e^{\theta_3 t}; \\ P_1(t) &= \frac{\lambda}{\mu_1 + \omega_1} C_1 + \frac{\lambda}{\mu_1 + \omega_1 + \theta_2} C_2 e^{\theta_2 t} + \frac{\lambda}{\mu_1 + \omega_1 + \theta_3} C_3 e^{\theta_3 t}; \\ P_2(t) &= \frac{\omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1)} C_1 + \frac{\theta_2^2 + \theta_2(\lambda + \mu_1 + 2\omega_1) + \omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1 + \theta_2)} C_2 e^{\theta_2 t} + \\ &\quad + \frac{\theta_3^2 + \theta_3(\lambda + \mu_1 + 2\omega_1) + \omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1 + \theta_3)} C_3 e^{\theta_3 t}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де: C_1, C_2, C_3 – довільні постійні.

Для знаходження довільних постійних використовується початкова умова (2.2), що дає систему лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 + C_2 + C_3 = 1; \\ \frac{1}{\mu_1 + \omega_1} C_1 + \frac{1}{\mu_1 + \omega_1 + \theta_2} C_2 + \frac{1}{\mu_1 + \omega_1 + \theta_3} C_3 = 0; \\ \frac{\omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1)} C_1 + \frac{\theta_2^2 + \theta_2(\lambda + \mu_1 + 2\omega_1) + \omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1 + \theta_2)} C_2 + \\ + \frac{\theta_3^2 + \theta_3(\lambda + \mu_1 + 2\omega_1) + \omega_1(\lambda + \mu_1 + \omega_1)}{\mu_2(\mu_1 + \omega_1 + \theta_3)} C_3 = 0. \end{array} \right. \quad (2.12)$$

Вирішуючи систему (2.12), знаходяться:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 = \frac{(\omega_2 + \mu_1)\mu_2}{\lambda\mu_2 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2}; \\ C_2 = \frac{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)}{\theta_2(\theta_2 - \theta_3)}; \\ C_3 = \frac{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)}{\theta_3(\theta_3 - \theta_2)}. \end{array} \right. \quad (2.13)$$

Підставляючи (2.13) у загальний розв'язок (2.11), знаходяться рішення задачі Коші:

$$P_0(t) = \frac{(\omega_2 + \mu_1)\mu_2}{\lambda\mu_2 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2} + \\ + \frac{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)}{\theta_2(\theta_2 - \theta_3)} e^{\theta_2 t} + \frac{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)}{\theta_3(\theta_3 - \theta_2)} e^{\theta_3 t};$$

$$\begin{aligned}
P_1(t) &= \frac{\lambda\mu_2}{\lambda\mu_2 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2} + \\
&+ \frac{\lambda(\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)}{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)\theta_2(\theta_2 - \theta_3)} e^{\theta_2 t} \\
&+ \frac{\lambda(\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)}{(\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)\theta_3(\theta_3 - \theta_2)} e^{\theta_3 t}; \quad (2.14) \\
P_2(t) &= \frac{\lambda\omega_2 + \omega_1\omega_2 + \omega_1\mu_1}{\lambda\mu_2 + \omega_2\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda\omega_2 + \omega_1\mu_1 + \omega_1\omega_2} + \\
&+ \frac{\theta_2^2 + \theta_2(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1) + \omega_1(\lambda + \omega_1 + \mu_1)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_3)}{\mu_2\theta_2(\theta_2 - \theta_3)} e^{\theta_2 t} + \\
&+ \frac{\theta_3^2 + \theta_3(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1) + \omega_1(\lambda + \omega_1 + \mu_1)(\lambda + 2\omega_1 + \mu_1 + \theta_2)}{\mu_2\theta_3(\theta_3 - \theta_2)} e^{\theta_3 t}.
\end{aligned}$$

Математична модель, описувана функціями (2.14), дозволяє визначити ймовірності знаходження кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у кожній з підсистем технологічних станів.

2.3. Результати досліджень.

Дослідження функціонування кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза на основі отриманої математичної моделі представляє певні труднощі, пов'язані, насамперед, із залежністю ймовірностей від часу.

Тому представляється доцільним розглянути граничний стаціонарний режим, за якого система, що описує функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів, випадковим чином змінює свої стани, але ймовірність кожного з них уже не залежить від часу. В цьому випадку ймовірність характеризує середній відносний час перебування кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза в даному стані.

Для обчислення цих імовірностей достатньо у формулах (2.1) прирівняти похідні нулю, що дасть систему трьох алгебраїчних рівнянь із трьома невідомими:

$$\begin{cases} -(\lambda + \omega_1)P_0 & + \mu_1P_1 & + \mu_2P_2 = 0; \\ \lambda P_0 & - (\mu_1 + \omega_2)P_1 & = 0; \\ \omega_1P_0 & + \omega_2P_1 & - \mu_2P_2 = 0. \end{cases} \quad (2.15)$$

Отримана система рівнянь (2.15) є лінійно залежною, тому що її визначник дорівнює нулю згідно (2.6). Тому для знаходження рішення відкидається одне рівняння й додається умова (2.2):

$$\begin{cases} -(\lambda + \omega_1)P_0 & + \mu_1P_1 & + \mu_2P_2 = 0; \\ \lambda P_0 & - (\mu_1 + \omega_2)P_1 & = 0; \\ P_0 & + P_1 & + P_2 = 1. \end{cases} \quad (2.16)$$

Розв'язок системи рівнянь (2.16) має вигляд:

$$P_0 = \frac{(\omega_2 + \mu_1)\mu_2}{(\lambda + \omega_2 + \mu_1)\mu_2 + (\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1}; \quad (2.17)$$

$$P_1 = \frac{\lambda\mu_2}{(\lambda + \omega_2 + \mu_1)\mu_2 + (\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1}; \quad (2.18)$$

$$P_2 = \frac{(\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1}{(\lambda + \omega_2 + \mu_1)\mu_2 + (\lambda + \omega_1)\omega_2 + \omega_1\mu_1}. \quad (2.19)$$

Формули (2.17), (2.18) і (2.19) визначають імовірності знаходження кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у стаціонарних підсистемах технологічних станів: роботі, планових технічних обслуговуваннях і ремонтах, непланових поточних ремонтах відповідно.

Розроблена математична модель експлуатації кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза для різних рівнів організації технічного обслуговування,

діагностування й ремонту, яка відтворює марківський процес, що протікає у системі технологічного автотранспорту й дозволяє обчислювати ймовірності станів машини залежно від часу та у стаціонарних режимах [35, 77]. На основі системного підходу досліджене функціонування кар'єрних самоскидів дизель-тролейвозів. Моделювання станів і переходів машин дозволило обчислити ймовірності станів системи залежно від часу, дало можливість сформулювати мету і функціонал прибутку від експлуатації системи, описуваної трьома основними станами кар'єрних самоскидів дизель-тролейвозів. Варіюючи параметрами функціонала можна досягнути раціональної вартості роботи транспортної системи [84].

На основі розробленої математичної моделі автотранспортної системи залізничного кар'єру, яка враховує технологічні стани парку кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів шляхом розрахунків імовірнісних числових характеристик цих станів, синтезоване управління технічною експлуатацією системи на базі економічного критерію, як екстремальної задачі з урахуванням обмежень, пов'язаних із технологічними станами системи [36, 69, 78].

Аналіз системи технологічного автотранспорту глибокого кар'єру дозволив зробити висновок, що на її ефективність особливий вплив має керуючий параметр, який характеризує та визначає інтенсивність λ (рис. 2.1) проведення планових технічних обслуговувань і ремонтів [77]. Тому представляється доцільним дослідити взаємозв'язок цього параметра з іншими параметрами, які характеризують функціонування систем технологічного автотранспорту гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізничного басейну. Із цією метою необхідно підтвердити можливість управління ефективністю досліджуваною системою шляхом коригування керуючого параметра на основі контролю керованих параметрів. Обґрунтування періодичності технічного обслуговування й ремонту є одним із основних заходів програми забезпечення надійності кар'єрних самоскидів та політики в області якості.

Ідентифікація системи технологічного автотранспорту виконана на основі даних наданим публічним акціонерним товариством «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат» (ПАТ «ЦГЗК»), у якому протягом досліджуваного року працювали 5 нових гарантійних і 44 негарантійних кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 130 т які можливо переобладнати для роботи як дизель-тролейвози. Негарантійні кар'єрні автосамоскиди – ті, для яких з початку експлуатації настала одна із трьох подій: календарний час 12 місяців або напрацювання 6 000 мотогодин чи пробіг 60 000 км.

Аналіз функціонування автосамоскидів у кар'єрах указує на доцільність проведення параметричної ідентифікації системи технологічного автотранспорту, яка дозволить, спираючись на відповідний статистичний матеріал, визначити величини параметрів математичної моделі системи технічного сервісу як результат структурної ідентифікації.

Критерій оптимальності моделі системи технічного сервісу – мінімум трудомісткості виконаних робіт з технічного обслуговування та ремонту

$$C = c_1 \cdot N_1 \cdot T_1 + c_2 \cdot N_2 \cdot T_2 \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2}, \quad (2.20)$$

де: c_1 і c_2 – середні трудомісткості планових технічних обслуговувань і ремонтів та непланових поточних ремонтів автосамоскидів відповідно, люд·год;

N_k – число автосамоскидів у k -му стані;

T_k – час перебування самоскидів у k -му стані, ($k = 1; 2$).

Цей критерій дозволяє реалізувати завдання оптимального управління та базується на створеній математичній моделі, яка відтворює марківський процес, що протікає у системі технологічного автотранспорту [84].

Однак попередньо необхідно довести, що можна користуватися реалізацією математичної моделі функціонування системи технічного сервісу

у вигляді марківського процесу. Із цією метою розглядається завдання ідентифікації з функціоналом [78], який мінімізується за тими ж параметрами $\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2$, що і критерій оптимальності системи технічного сервісу (2.20):

$$\sum_{i=1}^N ((t_{0i} - T_i \cdot P_0)^2 + (t_{1i} - T_i \cdot P_1)^2 + (t_{0i} - T_i \cdot P_0) \cdot (t_{1i} - T_i \cdot P_1)) \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2}, \quad (2.21)$$

де: T_i – час спостереження за технологічними станами i -го кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза, мото·год;

t_{0i}, t_{1i}, t_{2i} – сумарний фактичний час знаходження i -го кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у кожному із трьох технологічних станів протягом часу T_i , мото·год;

$P_0 = P_0(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2), \quad P_1 = P_1(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2),$
 $P_2 = P_2(\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2)$ – ймовірності знаходження кар'єрного автосамоскида дизель-тролейвоза у кожному з трьох технологічних станів [77].

Знаходження величин параметрів $\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2$, тобто розв'язання задачі параметричної ідентифікації системи технічного сервісу, проводиться шляхом мінімізації функціонала непогодженостей (2.21). Для зручності подальших розрахунків функціонал записується у вигляді:

$$Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(\left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right)^2 + \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right)^2 + \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) \cdot \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) \right) \rightarrow \min_{\lambda, \omega_1, \omega_2, \mu_1, \mu_2} \quad (2.22)$$

та застосовуються відповідні ймовірності P_0, P_1 як параметри, де $P_0 = P_0(\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2), P_1 = P_1(\lambda, \mu_1, \mu_2, \omega_1, \omega_2)$.

Шляхом мінімізації функціонала (2.22) за визначеними параметрами знаходяться оптимальні величини як результат параметричної ідентифікації системи технічного сервісу. Враховуючи досить простий вигляд функціоналу (2.22), завдання мінімізації вирішується аналітично. Згідно до необхідної умови існування екстремуму, прирівнюються частинні похідні за параметрами P_0 і P_1 нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial P_0} Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(-2 \cdot \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) - \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) \right) = 0; \\ \frac{\partial}{\partial P_1} Q(P_0, P_1) = \sum_{i=1}^N T_i^2 \cdot \left(-2 \cdot \left(\frac{t_{1i}}{T_i} - P_1 \right) - \left(\frac{t_{0i}}{T_i} - P_0 \right) \right) = 0. \end{cases} \quad (2.23)$$

$$\begin{cases} 2 \cdot P_0 \cdot \overline{T^2} + P_1 \cdot \overline{T^2} = 2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}; \\ P_0 \cdot \overline{T^2} + 2 \cdot P_1 \cdot \overline{T^2} = 2 \cdot \overline{T \cdot t_1} + \overline{T \cdot t_0}. \end{cases} \quad (2.24)$$

У результаті отримується система двох лінійних алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} 2 \cdot P_0 + P_1 = \frac{1}{\overline{T^2}} \cdot (2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}); \\ P_0 + 2 \cdot P_1 = \frac{1}{\overline{T^2}} \cdot (\overline{T \cdot t_1} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_0}). \end{cases} \quad (2.25)$$

Ця система розв'язується за формулами Крамера, у відповідності до яких система двох лінійних рівнянь із двома невідомими P_0 і P_1 , визначником матриці системи, який не дорівнює нулю

$$\Delta = \begin{vmatrix} 2 & 1 \\ 1 & 2 \end{vmatrix} = 3 \neq 0 \quad (2.26)$$

та визначниками:

$$\Delta_0 = \left| \begin{array}{c} \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \\ \frac{\overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \end{array} \right|_1^2 = \frac{4 \cdot \overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1} - \overline{T \cdot t_0} - 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_0}}{\overline{T^2}}, \quad (2.27)$$

$$\Delta_1 = \left| \begin{array}{c} 2 \cdot \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \\ \frac{\overline{T \cdot t_0} + 2 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \end{array} \right|_1^2 = \frac{2 \cdot \overline{T \cdot t_0} + 4 \cdot \overline{T \cdot t_1} - 2 \cdot \overline{T \cdot t_0} - \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}} \quad (2.28)$$

має рішення у вигляді:

$$P_0 = \frac{\Delta_0}{\Delta} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_0}}{3 \cdot \overline{T^2}} = \frac{\overline{T \cdot t_0}}{\overline{T^2}}, \quad P_1 = \frac{\Delta_1}{\Delta} = \frac{3 \cdot \overline{T \cdot t_1}}{3 \cdot \overline{T^2}} = \frac{\overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}}, \quad (2.29)$$

$$P_2 = 1 - \frac{\overline{T \cdot t_0} + \overline{T \cdot t_1}}{\overline{T^2}}. \quad (2.30)$$

У таблиці 2.1 наведені статистичні дані про роботу підконтрольних автосамоскидів у кар'єрах ПАТ «ЦГЗК» протягом досліджуваного року [69].

Таблиця 2.1.

Дані про роботу кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю 130 т

№ машини, i	Час спостереження за технологічними станами i -ї машини T_i , мото·год	Сумарний фактичний час t_{ki} знаходження i -ї машини у кожному із трьох технологічних станів протягом часу T_i , мото·год			T_i^2	$T_i \cdot t_{0i}$	$T_i \cdot t_{1i}$
		t_{0i}	t_{1i}	t_{2i}			
1	8760	6958	940	870	76737600	60882000	8234400
2	8760	7100	880	780	76737600	62196000	7708800
3	8760	7120	930	710	76737600	62371200	8146800
4	8760	7150	980	630	76737600	62634000	8584800
Середнє	8760	7080	932,5	747,5	$\overline{T^2}$ =76737600	$\overline{T \cdot t_0}$ =62020800	$\overline{T \cdot t_1}$ =8168700

Враховуючи середні значення параметрів, визначених у таблиці 2.1 за формулами (2.29) і (2.30) отримані значення ймовірностей знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів у стані роботи, планових технічних обслуговуваннях і ремонтах та непланових поточних ремонтах відповідно:

$$P_0 = \frac{\overline{T \cdot t_0}}{T^2} = \frac{62020800}{76737600} = 0,808; \quad P_1 = \frac{\overline{T \cdot t_1}}{T^2} = \frac{8168700}{76737600} = 0,106;$$

$$P_2 = 1 - P_0 - P_1 = 1 - 0,808 - 0,106 = 0,086. \quad (2.31)$$

Згідно до існуючих інструкцій для кар'єрних автосамоскидів маємо нормативні ймовірності знаходження машин у стані роботи, планових технічних обслуговуваннях та непланових ремонтах відповідно

$$P_0 = \frac{7200}{8760} = 0,822; \quad P_1 = \frac{900}{8760} = 0,103; \quad P_2 = \frac{660}{8760} = 0,075, \quad (2.32)$$

які є достатньо близькими до відповідних значень параметричної ідентифікації (2.31). Значення отриманих величин ймовірностей (2.32) дозволяє зробити висновок про досить задовільний опис математичною моделлю системи технологічного автотранспорту, тобто вважати модель адекватною.

Аналіз функціонала (2.22) указує на його нелінійну залежність від параметрів, величини яких оптимізуються. Внаслідок цього, було вирішено застосувати чисельні методи для розв'язання завдання мінімізації функціонала (2.21) – мінімізації непогодженостей. За допомогою обчислювального блока Given–minimize, який входить до системи автоматизованого проектування Mathcad [61], у першому наближенні знайдені величини параметрів, за яких

досягається мінімум функції сумарних непогодженостей : $\lambda^* = 0,00003015$; $\mu_1^* = 0,0002289$; $\mu_2^* = 0,057$; $\omega_1^* = 0,006$; $\omega_2^* = 0$. При цьому відповідні ймовірності:

$$P_0 = P_0(\lambda^*, \omega_1^*, \omega_2^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,808, \quad P_1 = P_1(\lambda^*, \omega_1^*, \omega_2^*, \mu_1^*, \mu_2^*) = 0,106 \quad (2.33)$$

співпали із результатами параметричної ідентифікації (2.32).

Аналогічним чином були отримані результати для кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів, встановлено, що поточний ремонт займає значно більшу частину (рис. 2.2–2.7).

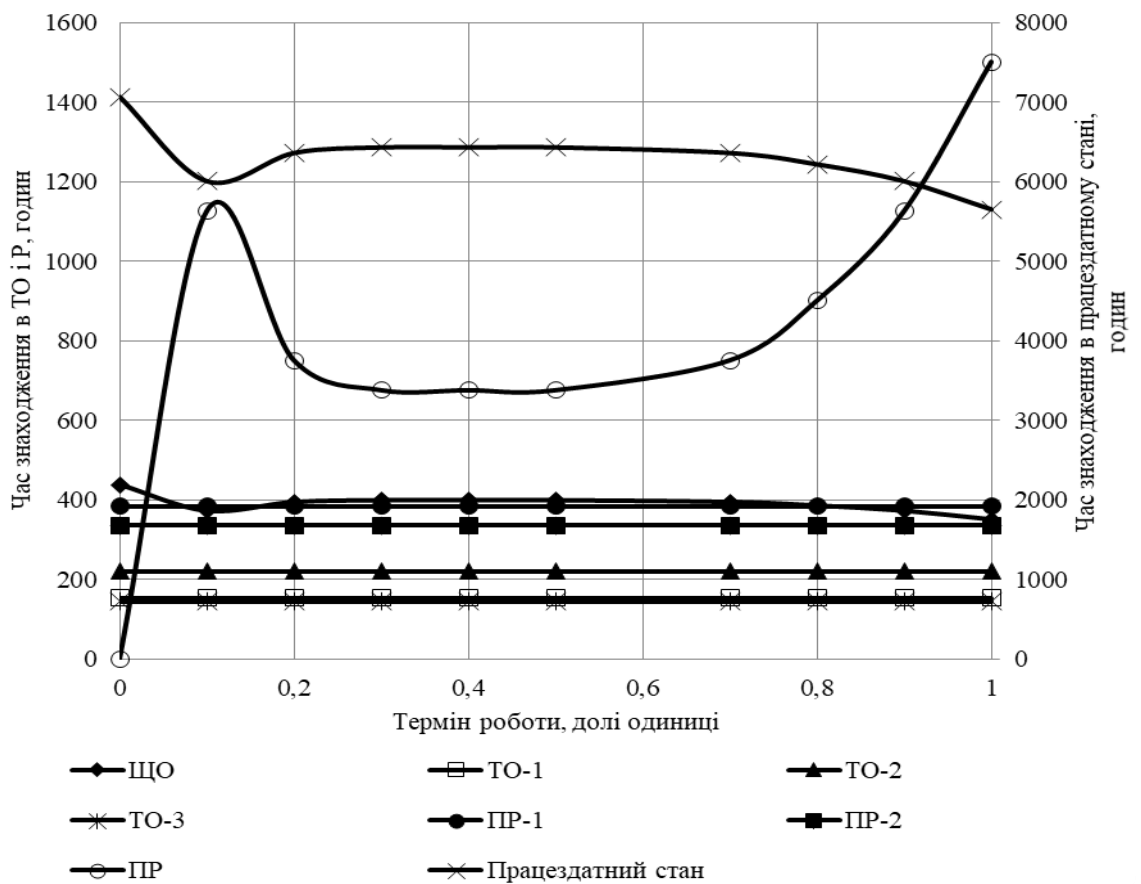


Рис. 2.2. Час знаходження кар'єрного автосамоскиду дизель-тролейвозу вантажопідйомністю 130 т в кожному з восьми станів, при встановлених ймовірностях протягом одного року

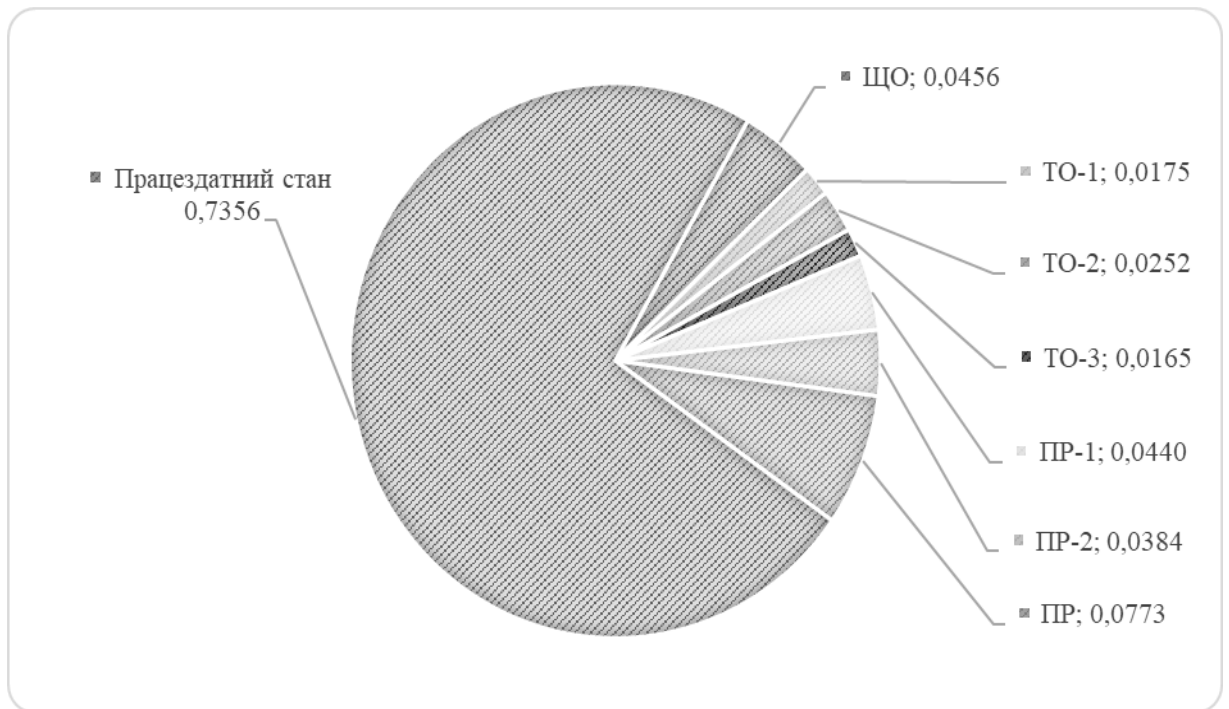


Рис. 2.3. Розподіл відносних ймовірностей знаходження кар'єрного самоскиду дизель-тролейвозу в різних станах на початку роботи

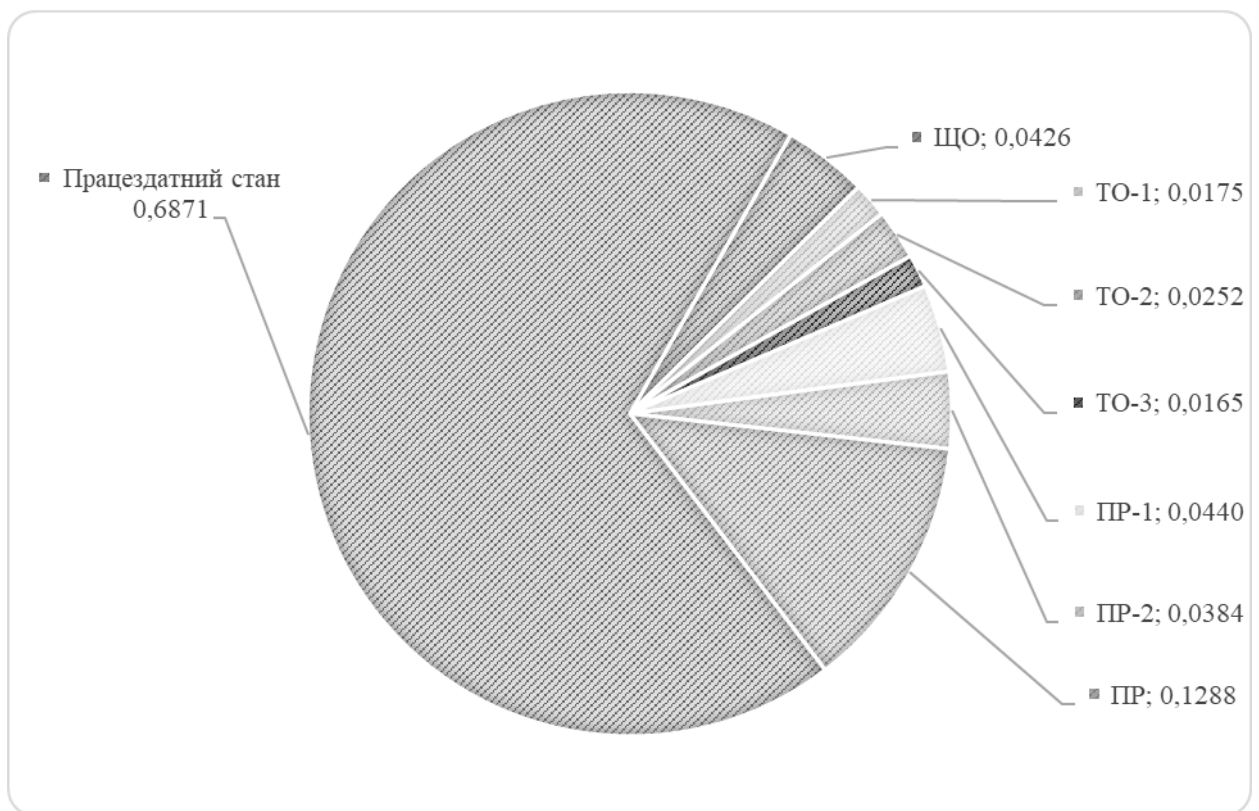


Рис. 2.4. Розподіл відносних ймовірностей знаходження кар'єрного самоскиду дизель-тролейвозу в різних станах в середині терміну роботи

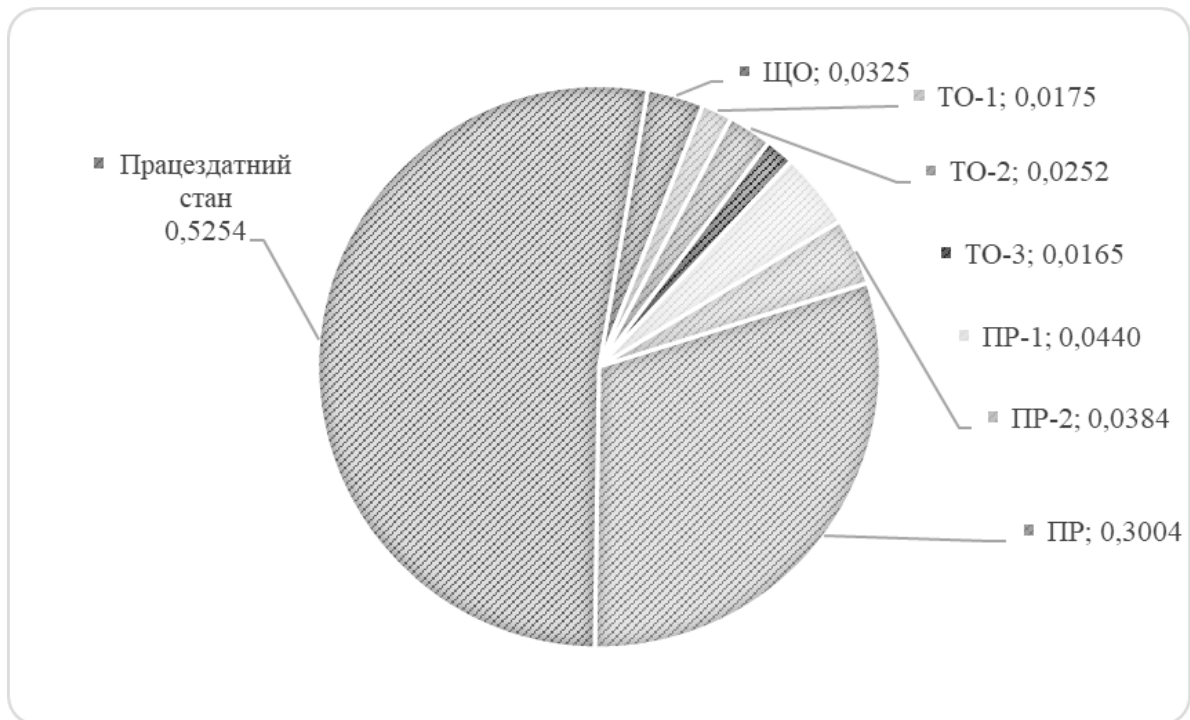


Рис.2.5. Розподіл відносних ймовірностей знаходження кар'єрного самоскиду дизель-тролейвозу в різних станах в кінці терміну роботи

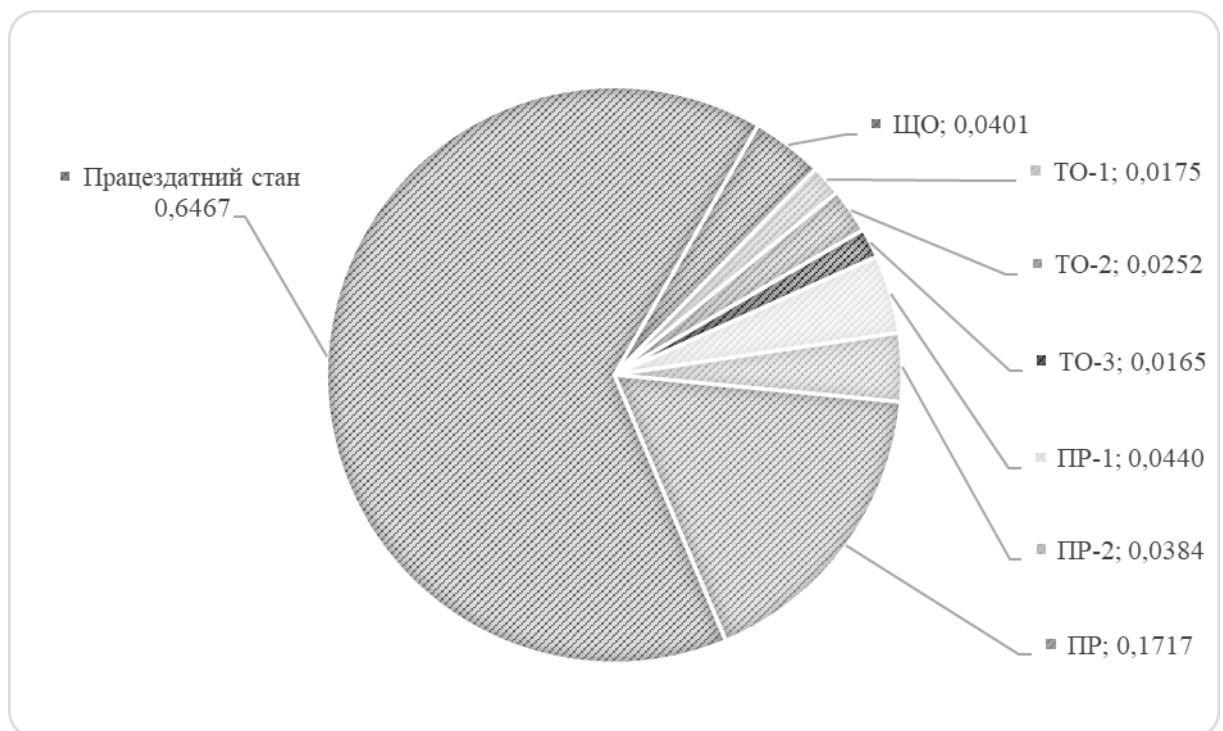


Рис. 2.6. Розподіл ймовірностей знаходження кар'єрного автосамоскиду вантажопідйомністю 130 т в різних станах за усередненими даними гірничо-транспортних підприємств Кривого Рогу

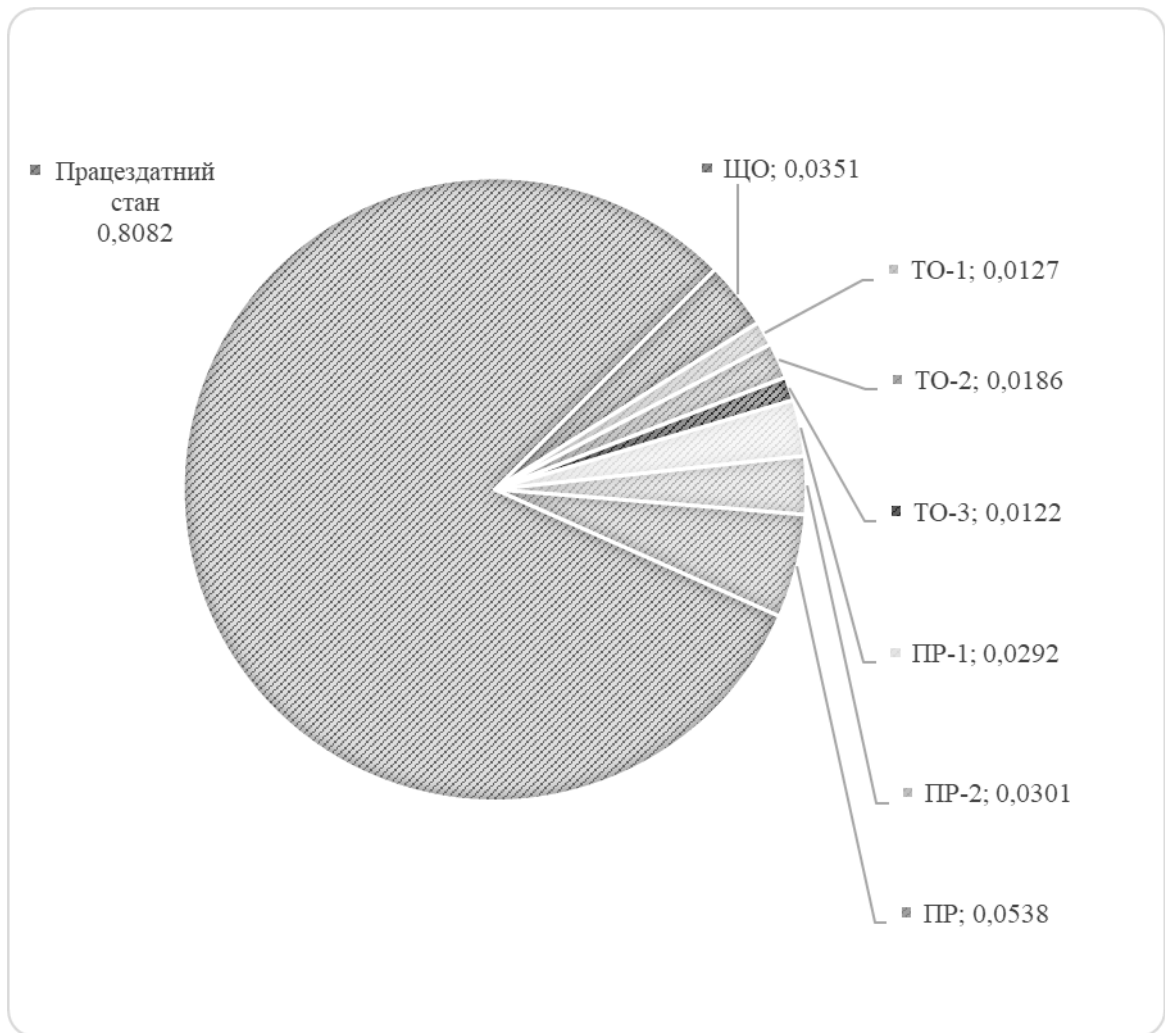


Рис. 2.7. Прогнозований розподіл ймовірностей знаходження кар'єрного автосамоскиду дизель-тролейвозу в різних станах

2.4. Висновки до розділу 2.

1. Вдосконалена математична модель функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів шляхом врахування додаткових видів технічного обслуговування і ремонту та зв'язків між ними, яка дозволяє визначати ймовірності знаходження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в працездатному чи іншому стані. Встановлено, що ймовірність працездатного стану кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів може досягати 0,80...0,86, що на 0,19...0,27 вищі за фактичні показники роботи кар'єрних автосамоскидів.

2. Визначені оптимальні керуючі впливи у вигляді інтенсивності планових впливів на машини, що дозволяють розробити алгоритм і методику динамічного коригування параметрів технічного сервісу кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів.

3. Отримані результати використані при дослідження по обґрунтуванню параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів з урахування технічного стану машин.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗІВ У ПОРІВНЯННЯ З КАР'ЄРНИМИ АВТОСАМОСКИДАМИ

3.1. Вихідні дані.

В даному розділі роботи поставлено завдання розглянути у відносних величинах зміни продуктивності перевезень та витрат дизельного палива (викидів шкідливих речовин) від довжини їздки з вантажем, при різному питомому відношенню довжини тролейної частини (ступені тролейзації) для машин різної вантажопідйомності. В якості базових значень прийняті показники роботи кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 90, 130 та 220 т не обладнаних тролейною системою, які можуть бути використані в даних умовах експлуатації. Вказані автосамоскиди використовуються при перевезенні залізних руд та вскришних порід на українських кар'єрах у Кривому Розі та Горішніх Плавнях.

Дослідження виконувалися на основі прийнятих методик визначення параметрів роботи кар'єрного автомобільного транспорту [13, 59] та теорії автомобільних перевезень з адаптацією до кар'єрного автомобільного транспорту.

Аналіз автомобільних трас руху в залізорудних кар'єрах України показав, що довжина їздки з вантажем коливається від 1,0 до 5,0 км при ухилах від 6 до 12 %, середня швидкість руху по трасам складає близько 20 км/год, при цьому з вантажем від 8 до 12 км/год при середній 10 км/год, без вантажу швидкість близька до обмеженої нормативами експлуатації для українських кар'єрів величини у 30 км/год.

Вихідними даними для досліджень прийняті: довжина траси руху в навантаженому стані l від 1 до 5 км, частина траси руху з тролейною ділянкою Tr від 30 до 70 % від довжини руху з вантажем, ділянки без тролей розташовані у вибоях чи на перевантажувальних майданчиках в основному

мають ухил близький до горизонтального, тому швидкості руху автосамоскидів на цих ділянках прийнята середньою при русі з вантажем – 10 км/год.

У загальному вигляді продуктивність кар'єрних автосамоскидів визначається як маса перевезеного вантажу за певний час, при фіксовані вантажопідйомності та коефіцієнті використання вантажопідйомності. Продуктивність залежить від величини транспортного циклу, який складається з часу очікування завантаження (прийняте значення 0,4 хв.), часу установки під завантаження (0,5 хв.), часу завантаження (2,0 хв), часу руху в навантаженому стані, часу установки під розвантаження (0,5 хв.), часу розвантаження (1,2 хв.), часу руху в порожньому стані. Швидкість руху в навантаженому стані прийнята 10 км/год для нетролейних ділянок і 24 км/год по тролейній ділянці у відповідності до досягнутих значень на інших кар'єрах світу [50], швидкість руху в порожньому стані обмежена нормами експлуатації автотранспорту на кар'єрах України - 30 км/год.

3.2. Визначення закономірностей зміни продуктивності роботи.

При розрахунку питомої продуктивності у чисельнику була продуктивність дизель-тролейвозу на трасі з тролейною ділянкою, у знаменнику – продуктивність звичайного кар'єрного автосамоскиду тієї ж вантажопідйомності, що й дизель-тролейвоз.

Встановлені значення абсолютної продуктивності (рис.3.1) при роботі звичайних кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 90, 130 та 220 т на трасах різної довжини. Ці продуктивності послугували базою для порівняння з продуктивністю на трасах з тролейною ділянкою.

Спостерігається очевидна степенева закономірність зменшення продуктивності самоскидів при збільшенні довжини транспортування вантажу з 1 до 5 км. При цьому чим більша вантажопідйомність, тим більше падіння

продуктивності.

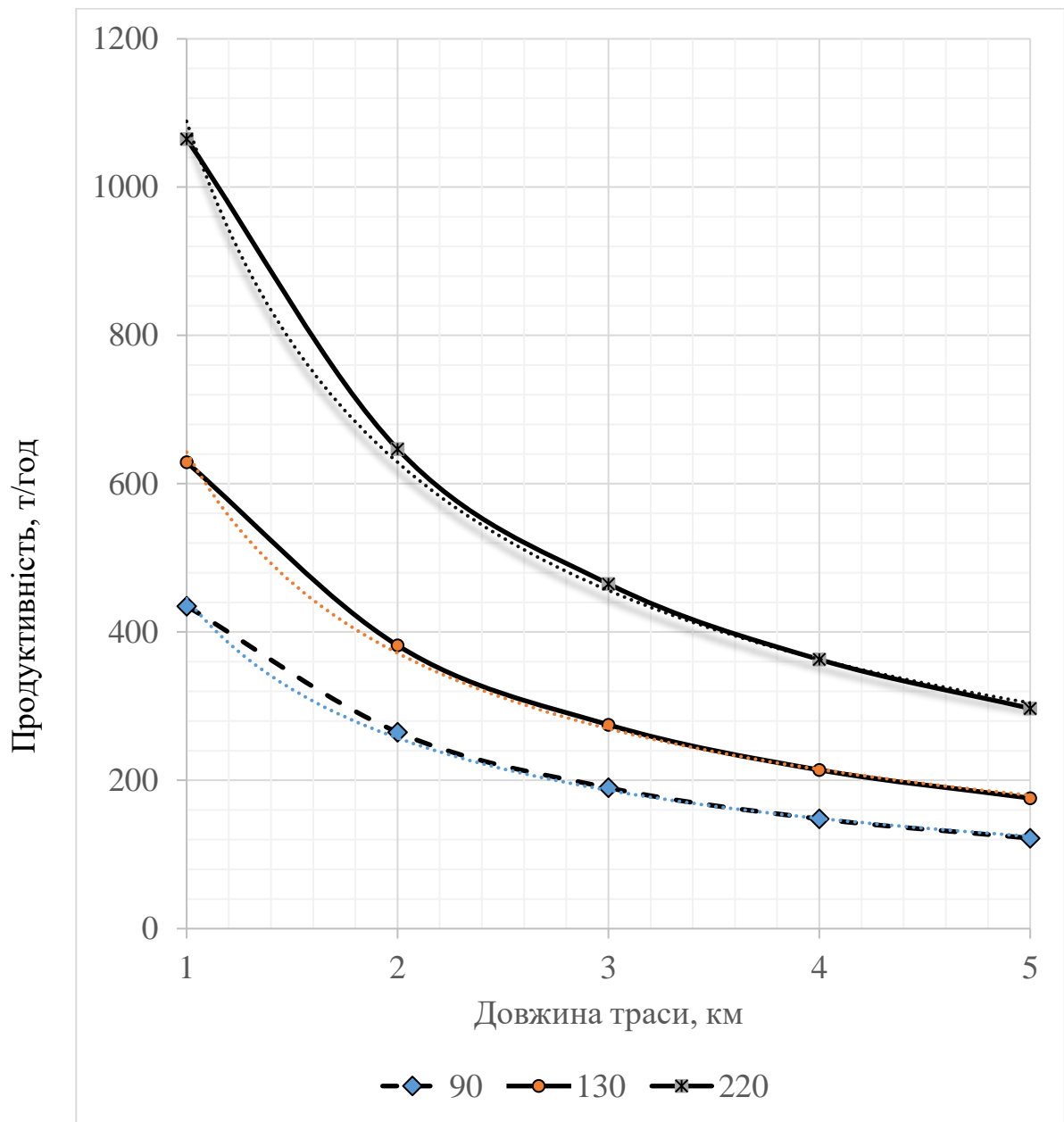


Рис.3.1. Закономірності зміни продуктивності від довжини траси при різній вантажопідйомності автосамоскидів

Визначені залежності продуктивності від довжини траси, які описуються степеневими закономірностями рівняннями для автосамоскидів:

- вантажопідйомністю 90 т $P = 445,21l^{-0,792}$;
- вантажопідйомністю 130 т $P = 643,07l^{-0,791}$;
- вантажопідйомністю 220 т $P = 1088,30l^{-0,792}$.

На рисунку 3.2 представлені закономірності зміни питомої продуктивності від довжини траси при різних частинах тролейної ділянки.

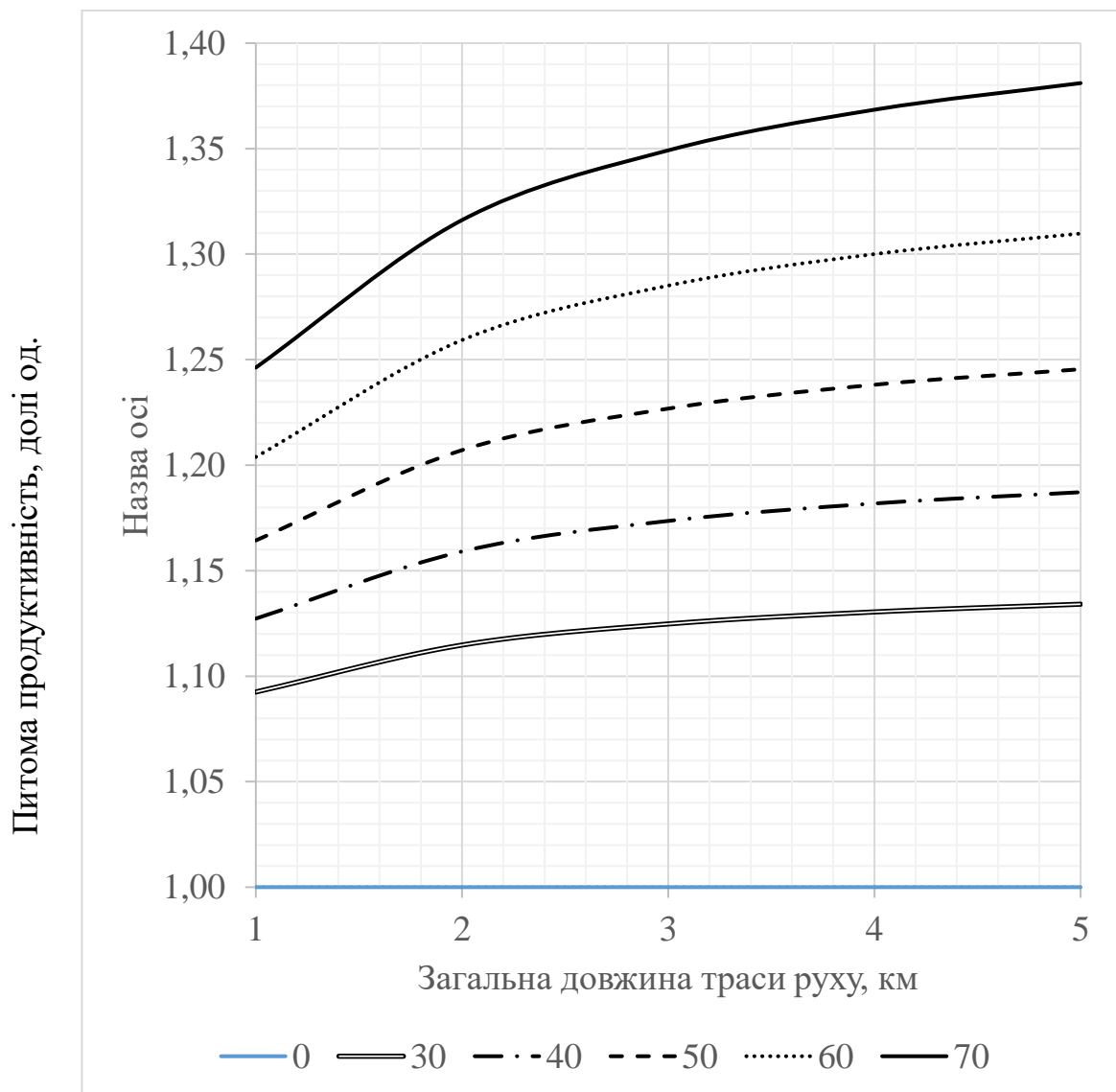


Рис. 3.2. Закономірності зміни питомої продуктивності від довжини траси при різних частинах тролейної ділянки

На рисунку 3.3 представлені закономірності зміни питомої продуктивності від питомої частини тролейної ділянки при різних довжинах трас.

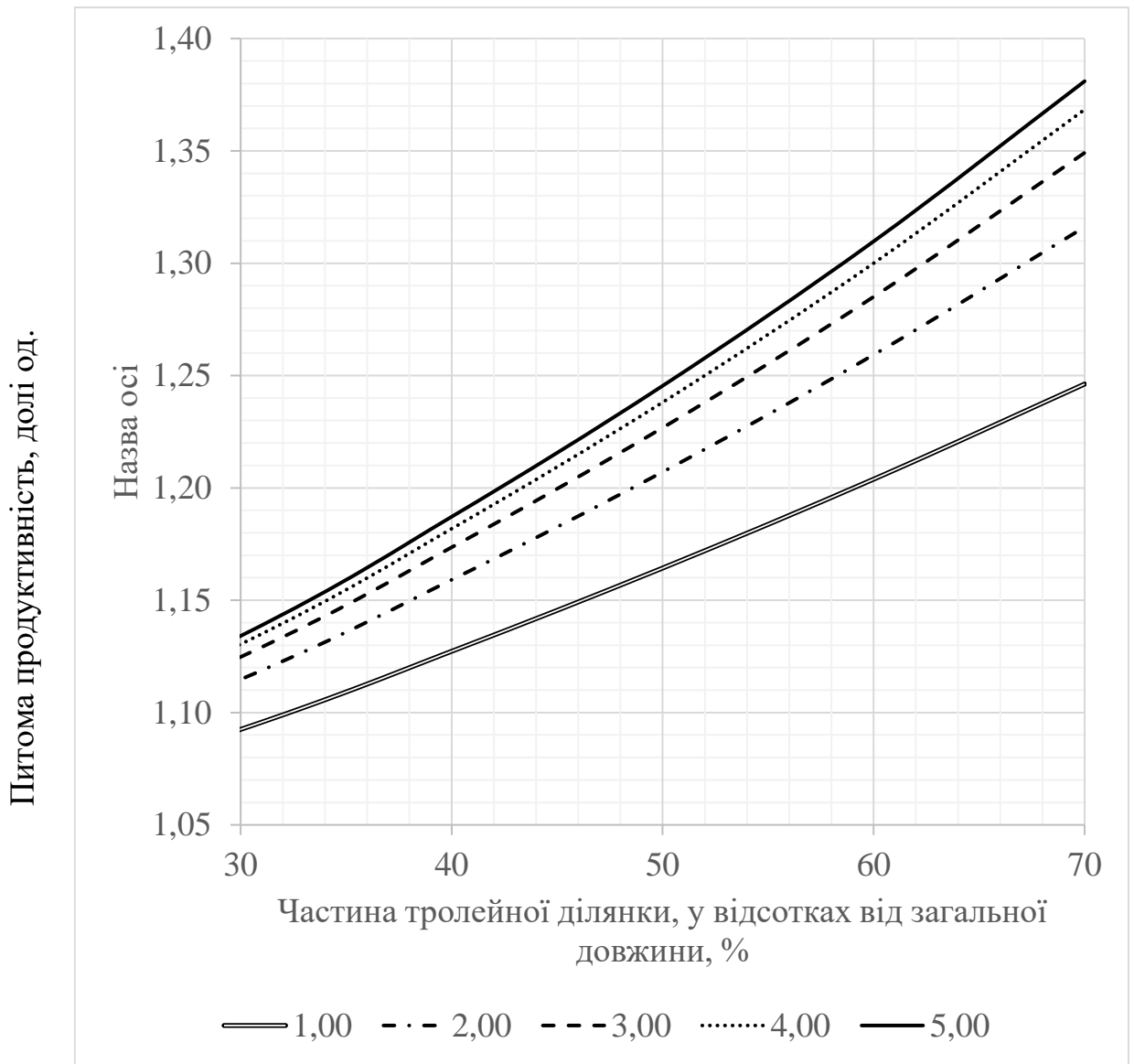


Рис. 3.3. Закономірності зміни питомої продуктивності від питомої частини тролейної ділянки при різних довжинах трас

Аналіз встановлених закономірностей (рис.3.2 та 3.3) показує, що отримані значення практично відповідають інтервалу 10 - 30 % підвищення продуктивності автосамоскидів, які гарантують виробники тролейних систем,

що підтверджує правильність методики розрахунків та вихідних даних. Незважаючи на збільшення швидкості руху на тролейних ділянках з 10 до 24 км/год максимальне збільшення продуктивності складає не більше 40 % на найдовшій трасі з найбільшою тролейною ділянкою у 70 % від загальної довжини траси. Одночасно можна констатувати про збільшення продуктивності всього в 1,09 рази на найкоротшій трасі довжиною 1 км з найменшою довжиною тролейної ділянки у 0,3 км. На найкоротшій трасі руху максимальне збільшення відносної продуктивності складає 1,25 при тому, що 70 % її приходить на тролейну ділянку.

Встановлено (рис.3.2), що зростання довжини траси при постійній частці тролейної ділянки не суттєво впливає на питому продуктивність, лише при питомій вазі тролейної ділянки у 70 % зростання з 1,25 до 1,38 рази. Встановлено, що зростання питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси впливає більш суттєво ніж загальна довжина траси. На найкоротшій трасі зростання 15 %, на найдовшій – 25 %. При зростанні довжини траси більше 3 км зростання питомої продуктивності стабілізується.

Для встановлених закономірностей отримана, за допомогою методики раціонального планування експериментів [86], двофакторна аналітична залежність питомої продуктивності від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки (рис.3.4.):

$$PP = 0.0053p - 0.0059l^2 + 0.0554l + 0.8545, \text{ долі одиниць, (3.1)}$$

де: p - питома частина тролейної ділянки, процент від загальної довжини траси руху, % (межі від 30 до 70 %),

l - загальна довжина траси руху, км (межі від 1 до 5 км).

Встановлено (3.1), що на питому продуктивність довжина траси впливає по параболічній залежності, а питома частина тролейної ділянки - по лінійній залежності.

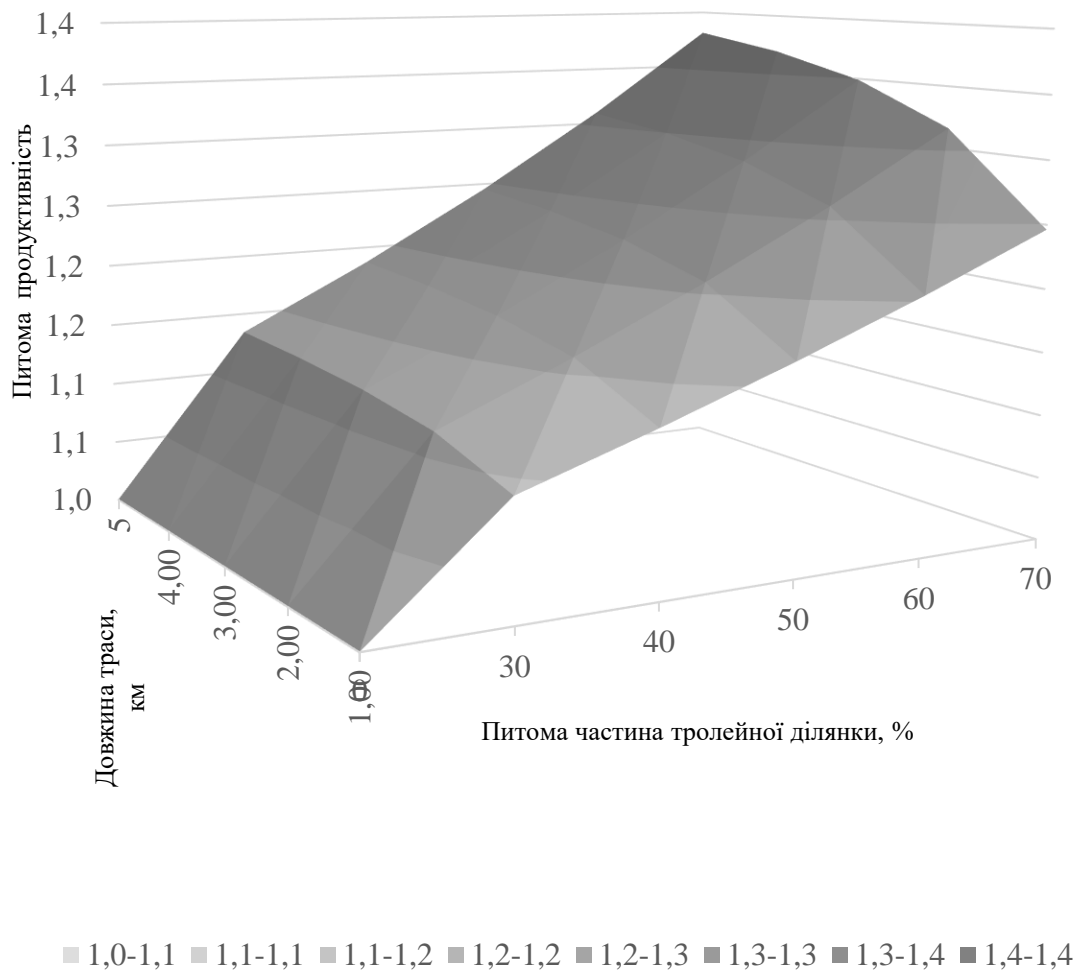


Рис. 3.4. Залежність питомої продуктивності від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки

3.3. Визначення закономірностей зміни витрат палива.

При розрахунку витрат дизельного палива (табл.3.1) за методикою [60, 59] були прийняті наступні вихідні дані: кар’єрний автосамоскид вантажопідйомністю 90 т двигун – Cummins KTA-38C, потужність 783 кВт; кар’єрний автосамоскид вантажопідйомністю 130 т двигун – Cummins KTTA-50C, потужність 1194 кВт; кар’єрний автосамоскид вантажопідйомністю 220 т двигун – Cummins QSK-60 C, потужність 1715 кВт; питомі витрати палива

двигунами при номінальній потужності від 202 до 209 г/(кВт·год), витрати палива кар'єрним автосамоскидом при русі з вантажем відповідають витратам палива двигуна при роботі при номінальному навантаженні; при маневруванні та русі без вантажу як кар'єрним автосамоскидом так і дизель-тролейвозом витрати палива складають за рекомендаціями [8] 40 % від номінальних витрат, під час очікування завантаження, завантаження та очікування розвантаження витрати палива машин дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на холостому ходу, під час руху в тролейному режимі витрати палива дизель-тролейвозом дорівнюють витратам палива при роботі двигуна на 5 % від номінальних витрат.

Таблиця 3.1.

Сумарні витрати палива на трасах різної довжини самоскидами різної вантажопідйомності

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

Практично не змінні витрати палива від довжини їздки з вантажем (рис.3.4) доводять, що при маневруванні витрачається не велика кількість палива і маневрування не є визначальним при їх визначенні на відміну від суттєвого впливу маневрових операцій на продуктивність та загальний час їздки з вантажем. Середні розрахункові лінійні витрати палива для самоскидів вантажопідйомністю 90 т складають 10-12 л/км, 130 т – 16-18 л/км, 220 т – 24-26 л/км, при чому менші значення відповідають трасам більшої довжини за рахунок меншої питомої частини витрат палива під час непродуктивних операцій транспортного циклу. За даними криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів витрати палива кар'єрними автосамоскидами з електромеханічною трансмісією вантажопідйомністю 130 т знаходяться на

рівні 15 - 20 л/км, а вантажопідйомністю 220 т – на рівні 25 – 30 л/км. Таким чином розрахункові значення витрат палива відповідають фактичним значенням що підтверджує достовірність розрахунків.

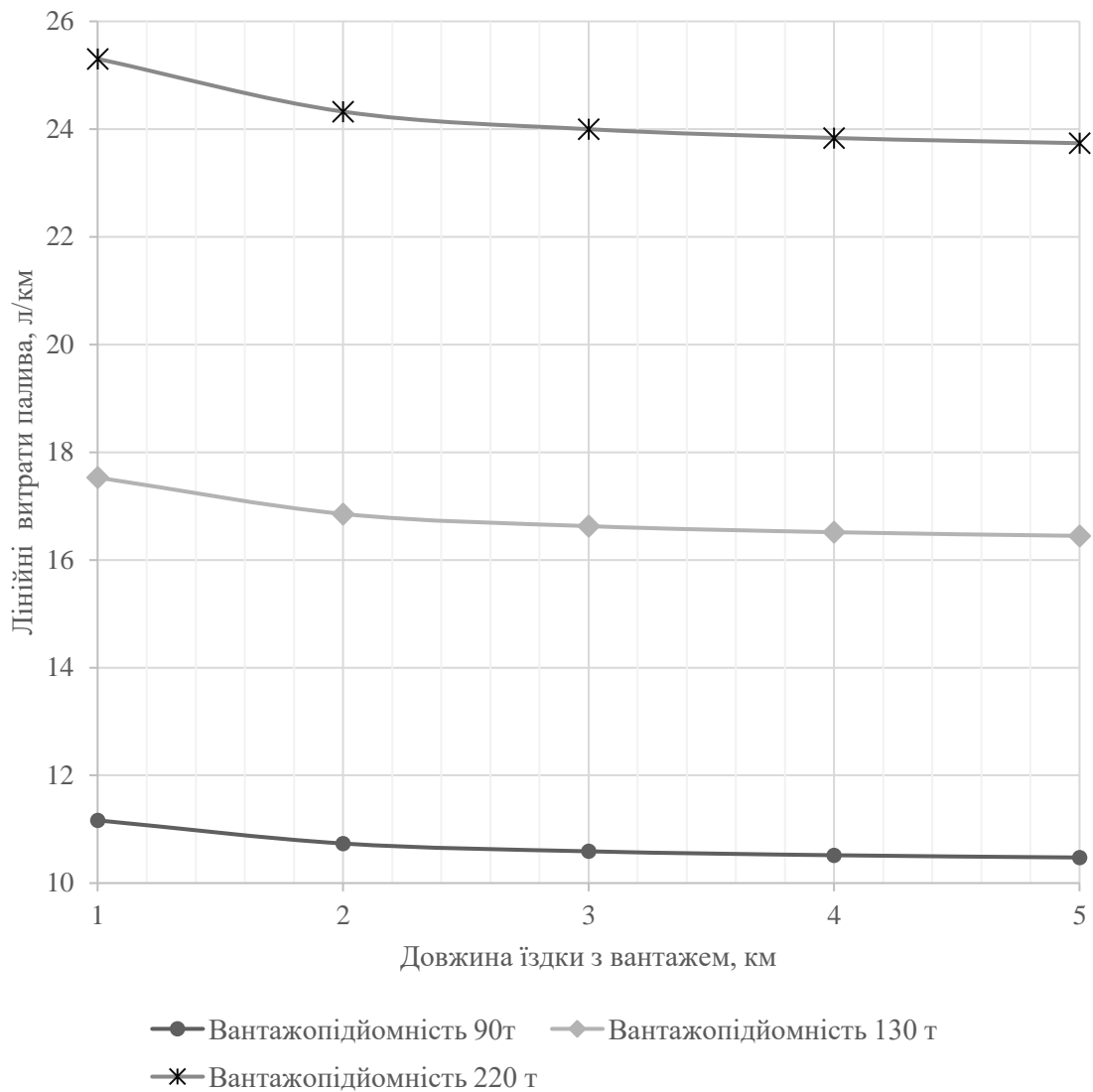


Рис. 3.5. Закономірності зміни лінійних витрат палива від довжини їздки з вантажем

Встановлені закономірності зміни питомих витрат палива, тобто відношення витрат палива кар'єрного автосамоскиду тролейвоза до витрат палива звичайного кар'єрного автосамоскиду які працюють на однакових трасах від довжини трас руху при різних частинах тролейної ділянки (рис 3.6) та від частини тролейної ділянки при різних довжинах трас руху (рис 3.7).

Встановлено, що довжина траси руху, як і у випадку з продуктивністю, впливає не дуже суттєво на питомі витрати палива, більш суттєвий вплив має частина тролейної ділянки в загальній довжині траси.

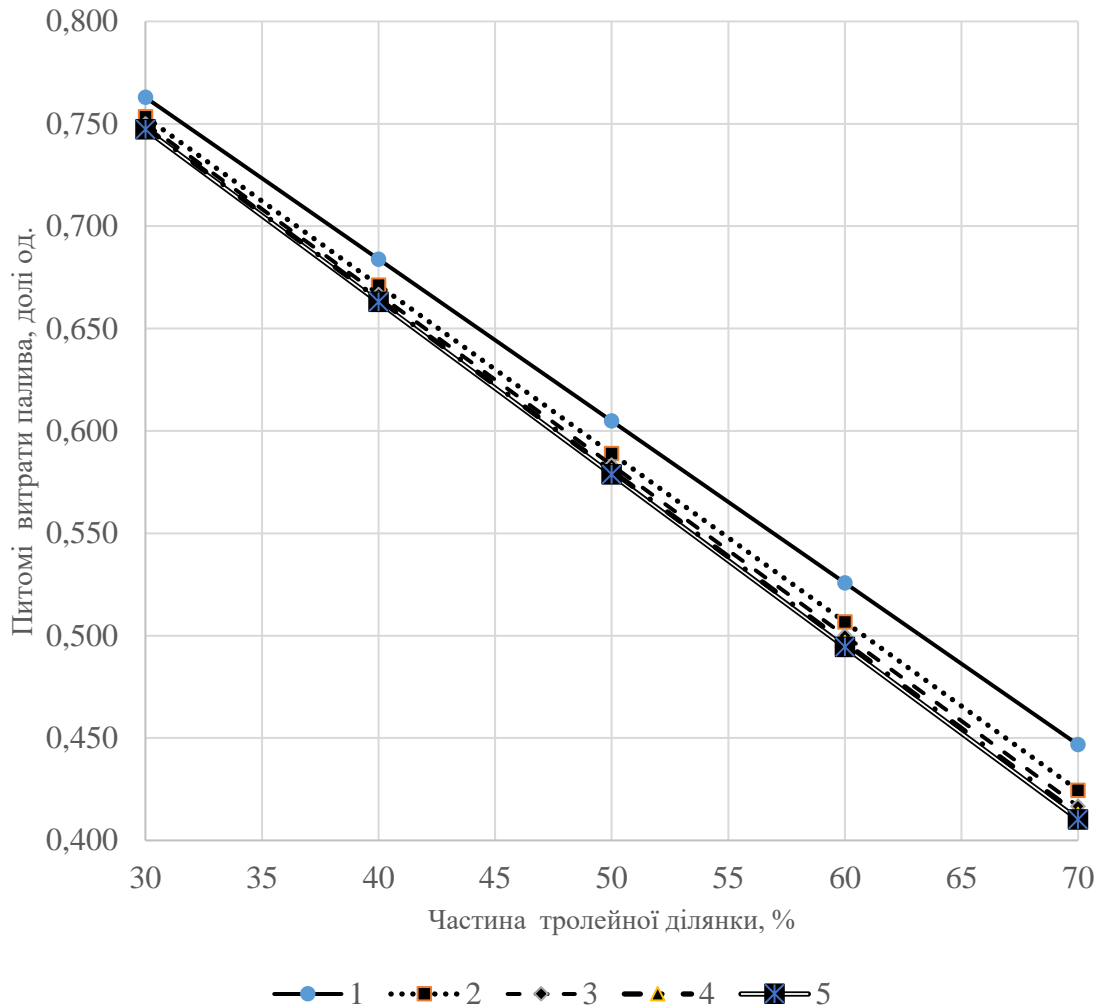


Рис. 3.6. Закономірності зміни питомих витрат палива від частини тролейної ділянки при різних довжинах трас руху

При збільшенні частини тролейної ділянки з 30 % до 70 % питомі витрати палива зменшуються з 0,74 – 0,76 до 0,41 – 0,45, що відповідає зменшенням абсолютних витрат палива від 1,33 до 2,25 рази. Діапазон зменшення витрат палива в залежності від довжини траси коливається в межах

0,02 – 0,04 долі одиниці , і мінімальний у випадку 30 % тролейної ділянки і максимальний для випадку 70 % тролейної ділянки.

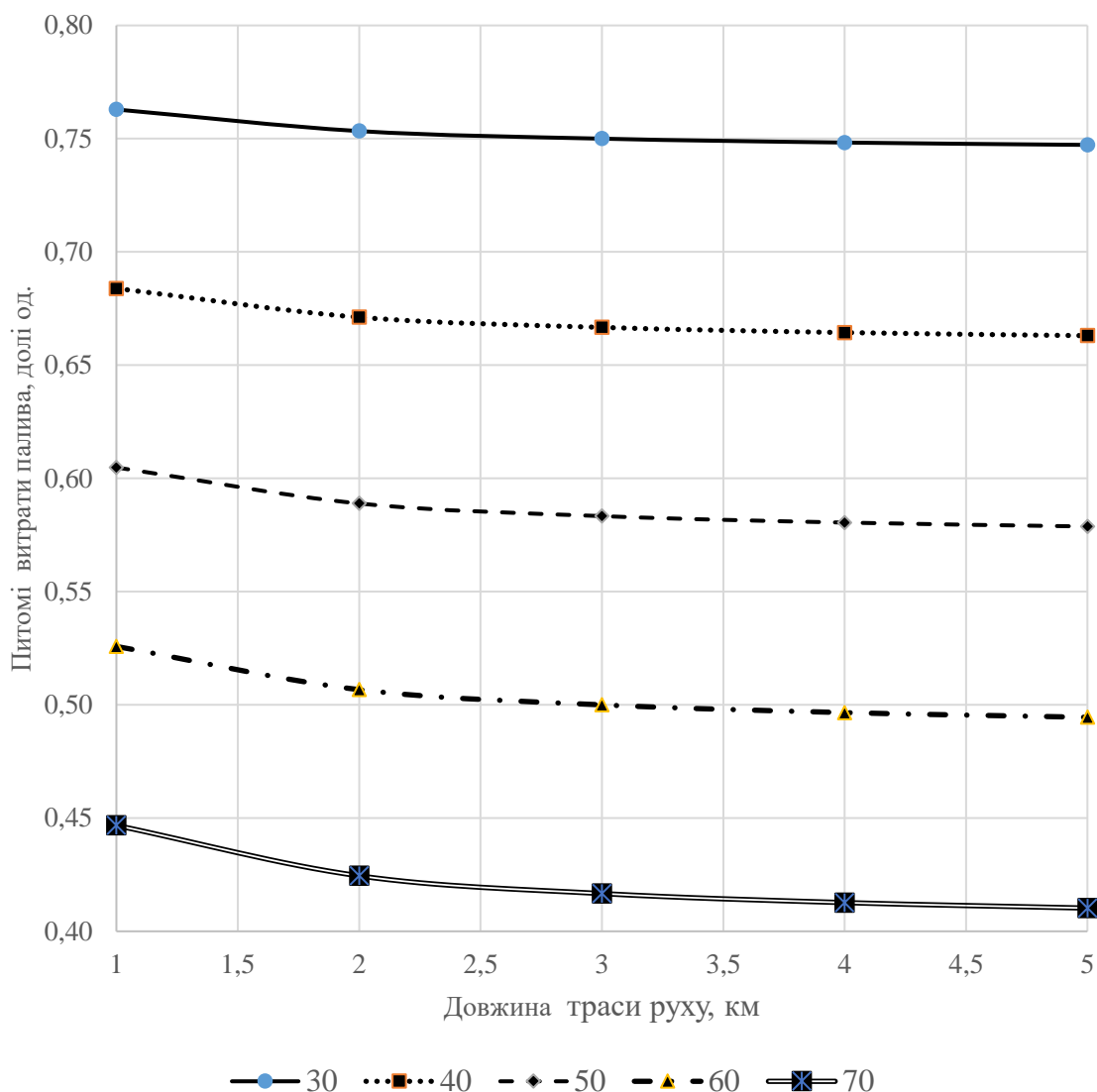


Рис. 3.7. Закономірності зміни питомих витрат палива від довжини трас руху при різних частинах, у відсотках, довжини тролейної ділянки

Збільшення довжини траси з 1 до 5 км обумовлює зменшення питомих витрат палива з 0,76 до 0,75 при 30 % частині тролейної ділянки, з 0,60 до 0,58 при 50 % частині тролейної ділянки і з 0,45 до 0,41 на трасі з 70 % тролейною ділянкою. Максимальне відносне зменшення витрат палива спостерігається на найдовшій трасі з найбільшою тролейною ділянкою, практично в 2,5 рази (питомі витрати на рівні 0,4). Такий висновок доводить що для зменшення

абсолютної величини витрат палива необхідно мати траси максимальної довжини з максимальною довжиною тролейної ділянки. Зменшення витрат палива обумовить, за нормативами заводів виробників двигунів внутрішнього згоряння, збільшення інтервалу проведення технічного обслуговування та зменшення витрат пов'язаних з ним [17].

Для встановлених закономірностей отримана, за допомогою методики раціонального планування експериментів [86], двофакторна аналітична залежність питомих витрат палива від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки (рис.3.8):

$$PP = -0.0008p + 0.0022l^2 - 0.0194l + 1.021, \text{ долі одиниць, (3.2)}$$

де: p - питома частина тролейної ділянки, процент від загальної довжини траси руху, % (межі від 30 до 70 %),

l - загальна довжина траси руху, км (межі від 1 до 5 км).

Встановлено (3.2), що на питомих витрати палива довжина траси впливає по параболічній залежності, а питома частина тролейної ділянки - по лінійній залежності.

Використовуючи встановлені закономірності можливо визначати прогнозну продуктивність та витрати палива для конкретних трас руху при оцінці доцільності використання дизель-тролейвозів на базі кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю від 90 до 220 т. Означені закономірності витрат палива також можуть бути використані для автосамоскидів іншої вантажопідйомності з відповідним корегувальним коефіцієнтом потужності двигуна та питомих витрат палива.

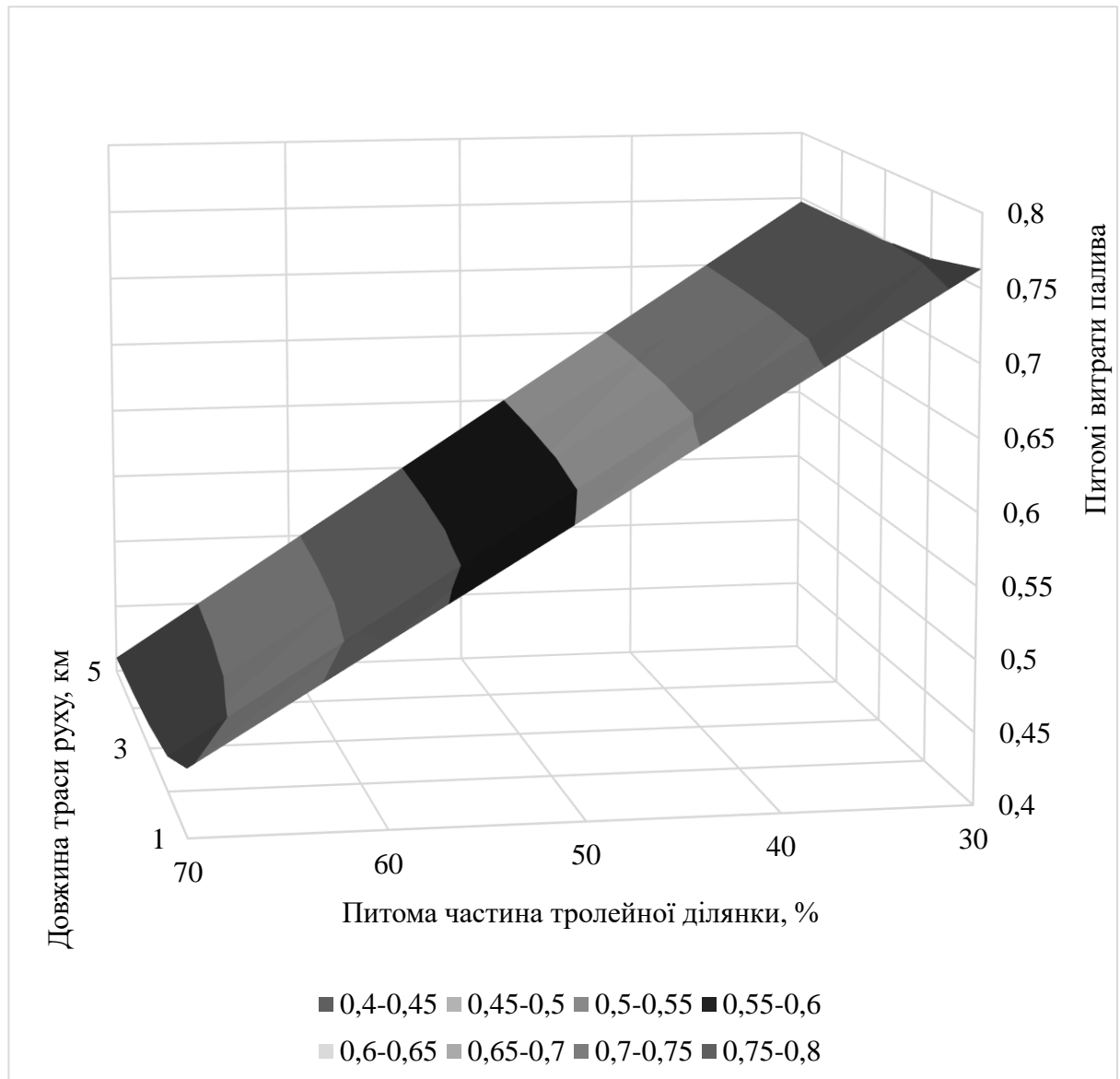


Рис. 3.8. Залежність питомих витрат палива від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки

3.4. Визначення зміни викидів відпрацьованих газів при функціонування дизель-тролейвозів.

Після визначення витрат палива при роботі дизель-тролейвозів логічним є визначити закономірності зміни викидів відпрацьованих газів в залежності від умов функціонування машин. В Україні прийнята «Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від

транспортних засобів» [87], в які по суті кількість викидів різних речовин залежить від витрат палива за лінійними залежностями. Витрати палива на експлуатацію автомобілів визначаються в літрах, тобто в одиницях об'єму, для їх переведення у вагові одиниці застосовується коефіцієнт, який для дизельного палива становить 0,85 кг/л [87], тому для розрахунку викидів використовуються значення таблиці 3.2.

Таблиця 3.2.

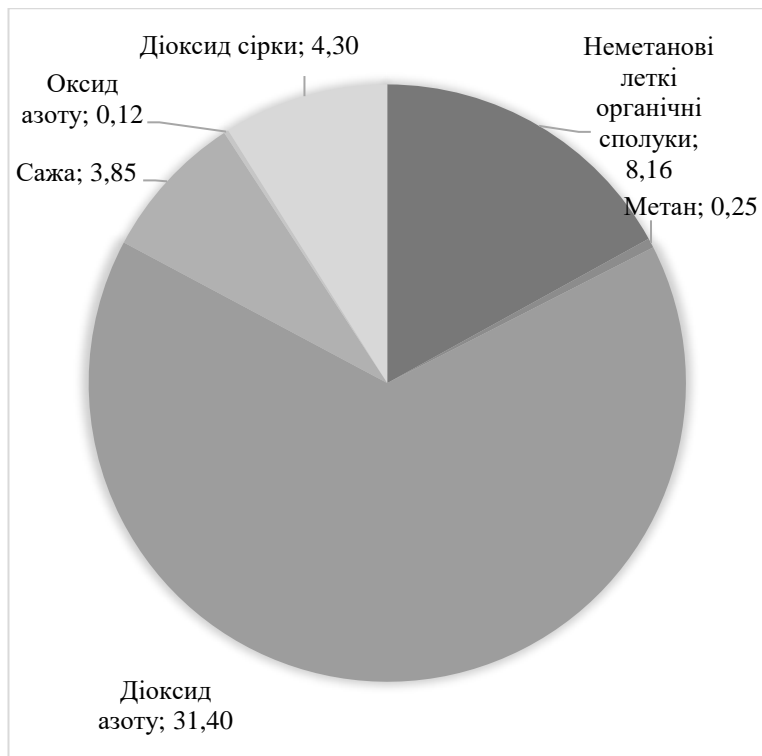
Сумарні витрати палива на трасах різної довжини самоскидами різної вантажопідйомності

Витрати палива, кг	Довжина траси, км	1	2	3	4	5
		Вантажопідйомність 90т	18,98	36,49	54,01	71,52
	Вантажопідйомність 130 т	29,80	57,30	84,80	112,30	139,80
	Вантажопідйомність 220 т	43,02	82,70	122,39	162,08	201,77

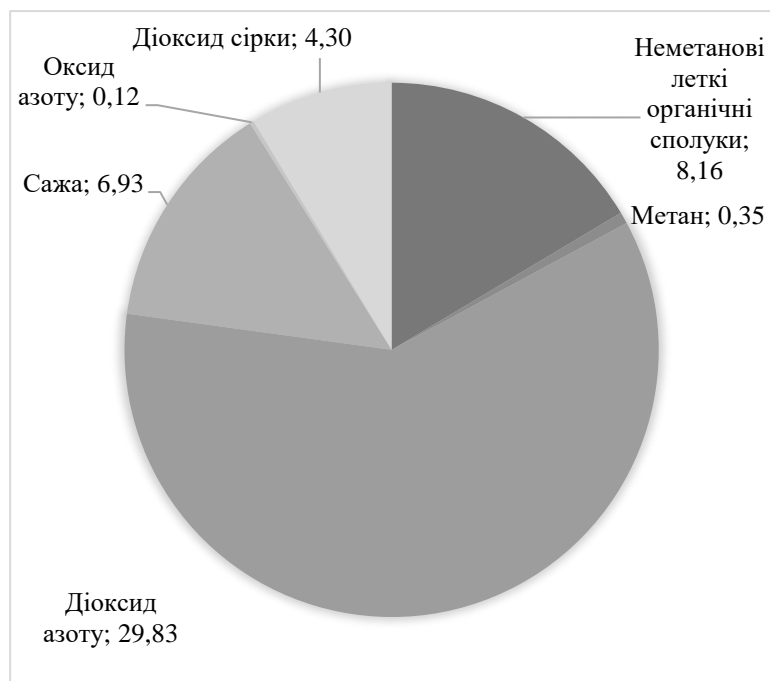
На рисунку 3.9 приведені питомі викиди забруднюючих речовин та парникових газів для нових автосамоскидів дизель-тролейвозів на початку експлуатації зі значеннями коефіцієнтів що дорівнюють одиниці та випадку з машинами з пробігом зі значеннями коефіцієнтів згідно нормативного документу. Погіршення технічного стану призводить до збільшення викидів оксиду вуглецю, метану, сажі та до зменшення викидів діоксиду азоту, на викиди інших речовин технічний стан не впливає, згідно нормативного документу.

При погіршенні технічного стану машин питома частина діоксиду азоту зменшується з 31,4 до 29,83, питома вага сажі збільшується практично в 2 рази, з 3,85 до 6,93, питома вага метану збільшується в 1,4 рази з 0,25 до 0,35.

Аналогічно витратам палива встановлені закономірності зміни викидів основних шкідливих речовин в залежності від дорожніх умов експлуатації та технічного стану машин (рис.3.10, 3.11, 3.12).



А)



Б)

Рис. 3.9. Питомі викиди забруднюючих речовин та парникових газів (г/кг) від кар'єрних автосамоскидів з урахуванням технічного стану машин. А) на початку експлуатації, Б) в кінці терміну експлуатації

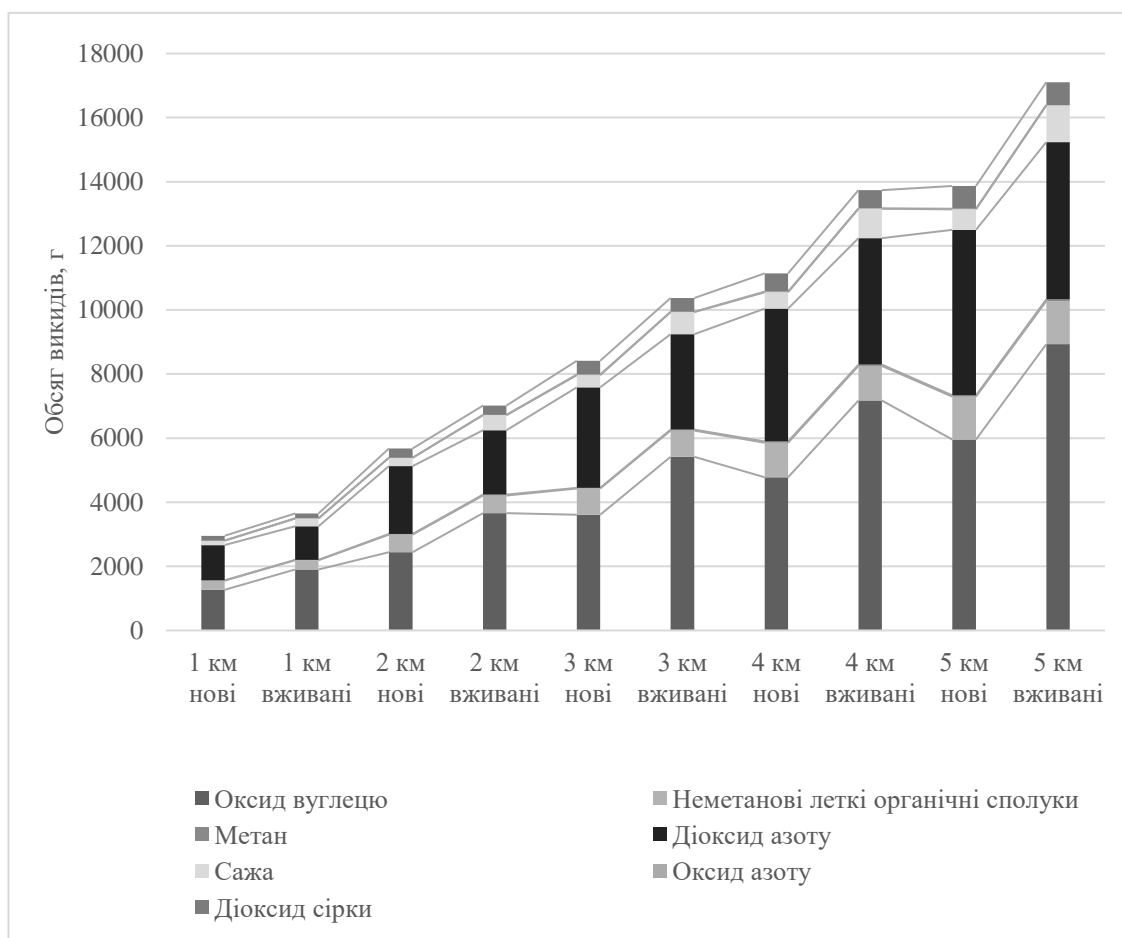


Рис. 3.10. Закономірності зміни викидів основних шкідливих речовин в залежності від довжини траси руху та технічного стану кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 130 т

Сумарні викиди на трасі довжиною 1 км зменшуються з 2955,2 г до 1322,2 г при використанні тролейвозної ділянки у 70% довжини траси, на 5 км трасі зменшення викидів складає з 13861,8 до 6192,7 г, що практично в 2,2 рази менше. На трасах в означених межах аналогічне зменшення викидів шкідливих речовин.

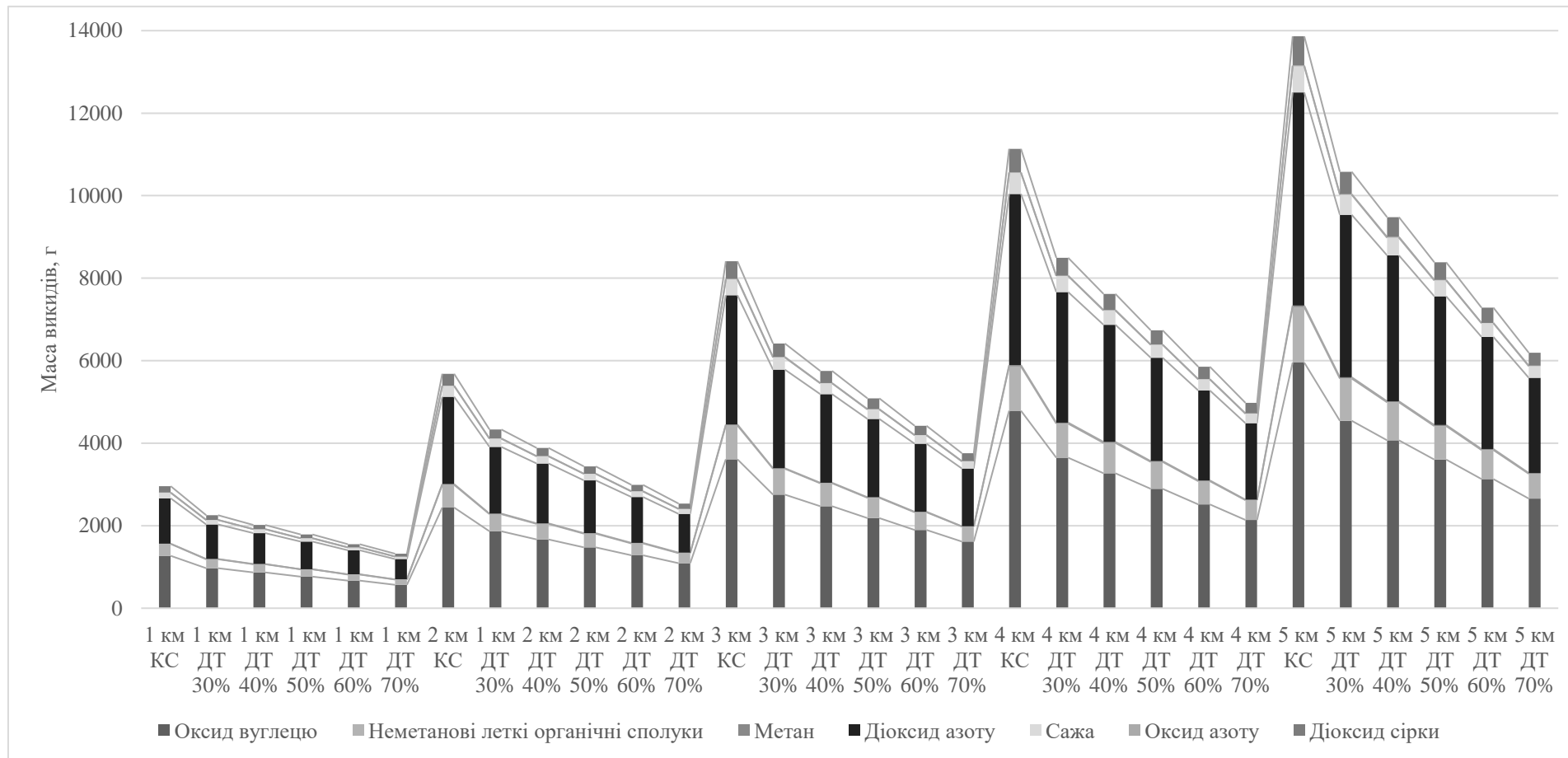


Рис. 3.11. Закономірності зміни викидів основних шкідливих речовин від нових машин (кар'єрних автосамоскидів або дизель-тролейвозу) вантажопідйомністю 130 т в залежності від довжини траси руху та частини тролейної ділянки. КС – кар'єрний автосамоскид, ДТ хх% - дизель-тролейвоз на трасі з уу % тролейною частиною

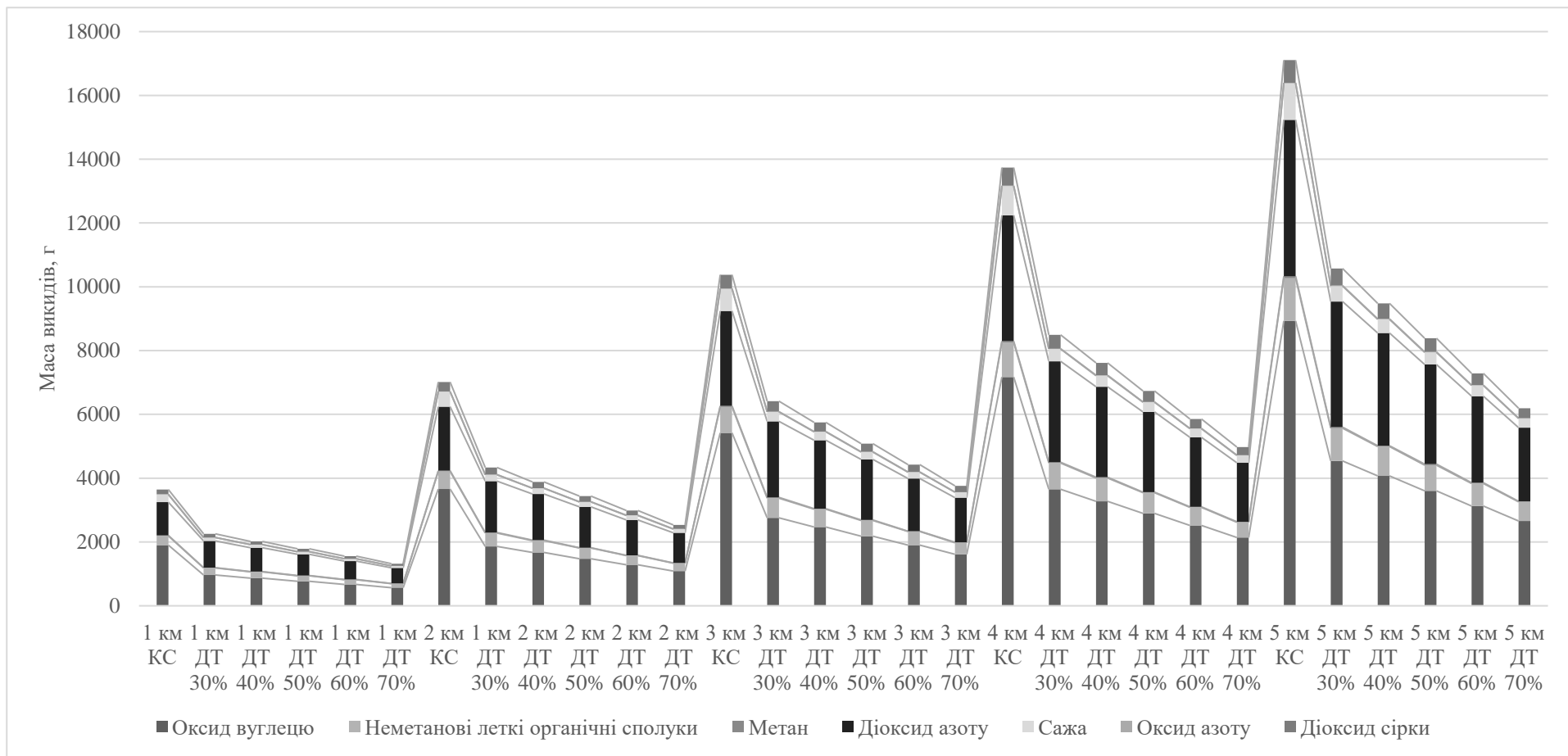


Рис. 3.12. Закономірності зміни викидів основних шкідливих речовин від вживаних машин (кар'єрних автосамоскидів або дизель-тролейвозу) вантажопідйомністю 130 т в залежності від довжини траси руху та частини тролейної ділянки. КС – кар'єрний автосамоскид, ДТ хх% - дизель-тролейвоз на трасі з хх % тролейною частиною

3.5. Висновки до розділу 3.

На основі методики визначення параметрів роботи кар'єрного автомобільного транспорту встановлені закономірності зміни питомої продуктивності дизель-тролейвозів по відношенню до кар'єрних автосамоскидів аналогічної вантажопідйомності, закономірності зміни питомих витрат палива та закономірності зміни викидів шкідливих речовин від кар'єрного транспорту.

1. Вперше встановлена двопараметрична закономірність зміни питомої продуктивності дизель-тролейвозів від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки. Питома продуктивність змінюється по параболічній залежності від довжини траси та по лінійній залежності від питомої частини тролейної ділянки траси. Максимальне збільшення продуктивності дизель-тролейвозів складає до 40 % на трасі довжиною 5 км з тролейною ділянкою у 70 % від загальної довжини траси. На трасі довжиною 1 км з тролейною ділянкою у 0,3 км (30 %) мінімальне збільшення продуктивності досягає 9 %. Зростання питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси впливає більш суттєво ніж загальна довжина траси, від 15 % до 25 %, зростання загальної довжини траси при постійній частці тролейної ділянки максимально на 7 % впливає на питому продуктивність.

2. Вперше встановлена двопараметрична закономірність зміни питомих витрат палива дизель-тролейвозів від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки. Питомі витрати палива змінюється по параболічній залежності від довжини траси та по лінійній залежності від питомої частини тролейної ділянки траси. При збільшенні частини тролейної ділянки з 30 % до 70 % питомі витрати палива зменшуються з 0,74 – 0,76 до 0,41 – 0,45, що відповідає зменшенням абсолютних витрат палива від 1,3 до 2,4 рази. Збільшення довжини траси з 1 до 5 км обумовлює зменшення питомих витрат палива з 0,76 до 0,75 при 30 % частині тролейної ділянки, і з 0,45 до 0,41 на трасі з 70 % тролейною ділянкою. Максимальне відносне зменшення витрат

палива спостерігається на найдовшій трасі з найбільшою тролейною ділянкою, практично в 2,4 рази.

3. Згідно методики розрахунку викидів забруднюючих речовин та парникових газів у повітря від транспортних засобів визначені закономірності зміни викидів відпрацьованих газів в залежності від умов функціонування та технічного стану кар'єрних автосамоскидів та дизель-тролейвозів вантажопідйомністю 130 т. Погіршення технічного стану призводить до збільшення викидів оксиду вуглецю, метану, сажі та до зменшення викидів діоксиду азоту, на викиди інших речовин технічний стан не впливає. Встановлено, що дизель-тролейвоз, який працює на трасі довжиною 5 км сумарно викидає менше забруднюючих речовин ніж звичайний кар'єрний автосамоскид який працює на трасах від 3 км незалежно від довжини тролейної ділянки. Дизель-тролейвоз на трасі у 2 км з 60 % тролейною ділянкою викидає стільки ж забруднюючих речовин, як і кар'єрний автосамоскид на вдвічі меншій трасі. Впровадження в глибоких кар'єрах України дизель-тролейвозів дозволяє до 2,5 разів зменшити викиди шкідливих речовин.

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІКО-МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДИЗЕЛЬ-ТРОЛЕЙВОЗІВ ТА ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖ ЇХ ЕФЕКТИВНОЇ РОБОТИ

4.1. Методика економіко-математичного моделювання.

Ефективність впровадження дизель-тролейвозів залежить від ряду факторів, але визначальним все ж таки є економічність використання обраного рухомого складу. Причому в одному кар'єрі можуть ефективно функціонувати як звичайні кар'єрні автосамоскиди, так і дизель-тролейвози. Ефективність буде залежить від конкретних умов експлуатації. Рух фронту гірничих робіт, обумовлює переміщення місць виконання вибухових робіт в кар'єрі і відповідно змінюються межі безпечного встановлення тролейних ліній, що обумовить зміну умов експлуатації і в певний час одна і та ж ділянка траси руху може бути використана для дизель-тролейвозного руху, а в інший час – для звичайних автосамоскидів. В зв'язку з цим при функціонуванні на кар'єрах дизель-тролейвозів доцільно мати інструмент для визначення ділянок трас руху для використання тролейвозного руху та планування розвитку тролейних трас.

В більшості великих кар'єрів використовується циклічно-поточні та циклічно-циклічні транспортні технології з мультимодальним транспортуванням руди та порід, від вибоїв – в основному автомобільним транспортом, далі конвеєрним чи залізничним транспортом. При цьому існують ділянки трас на яких транспортування гірничої маси відбувається з гори у долину (зверху вниз) і на таких ділянках дизель-тролейвози можуть працювати з генеруванням електричної енергії під час руху з вантажем у низ (долину), що ще більше підвищить ефективність їх застосування [73].

Оцінити ефективності функціонування автосамоскидів та дизель-тролейвозів можливо по взаємному впливу зміни капітальних та

експлуатаційних витрат при впровадженні дизель-тролейвозів на кар'єрі можна через термін окупності інвестицій [83]:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\sum K}{\sum V_{\text{ac}} - \sum V_{\text{e}}}, \quad (4.1)$$

де: $\sum V_{\text{ac}}$ — річні експлуатаційні витрати на транспортування гірничої маси звичайними автосамоскидами;

$\sum V_{\text{e}}$ — річні експлуатаційні витрати на транспортування гірничої маси дизель-тролейвозами;

$\sum K$ — капітальні витрати на будівництво контактної мережі з підстанціями та переобладнання існуючого парку самоскидів (встановлення пантографа, блока керування та контролера).

Незалежно від типу рухомого складу в загальному вигляді витрати на перевезення визначаються як сума витрат по кожній статті калькуляції:

$$\sum V_{\text{ac}} = \sum (V_z + V_{\text{en}} + V_m + V_t + V_c + V_a + V_n), \quad (4.2)$$

де: V_z - витрати на основну й додаткову заробітну плату з відрахуваннями на соціальні потреби;

V_{en} - витрати на енергетичні ресурси, які витрачаються для руху транспортного засобу (паливо та/або електричну енергію);

V_m - витрати на мастильні й інші експлуатаційні матеріали для рухомого складу;

V_t - витрати на відновлення зносу й ремонт автомобільних шин;

V_c - витрати на технічний сервіс, які включають витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт рухомого складу;

V_a - амортизаційні відрахування на повне відновлення рухомого складу;

V_n - сума загальновиробничих витрат підприємства.

Остання стаття витрат практично не залежить від рухомого складу тому її можна не враховувати в розрахунках.

Щодо витрат на технічний сервіс, то на стадії предпроектних розрахунків більш-менш достовірно оцінити їх не можливо, витрати на сервіс двигуна внутрішнього згорання скоріше всього можуть компенсуватися витратами на сервіс пантографа та електротехнічного обладнання для забезпечення роботи автосамоскиду в дизель-тролейвозному оснащенні.

Якщо транспортування відбувається з генерування електричної енергії та подачею її в мережу, то при визначенні витрат на перевезення дизель-тролейвозами треба зменшити загальні витрати на величину вартості генерованої енергії, таким чином витрати пов'язані з використанням дизель-тролейвозів будуть визначатись за формулою:

$$\sum V_e = \sum (V_z + V_e + V_m + V_t + V_c + V_a + V_n) - Q_e \cdot C_e, \quad (4.3)$$

де: Q_e – кількість генерованої електричної енергії, кВт;

C_e – ціна 1 кіловату електричної енергії.

Практично всі складові витрат при використанні автосамоскидів та дизель-тролейвозів відрізняються, навіть при одночасному використанні різних видів машин на транспортуванні гірничої маси в одному кар'єрі.

Враховуючи, що при використанні дизель-тролейвозів змінюється швидкість руху, то відповідно змінюється продуктивність роботи операторів машин, тобто кількість перевезеного вантажу та обсяг виконаної транспортної роботи і відповідно заробітна плата операторів автосамоскидів та дизель-тролейвозів, яка визначається за відрядними розцінками за 1 т перевезеного вантажу та 1 т·км виконаної транспортної роботи за формулою:

$$V_z = (C_T \cdot P_T + C_{TKM} \cdot P_{TKM}) \cdot K_y \cdot K_k \cdot K_B, \quad (4.4)$$

де: C_T - відрядна розцінка за 1 т, не залежить від типу машини;

$C_{т.км}$ - відрядна розцінка за 1 т·км транспортної роботи, не залежить від типу машини;

P_T - кількість перевезеного вантажу, залежить від типу машини;

$P_{ткм}$ - обсяг виконаної транспортної роботи, т·км, залежить від типу машини;

K_γ - коефіцієнт, що враховує клас перевезеного вантажу, не залежить від типу машини;

K_K - коефіцієнт, що враховує розмір додаткової заробітної плати й премії, не залежить від типу машини;

K_B - коефіцієнт, що враховує розмір відрахувань на соціальні заходи, не залежить від типу машини.

Витрати на енергетичні ресурси (паливо та/або електричну енергію) для автосамоскидів та дизель-тролейвозів визначаються, як:

$$B_{en} = B_n + B_e \quad (4.5)$$

де : B_n - витрати на дизельне паливо;

B_e – витрати на електричну енергію.

Витрати на дизельне паливо автосамоскидів можуть визначатися через лінійні витрати палива за формулою:

$$B_{na} = \left(\frac{L_a \cdot Q_l}{100} + n_i \cdot Q_n \right) \cdot K_d \cdot C_n \quad (4.6)$$

де : L_a – загальний пробіг автосамоскиду;

Q_l – лінійна норма витрати палива на 100 км пробігу;

n_i - кількість їздок із вантажем,

Q_n - норма додаткових витрат палива на одну їздку з вантажем, для виконання маневрових робіт у пунктах навантаження/розвантаження;

K_d - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати палива в зимовий період і внутрішньоігаражні (цехові) потреби;

C_n - ціна 1 літра палива.

Витрати на дизельне паливо дизель-тролейвозів також визначаються через лінійні витрати палива при русі від дизельного двигуна (аналогічно автосамоскиду) та витрати палива при русі в тролейному режимі при якому дизельний двигун працює в режимі холостого ходу або в режимі незначного навантаження для забезпечення роботи тягового генератора для подання напруги на обмотку збудження тягових електродвигунів для їх роботи в тяговому або генераторному режимі:

$$B_{nt} = \left(\frac{L_t \cdot Q_l}{100} + n_i \cdot Q_n + Q_{xt} \cdot t_{xt} + Q_{xg} \cdot t_{xg} \right) \cdot K_d \cdot C_n \quad (4.7)$$

де: Q_{xt} , Q_{xg} – витрати палива при русі в тяговому від тролєю чи генераторному режимі;

t_{xt} , t_{xg} – час руху в тяговому від тролєю чи генераторному режимі.

Кількість витраченого дизельного палива при русі в тяговому від тролєю чи генераторному режимі визначаються як часові витрати палива двигуна за формулою визначення годинних витрат палива двигуна внутрішнього згорання:

$$Q_{x(t,g)} = q N_{(t,g)} t_{(t,g)} \quad (4.8)$$

де: q – питомі витрати палива при номінальній потужності двигуна, (г/(кВт·год));

$N_{(t,g)}$ – потужність двигуна, яка потрібна для руху у відповідному режимі, тяговому (t) від тролєю чи генераторному (g);

$t_{(t,g)}$ – час руху в тяговому від тролєю (t) чи генераторному режимі (g).

При русі дизель-тролейвоза по трасі яка має ділянки з тяговим та генераторним режимами кількість витраченого дизельного пального визначаються як сума на кожній з ділянок:

$$Q_x = q N_t t_t + q N_g t_g \quad (4.9)$$

Витрати на електричну енергію повинні враховувати як витрати безпосередньо на рух у тролейному режимі, так і генерування електричної енергії в мережу при електричному гальмуванні та руху в генераторному режимі:

$$B_e = (W_t - W_g)C_e \quad (4.10)$$

де : W_t - витрати електричної енергії на рух у тролейному режимі;

W_g – кількість рекуперованої електричної енергії при русі в генераторному режимі;

C_e – ціна електричної енергії.

В загальному вигляді кількість витраченої (генерованої) електричної енергії за час руху визначаються за формулою:

$$W_{t(g)} = \int (U \cdot I) dt \quad (4.11)$$

де : U – напруга контактної мережі;

I – струм, що споживається (віддається в мережу) дизель-тролейвозом.

Також кількість витраченої електричної енергії розраховуються за формулою:

$$W_{t(g)} = P \cdot t \quad (4.12)$$

де: P – потужність, споживана дизель-тролейвозом;

t – час роботи дизель-тролейвозу в тролейному режимі.

Витрати на мастильні та інші експлуатаційні матеріали визначаються по кожному виду цих матеріалів згідно відповідним нормам установленим з розрахунку на 100 л загальної потреби в автомобільному паливі або виходячи з заправних місткостей та періодичності заміни при планових технічних обслуговуваннях:

$$B_m = B_o + B_t + B_c + B_k + B_i \quad (4.13)$$

де: B_o - витрати на моторні оливи;

B_t - витрати на трансмісійні мастила;

B_c - витрати на спеціальні види мастил;

B_k – витрати на консистентні мастила;

B_i - витрати на інші експлуатаційні матеріали.

Витрати на моторні оливи, трансмісійні, консистентні й спеціальні види мастил по нормах на 100 л загальної потреби в автомобільному паливі визначаються за формулою:

$$B_i^j = \frac{Q_c \cdot H_i \cdot C_i}{100} \quad (4.14)$$

де: Q_c - загальні витрати автомобільного палива;

H_i - норма витрати i -го виду мастильних матеріалів, установлена на 100 літрів загальних витрат палива;

C_i - ціна 1 л (кг) i -го виду мастильних матеріалів.

При визначенні витрат на моторні оливи, трансмісійні, консистентні й спеціальні види мастил виходячи з заправних місткостей та періодичності заміни при планових технічних обслуговуваннях використовують формулу:

$$B_i^j = \frac{T \cdot V_i \cdot C_i \cdot K_i}{T_{to}} \quad (4.15)$$

де: T – час роботи автосамоскиду;

V_i – обсяг заправної ємності системи мащення чи іншої системи, яка використовує мастило, наприклад об'єднаної гідравлічної системи;

T_{to} – періодичність заміни мастила (періодичність технічних обслуговувань при яких проводиться заміна оливи чи мастила);

K_i – коефіцієнт, який враховує додаткові витрати оливи чи мастила під час доповнення систем у між сервісний інтервал.

Витрати на інші експлуатаційні й обтиральні матеріали встановлюється на підприємстві на один обліковий автомобіль у рік.

Витрати на відновлення зносу і ремонт шин розраховуються виходячи з загального пробігу, норм експлуатаційного пробігу та норм на ремонт шин і кількості шин на одному автосамоскиді:

$$B_t = \left(\frac{L_s \cdot n_k}{H_l \cdot K_t} + \frac{L_s \cdot H_p \cdot n_k}{1000 \cdot 100} \right) C_t \quad (4.16)$$

де : L_s - загальний пробіг;

n_k - кількість шин, на одному автосамоскиді;

H_l - норма пробігу шин до вибракування;

K_t - поправочний коефіцієнт до норми пробігу, що враховує умови експлуатації рухомого складу;

H_p – норма витрат на ремонт шини в % до ціни шини на 100 км пробігу;

C_t - ціна однієї шини з урахуванням заготівельно-складських витрат.

Витрати на технічний сервіс (технічне обслуговування й ремонт) рухомого складу розраховуються з розбивкою по елементах витрат (заробітна плата, запасні частини, матеріали):

$$B_c = B_{zr} + \sum_{i=1}^n \left(\frac{L_s \cdot H_{sp} \cdot K_e}{1000} + \frac{L_s \cdot H_m \cdot K_e}{1000} \right) \quad (4.17)$$

де : B_{zr} – витрати на заробітну плату ремонтників з урахуванням відрахувань на соціальні заходи;

H_{sp} - норма витрат на запасні частини по і-му виду ремонту на 1000 км пробігу;

H_m - норма витрат на матеріали по і-му виду ремонту на 1000 км пробігу;

K_e – коефіцієнт, що враховує умови експлуатації автомобільного парку.

Амортизаційні відрахування на повне відновлення машин визначаються у відсотках від їхньої балансової вартості на 1000 км пробігу відповідно до норм, встановлених власником за формулою:

$$B_a = \frac{H_a \cdot L_s \cdot C_a}{100 \cdot 1000} \quad (4.18)$$

де : H_a - норма амортизації, %;

C_a - балансова вартість машини.

Загальновиробничі витрати включають витрати на управління й обслуговування виробництва, а також позавиробничі витрати, податки й платежі й розраховуються по статтях кошторису на основі діючих нормативів або на основі фактично сформованих витрат на базовому підприємстві із урахуванням коефіцієнта приведення рухомого складу:

$$B_n = H_n \cdot \sum_{j=1}^n N_{aj} \cdot K_j \quad (4.19)$$

де : H_n - середня норма загальновиробничих витрат на один приведений транспортний засіб;

N_{aj} – кількість j - транспортних засобів;

K_j - коефіцієнт приведення витрат по j -й марці транспортного засобу.

Мінімізація терміну окупності інвестицій і є цільовою функцією економіко-математичної моделі, тобто:

$$T_{ок} \rightarrow \min \quad (4.20)$$

При цьому існують певні обмеження та необхідно врахувати гірничо-технічні умови експлуатації.

Представлена економіко-математична модель дозволяє визначати ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними

кар'єрними автосамоскидами. Модель крім диференційного врахування схожих витрат, додатково до існуючої методики визначення економічних показників роботи кар'єрних автосамоскидів враховує витрати пов'язані з переобладнанням машин в тролейвози, прибуток від генерування електричної енергії під час руху в тролейному режимі зверху вниз.

4.2. Вихідні дані та постановка задачі економіко-математичного моделювання.

В зв'язку з постійним коливанням цін на паливо, електричну енергію та інші складові важливим є оцінка застосування дизель-тролейвозів у відносних величинах та встановлення закономірностей зміни терміну окупності від параметрів дорожньо-транспортних умов експлуатації для кар'єрних автосамоскидів найбільш можливих для використання вантажопідйомностей. Для умов криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів такими вантажопідйомностями будуть 90, 130 та 220 т.

Аналіз умов експлуатації українських глибоких залізрудних кар'єрів [77] дозволив встановити характерні значення дорожньо-транспортних умов експлуатації кар'єрного автомобільного транспорту, які безпосередньо впливають на показники роботи автомобільного транспорту кар'єру і характеризуються наступними значеннями (табл.4.1).

Аналіз можливих варіантів трас руху показує що можливі наступні варіанти, які мають певні переваги та вади, не всі представлені варіанти можуть реалізуватися. Однотролейна лінія з рухом під тролеем з вантажем знизу вверху та рух без вантажу у зворотному напрямку без підключення до тролєю – найбільш розповсюджений варіант забезпечується при мінімальних початкових витратах. Даний варіант може бути реалізований практично у всіх криворізьких кар'єрах.

Таблиця 4.1.

Параметри характерних дорожньо-транспортних умов експлуатації кар'єрного автомобільного транспорту на залізорудних кар'єрах

Показник	Одиниця виміру	Мінімальне значення	Середнє значення	Максимальне значення
Довжина траси руху з вантажем	км	1,0	3,0	5,0
Питома частина тролейної ділянки	долі од.	0,3	0,5	0,7
Супротив коченню та руху (ухил +кочення)	%	-18	0	+18
Річний вантажопотік по трасі	тис.т	5000	10000	25000

Однотролейна лінія з рухом під тролеем з вантажем зверху вниз з генерування електричної енергії та рух без вантажу у зворотному напрямку без підключення до тролею – варіант який може бути реалізований в глибоких кар'єрах в яких пункт перевантаження з автомобільного транспорту на конвеєрний розташований нижче рівня робочих вибоїв. Даний варіант має обмежене використання.

Варіанти з двома тролейними лініями в наслідок обмеженого простору сучасних залізорудних кар'єрів і відповідно наявності мінімальних значень ширини трас руху не розглядалися.

Щодо цінових показників прийнятих для розрахунку, то взяті показники за квітень-травень 2024 року на основні складові (паливо, електричну енергію, заробітну плату тощо) [66, 67, 68], а також показники за даним виробників тролейних систем у валюті з перерахунком у гривні по поточному курсу НБУ на дату звернення [11, 30, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 85].

4.3. Результати економіко-математичного моделювання

Всього було розглянуто 30 варіантів (5 для звичайних кар'єрних автосамоскидів та 25 для дизель-тролейвозів) розрахунку поточних витрат для

трас довжиною від 1 до 5 км з тролейними ділянками довжиною від 0,3 км до 3,5 км (від 30 до 70 % довжини траси) (табл.4.2). Враховуючи невизначеність у витратах на будівництво тролейної ділянки розглянуто варіанти з капітальними витратами на її будівництво та переобладнання кар'єрних автосамоскидів в дизель-тролейвози від 20000000 грн (~ 5 млн.\$) до 200000000 грн (~ 50 млн.\$) та розрахований час окупності інвестицій.

На рис 4.1. представлені кругові діаграми розподілу річних експлуатаційних витрат на транспортування гірничої маси звичайними автосамоскидами на трасах довжиною 1 та 5 км, на рис. 4.2 та 4.3 представлені кругові діаграми розподілу річних експлуатаційних витрат на транспортування гірничої маси дизель-тролейвозами на трасах довжиною 1 та 5 км при, відповідно 30 % та 70 % тролейної ділянки. Рис.4.2.А характеризує розподіл витрат на найменшій з тих, які розглядаються тролейних ділянках, а рис.4.3.Б характеризує розподіл витрат на найбільшій з тих, які розглядаються тролейних ділянках. Аналіз кругових діаграм показує:

- питомі витрати на паливо при транспортуванні кар'єрними автосамоскидами знаходяться на рівні 52 – 62 %, а питомі витрати на зарплатню на рівні 7 – 9 %, що відповідає питомій вазі відповідних витрат досягнутими в сучасних гірничо-транспортних цехах гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького басейну, що підтверджує вірність розрахунків;

- при транспортуванні дизель-тролейвозами питома вага витрат на паливо зменшується при збільшенні частини тролейної ділянки та зростає при збільшенні довжини траси, так при 30 % тролейної ділянки вона збільшується з 47 до 57 % на трасах довжиною 1 км і з 35 до 44 % на трасах довжиною 5 км при 70 % тролейної ділянки;

Таблиця 4.2.

Параметри розглянутих варіантів та сумарні показники

Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
Тип машини	К С	К С	К С	К С	К С	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т	Д Т		
Довжина траси, км	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Питома частина тролейної ділянки, %	0	0	0	0	0	30	30	30	30	30	40	40	40	40	40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	70	70	70	70	70	
Сумарні витрати, грн	295061568	513749006	732436443	951123880	116981131	253578506	430582880	607587255	784591630	961596004	239684151	402794172	565904192	729014213	892124233	225789797	375005463	524221130	673436796	822652462	211895443	347216755	482538067	617859379	753180691	198001089	319428046	440855004	562281962	683708920	
Термін окупності при капітальних витратах 200 млн.грн, рік						4,8	4,8	2,4	1,6	1,2	1,0	3,6	1,8	1,2	0,9	0,7	2,9	1,4	1,0	0,7	0,6	2,4	1,2	0,8	0,6	0,5	2,1	1,0	0,7	0,5	0,4
Термін окупності при капітальних витратах 400 млн.грн, рік						9,6	4,8	3,2	2,4	1,9	7,2	3,6	2,4	1,8	1,4	5,8	2,9	1,9	1,4	1,2	4,8	2,4	1,6	1,2	1,0	4,1	2,1	1,4	1,0	0,8	
Термін окупності при капітальних витратах 800 млн.грн, рік						19,3	9,6	6,4	4,8	3,8	14,4	7,2	4,8	3,6	2,9	11,5	5,8	3,8	2,9	2,3	9,6	4,8	3,2	2,4	1,9	8,2	4,1	2,7	2,1	1,6	
Термін окупності при капітальних витратах 1600 млн.грн, рік						38,6	19,2	12,8	9,6	7,7	28,9	14,4	9,6	7,2	5,8	23,1	11,5	7,7	5,8	4,6	19,2	9,6	6,4	4,8	3,8	16,5	8,2	5,5	4,1	3,3	
Термін окупності при капітальних витратах 2000 млн.грн, рік						48,2	24,0	16,0	12,0	9,6	36,1	18,0	12,0	9,0	7,2	28,9	14,4	9,6	7,2	5,8	24,0	12,0	8,0	6,0	4,8	20,6	10,3	6,9	5,1	4,1	

- питомі витрати електричної енергії близькі до 1 % на найдовшій трасі в 5 км з найбільшою тролейною ділянкою у 70 % і це найбільший показник, на інших трасах питомі витрати на електричну енергію знаходяться на рівні 0,2 – 0,7 %. Мінімальні значення витрат електричної енергії обумовлюються, в першу чергу, відносно низькою ціною електричної енергії - 0,52857 грн/(кВт·год), при високій ціні дизельного палива у 53,63 грн/л. Тобто 1 кВт·год електричної енергії дешевше 1 л дизельного палива більше ніж у 100 разів.

Аналіз закономірностей зміни терміну окупності в залежності від параметрів тролейних трас та капітальних витратах на їх будівництво рис. 4.4. показує наступне:

- термін окупності варіюється від одного до п'ятдесяти років і зменшується при збільшенні питомої частини тролейної ділянки та довжини траси;

- для забезпечення терміну окупності в 5 років максимальні капітальні витрати не повинні перевищувати 200 млн. грн не залежно від параметрів трас;

- капітальні витрати у 2000 млн. грн окупляться за 5 років на трасах довжиною 3 – 5 км при 60 – 70 % тролейної частини;

- на середньо-криворізьких трасах довжиною 3 км за 5 років інвестиції у 800 млн. грн можуть окупитися при тролейних ділянках довжиною не менше 40 % від довжини траси. Максимальні, прийняті в розрахунках, капітальні витрати у 2000 млн. грн окупляться на таких трасах за 5 років тільки з 70 % тролейною ділянкою.

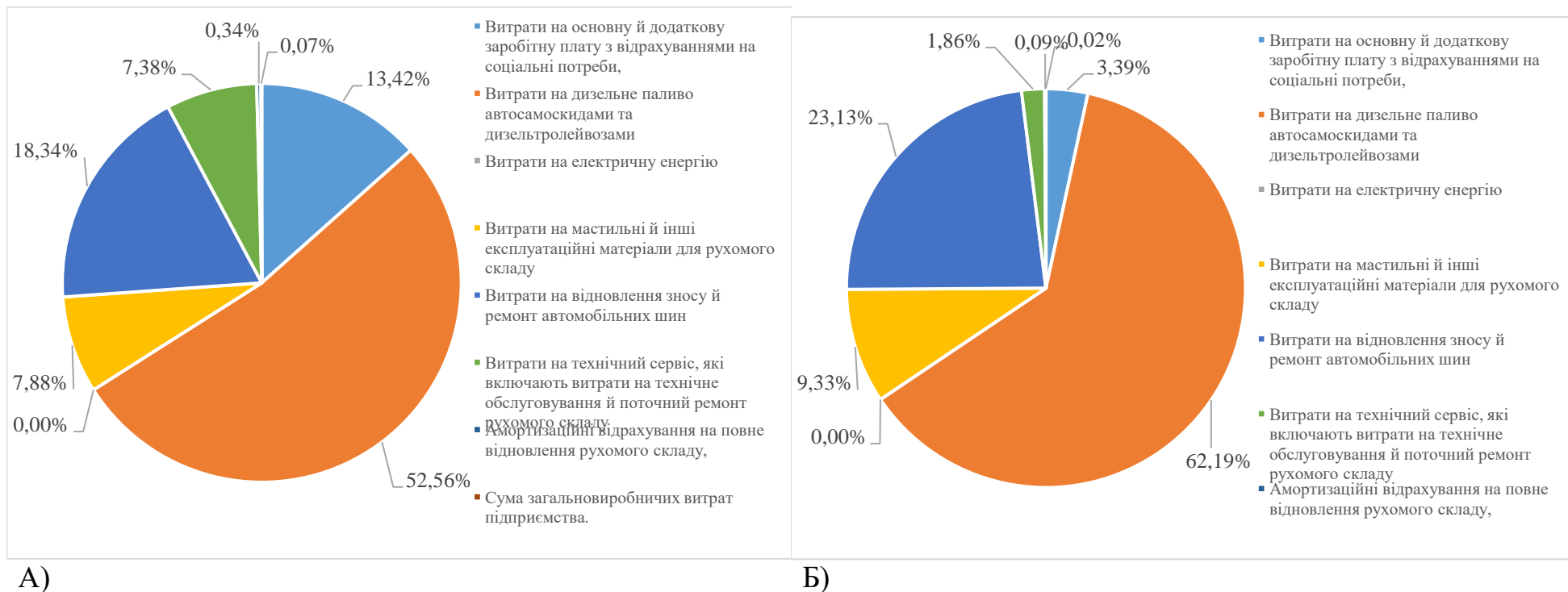


Рис. 4.1. Розподіл річних експлуатаційних витрат на транспортування гірничої маси звичайними кар'єрними автосамоскидами на трасах довжиною 1 км (А) та 5 км (Б)

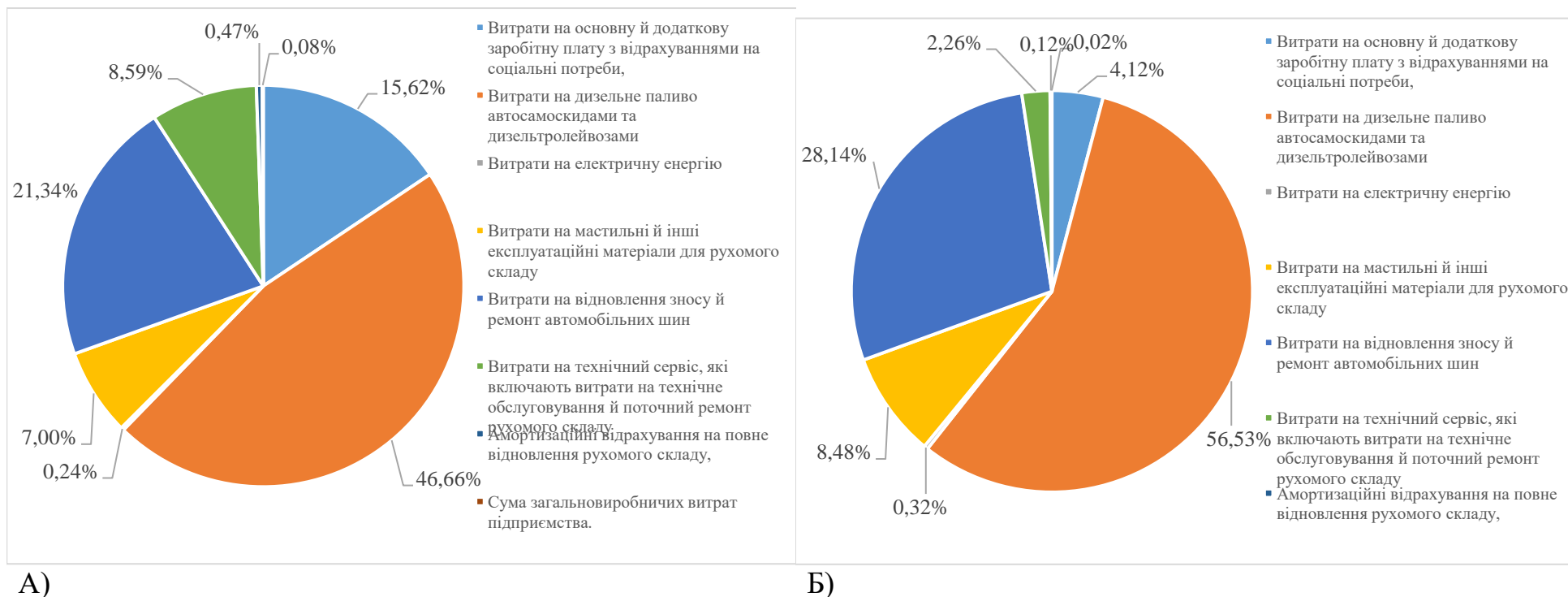


Рис. 4.2. Розподіл річних експлуатаційних витрат на транспортування гірничої маси дизель-тролейвозами на трасах довжиною 1 км (А) та 5 км (Б) при 30 % тролейної ділянки

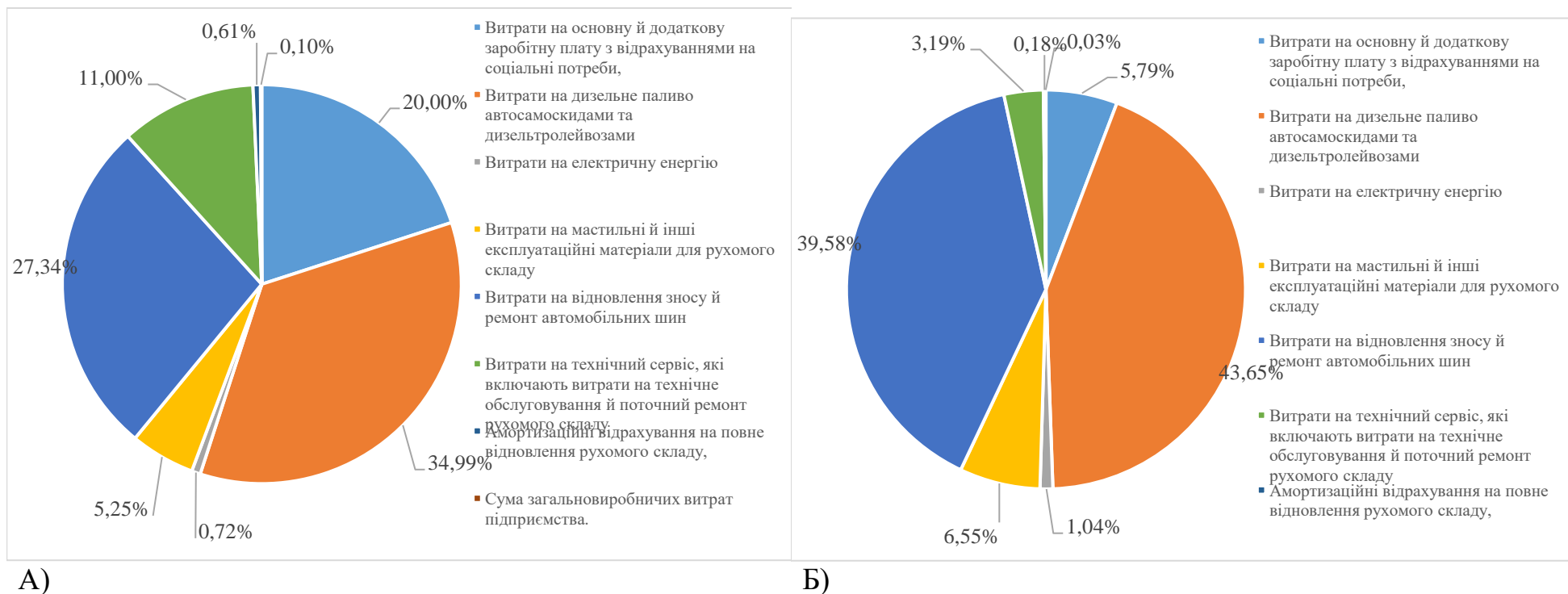


Рис. 4.3. Розподіл річних експлуатаційних витрат на транспортування гірничої маси дизель-тролейвозами на трасах довжиною 1 км (А) та 5 км (Б) при 70 % тролейної ділянки

Побудова ліній тренду закономірностей зміни терміну окупності в залежності від довжини трас та капітальних витратах на їх будівництво при різних частинах тролейної ділянки з визначенням їх рівняння та величини вірогідності апроксимації R^2 (рис. 4.5., 4.6) показує, що незалежно від довжини тролейної ділянки термін окупності зменшується по степеневій залежності від довжини траси. Значення ступеня в аргументі функції близьке до одиниці, тому були проведені перевірочні розрахунки для зворотної залежності та встановлена близько 30 % похибка, що не дозволяє обґрунтовано стверджувати про зворотну залежність.

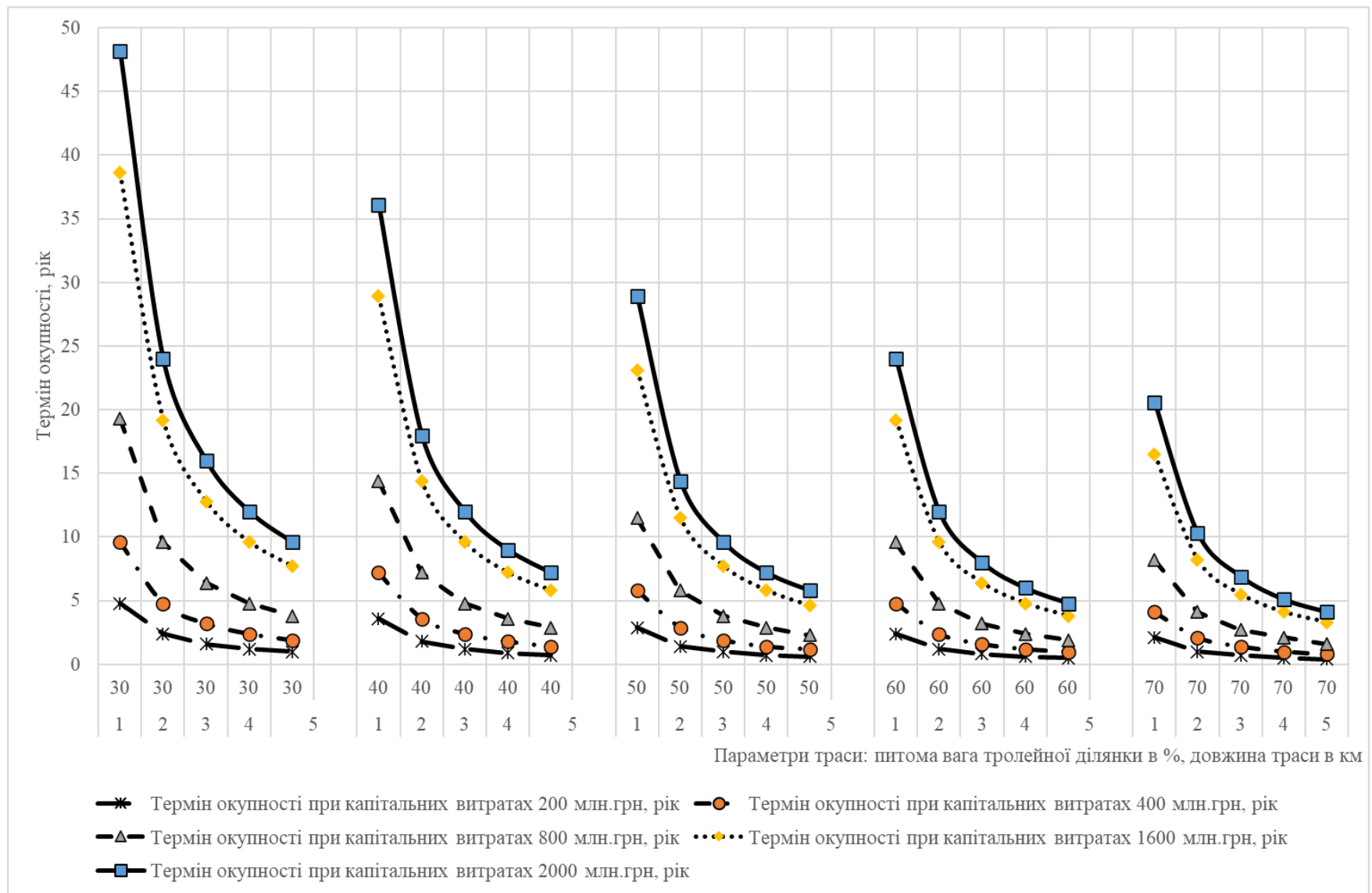


Рис. 4.4. Закономірності зміни терміну окупності в залежності від параметрів тролейних трас та капітальних витратах на їх будівництво

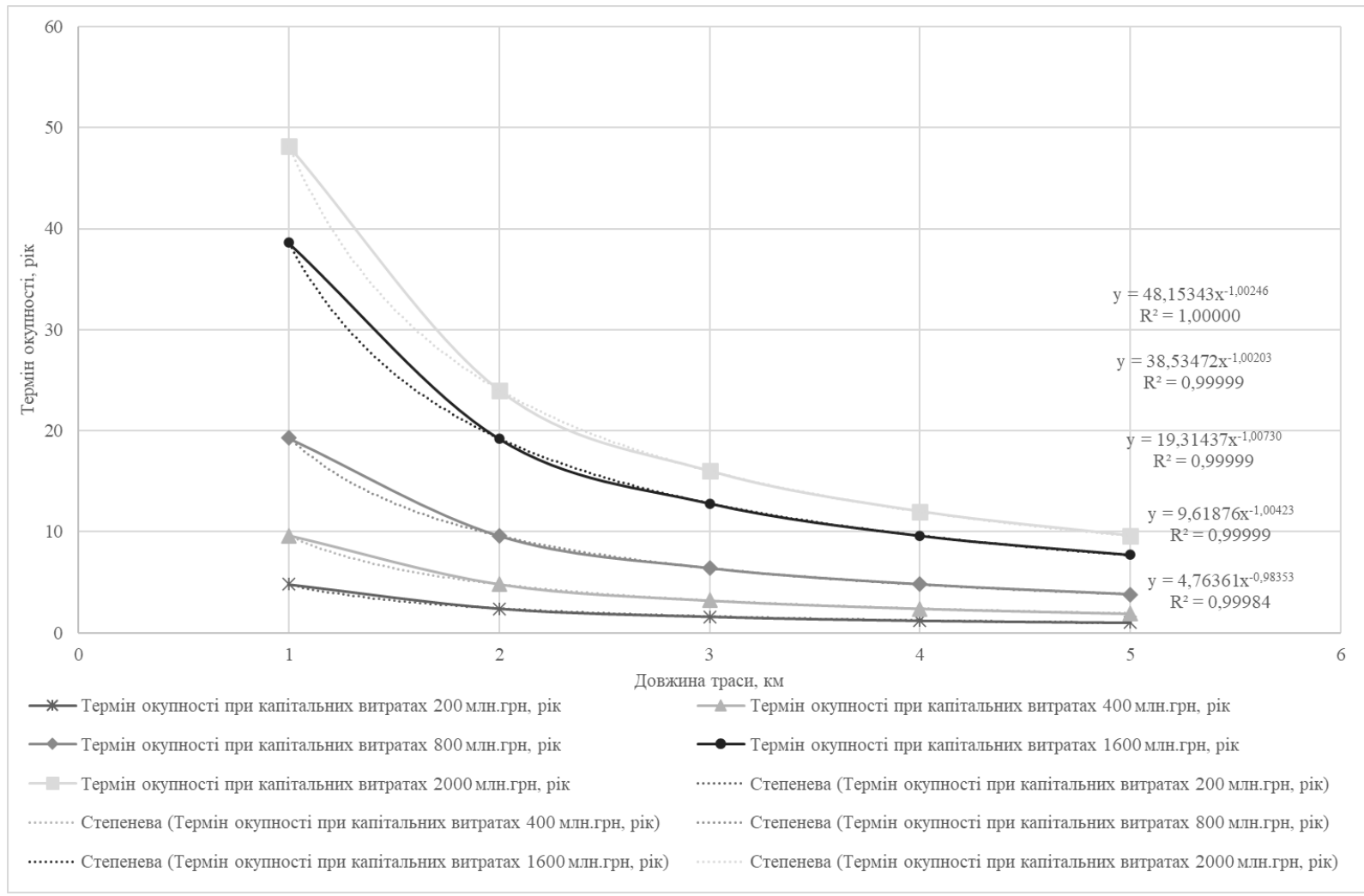


Рис. 4.5. Закономірності зміни терміну окупності в залежності від довжини трас та капітальних витратах на їх будівництво при довжині тролейної ділянки у 30 % та їх степеневі залежності

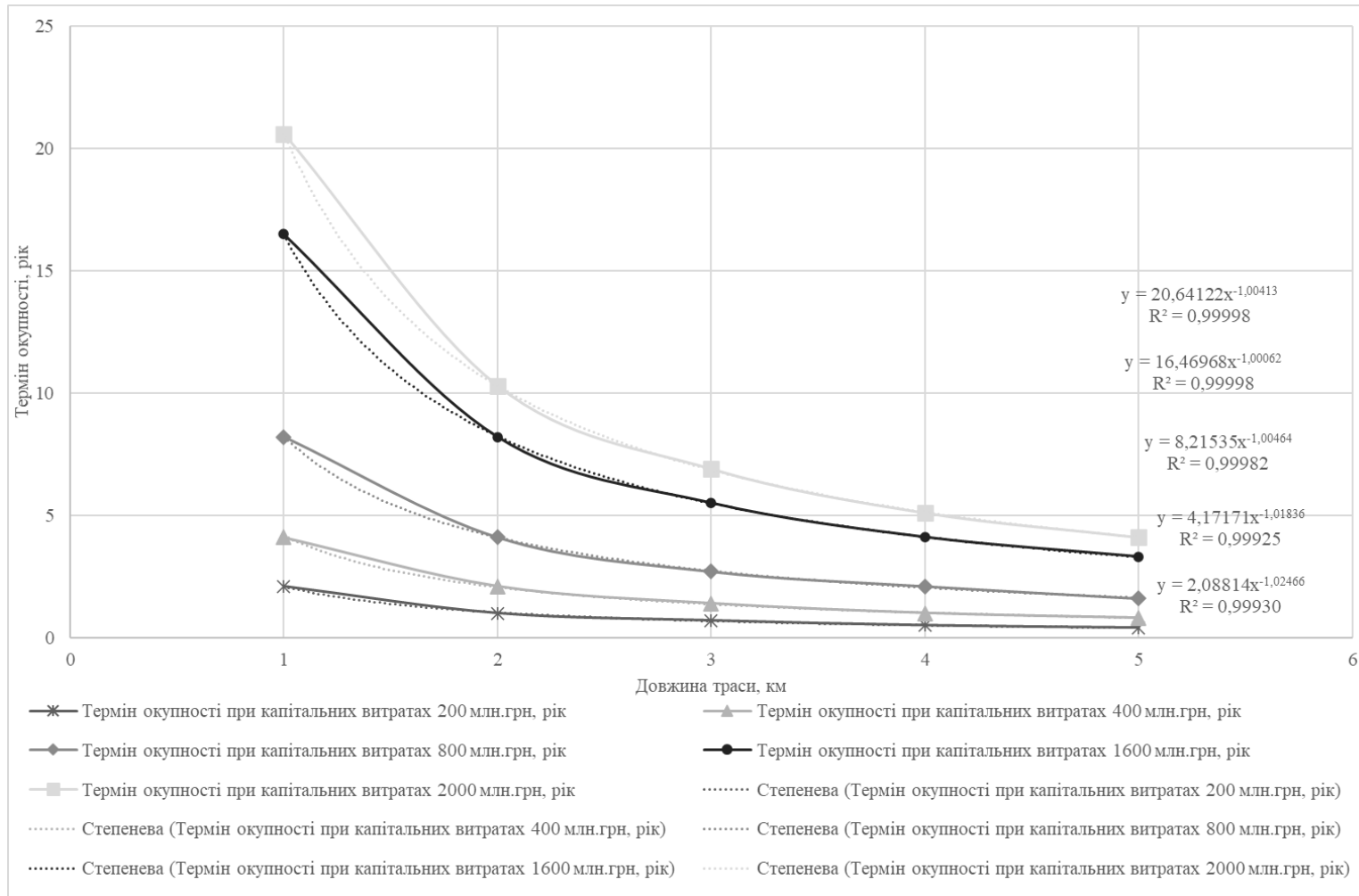


Рис. 4.6. Закономірності зміни терміну окупності в залежності від довжини трас та капітальних витратах на їх будівництво при довжині тролейної ділянки у 70 % та їх степеневі залежності

4.4. Аналіз можливих місць застосування дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах Криворізького басейну.

Аналіз наявної у відкритому доступі інформації щодо умов роботи в кар'єрах показує, що на кожному з кар'єрів Криворізького залізорудного басейну є можливість створення тролейної лінії довжиною від 1,0 до 5,0 км, але є як обмеження, що потребують детального опрацювання, так і позитивні аспекти. Так, на Південному кар'єрі є великий досвід прокладання повітряних електричних мереж для технологічного залізничного транспорту який буде у нагоді, на Ганнівському кар'єрі є можливість обладнання трас з рухом навантажених машин зверху вниз до перевантажувального пункту в центральній частині, що суттєво збільшить кількість електричної енергії що виробляється в режимі електродинамічного гальмування і покращить ефективність технології.

Найбільш перспективними у плані застосування дизель-тролейвозної технології транспортування гірничої маси є кар'єри ПрАТ «Центральний гірничо-збагачувальний комбінат». На Петрівському кар'єрі (рис. 4.7 – 4.14) є довга виїзна траншея з кар'єру на відвал та перевантажувальний пункт залізничного транспорту, яка розташована за межами впливу основних вибухових робіт в кар'єрі та кілька трас руху які розташовані на відстані від місць проведення вибухових робіт. На рисунках 4.7 – 4.11 представлені схеми де можливо розташувати тролейні ділянки, а в таблиці 4.3 параметри означених ділянок.

Довжина ділянок складає від 1,2 до 4,0 км при ухилі зверху вниз від 0 до 23 %, по трасі 6 рух направлений зверху вниз під ухилом 11,4 % на даній ділянці при встановленні тролей при руху з вантажем може генеруватися енергія в електричну мережу від електродинамічного гальмування автосамоскида дизель-тролейвоза. До цих ділянок від вибоїв необхідно ще проїхати від 0,5 до 1,0 км і таким чином загальна довжина їздки з вантажем становить від 2 до 5 км.

Таблиця 4.3.

Параметри тролейних ділянок в Петрівському кар'єрі

Номер	Початок		Кінець		Довжина, км	Ухил, %
	Координати	Висота над рівнем моря, м	Координати	Висота над рівнем моря, м		
1	48.308798°N 33.314242°E	22	48.315474°N 33.315133°E	90	3,3	20,6
2	48.309153°N 33.316926°E	-3	48.315474°N 33.315133°E	90	4,0	28,2
3	48.315474°N 33.315133°E	90	48.328959°N 33.323637°E	127	1,7	11,2
4	48.306345°N 33.311109°E	75	48.315474°N 33.315133°E	90	1,2	4,5
5	48.309277°N 33.312421°E	90	48.315474°N 33.315133°E	90	2,5	0,0
6	48.314084°N 33.323005°E	106	48.315474°N 33.315133°E	90	1,4	-4,8

Пропозиції щодо тролейних ділянок на наявних дорожніх трасах у Глеюватському кар'єрі представлені на рис. 4.14 – 4.17, а параметри ділянок у таблиці 4.4. Найбільш перспективними виділені 3 траси довжиною від 1,3 до 4,8 км при ухилах від 0,8 до 11,5 %.

Таблиця 4.4.

Розташування ділянок в кар'єрі «Глеюватський»

Номер	Початок		Кінець		Довжина, км	Ухил, %
	Координати	Висота над рівнем моря, м	Координати	Висота над рівнем моря, м		
1	47.995196°N 33.417140°E	-147	47.983392°N 33.409810°E	-138	1,4	6,4
2	48.000661°N 33.409626°E	54	48.008808°N 33.420994°E	69	1,3	11,5
3	48.000522°N 33.418443°E	-144	47.997554°N 33.415874°E	-140	4,8	0,8

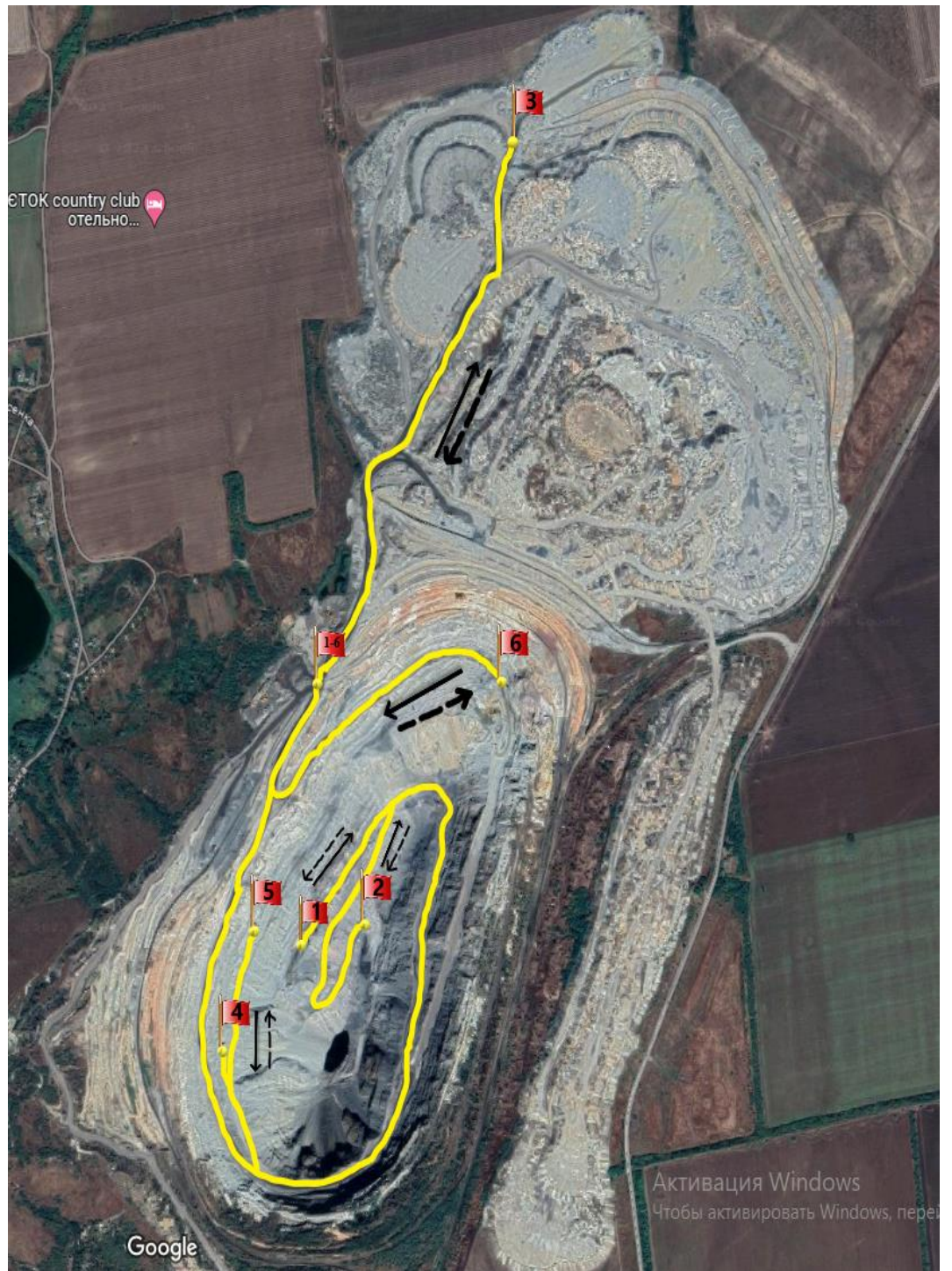


Рис. 4.7. Схема трас де можуть бути прокладені тролейні ділянки у Петрівському кар'єрі ПАТ ЦГЗК



Рис. 4.8. Схема ділянки 1



Рис. 4.9. Схема ділянки 2



Рис. 4.10. Схема ділянки 3



Рис. 4.11. Схема ділянки 4



Рис. 4.12. Схема ділянки 5

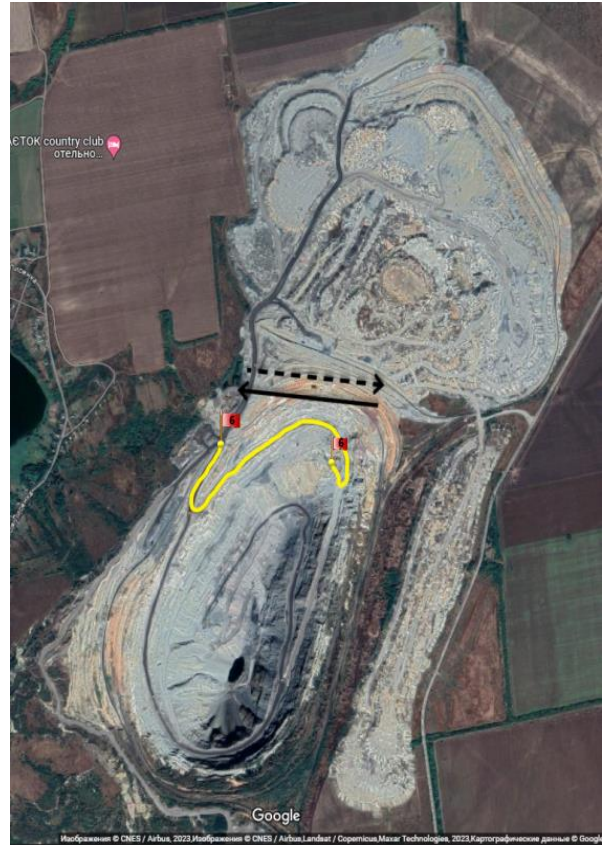


Рис. 4.13. Схема ділянки 6



Рис. 4.14. Глеюватський кар'єр з можливими тролейними ділянками

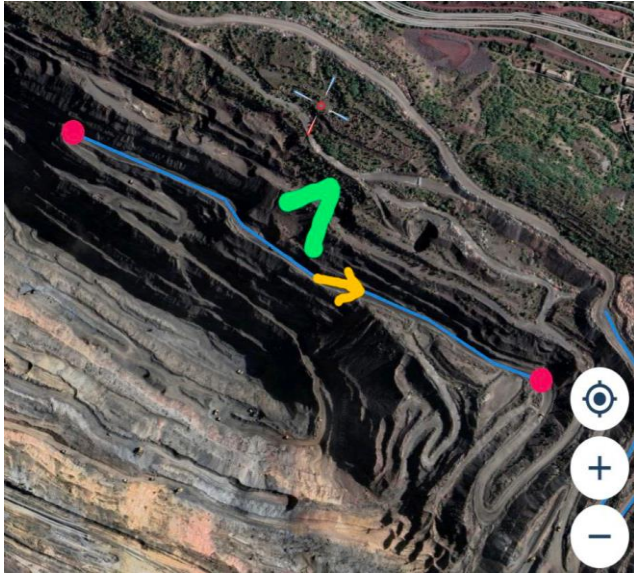


Рис. 4.15. Схема ділянки 1



Рис. 4.16. Схема ділянки 2

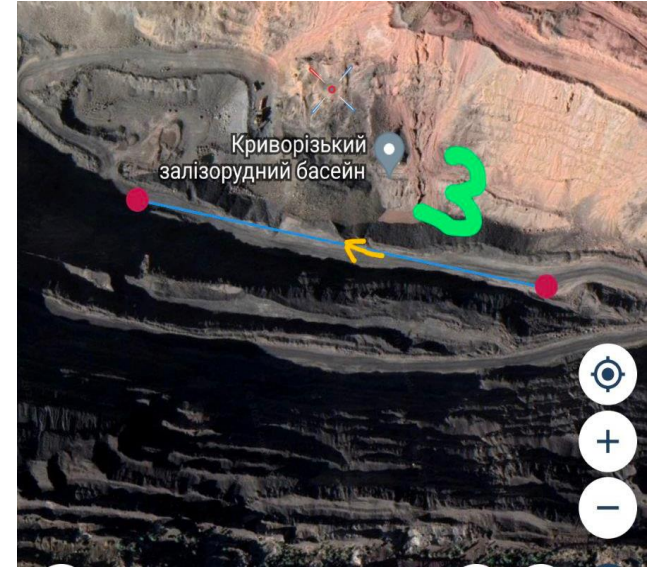


Рис. 4.17. Схема ділянки 3

4.5. Висновки до розділу 4.

1. Удосконалена економіко-математична модель визначення ефективності функціонування кар'єрних автосамоскидів, яка дозволяє визначати ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами. Модель диференційно враховує схожі витрати, додатково до існуючої методики враховує витрати пов'язані з переобладнанням кар'єрних автосамоскидів в дизель-тролейвози та будівництво тролейної лінії, прибуток від генерування електричної енергії при русі із гори у долину під тролеями в режимі електродинамічного гальмування.

2. Розраховано 30 варіантів (5 для звичайних кар'єрних автосамоскидів та 25 для дизель-тролейвозів) визначення поточних витрат для трас довжиною від 1 до 5 км з тролейними ділянками довжиною від 0 км до 3,5 км. Встановлено, що термін окупності, при капітальних витратах на будівництво тролейних трас та переобладнання кар'єрних автосамоскидів в дизель-тролейвози від 20000000 грн (~ 5 млн.\$) до 200000000 грн (~ 50 млн.\$), варіюється від одного до п'ятдесяти років і зменшується при збільшенні питомої частини тролейної ділянки та довжини траси. Для забезпечення терміну окупності в 5 років максимальні капітальні витрати не повинні перевищувати 200 млн. грн не залежно від параметрів трас. На середніх криворізьких трасах довжиною 3 км за 5 років інвестиції у 800 млн. грн можуть окупитися при тролейних ділянках довжиною не менше 40 % від довжини траси. Незалежно від довжини тролейної ділянки термін окупності зменшується по степеневій залежності від довжини траси.

3. Виконаний аналіз можливих місць застосування дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах Криворізького басейну показав, що будівництво тролейних ділянок можливо практично у всіх кар'єрах, але найбільш перспективними є Петрівський та Глеюватський кар'єри ПрАТ «Центральний ГЗК».

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є закінченим науковим дослідженням, у якому вирішено актуальне наукове завдання з підвищення ефективності та екологічності кар'єрного автотранспорту шляхом впровадження кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів з електромеханічною трансмісією, що дозволить зменшити витрати на транспортування та зменшити викиди шкідливих речовин в атмосферу кар'єру від автотранспорту та доведена можливість ефективного застосування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах криворізьких гірничо-збагачувальних комбінатів, що має важливе значення в галузі.

Основні результати роботи полягають у наступному:

1. Вперше встановлені параметри надійності роботи кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів вантажопідйомністю 130 т на гірничих підприємствах з видобутку залізних руд, які враховані при визначенні показників роботи в методиці економіко-математичного моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів. Встановлено, що ймовірність працездатного стану кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів може досягати 0,80...0,86, що на 0,19...0,27 вища за фактичні показники роботи кар'єрних автосамоскидів аналогічної вантажопідйомності.

2. Вперше встановлена двопараметрична закономірність зміни питомої продуктивності дизель-тролейвозів від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки. Питома продуктивність змінюється по параболічній залежності від довжини траси та по лінійній залежності від питомої частини тролейної ділянки траси. Максимальне збільшення продуктивності дизель-тролейвозів складає до 40 % на трасі довжиною 5 км з тролейною ділянкою у 70 % від загальної довжини траси. На трасі довжиною 1 км з тролейною ділянкою у 0,3 км (30 %) мінімальне збільшення продуктивності досягає 9 %. Зростання питомої ваги тролейної ділянки в загальній довжині траси впливає більш суттєво ніж загальна довжина траси, від 15 % до 25 %, зростання

загальної довжини траси при постійній частці тролейної ділянки максимально на 7 % впливає на питому продуктивність.

3. Вперше встановлена двопараметрична закономірність зміни питомих витрат палива дизель-тролейвозів від довжини траси та питомої частини тролейної ділянки. Питомі витрати палива змінюється по параболічній залежності від довжини траси та по лінійній залежності від питомої частини тролейної ділянки траси. При збільшенні частини тролейної ділянки з 30 % до 70 % питомі витрати палива зменшуються з 0,74 – 0,76 до 0,41 – 0,45, що відповідає зменшенням абсолютних витрат палива від 1,3 до 2,4 рази. Збільшення довжини траси з 1 до 5 км обумовлює зменшення питомих витрат палива з 0,76 до 0,75 при 30 % частині тролейної ділянки, і з 0,45 до 0,41 на трасі з 70 % тролейною ділянкою. Максимальне відносне зменшення витрат палива спостерігається на найдовшій трасі з найбільшою тролейною ділянкою, практично в 2,4 рази.

4. Вперше визначені закономірності зміни викидів відпрацьованих газів в залежності від умов функціонування та технічного стану кар'єрних автосамоскидів та дизель-тролейвозів вантажопідйомністю 130 т. Встановлено, що дизель-тролейвоз, який працює на трасі довжиною 5 км сумарно викидає менше забруднюючих речовин ніж звичайний кар'єрний автосамоскид який працює на трасах довжиною більше 3 км незалежно від довжини тролейної ділянки. Дизель-тролейвоз на трасі у 2 км з 60 % тролейною ділянкою викидає стільки ж забруднюючих речовин, як і звичайний кар'єрний автосамоскид на вдвічі коротшій трасі. Впровадження в глибоких кар'єрах України дизель-тролейвозів дозволяє до 2,5 разів зменшити викиди шкідливих речовин.

5. Удосконалена методика економіко-математичного моделювання яка дозволяє визначати ефективність застосування дизель-тролейвозів у порівнянні зі звичайними кар'єрними автосамоскидами, диференційно враховує схожі витрати та додатково до існуючої методики враховує витрати пов'язані з переобладнанням кар'єрних автосамоскидів в дизель-тролейвози і

будівництво тролейної лінії, прибуток від генерування електричної енергії при русі із зверху вниз під тролеями в режимі електродинамічного гальмування. Для забезпечення п'ятирічного терміну окупності максимальні капітальні витрати не повинні перевищувати 200 млн. грн не залежно від параметрів трас. На середніх криворізьких трасах довжиною 3 км за 5 років інвестиції у 800 млн. грн можуть окупитися при тролейних ділянках довжиною не менше 40 % від довжини траси. Незалежно від довжини тролейної ділянки термін окупності зменшується по степеневій залежності при зростанні довжини траси.

6. Результати аналізу можливих місць застосування дизель-тролейвозів в залізорудних кар'єрах Криворізького басейну показали, що будівництво тролейних ділянок можливо практично у всіх кар'єрах, але найбільш перспективними є Петрівський та Глеюватський кар'єри ПрАТ «Центральний ГЗК». Результати будуть використані при плануванні подальшого розвитку технологічного транспорту під час розробки залізорудних кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів та у навчальному процесі Криворізького національного університету.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Abbaspour, H., Drebenstedt, C., & Dindarloo, S.R. (2018). Evaluation of safety and social indexes in the selection of transportation system alternatives (Truck-Shovel and IPCCs) in open pit mines. *Safety Science*, 108, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.020>
2. Aguayo, I.A.O., Nehring, M., & Ullah, W. (2022). Simulating the productivity improvements of incorporating a surge loader into the open pit loading and haulage system. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 36(6), 381-398. <https://doi.org/10.1080/17480930.2022.2047528>
3. Australian Renewable Energy Agency. (2017). *Renewable Energy in the Australian Mining Sector White Paper* [Press release]. <https://arena.gov.au/assets/2017/11/renewable-energy-in-the-australian-mining-sector.pdf>
4. Bakhtavar, E., & Mahmoudi, H. (2020, March). Development of a scenario-based robust model for the optimal truck-shovel allocation in open-pit mining. *Computers & Operations Research*, 115. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2018.08.003>
5. Bao, H., & Zhang, R. (2020, June). Study on optimization of coal truck flow in open-pit mine. *Advance in Civil Engineering*, 20, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2020/8848140>
6. Bellamy, D., & Pravica, L. (2011, June). Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining. *Resources Policy*, 36(2), 149–158. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2010.09.002>
7. Beutler, N., & Jonsson, B. (2022, February 28). For Your World, and Mine. *Electric Mine*. Stockholm, Sweden. <https://viewer.joomag.com/the-electric-mine-conference-2022-papers-abb-ability-emine-for-your-world-and-mine/0600991001646510814>
8. Bozorgebrahimi, E. (2004) *The Evaluation of Haulage Truck Size Effects on Open Pit Mining*. [Ph.D. Thesis, University of British Columbia].

- University of British Columbia, Vancouver, Canada.
<https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/831/items/1.0081125>
9. Burke, P.J., Beck, F.J., Aisbett, E., Baldwin, K.G., Stocks, M., Pye, J., Venkataraman, M., Hunt, J., & Bai, X. (2022, June). Contributing to regional decarbonization: Australia's potential to supply zero-carbon commodities to the Asia-Pacific. *Energy*, 248. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123563>
 10. Calvo, G., Mudd, G., Valero, A., & Valero, A. (2016). Decreasing ore grades in global metallic mining: A theoretical issue or a global reality? *Resources*, 5(4), 36. <https://doi.org/10.3390/resources5040036>
 11. Caterpillar. (2024). *Products Services* [Press release]. https://www.cat.com/en_US/articles/customer-stories/mining/autonomous-haulage-making-mining-safer-and-more-productive-today.html
 12. Crosson, C.C., & Sumner, H.B. (1982, June). Trolley assisted truck haulage. United States. *Engineering & Mining Journal*, 183(6). <https://www.osti.gov/biblio/6730531>
 13. Czaplicki, J. (2008, September 17). *Shovel-Truck Systems: Modelling, Analysis and Calculations*. CRC Press/Balkema, Taylor and Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9780203881248>
 14. De Lemo Pires, D. (2013) Surface mining technology: Managing the paradigm shift. *Minerals Engineering*, 6, 36–41.
 15. Dean, M., Knights, P., Kizil, M.S., & Nehring, M. (2015, November 4-6) Selection and planning of fully mobile in-pit crusher and conveyor systems for deep open pit metalliferous applications. *Third International Future Mining Conference AusIMM* (pp. 219–225). Sydney, Australia.
 16. Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2020). *Australia's Emissions Projections* [Press release]. <https://www.industry.gov.au/data-and-publications/australias-emissions-projections-2020>

17. Department of Industry, Science, Energy and Resources. (2021). *Australian Energy Update* [Press release]. <https://www.energy.gov.au/publications/australian-energy-update-2021>
18. Dzakpata, I., Knights, P., Kizil, M.S., Nehring, M., & Aminossadati, S.M. (2016, February 10-12). Truck and shovel versus in-pit conveyor systems: A comparison of the valuable operating time. *16th Coal Operators' Conference, Mining Engineering* (pp. 463–476). University of Wollongong, Dubai, United Arab Emirates.
19. Engineering and Mining Journal. (2020). *Freeport Taps Wärtsilä for 128-MW Plant for Grasberg: Engineering, Geology, Mineralogy, Metallurgy, Chemistry, etc* [Press release] Engineering and Mining Journal: Jacksonville, FL, USA, 221, 48–49.
20. Ertugrul, N., Kani, A.P., Davies, M., Sbarbaro, D., & Morán, L. (2020, November 23-26). Status of Mine Electrification and Future Potentials. *Smart Grids and Energy Systems (SGES)*, (pp. 151–156). Perth, Australia. <https://doi.org/10.1109/SGES51519.2020.00034>
21. Freeman, S., & Golosinski, T.S. (1994, January). Economic feasibility of introducing trolley assisted haulage to an Australian open pit mine. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 8(4), 141–144. <https://doi.org/10.1080/09208119408964776>
22. Gleeson, D. (2019). Battery and Electric Machines. *International Mining*, 17, 26–47. <https://im-mining.com/2019/02/04/feature-article-battery-electric-machines>
23. Hay, E., Nehring, M., Knights, P., & Kizil, M. (2019). Ultimate pit limit determination for semi mobile in-pit crushing and conveying system: a case study. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(7), 498–518. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1639006>
24. Igogo, T., Awuah-Offei, K., Newman, A., Lowder, T., & Engel-Cox, J. (2021, October 15). Integrating renewable energy into mining operations:

Opportunities, challenges, and enabling approaches. *Applied Energy*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117375>

25. International Energy Agency (IEA). (2021) *World Energy Outlook* [Press release]. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>

26. International Energy Agency (IEA). (2021, October). *Net Zero by 2050—A Roadmap for the Global Energy Sector* [Press release]. https://iea.blob.core.windows.net/assets/deebef5d-0c34-4539-9d0c-10b13d840027/NetZeroBy2050-ARoadmapfortheGlobalEnergySector_CORR.pdf

27. Kumral, M., & Sari, Y.A. (2017) An application of possibilistic programming to production sequencing of mining parcels. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, 12(2), pp. 79–88. <http://dx.doi.org/10.1080/17509653.2016.1159147>

28. Lake, D.M., & Brzezniak, W. (1981, December). Trolley assist truck haulage cuts fuel and increases productivity. Part two. *Aust. Coal Miner; (Australia)*, 3, 11, 13, 15-16. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5381942>

29. Lake, D.M., & Brzezniak, W. (1982, April). Truck haulage using overhead electrical power to conserve diesel fuel and improve haulage economics. *Min. Technol (United Kingdom)*, 64, 157–164. <https://www.osti.gov/etdeweb/biblio/5243741>

30. Lezak, S., Cannon, C., & Blank, K. (2019). *Low-Carbon Metals for a Low-Carbon World: A New Energy Paradigm for Mines*. Rocky Mountain Institute: Basalt. https://rmi.org/wp-content/uploads/2019/12/Low-Carbon_Metals_for_a_Low-Carbon_World.pdf

31. Marsden, O.W., & Marsden, J.O. (2021, June 4). Potential Pathways for Mining Operations to Transition to Renewable Energy—A Case Study. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38, 1689–1699. <https://doi.org/10.1007/s42461-021-00440-9>

32. Mazumdar, J. (2011, October 9–13). Performance improvement of mining haul trucks operating on trolley systems. *Industry Applications Society*

Annual Meeting, (pp. 1–6). Orlando, FL, USA.
<https://doi.org/10.1109/IAS.2011.6074352>

33. McCarthy, B. (2013, September). Evaluating the lack of flexibility against the benefits of in-pit crushing and conveying. *Optimizing Mine Operations Conference*, (pp. 10-13). Toronto, ON, Canada.

34. McCarthy, M., & Cenisio, B. (2013, June 25–26). Update on studies for implementation of IPCC at the Moatize coal project. *Proceedings of the IPCC*. Cologne, Germany

35. Monastyrskiy, Yu. A., & Potapenko, V.V. (2015) Modeling of technological conditions and analysis of events of functioning BELAZ open pit trucks. *Metallurgical and Mining Industry*, 8, 480–484.
http://www.metaljournal.com.ua/assets/Journal/english-edition/MMI_2015_8/075Monastyrskiy.pdf

36. Monastyrskiy, Yurii, Sistuk, Volodymyr, Potapenko, Volodymyr, & Maksymenko, Ivan (2020). The sustainable future of open-pit trucks operation. *International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic*, (pp.166). E3S Web of Conferences 07005.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607005>

37. Monastyrskiy, Y., Sistuk, V., & Maksymenko, I. (2023). Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). *Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference*. (pp. 705 – 709). Kaunas University of Technology. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P2>

38. Moniri-Morad, A., Pourgol-Mohammad, M., Aghababaei, H., & Sattarvand, J. (2019, September). A methodology for truck allocation problems considering dynamic circumstances in open pit mines, case study of the sungun copper mine. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 34(4), 57-65
<https://doi.org/10.17794/rgn.2019.4.6>

39. Moore, P. (2022, May). Surface Mining Trucks. *International Mining* 17, 50–67. <https://viewer.joomag.com/im-2022-may-22/0793906001651589741>

40. Morton, J. (2021, September). Truck Innovations Show Shape of Things to Come. *Engineering and Mining Journal*, 222(9), 24–30. <https://www.proquest.com/openview/a2a443ebe882348feec9cd24546583c0/1?pq-origsite=gscholar&cbl=39>
41. Nehring, M., Knights, P.F., Kizil, M.S., & Hay, E. (2018, March). A comparison of strategic mine planning approaches for in-pit crushing and conveying, and truck/shovel systems. *International Journal of Mining Science and Technology*, 28(2), 205–214. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.12.026>
42. Osanloo, M., & Paricheh, M. (2020) In-pit crushing and conveying technology in open-pit mining operations: A literature review and research agenda. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 34(6), 430–457. <https://doi.org/10.1080/17480930.2019.1565054>
43. Parra, A., & Morales, N. (2016, June). Qualitative Review of Alternative Transport Systems for Open Pit Mines. . *6th International Conference on Innovation in Mine Operations* (pp. 1-10). At: Santiago, Chile. https://delphoslab.cl/Publicaciones/2016/PM2_M2016.pdf
44. Plazas-Niño, F.A., Ortiz-Pimiento, N.R., & Montes-Páez, E.G. (2022) National energy system optimization modelling for decarbonization pathways analysis: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 162(80), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112406>
45. Purhamadani, E., Bagherpour, R., & Tudeshki, H.(2021, April). Energy consumption in open-pit mining operations relying on reduced energy consumption for haulage using in-pit crusher systems. *Journal of Cleaner Production*, 291(1). DOI:10.1016/j.jclepro.2020.125228
46. Raaz, V., & Mentges, U. (2011, June). In-pit crushing and conveying with fully mobile crushing plants in regard to energy efficiency and CO₂ reduction. *IPCC*, (pp. 28). Belo Horizonte, Brazil.
47. Ritter, R., Herzog, A., & Drebenstedt, C. (2014). Automated dozer concept aims to cut IPCC downtime. *Engineering and Mining Journal*, 215(11), 52-55.

48. Sánchez, F., & Hartlieb, P. (2020, July). Innovation in the mining industry: Technological trends and a case study of the challenges of disruptive innovation. *Mining Metallurgy & Exploration* 37(4), 1385–1399. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00262-1>
49. Schroder, D.L. (2003, June 8-11). The use of in-pit crushing and conveying methods to significantly reduce transportation costs by truck. In . *Coaltrans Asia Conference*, (pp. 1-12). Indonesian Coal Mining Association Bali.
50. Siemens patented all-electric Mobile Mining Truck based on proven technology (2021, November 4) *Posted by Paul Moore* [Press release]. <https://im-mining.com/2021/11/04/siemens-patented-electric-mobile-mining-truck-based-proven-technology/>
51. Sistuk, V., Monastyrskyi, Y., Maksymenko, I. Calibration of traffic microsimulation models using the results of intelligent video analysis of the traffic. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). In *Proceedings of the Transport Means 2023. Part II. 27th International Scientific Conference*. (pp. 368 – 374). Kaunas University of Technology. <https://doi.org/10.5755/e01.2351-7034.2023.P1>.
52. Soofastaei, Ali, Karimpour, Elnaz, Knights, Peter, & Kizil, Mehmet (2018). Energy-efficient loading and hauling operations. Edited by Kwame Awuah-Offei. *Energy Efficiency in the Minerals Industry: Best Practices and Research Directions*. (pp. 121-146). Cham, Switzerland: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-3-319-54199-0_7
53. Terblanche, Petrus J. (2019). *Technical and economic potential of energy recovery and re-use on board surface mining haul trucks*. [PhD Thesis, School of Mechanical and Mining Engineering]. The University of Queensland. <https://doi.org/10.14264/uql.2019.368>
54. Terezopoulos, N. (1988, May 16). Continuous haulage and in-pit crushing in surface mining. *Mining Science and Technology*, 7(3), 253–263. [https://doi.org/10.1016/S0167-9031\(88\)90777-3](https://doi.org/10.1016/S0167-9031(88)90777-3)
55. Vatalis, K.I., Avlogiaris, G., & Tsalis, T.A. (2022, May). Just transition pathways of energy decarbonization under the global environmental changes.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114713>

56. Vorster, B.J. (1986). Trolley assist aids haulage at Iscor's Shishen iron ore mine in South Africa. *Mining Engineering*.

57. Wang, Q., Zhang, R., Lv, S., & Wang, Y. (2021, February). Open-pit mine truck fuel consumption pattern and application based on multi-dimensional features and XGBoost. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 43(9). <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100977>

58. Zuliani, J.E., Guilbaud, J., & Carreau, M. (2021, October 20). Decarbonization of remote mine electricity supply and vehicle fleets. *CIM Journal*, 12(4), 135–148. <https://doi.org/10.1080/19236026.2021.1973205>

59. Біліченко, М. Я. (2005) *Транспорт на гірничих підприємствах* (3-тє вид.). Національний гірничий університет.

60. Єгоров, О. М. (Ред.). (2014). *Технічні та експлуатаційні характеристики продукції, що випускається*. Бенлстан.

61. Кундрат, А. М., & Кундрат, М. М. (2014). *Науково-технічні обчислення засобами MathCAD та MS Excel*. навч. посіб. Рівне: НУВГП. <https://ep3.nuwm.edu.ua/1760/1/734733%20zah.pdf>

62. Левківський, О. П. Б., Козіс, О. М. (2005). Стратегія розвитку авторемонтного виробництва в період глобальних трансформацій. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*, 2, 68-72.

63. Левковець, П. Р., Левківський О. П. (2006). *Управління проектами виробництва і технічної експлуатації автотранспортних засобів*. НТУ

64. Максименко, І. С. (2022, жовтень 3-7) Сучасні кіберфізичні системи кар'єрного автомобільного транспорту гірничо-збагачувальних комбінатів. *Розвиток промисловості та суспільства* (с. 164). Видавничий центр Криворізького національного університету. chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/<https://www.knu.edu.ua/storage/files/2/%D0%9D%D0%B0%D1%83%D0%BA%D0%B0/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%BD%D1%86%D1%96%D1%>

97/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B
D%D1%86%D1%96%D1%97%202022/%D0%A0%D0%BE%D0%B7%D0%B2
%D0%B8%D1%82%D0%BE%D0%BA/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8
%20%D0%BA%D0%BE%D0%BD%D1%84.%20%D0%A1%D0%A2%D0%90
%D0%9B%D0%98%D0%99%20%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%9
8%D0%A2%D0%9E%D0%9A%20-%202022.pdf.pdf

65. Марієв, П.Л., Кулішов, О.О., Єгоров, О.М., & Зирянов, І.В. (2004). *Кар'єрний автотранспорт: стан та перспективи*. Наука

66. Міністерство Фінансів України. Середня зарплата в Україні. Взято 07 травня 2024 з <https://index.minfin.com.ua/ua/labour/salary/average>

67. Міністерство Фінансів України. Тарифи на передачу електроенергії для підприємств у 2024 році. Взято 07 травня 2024 з <https://index.minfin.com.ua/ua/tariff/electric/prom/trans>

68. Міністерство Фінансів України. Ціни на дизпаливо. Взято 07 травня 2024 з <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel>

69. Монастирський, Ю. А. Максимова, О.С., Потапенко, В.В., & Максименко, І.С. (2020). Аналіз адекватності моделі технічної експлуатації системи технологічного автотранспорту. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 2 (15), 79-87. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.395>

70. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2020, вересень 8-10). Передумови необхідності теоретичного визначення витрат палива двигунами внутрішнього згорання кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією при русі в режимі електродинамічного гальмування. *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування* (с. 80). Херсонська державна морська академія. https://ksma.ks.ua/wp-content/uploads/2021/02/seutto__2020.pdf

71. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2020, листопад 26). Доцільність теоретичного визначення витрат палива двигунами кар'єрних автосамоскидів при русі в режимі електродинамічного гальмування.

Створення, експлуатація і ремонт автомобільного транспорту та будівельної техніки (с. 72 – 73). Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

72. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2022, листопад 21-22). Режими роботи електромеханічної трансмісії кар'єрного автосамоскиду вантажопідйомністю 130 т для моделювання в тренажерах. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології* (с. 87-88). Харківський національний автомобіле-дорожній університет. <https://dl2022.khadi-kh.com/enrol/index.php?id=3751>

73. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2023). Перспективи застосування дизель-тролейвозів на залізорудних кар'єрах Криворізького басейну. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.164). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ublji>

74. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2023, жовтень 23-25). Визначення закономірностей зміни показників роботи дизель-тролейвозів на залізорудних кар'єрах України. *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту* (с. 243-245). Видавництво Вінницького національного технічного університету. <https://press.vntu.edu.ua/index.php/vntu/catalog/book/802>

75. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2024). Дослідження закономірностей зміни продуктивності дизель-тролейвозів у залізорудних кар'єрах Криворізького басейну. *Вісник Криворізького національного університету*, 1 (22), 35-39. <https://doi.org/10.31721/2306-5451-2024-1-58-36-40>

76. Монастирський, Ю. А., & Максименко, І. С. (2024). Перспективи декарбонізації автомобільного транспорту глибоких кар'єрів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1 (22), 252-257. <https://doi.org/10.36910/automash.v1i22.1367>

77. Монастирський, Ю. А., & Потапенко, В. В. (2015) Математична модель експлуатації кар'єрного самоскида БЕЛАЗ. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*, 2(219), 73-77.

78. Монастирський, Ю. А., & Потапенко, В. В. (2015, вересень 8 – 11). Ідентифікація параметрів моделі автотранспортної системи кар'єру. *Новітні шляхи створення, технічної експлуатації, ремонту і сервісу автомобілів* (с. 166-168). Одеса: Військова академія.

79. Монастирський, Ю. А., & Потапенко, В. В. (2016) Синтез управління технічною експлуатацією автотранспортної системи залізорудного кар'єру. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, 1(5), 110-116. <https://doi.org/10.36910/automash.v2i15.395>

80. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Грищенко, К. Г., Косяк, О. О., & Ципченко Д. К. (2024, травень 22-24). Дослідження закономірностей зміни витрат палива автосамоскидами дизель-тролейвозами на залізорудних кар'єрах. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.120). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ubjez>

81. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Грищенко, К. Г., Косяк, О. О., & Ципченко Д. К. (2024, травень 22-24). Дослідження закономірностей зміни продуктивності дизель-тролейвозів у залізорудних кар'єрах Криворізького басейну. *Розвиток промисловості та суспільства* (с.121). Видавничий центр Криворізького національного університету. <http://surl.li/ubjez>

82. Монастирський, Ю. А., Максименко, І. С., Панченко, А. К., & Грищенко, К. А. (2023, листопад 22-24). Перспективи декарбонізації технологічного автотранспорту залізорудних кар'єрів *Інноваційні технології розвитку та ефективності функціонування автомобільного транспорту* (с. 176). Центральноукраїнський національний технічний університет, кафедра експлуатації та ремонту машин. <https://dspace.kntu.kr.ua/items/f29c184b-7dac-466e-82af-e42a6f55633b>

83. Монастирський, Ю. А., Максимова, О. С., Максимов, С. В. (2024). *Управління виробничою діяльністю підприємств автомобільного транспорту*. Криворізький національний університет. https://drive.google.com/file/d/16rZbGuQuNNRlHiHbWJV_1jXDJiclb7H9/view

84. Монастирський, Ю. А., Серебренников, В. М., & Потапенко, В. В. (2015). Системний підхід як метод дослідження функціонування кар'єрних самоскидів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування*, 9(1118), 38-44. <https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/14921>
85. Національний банк України. Офіційний курс гривні щодо іноземних валют. Взято 07 травня 2024 з <https://bank.gov.ua/ua/markets/exchangerates>
86. Протодьяконов, М. М. & Теддер, Р. И. (1970). Методика рационального планирования экспериментов. Наука.
87. Харитонов, Н. М. (2023). Розрахунковий метод оцінки впливу транспортних засобів на повітряне середовище. *Дороги і мости*, 27, 289–295. <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.289>

ВИТЯГ З ПРОТОКОЛУ № 11
засідання кафедри автомобільного транспорту
факультету механічної інженерії та транспорту
Криворізького національного університету

м. Кривий Ріг

16 травня 2024 р.

СЛУХАЛИ: Результати досліджень та перспективи їх впровадження в навчальний процес дисертації на здобуття ступеня доктора філософії Максименка Івана Сергійовича на тему «Обґрунтування параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів дизель-тролейвозів при видобутку залізних руд» зі спеціальності 133 – Галузеве машинобудування галузі знань 13 – Механічна інженерія виконаної під керівництвом завідувача кафедри автомобільного транспорту Монастирського Ю.А.

ВИСТУПИЛИ:

1. Максименко І.С. з презентацією результатів дисертації.
2. Монастирський Ю.А. з характеристикою роботи, аспіранта та результатів досліджень які можуть бути використані в навчальному процесі кафедри автомобільного транспорту.

Після питань доповідачу та обговорення роботи:

УХВАЛИЛИ: Враховуючи відповідність теми роботи напряму підготовки фахівців на освітніх програмах кафедри матеріали дисертаційної роботи можуть бути використані як додатковий матеріал при проведенні лекцій, практичних занять, самостійній роботі здобувачів вищої освіти при підготовці бакалаврів за освітньо-професійними програмами «Автомобільний транспорт», «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)», магістрів за освітньо-професійною програмою «Автомобільний транспорт» у курсах дисциплін «Експлуатація та обслуговування машин», «Гірничотехнічні умови експлуатації автомобілів в кар'єрах», «Кар'єрні автосамоскиди», «Основи наукових досліджень», «Методологія наукових досліджень» «Технічний сервіс кар'єрних автосамоскидів» та інших дисциплінах кафедри, зокрема:

- 1) методика та результати дослідження параметрів функціонування кар'єрних автосамоскидів та дизель-тролейвозів у порівнянні з кар'єрними автосамоскидами;
- 2) методика та результати визначення кількості викидів шкідливих речовин відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією та дизель-тролейвозів;
- 3) методика та результати економіко-математичного моделювання функціонування кар'єрних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією та дизель-тролейвозів;
- 4) результати досліджень надійності роботи та рекомендації по визначенню параметрів технічного обслуговування та ремонту кар'єрних автосамоскидів та дизель-тролейвозів.

Завідувач кафедри

Ю. А. Монастирський

Секретар

Т. Є. Дяченко