

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ГІРНИЧО-МЕТАЛУРГІЙНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ВІДКРИТИХ ГІРНИЧИХ РОБІТ

ВОЛКОВ АНДРІЙ ВІТАЛІЙОВИЧ

**ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДОЛОГІЧНИХ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ
ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІРНИЧОЇ
МАСИ НА КАР'ЄРАХ**

184 «Гірництво»

ОПП «Відкриті гірничі роботи»

ВИПУСКНА РОБОТА

на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра

Керівник _____ / Луценко С.О. /

Завідувач кафедри _____ / Жуков С.О. /

Кривий Ріг

2025 р

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ВСТУП.....	5
Розділ 1 Аналіз методів і показників оцінки ефективності роботи кар'єрних автосамоскидів	7
1.1. Аналіз теоретичних та практичних підходів до оцінки ефективності гірничої техніки.....	7
1.2. Огляд сучасних методів підвищення ефективності використання кар'єрного автотранспорту	23
1.3. Обґрунтування показників і параметрів ефективності функціонування кар'єрних автосамоскидів.....	29
Розділ 2 Аналітичне дослідження впливу гірничотехнічних умов на ефективність роботи кар'єрних автосамоскидів	33
2.1. Аналітичне дослідження структури транспортного циклу кар'єрних автосамоскидів.....	33
2.2. Аналіз впливу дорожніх умов на ефективність роботи автосамоскидів.....	38
2.3. Вплив кускуватості гірничої маси на продуктивність автосамоскидів.....	42
Загальні висновки та рекомендації.....	46
Бібліографія.....	48

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської роботи на тему «Дослідження методологічних підходів до підвищення ефективності процесу транспортування гірничої маси на кар'єрах» складається з: 57 с., 8 рис., 3 табл., 98 джерела інформації.

"Випускна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. - 57 с."

Актуальність теми. На сучасному етапі розвитку гірничодобувної промисловості України пріоритет віддається відкритому способу видобутку, який забезпечує високу продуктивність і рентабельність. Частка відкритих гірничих робіт сягає 80–85 % від загального обсягу видобутку корисних копалин. Однією з найвитратніших ланок цього процесу є транспортування гірничої маси, що займає понад 50 % витрат на видобуток та задіює значну частку працівників підприємств. Найбільш поширеним видом кар'єрного транспорту є автомобільний, на який припадає до 85 % перевезень на кар'єрах Кривбасу.

Сучасні тенденції розвитку кар'єрного автотранспорту спрямовані на підвищення вантажопідйомності машин. Однак реальна експлуатаційна продуктивність автосамоскидів не зростає пропорційно, що зумовлено низьким рівнем використання техніки та нераціональним плануванням її роботи. Відсутність комплексної методики оцінки ефективності експлуатації обмежує можливості підвищення техніко-економічних показників.

Таким чином, дослідження методологічних підходів до підвищення ефективності процесу транспортування гірничої маси на кар'єрах є необхідною умовою для вдосконалення організації відкритих гірничих робіт, зниження витрат на транспортні операції та забезпечення раціонального використання автотранспортного парку.

Мета й завдання роботи. Метою дослідження є обґрунтування та розробка методологічних підходів до підвищення ефективності процесу

транспортування гірничої маси на кар'єрах шляхом аналізу впливу гірничотехнічних факторів, удосконалення методів оцінки якості експлуатації автосамоскидів та формування рекомендацій щодо оптимізації транспортних систем відкритих гірничих робіт.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Здійснити аналіз існуючих методик оцінки якості роботи гірничих машин та методів підвищення ефективності автотранспорту;
2. Визначити та обґрунтувати систему показників оцінки експлуатації автосамоскидів;
3. Дослідити вплив гірничотехнічних факторів (дорожні умови, кускуватість гірничої маси тощо) на продуктивність автосамоскидів;
4. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВІДКРИТІ ГІРНИЧІ РОБОТИ, ТРАНСПОРТУВАННЯ ГІРНИЧОЇ МАСИ, КАР'ЄРНИЙ АВТОТРАНСПОРТ, АВТОСАМОСКИДИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРАНСПОРТУВАННЯ, ГІРНИЧО-ТЕХНІЧНІ ФАКТОРИ, МЕТОДОЛОГІЧНІ ПІДХОДИ.

ВСТУП.

Актуальность работы. Нині у гірничодобувній промисловості країни особливу увагу приділяється відкритому способу видобутку корисних копалин, що пов'язано з його вищою продуктивністю та рентабельністю. За різними оцінками, частка корисних копалин, які нині видобувають відкритим способом, становить 80–85%.

Одним з найбільш трудомістких і дорогих процесів при розробці родовищ відкритим способом є транспортування гірничої маси. У цьому процесі зайнято до половини працівників підприємства, а транспортні витрати становлять понад половину загальних витрат на видобуток корисних копалин.

«Автомобільний транспорт є найбільш розповсюдженим у кар'єрних перевезеннях» [1]. На його частку припадає близько 75% перевезень гірничої маси на кар'єрах України та 85% – на закордонних кар'єрах. На кар'єрах Кривбасу автотранспортом перевозиться до 85% розкривних порід та корисних копалин.

«Хоча у кар'єрному автотранспорті спостерігається загальна тенденція до збільшення вантажопідйомності машин, це не приводить до пропорційного зростання їх експлуатаційної продуктивності. Причина полягає в тому, що показники, які суттєво впливають на продуктивність, підвищуються значно повільніше за середню вантажопідйомність, а подекуди навіть знижуються» [2].

«До таких наслідків призводять недостатній рівень використання технологічного автотранспорту та нераціональне планування його роботи. Планування здебільшого ведеться за інерційним принципом — «від досягнутого», без врахування всіх чинників, що впливають на експлуатаційні параметри транспортного процесу та їх взаємозв'язки, що унеможливорює досягнення запланованих показників у кінці розрахункового періоду» [3].

«Нині відсутній системний підхід до комплексної оцінки експлуатації автосамоскидів. Запровадження такої оцінки для різних моделей

автосамоскидів на рівні окремих підприємств і всього автопарку об'єднання дало б можливість суттєво покращити техніко-експлуатаційні показники та сформувати їх науково обґрунтовану базу» [4]. Запровадження організаційних рішень, сформованих за результатами комплексної оцінки, забезпечить вдосконалення технологічних процесів гірничого виробництва (транспортування гірничої маси, підготовка фронту для бурових робіт і екскавації, власне екскавація, відвальні роботи, функціонування складів тощо), оскільки всі ці чинники прямо чи опосередковано впливають на ефективність роботи технологічного кар'єрного автотранспорту.

Мета й завдання роботи. Метою дослідження є обґрунтування та розробка методологічних підходів до підвищення ефективності процесу транспортування гірничої маси на кар'єрах шляхом аналізу впливу гірничо-технічних факторів, удосконалення методів оцінки якості експлуатації автосамоскидів та формування рекомендацій щодо оптимізації транспортних систем відкритих гірничих робіт.

Для досягнення поставленої мети в роботі сформовані **основні задачі дослідження:**

1. Здійснити аналіз існуючих методик оцінки якості роботи гірничих машин та методів підвищення ефективності автотранспорту;
2. Визначити та обґрунтувати систему показників оцінки експлуатації автосамоскидів;
3. Дослідити вплив гірничо-технічних факторів (дорожні умови, кускуватість гірничої маси тощо) на продуктивність автосамоскидів;
4. Сформулювати основні напрямки подальших досліджень.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ І ПОКАЗНИКІВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

1.1. Аналіз теоретичних та практичних підходів до оцінки ефективності гірничої техніки

Значні масштаби видобутку, а також висока трудомісткість і собівартість транспортування гірничої маси на підприємствах відкритого типу призводять до регулярного проведення робіт щодо підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів.

В узагальнюючих працях з відкритих гірничих робіт автомобільному транспорту відведено спеціальні розділи, чи окремі пов'язані з ним питання розглядаються разом із іншими процесами гірничого виробництва. Це роботи М.В. Васильєва [1], Н.В. Мельнікова [2], А.А. Кулешова [3], В.В. Ржевського [4], М.Г. Потапова [5] та інших авторів.

Існують також узагальнюючі роботи, повністю присвячені автомобільному транспорту на відкритих гірничих роботах. До них відносяться роботи Темченка О.А. [6], Ковалевтч Л.А. [7], Пхомова В.І. [8] та інших авторів [9-12].

У зазначених роботах описуються умови застосування автомобільного транспорту, визначається область його раціонального використання, викладаються особливості організації та узагальнюються досвід його роботи на гірничодобувних підприємствах з відкритим способом видобутку корисних копалин, що застосовують автомобільний транспорт. Досліджується оптимізація роботи екскаваторно-автомобільних комплексів для підвищення продуктивності транспортування гірничої маси, оцінюється ефективність комбінованих транспортних технологій на кар'єрах і аналізуються конструкції та принципи дії гірничих машин для відкритих робіт. У зарубіжних роботах акцент зроблено на застосуванні автономного транспорту та безпілотних гірничих потягів, розробці алгоритмів планування

маршрутів у реальному часі з урахуванням фізичних обмежень і сценарного моделювання для підвищення надійності та ефективності перевезень у відкритих гірничих роботах.

В цілому, усі ці роботи узагальнюють досвід і методи організації автомобільного транспорту на кар'єрах, поєднуючи традиційні технології та сучасні інноваційні рішення.

Цей досвід широко висвітлюється також і у великій кількості статей у періодичній пресі як вітчизняних [13-17], так і зарубіжних дослідників [18-27].

Питанням техніко-економічного аналізу, ефективності застосування автосамоскидів на гірничих підприємствах, оптимізації параметрів як самих транспортних засобів, так і оптимізації технологічних процесів з використанням автомобільного транспорту присвячено і значну кількість науково-дослідних робіт [28-35].

Дослідження ефективності роботи кар'єрного автотранспорту традиційно займає важливе місце у наукових розробках як українських, так і зарубіжних авторів. Основна увага зосереджується на пошуку шляхів підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання та оптимізації організації транспортних процесів у гірничодобувній промисловості. Дослідження вітчизняних та зарубіжних науковців свідчать про багатовекторність підходів до оцінювання ефективності експлуатації автосамоскидів у кар'єрних умовах.

У роботах О.А. Темченка [6] розглянуто доцільність застосування комбінованих транспортних технологій на залізорудних кар'єрах. Автор акцентує на впливі структури автопарку та поєднання різних видів транспорту на загальну ефективність перевезень. В роботі показано, що поєднання автомобільного транспорту з конвеєрними та залізничними системами може суттєво вплинути на зменшення витрат і підвищення ефективності. Перевагою підходу є можливість зменшення витрат часу та

пального, проте недоліком виступає складність організаційної координації. Крім цього результати обмежуються специфікою конкретних кар'єрів.

Л.А. Ковалевич [7] у дисертаційній роботі здійснила структурний аналіз експлуатації автопарку кар'єрів України, визначила показники технічної готовності автосамоскидів та запропонувала напрями оптимізації використання машинного парку. В роботі запропоновано методичні підходи до підвищення готовності автосамоскидів шляхом удосконалення системи ремонту й обслуговування. Сильна сторона роботи — масштабність аналізу та репрезентативність даних, а обмеження полягає у переважно теоретичному характері пропозицій, які потребують подальшої апробації на виробництві.

Праця В.І. Пахомова [8] спрямована на обґрунтування організаційних і технічних заходів для підвищення ефективності експлуатації автосамоскидів. У публікації проаналізовано ключові фактори низької ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів, серед яких: нераціональна організація транспортних циклів, технічна зношеність парку, недосконалість логістики. Автор запропонував систему комплексної оцінки експлуатаційної ефективності, що включає технічні, організаційні та економічні показники. Це дозволяє інтегрувати різноманітні критерії, однак бракує конкретних практичних розрахунків. Сильна сторона роботи — системний підхід і спроба інтеграції різноманітних показників; недолік — відсутність детальних практичних розрахунків для різних умов роботи.

Ю.А. Монастирський [36] пропонує методику оцінки ефективності кар'єрних автосамоскидів із урахуванням їх технологічного стану, що дозволяє точніше прогнозувати продуктивність і планувати роботу автопарку. Автор підкреслює необхідність врахування деградації техніки та різниці у реальній і паспортній продуктивності. Запропонована методика може бути застосована для формування реальних експлуатаційних показників автопарку, що є важливим для планування виробництва. Перевага

роботи — практична значимість для виробничого планування; недолік — відсутність широкої апробації на різних кар'єрах.

Дослідження С.П. Бондаренка [37] мають прикладний характер і стосуються емпіричної оцінки експлуатації автосамоскидів на українських підприємствах. Стаття присвячена порівняльній оцінці експлуатації кар'єрних автосамоскидів у різних умовах вітчизняних підприємств. Запропоновано методичні підходи для порівняльного аналізу, які дозволяють оцінювати різні моделі техніки у виробничих умовах. Автори розробили практичні методики визначення ефективності з урахуванням витрат палива та коефіцієнтів використання часу. Перевага — велика кількість польових даних, що дозволяє робити практичні висновки; недолік — вузька прив'язаність до конкретних кар'єрів та типів техніки, що обмежує універсальність результатів.

Серед зарубіжних досліджень варто відзначити роботу Р. Bodziony [38], де проаналізовано вплив зовнішніх факторів (дороги, рельєф, клімат) на енергоспоживання та надійність гірничого транспорту. Ці результати є підґрунтям для врахування параметрів середовища в моделях ефективності. Це підкреслює важливість зовнішніх чинників у моделюванні ефективності. Перевага роботи — комплексність підходу; обмеженням є переважно аналітичний характер дослідження, що вимагає подальших польових верифікацій.

Енергетично-ексергетичний підхід до оцінки роботи великовантажних самоскидів подано у статті [39]. Запропонований підхід дозволяє оцінювати втрати енергії на окремих етапах транспортного циклу та формувати інженерні рекомендації для зниження енерговитрат. Перевагою методу є можливість комплексної оцінки витрат енергії, недоліком — потреба у значному обсязі даних вимірювань.

У публікації А. Curi [40] наведено кейс-дослідження оцінки продуктивності автосамоскидів на прикладі конкретного підприємства. Аналіз базується на даних щодо витрат палива і часу циклу, демонструючи

можливості практичної методики збору та аналізу інформації. Автори розробили практичні рекомендації щодо збору й аналізу даних про час циклу та витрати пального. Перевага публікації — практична орієнтація й реальні виробничі результати; недолік — обмеженість висновків умовами конкретного підприємства.

Дисертаційне дослідження М. Yildirim [41] акцентує на впливі швидкості руху та режимів експлуатації на продуктивність і витрати. Отримані результати можуть бути застосовані для побудови регресійних моделей транспортних циклів. Сильна сторона дослідження — математичне моделювання й наявність практичних рекомендацій; обмеження — недостатнє врахування зовнішніх факторів, таких як стан доріг чи кліматичні умови.

Стаття [42] має оглядовий характер і зосереджується на стратегіях зменшення енергоспоживання та екологічного навантаження під час транспортування гірничої маси. R. Nikbin у своїй праці проаналізував альтернативні технології транспортування (конвеєрні системи, електрифікацію, SMIPCC) з позиції підвищення екологічної та енергетичної ефективності. Автор акцентує увагу на стратегіях зменшення енергоспоживання — від впровадження SMIPCC до електрифікації парку. Публікація є актуальною з точки зору стійкого розвитку, однак економічна ефективність рішень потребує подальшого дослідження. Перевага дослідження — актуальність і стратегічний підхід; недолік — брак детального аналізу економічної ефективності окремих рішень.

Сучасні оглядові дослідження [43] розкривають тенденції цифровізації управління автопарком — від систем телеметрії до енергоменеджменту та штучного інтелекту для оптимізації маршрутів і витрат палива. Автори описують методики енергоменеджменту, управління життєвим циклом техніки та алгоритми оптимізації використання автосамоскидів. Перевага досліджень — орієнтація на інноваційні технології

й цифрові рішення; обмеження — залежність від високого рівня технічного оснащення підприємств.

Таким чином, огляд літератури демонструє різноплановість підходів до оцінки та підвищення ефективності кар'єрного автотранспорту: від аналізу організаційних чинників та технічного стану до енергетичних моделей і цифрових систем управління. Це підтверджує комплексний характер проблеми й потребу у поєднанні національного та міжнародного досвіду для формування сучасних методик оптимізації транспортування гірничої маси.

Автори даних досліджень відзначають досить низький рівень використання автосамоскидів на відкритих гірничих роботах і говорять про наявність значних резервів у підвищенні ефективності їх експлуатації. Однак у більшості робіт розглядаються лише окремі сторони процесу експлуатації кар'єрних автосамоскидів. Системність у вирішенні питань підвищення ефективності їхньої експлуатації відсутня. Комплексні оцінки всього процесу експлуатації досі не проводилися.

У той же час пошуки шляхів удосконалення окремих сторін експлуатації кар'єрних автосамоскидів не повинні розглядатися ізольовано один від одного і від суміжних процесів, оскільки одержуваний в результаті цього ефект поширюється на всю їх сукупність. У зв'язку з тим, що будь-яка зміна існуючої ситуації є системною, заходи щодо вдосконалення одного напряму функціонування транспорту можуть призвести до негативного впливу на інший, внаслідок чого загальна ситуація може не тільки не покращитись, але навіть стати ще гіршою. Тому саме комплексна оцінка якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів різних моделей, на кожному конкретному підприємстві, і у виробничому об'єднанні в цілому, дозволило б суттєво наблизити це завдання до вирішення.

Це визначає необхідність системного підходу в оцінці ефективності функціонування всіх процесів гірничого виробництва, зокрема і транспорту.

Комплексна кількісна оцінка рівня якості експлуатації кар'єрних

автосамоскидів, як гірничих транспортних машин, на даний час не проводиться, тому що поки що відсутня зручна, загальноприйнята і досить об'єктивна методика такої оцінки з урахуванням умов експлуатації. Відсутність єдиної методики для кар'єрного технологічного автотранспорту обмежує пошуки шляхів підвищення ефективності його використання і призводить до плутанини та суб'єктивізму в оцінках.

Аналізом встановлено, що системи оцінки якості експлуатації гірничої техніки нині розроблено недостатньо, на відміну методів оцінки якості самих об'єктів техніки різних стадіях їх життєвого циклу. Тим не менш, очевидно, що ці методики тією чи іншою мірою можуть бути застосовані і для оцінки якості експлуатації.

Процес оцінювання якості включає [44], у загальному випадку, наступні етапи:

- визначення номенклатури показників, необхідні оцінки;
- визначення значущості кожного показника щодо інших;
- формування групи об'єктів-аналогів та встановлення значень їх показників;
- вибір базового зразка;
- безпосередня оцінка якості (порівняння оцінюваного зразка з базовим);
- висновок про результати оцінки.
- відмінності між існуючими методиками оцінки якості та технічного рівня полягають насамперед у:
 - визначенні вагомостей окремих властивостей;
 - виборі базового зразка (еталонної машини);
 - визначенні виду залежностей між показниками простих властивостей та їх оцінками;
 - способі зведення до купи окремих властивостей.

Ряд методик, що отримали назву безекспертних, передбачає необлік вагомостей, виходячи з того, що властивості одного рівня рівноцінні за вагомістю [45, 46].

Способи визначення вагомостей зводяться до наступних:

- спосіб експертних оцінок;
- ймовірнісний спосіб;
- вартісний метод, заснований на передумові пропорційності вагомості якості відповідним затратам;
- змішаний спосіб, який полягає у використанні комбінацій попередніх способів.

З перерахованих способів визначення вагомостей найбільш розроблені методи експертних оцінок, які отримали найбільше поширення.

Серед багатьох різновидів експертних методів найбільшу популярність здобули два - метод "Делфі" та метод "ПАТТЕРН" та їх сучасні модифікації [47]. Однією з найважливіших відмінностей між ними є спосіб проведення експертизи, і з цього погляду більшість інших методів експертної оцінки можна розглядати як їх модифікації. У методі "Делфі" відсутнє безпосереднє спілкування між експертами, а в методі "ПАТТЕРН" таке спілкування є складовим елементом їхнього опитування.

Відмова від спільної роботи експертів у методі "Делфі" необхідна для того, щоб уникнути конформізму, тобто спотворення дійсної думки експерта під впливом таких факторів, як навіювання чи пристосованість до думки більшості. Експерти висловлюють свою думку не в ході колективного обговорення, а викладають його в анкеті, що забезпечує докладну пояснювальну записку. У своєму первісному варіанті метод "Делфі" має ряд недоліків, головними з яких є: нестабільність складу експертних груп, значні розриви в часі між турами, нечіткі формулювання питань, неврахування компетентності експертів. У подальших роботах над удосконаленням цього методу частину цих недоліків вдалося виключити; з'явилися різновиди методу. Що стосується використання даного методу для цілей оцінки якості продукції, то аналіз показав, що методу властиві ряд недоліків, пов'язаних зі специфікою цієї проблеми, внаслідок чого метод виявився незастосовним:

складність опитування експертів, складність заповнення анкет, трудомісткість заповнення анкет, громіздкість пояснювальних записок.

Основні особливості методу "ПАТТЕРН" полягає в наступному.

По-перше, проблема, що підлягає вирішенню, розчленовується на низку під-проблем, що в свою чергу діляться на ще вужчі завдання, доки не будуть отримані досить малі елементи, які можуть бути оцінені експертами. Отримана у своїй ієрархічна структура пов'язаних друг з одним проблем, підпроблем, завдань, називається деревом цілей (деревом рішень, деревом властивостей).

По-друге, експертним методом визначаються коефіцієнти важливості кожного приватного завдання стосовно всієї проблеми загалом, причому експерти виносять свої судження після відкритого обговорення групи.

Перелічені особливості методу "ПАТТЕРН" дають йому певні переваги перед методом "Делфі" у завданнях оцінки якості. Однак і йому притаманні певні недоліки: відсутність обґрунтування числа експертів у групі, не розроблена методика відбору до групи компетентних фахівців, відсутня бар'єр проти конформізму, недостатня розробка та визначеність дерева цілей.

Визначення коефіцієнтів вагомості параметрів експертним методом відображає явно суб'єктивний підхід до ранжирування величин цих коефіцієнтів, оскільки члени експертної комісії, відображаючи свої суто особисті думки, інтереси та уподобання не дають об'єктивної оцінки.

Іншим недоліком експертних методів є те, що сумарне значення коефіцієнтів вагомості є величиною незмінною (рівною одиниці) за будь-якої кількості показників, що приймаються для оцінки рівня якості. Тому крім суб'єктивності та трудомісткості, властивих експертним методам, виключається можливість оцінки рівня якості за збільшеною кількістю показників, без залучення експертів для повторного перегляду вагомості всіх показників, прийнятих для оцінки рівня якості.

Данияров А.Н. [49-51] запропонував розрахунковий метод визначення

коефіцієнтів вагомостей для параметрів машин, заснований на їх порівняльній оцінці. Щоб розрахувати коефіцієнти вагомостей прийнятих до розгляду параметрів, автор пропонує спочатку ранжировать ці параметри з їхньої значимості. Після проведення теоретичних обґрунтувань автор дійшов висновку, що розподіл коефіцієнтів вагомостей підпорядковується показовому закону виду:

$$m_k = m_1 e^{-(1-a)(k-1)} \quad (1.1)$$

де a - частка кожного наступного параметра від попередніх;

m_1 - ваговий коефіцієнт першого за значимістю одиничного показника.

При цьому коефіцієнт m_1 пропонується визначати експертним способом.

Недоліком запропонованого методу є, по-перше, можливість прояву необ'єктивності при ранжируванні показників, особливо якщо їх кількість значно, і, по-друге, те, що експертний метод з усіма його недоліками все-таки не виключається.

Імовірнісний спосіб, що є подальшим розвитком експертного способу, застосовується при досить великій кількості об'єктів, для яких є досить велика кількість модифікацій, що дозволяє використовувати апарат математичної статистики.

Перевагою будь-якого вартісного способу є його простота. Однак те, що вагомість є функцією витрат, виражених у вигляді ціни є недоліком. У силу відомого ряду причин ціни можуть досить сильно коливатися. Це означає, що з кожній зміні ціни змінюються й витрати, отже, змінюється і вагомість, що часто суперечить реальній дійсності [52].

Ця робота наочно демонструє вірну у своїй основі ідею обліку витрат як у сфері виробництва, так і у сфері експлуатації. Однак видно і складність, яка полягає в тому, що приведення того й іншого виду витрат до якоїсь загальної величини не може бути здійснено простим додаванням, а повинно проводитися з урахуванням додаткових факторів, наприклад, нормативного коефіцієнта ефективності [52] та інших.

Для оцінки якості нових машин повинні бути призначені базові параметри (показники) моделі еталонної машини з урахуванням перспективного зростання якості машин, що розглядаються. У цьому випадку зазвичай значення параметрів існуючої моделі еталонної машини покращують, користуючись відповідним "коефіцієнтом перспективи" [53]. Однак і в цьому випадку не визначаються шляхи вдосконалення проектованої машини, оскільки невідомо, за рахунок яких параметрів в першу чергу слід підвищувати якість цих машин, щоб створити кращу машину, ніж існуюча.

Таким чином, стає очевидним, що для цілей оцінки рівня якості при проектуванні нової техніки та вдосконаленні вже експлуатованої необхідно мати модель фіктивної еталонної машини з комплексом перспективних базових параметрів, не досягнутих всіх разом в жодній з існуючих машин. Значення параметрів гіпотетичної моделі фіктивної еталонної машини можуть встановлюватися як ідеальні граничні значення або призначатися експертами з урахуванням припущення зміни значень параметрів у найближчій перспективі.

Встановлення граничних значень параметрів більшості показників недоцільно, оскільки явна недосяжність граничних значень нічого очікувати стимулювати конструкторів і працівників експлуатуючих організацій творчий пошук. Призначення ж перспективних базових показників експертним способом є дуже трудомістким і не позбавленим суб'єктивності, яка при кількісній оцінці перспективних рішень може призвести до суттєвих помилок.

Усе вищевикладене дозволило Г.І. Солоду [44] сформулювати вимоги до базових показників з метою оцінки якості функціональних машин одного призначення:

- базові показники повинні мати найкращі з досягнутих значень у машинах даного призначення;
- повинні виключати експертні методи призначення;

- повинні сприяти визначенню параметрів, за рахунок яких найдоцільніше вдосконалювати функціональні машини;
- повинні бути динамічними, тобто здатними змінюватися в міру вдосконалення машин.

В даний час всі методи оцінки якості поділяються на наступні групи:

- диференціальний - метод оцінки, ґрунтується на використанні індивідуальних якісних показників;
- комплексний — підхід, у якому використовуються зведені (сукупні) оціночні показники;
- змішаний – метод, заснований на одночасному використанні поодиноких та комплексних показників.

Найбільшого розвитку та застосування в усіх галузях господарства отримали комплексні методи, засновані на вирішенні багатокритеріальних завдань. У загальному випадку метод кількісного визначення комплексного показника якості може бути представлений наступним алгоритмом:

- одержання одиничних значень різних показників якості в одному масштабі шляхом приведення їх до відносних безрозмірних одиниць та визначення на їх основі групових показників якості;
- перемноження наведених значень групових показників на відповідні коефіцієнти вагомості;
- обчислення значення групового показника, яке приймається за комплексний показник якості.

Різниця у підходах до обліку окремих показників визначає і відмінності методів комплексної оцінки.

Оцінки окремих властивостей визначаються як деяка їх залежність від співвідношення відповідних показників аналізованих машин і базового зразка:

$$\Theta P_{ij} = f(P_{ij}, P_{\bar{ij}}) \quad (1.2)$$

де P_{ij} - показник машини, що розглядається;

$P_{\delta j}$ - показник базового зразка.

Найбільш простою, яка не потребує великого обсягу досліджень, є лінійна залежність, тобто:

$$\Theta P_{ij} = \frac{P_{ij}}{P_{\delta j}} \text{ або } \Theta P_{ij} = \frac{P_{\delta j}}{P_{ij}} \quad (1.3)$$

Однак такі залежності, як показали дослідження низки вчених, головним чином зарубіжних [54-56], мають місце не завжди. Було доведено [54], що формули (1.3) справедливі лише за відсутності обмежень у значеннях одиничних показників. За наявності обмежень P_{npj} оцінки показників рекомендується визначати за формулою:

$$\Theta P_{ij} = \frac{P_{\delta j} - P_{npj}}{P_{ij} - P_{npj}} \quad (1.4)$$

Формула (1.4), хоча зовні та незначно відрізняється від формули (1.3), але описує вже нелінійну залежність.

У ряді методик [55, 56] пропонуються ще яскравіше виражені нелінійні залежності, головним чином експоненціального типу. Такі залежності, на думку авторів, дозволяють отримати більш точні та вірні оцінки, проте вимагають значно більшого обсягу досліджень порівняно з лінійними та нелінійними типу (1.3) та (1.4), і тому область їх застосування обмежена.

Таким чином, аналіз показує, що методика комплексної оцінки повинна давати можливість частину властивостей машини, поліпшення яких однозначно спричиняє пропорційне поліпшення якості у всьому діапазоні зміни їх показників, оцінювати за лінійною залежністю. Разом з тим, поодинокі показники, що мають обмеження, повинні оцінюватись за нелінійною залежністю, яка визначається формулою (1.4).

Комплексний метод характеризує зв'язок між окремими властивостями машин, що розглядаються, і передбачає можливість об'єднання оцінок окремих властивостей у комплексну оцінку. У існуючих

методиках для зведення одиничних оцінок показників воедино використовується три основні види середньозважених величин: середньоарифметична, середньгеометрична та середньгармонійна.

«У методиках комплексної оцінки якості більшість дослідників — як вітчизняних, так і закордонних — переважно використовують середньоарифметичну величину. Такий вибір пояснюється її нескладним розрахунком і тим, що вона забезпечує рівний внесок кожного показника у підсумковий результат» [54-55].

Інші фахівці вважають другу з названих переваг нестачею. Зазначається, що більше розкид оцінок окремих властивостей, тим менш правомірно застосовувати середньоарифметичну, при користуванні якою ця обставина не враховується. Застосування середньоарифметичних значень у разі підвищує результат оцінки, штучно підвищуючи рівень якості машини. При тих розкидах значень параметрів, які існують у реальних машин, середньоарифметична величина на 7-18% більша за середньгеометричну [48], яка загальноприйнята в техніці (середній розмір на допуск розміру в теорії допусків та посадок ISO).

У зв'язку з цим пропонується використовувати середньгеометричну, яка враховує розкид показників навколо середнього значення і звертається в нуль, якщо оцінка однієї з властивостей дорівнює нулю. Проте водночас середньгеометрическая вимагає великого обсягу складніших обчислень. Застосування її є обґрунтованим у разі, коли узагальнений показник якості приблизно є добутком певних ступенів одиничних показників [55].

У [57] запропоновано графічний метод оцінки технічного рівня (якості) об'єктів техніки. Суть його полягає у наступному.

За різними джерелами визначається перелік найбільш близьких до оцінюваного об'єкту вітчизняних та зарубіжних аналогів. Виявляється обмежена кількість параметрів, що найбільш повно характеризують об'єкт. У технічних характеристиках аналогів спостерігаються максимальні значення кожного з вибраних параметрів. Ці значення приймаються за одиницю (за

100%), оскільки вони є найкращими з досягнутих у цій галузі. З полюса проводять промені, кути між якими рівні і число яких дорівнює кількості обраних характерних параметрів. На цих променях відкладають однакові відрізки, пропорційні коефіцієнтам значимості кожного параметра, кожен із яких характеризує найвище значення одного з параметрів. При цьому для параметрів, що відіграють негативну роль, беруться їхні обернені величини. Отримані на променях сусідні точки з'єднують між собою.

Багатокутник, що утворився таким чином, характеризує світовий рівень якості даного виду обладнання, оскільки побудований він за найкращими значеннями всіх аналогів. Можна сказати, що даний багатокутник характеризує гіпотетичний виріб з параметрами, що відповідають найкращим світовим зразкам, створеним на цей час у цій галузі.

Потім на тих самих променях відкладають значення параметрів конкретного об'єкта, також пропорційні коефіцієнтам значимості параметрів. Сусідні точки з'єднують. При цьому виходять багатокутники, що розташовуються всередині базового, і характеризують рівень якості кожного конкретного об'єкта щодо світового. Можна стверджувати, що площа кожного цього багатокутника пропорційна рівню якості об'єкта, що ним зображено.

Однак на практиці користуватися цими площами незручно. Тому рівень якості пропонується визначати як співвідношення площ внутрішнього (об'єкту, що оцінюється) і зовнішнього (базового об'єкта) багатокутників. Для усунення недоліку, пов'язаного з тим, що площі багатокутників пропорційні квадрату довжин променів, пропонується витягувати квадратний корінь із співвідношення площ багатокутників.

Таким чином, маємо:

$$y = \sqrt{\frac{F_o}{F_{\sigma}}} 100\% \quad (1.5)$$

де F_o - площа багатокутника на діаграмі порівнюваного об'єкта;

F_{σ} - площа багатокутника на діаграмі, об'єкта, що характеризує світовий

рівень.

Площу кожного багатокутника можна визначити як:

$$F_o = \sum_{i=1}^n f_i = (q_1 q_2 + q_2 q_3 + \dots + q_{n-1} q_n + q_n q_1) \quad (1.6)$$

$$F_{\phi} = \sum_{i=1}^n f_{\phi} = \sin \frac{2\pi}{n} \quad (1.7)$$

де $q_1, q_2, \dots, q_n$ - одиничні показники якості.

Звідси

$$y = \sqrt{(q_1 q_2 + q_2 q_3 + \dots + q_{n-1} q_n + q_n q_1)} \quad (1.8)$$

Одним з провідних фахівців у галузі надійності та якості гірничих машин Солодом Г.І. було запропоновано методику безекспертної оцінки якості гірничих машин, засновану на використанні функціонального критерію та динамічної моделі еталонної (базової) системи [44].

Функціональний критерій є одиницею виміру, виходячи з якої можна кількісно оцінити виконання машиною своєї функції:

$$\lambda = Q \cdot W, \quad (1.9)$$

де Q - продуктивність гірничої машини з виконання своєї функції в заданих умовах;

W - питома енергія процесу виконання машиною своєї функції в цих умовах.

Порівняння показників якості проводиться стосовно еталону. Комплексний показник якості визначається у вигляді відношення сумарних значень рівнів якості за одиничними показниками аналізованої машини до аналогічних рівнів якості еталонної системи.

Порівнюючи даний функціональний критерій з іншими узагальненими параметрами, запропонованими, наприклад, у роботах [58], можна відзначити його універсальність. У тій чи іншій інтерпретації його можна застосувати з метою оцінки якості широкого кола машин.

Як основні переваги даної методики можна відзначити такі:

- дозволяє оцінювати функціонально-однорідні машини різних типів, типів і конструктивних виконань;

- має прогресивні динамічні базові показники;
- виключає суб'єктивність, особливо при комплексній та узагальненій оцінках якості;
- допускає оцінку якості за різною кількістю показників;
- не обмежує конструкторів та працівників експлуатаційних служб у виборі рішень при проектуванні та експлуатації машин.

Таким чином, відмінність використовуваних у даній методиці коефіцієнтів участі від загальноприйнятих коефіцієнтів вагомості, полягає в наступному. Коефіцієнти вагомості показують дійсне значення частки одиничних показників у сукупності всіх прийнятих до розгляду, а коефіцієнти участі кожного показника встановлюють, яка перевага надається кожному з одиничних показників при зведенні їх воєдино для визначення комплексного показника [50].

1.2. Огляд сучасних методів підвищення ефективності використання кар'єрного автотранспорту

«Великі масштаби видобувних робіт і суттєві витрати трудових та фінансових ресурсів на транспортування гірничої маси при відкритому способі розробки потребують регулярних заходів щодо підвищення ефективності кар'єрних автосамоскидів» [59].

Основними критеріями оцінки якості перевезень більшість дослідників вважають продуктивність та собівартість транспортних операцій. Кар'єрні автосамоскиди надвеликої вантажопідйомності працюють у складних умовах, тому фактичний пробіг техніки зазвичай суттєво менший від паспортного ресурсу: замість проєктних 450 тис. км вони реально відпрацьовують близько 250–350 тис. км. [59].

У сучасній науково-технічній літературі значна увага приділяється питанням підвищення ефективності роботи великовантажного кар'єрного автотранспорту. Дисертаційне дослідження В.В. Кривди спрямоване на

виявлення взаємозв'язку між параметрами системи розробки та експлуатаційно-технічними характеристиками автотранспортних засобів, що застосовуються при відпрацюванні глибоких горизонтів залізрудних кар'єрів. «Отримані залежності стали підґрунтям для створення нового технічного рішення, яке забезпечує узгодження параметрів систем розробки кар'єрів з експлуатаційно-технічними характеристиками кар'єрних автосамоскидів на великих глибинах. Це, у свою чергу, дало змогу обґрунтувати раціональні параметри систем розробки глибоких кар'єрів при використанні автосамоскидів удосконаленої конструкції, що сприяє підвищенню ефективності ведення гірничих робіт» [60].

У сучасній практиці відкритих гірничих робіт переважно використовуються великовантажні автосамоскиди для транспортування гірничої маси. Це зумовлює необхідність вивчення режимів їх експлуатації, визначення закономірностей зміни техніко-експлуатаційних параметрів залежно від ухилів та стану кар'єрних доріг, типу трансмісії, а також удосконалення методик оцінювання ефективності застосування автосамоскидів різних класів вантажопідйомності [61].

До робіт з досліджень ефективного використання кар'єрного транспорту протягом останніх 30 років слід віднести дисертаційні роботи [62-69].

Роботи [70, 71] спрямована на вирішення проблем із забезпечення сталої, ефективної роботи систем кар'єрного автотранспорту в екстремальних умовах експлуатації.

В роботах [72] «виконано комплекс аналітичних та експериментальних досліджень, міститься рішення оперативної оцінки ресурсу металоконструкцій задніх мостів автосамоскидів при їх експлуатації за допомогою встановлення взаємозв'язку енергоємності процесу транспортування гірничої маси та довговічності підвіски їх ходової частини», що має значення для гірничодобувної галузі. «Встановлено характер і силу впливу основних експлуатаційних умов на питомі енерговитрати та

математичне очікування амплітуд напружень. Сформульовано рекомендації щодо раціональних режимів роботи кар'єрних автосамоскидів різної вантажопідйомності, що дають змогу знизити енергоспоживання та підвищити довговічність техніки» [74].

В роботі [73] розглянуто комплексну оцінку, прогнозування та планування показників якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів, що дозволяє підвищити ефективність їх використання, що має істотне значення для розвитку теорії та практики управління якістю експлуатації гірничих транспортних машин.

У дисертації Артманова П.В. виконано комплекс аналітичних та експериментальних досліджень у результаті яких встановлені взаємозв'язки міцності та довговічності несучих металоконструкцій великовантажних кар'єрних автосамоскидів з урахуванням гірничотехнічних характеристик відірваної підірваної гірничої маси, якості кар'єрних доріг. У роботі автор використовував розрахункову модель металоконструкцій автосамоскида у програмі T-Flex Cad для моделювання процесу навантаження. «Аналіз співставлення результатів кінцевого та динамічного моделювання з натурними та теоретичними даними показав, що розроблені моделі дають змогу з прийнятною точністю визначати рівні напружень у несучих елементах металоконструкцій кар'єрних автосамоскидів» [75].

«Серед основних труднощів, характерних для кар'єрних перевезень руди, слід виділити простоту транспортних засобів при навантажувально-розвантажувальних операціях, що негативно позначається на ефективності використання вантажного автотранспорту. Однією з причин є планування транспортних робіт без урахування низки базових параметрів, що визначають ефективність перевезень. Існуючі теоретичні моделі не повністю описують реальні умови здійснення транспортування. Шляхи їх удосконалення я дослідив у своїй дисертаційній роботі» [76].

«У цій роботі здійснено аналіз процесу транспортування руди та його окремих елементів, що дало змогу встановити суттєвий взаємозв'язок між

параметрами транспортно-технологічної схеми. На підставі оцінки ефективності перевезень руди великовантажними кар'єрними автосамоскидами виявлено їх низьку результативність, зумовлену нераціональним плануванням транспортних графіків» [76].

«У працях іноземних дослідників аналізуються питання поліпшення експлуатаційних умов кар'єрних самоскидів, удосконалення їх конструкції та вибору раціональної вантажопідйомності, а також проблеми будівництва й експлуатації кар'єрних доріг. Проте більшість цих робіт має узагальнений характер, що дозволяє робити лише загальні висновки щодо шляхів підвищення ефективності використання кар'єрного автомобільного транспорту» [77].

«До половини всіх відмов пов'язані з пошкодженнями несучих конструкцій, зокрема рами, заднього моста, платформи, ходової частини та шин. Параметри їх надійності зумовлені дією динамічних навантажень у процесі роботи техніки» [78]. Тому достовірна оцінка навантажувальних режимів, що діють на опорні вузли та конструкції, дозволить визначити ступінь впливу окремих експлуатаційних факторів на навантаженість досліджуваних вузлів та створити інформаційну базу, необхідну для розрахунку несучих конструкцій [74].

«Практика експлуатації кар'єрних автосамоскидів свідчить, що на їхню надійність, окрім конструктивної якості машини, істотний вплив справляють гірничотехнічні та, передусім, дорожні умови» [79].

«Для підвищення ресурсу автосамоскидів шляхом оптимізації дорожніх умов необхідно дослідити числові показники впливу цих умов на безвідмовність і довговічність вузлів та систем машин за різних швидкостей руху. На основі отриманих результатів слід визначити та рекомендувати раціональні режими руху автосамоскидів» [79, 80].

За визначенням ступеня впливу якості доріг на автомобілі загального призначення проведено численні дослідження [81, 82]. Розглядалося насамперед вплив нерівностей дорожньої поверхні на роботу демпферуючих

систем (амортизатори, ресори) і інтенсивність коливань автомобіля [83, 84]. Запропоновано низку методик для отримання описової характеристики мікропрофілю дороги, що дозволяють використовувати його для теоретичного аналізу процесу руху автомобіля [85, 86].

«Класифікація дорожніх умов, побудована на оцінюванні надійності вузлів автомобілів загального призначення й узагальнених показниках їх довговічності, не підходить для кар'єрних автосамоскидів через істотні конструктивні та масові відмінності цих машин» [87, 88].

Рамні конструкції кар'єрних автосамоскидів при розрахунках на міцність і жорсткість згідно з класичними методами розрахунку розглядаються як плоскі стрижневі системи. Адаптації цих методів до конструктивних форм рам автосамоскидів присвячена значна частка досліджень [89].

Несучі металоконструкції автосамоскида у процесі роботи відчують як статичні, так і динамічні навантаження. До статичних навантажень відносять: власну вагу, вагу відірваної підірваної гірничої маси та корисних копалин. При русі автосамоскида кар'єрними дорогами, а також при його завантаженні екскаватором підірваною гірничою масою, несучі металоконструкції піддаються динамічним навантаженням. Істотна динамічна напруга в рамі автосамоскида виникає в поперечках, лонжеронах, і місцях їх з'єднання. Рух по коліях з різним мікропрофілем призводить до скручування рамної конструкції [90].

Питанням конструювання дослідження навантаженості та розрахунку на міцність просторових несучих конструкцій присвячені роботи багатьох вітчизняних та зарубіжних авторів у різних галузях техніки. Отримані результати дозволили встановити, що найбільш небезпечними для несучих металоконструкцій великовантажних кар'єрних автосамоскидів, з точки зору міцності є режим завантаження та режим руху. При русі автосамоскида кар'єрною дорогою найбільш навантаженими є середня і консольна частини кузова, внаслідок згинальних коливань конструкції, а також рама, що зазнає

згинально крутильних коливань. Кузов кар'єрного автосамоскида на сьогоднішній день є одним з найбільш металомістких вузлів. Існує необхідність постійно підтримувати міцність кузова під час експлуатації. Руйнування зварних елементів несучих конструкцій кузовів, обриви кронштейнів шарнірної опори, абразивне зношування, а також опуккування бортів листової обшивки між ребрами жорсткості є основними причинами виходу з ладу кузовів кар'єрних автосамоскидів [75].

У режимі завантаження підірваною гірничою масою кузов піддається дії динамічного навантаження. Місцеві напруги, що виникають у днищі кузова від впливу порції сипучого вантажу в 3-5 разів перевищують напруги від статичного тиску цього вантажу, а напруги, що виникають від удару окремого шматка (при рівній вазі з порцією сипучого вантажу) в 2-4 рази перевищують напруги, що виникають від порції сипучого вантажу.

У роботі [71] проведено значні «дослідження впливу динамічних навантажень у кар'єрних автосамоскидах на тривалість служби опорних конструкцій за допомогою чисельного моделювання параметрів руху». У роботі розроблено математичну модель, яка оцінює ступінь впливу дорожніх умов на довговічність базових металоконструкцій кар'єрних автосамоскидів. У дослідженні [91] розглядається питання щодо оцінки ресурсу рам при русі, а також оцінки ушкоджуючого впливу при завантаженні екскаватором. Аналіз виконаних досліджень показав, що завдання про навантаженість несучих металоконструкцій кар'єрних автосамоскидів залишається актуальним і на сьогоднішній день.

Проведений аналіз показує, що для комплексної оцінки ефективності кар'єрного автотранспорту повинен бути розроблений оригінальний варіант функціонального критерію, і вибрано специфічний набір показників, що визначають технічну досконалість конструкції кар'єрних автосамоскидів, виявлення закономірностей впливу гірничотехнічних факторів на його продуктивність та їх практичного застосування для оптимізації парку самоскидів.

1.3. Обґрунтування показників і параметрів ефективності функціонування кар'єрних автосамоскидів

Номенклатура показників, що характеризують якість експлуатації кар'єрних автосамоскидів, повинна встановлюватися, насамперед, залежно від обраного критерію.

Функціональний критерій, характеризує ефективність виконання автосамоскидами своїх функцій у конкретних умовах експлуатації. Система техніко-експлуатаційних показників, рекомендованих для оцінки рівня використання автосамоскидів і результатів їх роботи, а також для цілей планування, включає кількісні (інтенсивного використання) та якісні (екстенсивного використання) показники.

Для того щоб найбільш повно охопити весь комплекс показників, необхідно докладно проаналізувати весь процес експлуатації автосамоскидів, що дозволить виявити максимально можливу кількість показників, що характеризують цей процес.

Стадія експлуатації кар'єрних автосамоскидів включає процес використання самоскидів за призначенням, а також процеси технічного обслуговування і ремонтів (планових і непланових). Ці процеси повинні враховуватися вибраними показниками.

При виборі показників для комплексної оцінки якості необхідно пам'ятати, що в цей комплекс не повинні входити показники, які прямо визначають один одного. Ця обставина впливає з того, що лінійно залежні та взаємно визначальні один одного показники несуть однакову інформацію, характеризуючи процес експлуатації тільки з одного боку, і, отже, не сприяють всебічній оцінці якості експлуатації машин, що розглядаються.

Коефіцієнт технічної готовності a_m характеризується кількістю технічно справних автомобілів, придатних до експлуатації, які, однак, можуть простоювати з різних організаційно-технічних причин (відсутність водіїв, пально-мастильних матеріалів, шин, з вини кар'єрів, через кліматичні

умови). Ступінь використання технічно справного автопарку характеризується коефіцієнтом випуску a_v .

Отже, на відміну коефіцієнта технічної готовності a_m (що визначає в основному рівень організації виробничого процесу технічного обслуговування та ремонтів, а також надійність двигового складу), коефіцієнт випуску a_v більш повно характеризує роботу автогосподарства і саме він повинен бути прийнятий як перший показник якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів.

Статичний коефіцієнт використання вантажопідйомності $\gamma_{ст}$ характеризує ступінь використання номінальної вантажопідйомності q_n автомобіля і залежить від щільності гірничої маси, що перевозиться $\rho_{г.м.}$, геометричної ємності кузова автосамоскида E_K , відповідності характеристик навантажувального обладнання характеристикам рухомого складу. Використання лише статичного коефіцієнта недостатньо для характеристики ступеня використання вантажопідйомності в процесі пробігу з вантажем, тому додатково використовується динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності $\gamma_{дин}$.

Кар'єрні автосамоскиди працюють на маятникових маршрутах (пробіг з вантажем дорівнює порожньому пробігу, а повернення порожнього автосамоскида в забій відбувається по тій ж трасі, як і рух з вантажем), тому для них коефіцієнти використання вантажопідйомності приблизно рівні. З урахуванням того, що величина коефіцієнта використання пробігу менше 0,5, так як враховує і нульові пробіги, у якості другого показника доцільно прийняти динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності $\gamma_{дин}$.

Коефіцієнт використання пробігу β визначає ступінь використання продуктивного пробігу (пробігу з вантажем). Величина цього коефіцієнта визначається в основному віддаленістю автогосподарства від кар'єру, тому основний вплив на неї надають тільки такі фактори, як сходження автосамоскидів з лінії з технічної несправності та їх перегони (з організаційно-технічних причин - зміна водіїв, заправка пально-мастильними

матеріалами). Врахування всіх цих факторів є важливим, тому коефіцієнт використання пробігу β повинен бути прийнятий як третій показник якості експлуатації.

Технічна швидкість V_m визначається тягово-швидкісними і гальмівними властивостями автосамоскида (залежать від його конструктивних особливостей), дорожніми умовами, кваліфікацією водія, факторами зовнішнього середовища та інтенсивністю руху на трасі. Експлуатаційна швидкість V_e залежить від тих же факторів і, крім того, враховує простої автосамоскидів (під навантаженням-розвантаженням, з організаційно-технічних та економічних причин), тобто є більш інформативним показником, що дає право прийняти її як четвертий показник якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів.

Таким чином, для оцінки якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів необхідно використовувати такі показники:

- коефіцієнт випуску — α_6 ;
- динамічний коефіцієнт використання вантажопідйомності - $\gamma_{дин}$;
- коефіцієнт використання пробігу - β ;
- експлуатаційна швидкість – V_3 .

Для виключення взаємно визначальних один одного показників, що несуть однакову інформацію, додатково необхідно провести перевірку цих показників на лінійну залежність. Перевірка наявності кореляції проводилася з використанням непараметричних методів за коефіцієнтом рангової кореляції Спірмена [92], який дає досить точний результат при малому обсязі вибірки.

Коефіцієнт рангової кореляції Спірмена визначався за формулою:

$$r = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n D_i^2}{n(n^2 - 1)}, -1 \leq r \leq 1 \quad (1.10)$$

де D_i^2 - квадрат різниці рангів відповідних пар вибірок, n - обсяг вибірок.

Для розрахунку було використано фактичні середні значення техніко-

експлуатаційних показників за 2025 р, отримані на кар'єрах Кривого Рогу.

Перевірка показала, що зв'язок між усіма попередньо обраними для оцінки якості експлуатації показниками є незначним (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Коефіцієнти рангової кореляції Спірмена для обраних показників

Показник	α_{ε}	γ	β	V_e
α_{ε}	—	0,289	-0,229	0,456
γ	0,289	—	-0,511	0,334
β	-0,229	-0,511	—	0,014
V_e	0,456	0,334	0,014	—

Таким чином, усі вибрані показники характеризують різні сторони експлуатації кар'єрних автосамоскидів і можуть бути використані при оцінці якості їх експлуатації.

Комплекс показників, що визначають якість експлуатації кар'єрних автосамоскидів можна представити в наступному вигляді (рис. 1.1).

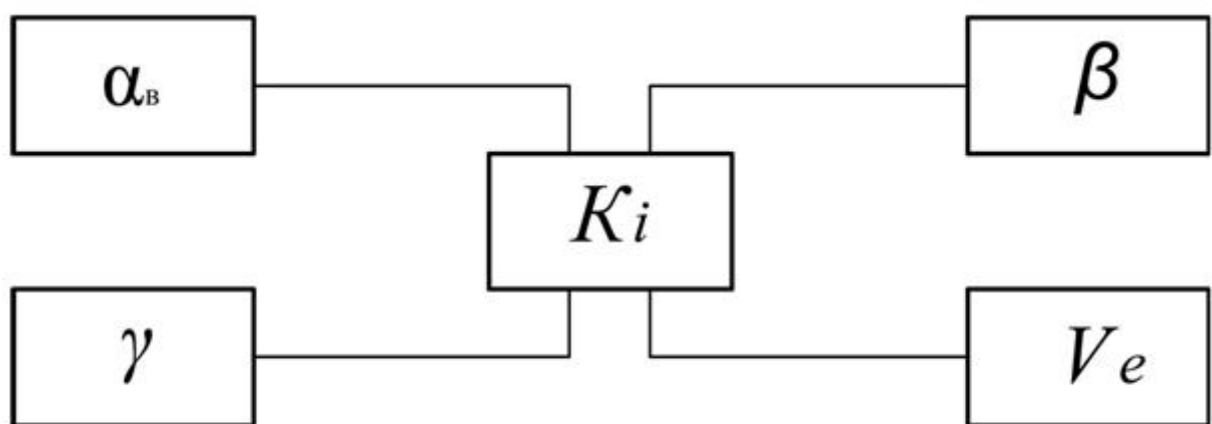


Рис. 1.1. Комплекс показників, що визначають якість експлуатації кар'єрних автосамоскидів

РОЗДІЛ 2 АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

2.1. Аналітичне дослідження структури транспортного циклу кар'єрних автосамоскидів

Відмінною особливістю роботи технологічного автотранспорту в кар'єрах є мінливість гірничо-технічних умов експлуатації як у часі, так і в просторі. Відхилення умов роботи від прийнятих у нормативах викликає відповідні відхилення тривалості операцій транспортного циклу, а отже, і зміну, порівняно з нормативною продуктивність автосамоскидів. Ступінь впливу зміни тривалості навантажувально-транспортних операцій на продуктивність автосамоскидів залежить від питомої ваги операцій у транспортному циклі і може бути оцінена наступним коефіцієнтом:

$$K_i = \frac{t_n^2}{\Delta t(t_{c.n} - t_n)t_n + t_n^2} \quad (2.1)$$

де t_n - нормативна тривалість операцій, час виконання яких залежить від змінних умов, хв;

$t_{c.n}$ - тривалість тих самих операцій у разі відхилення умов роботи від нормативних, хв;

Δt - питома вага операцій у транспортному циклі.

Структура транспортного циклу визначається поєднанням значень дальності транспортування, висоти підйому, кусковатості гірничої маси в вибої та числа циклів навантаження. Так, для вантажно-транспортного комплексу, представленого екскаватором ЕКГ-10 і автосамоскидами БелАЗ-75131 і працюючого в вибої з середньою щільністю руди 3,4 т/м і виходом негабариту не вище 3%, при зміні відстані транспортування від 0,25 до 3,7 км і висоти підйому гірничої маси від 10 до 120 м структура транспортного циклу змінюється наступним чином: питома вага вантажно-

розвантажувальних операцій знижується з 28 до 8%, маневрових операцій - від 19 до 5%, а операцій руху з вантажем і порожняком збільшується від 53 до 87%.

Для того, щоб у конкретній гірничотехнічній ситуації оцінити вплив зміни будь-якого показника умов експлуатації на продуктивність автосамоскида, необхідно мати розрахункову модель, що дозволяє визначити питому вагу в структурі транспортного циклу операції, на тривалість якої впливає цей показник. Зміна гірничотехнічних умов у найбільшому ступені відбивається на питомій вазі операцій навантаження (Δt_n) і руху ($\Delta t_{\text{дв}}$). Тому при розробці моделі структури транспортного циклу досліджувалася зміна частки цих операцій залежно від трьох основних чинників: дальності транспортування гірничої маси, середньозваженого ухилу траси руху автосамоскида і кількості циклів навантаження. Дослідження проводилися для навантажувально-транспортних комплексів, представлених екскаваторами ЕКГ-4,6, ЕКГ-10, ЕКГ-12,5 та ЕКГ-20 у поєднанні з автосамоскидами БелАЗ-540А, БелАЗ-548А, БелАЗ-7519, БелАЗ-75131, у наступних вихідних умовах: параметри вибою та схема установки автосамоскида на навантаження забезпечують середній кут повороту екскаватора 100-130°; якість підготовки гірничої маси до екскавації характеризується оптимальним співвідношенням ширини ковша екскаватора до діаметра середнього шматка гірничої маси, рівним 5,0-6,5; довжина тимчасової частини дороги становить 400–450 м; складність траси в плані - 10-13% (не більше 2-х поворотів на один кілометр довжини).

В межах дослідження були розраховані структури транспортного циклу автосамоскидів для 144 варіантів поєднань значень досліджуваних факторів при п'яти рівнях варіювання довжини транспортування та середньозваженого ухилу і шести рівнях варіювання числа циклів навантаження (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Рівні варіювання досліджуваних факторів

Найменування фактора	Значення факторів					
Дальність транспортування (l), км	0,6	1,5	2,3	3,1	4,0	-
Середньозважений ухил траси (i), %	0	2	4	6	8	-
Число циклов навантаження (n_u)	2	3	4	5	6	7

Закладені у розрахунках значення тривалості маневрових та розвантажувальних операцій приймалися за даними проведених спостережень: для автосамоскидів БелАЗ-540А відповідно 1,2 та 0,75 хв, БелАЗ-548А - 1,35 та 0,80 хв, БелАЗ-549 - 1,70 та 1,0 хв, БелАЗ-7519 – 1,85 й 1,15 хв, БелАЗ-75131 - 2,00 та 1,50 хв.

Для встановлення форми багатофакторних залежностей $\Delta t_n, \Delta t_{\partial\partial} = f(l, i, n_u)$ виконано аналіз впливу кожного з аргументів на величину досліджуваних функцій. Вплив довжини транспортування на питому вагу операцій руху та навантаження описується криволінійною залежністю: гіперболічної для функції $\Delta t_n = f(l)$, логарифмічною для $\Delta t_{\partial\partial} = f(l)$ (рис. 2.1). Залежність $\Delta t_n, \Delta t_{\partial\partial} = f(i)$ і $\Delta t_n, \Delta t_{\partial\partial} = f(n_u)$ описуються лінійними рівняннями (рис. 2.2, 2.3).

За допомогою виконаного регресійного аналізу розрахункових даних про структуру транспортного циклу для розглянутих варіантів поєднань значень l, i і n_u встановлено, що вплив досліджуваних факторів на величину питомої ваги операцій навантаження і руху з точністю апроксимації 99-93% і при коефіцієнті множинної кореляції 0,986-0,997 описується наступними рівняннями:

$$\Delta t_n = a_0 + a_1 \frac{1}{l} + a_2 i + a_3 n_u + a_4 l \cdot n_u + a_5 l \cdot n_u \cdot i \quad (2.2)$$

$$\Delta t_{\partial\partial} = a_0 + a_1 \lg l + a_2 i + a_3 n_u + a_5 l \cdot n_u \cdot i \quad (2.3)$$

де $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ - коефіцієнти регресії.

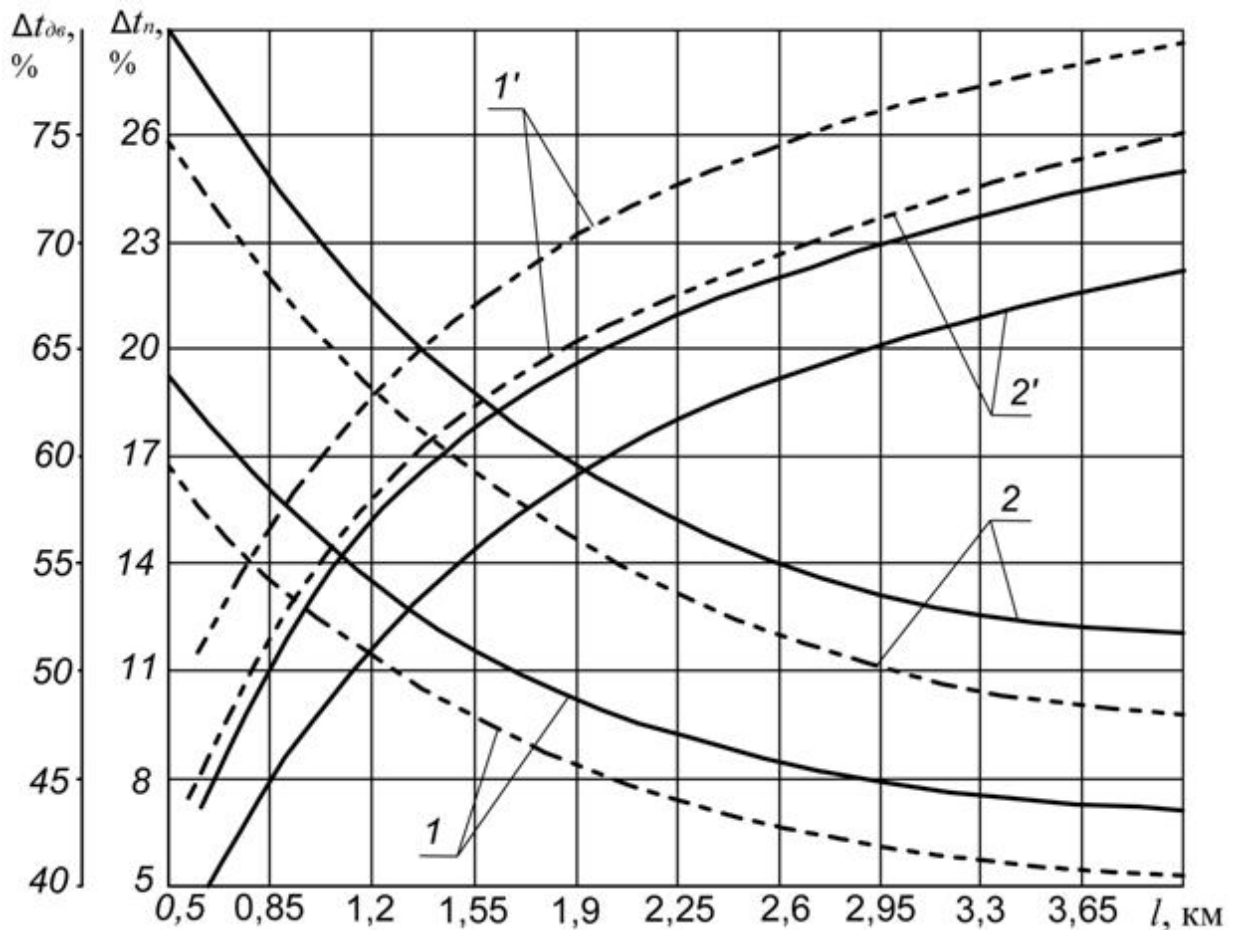


Рис. 2.1. Залежність частки навантаження (Δt_n) та руху ($\Delta t_{\delta c}$) у транспортному циклі від дальності транспортування (l): 1, 2 - $\Delta t_n = f(l)$; 1', 2' - $\Delta t_{\delta c} = f(l)$.

Отримані моделі структури транспортного циклу дозволяють за формулою (2.1) відносно просто визначати коефіцієнти зміни продуктивності автосамоскидів при відхиленні гірничо-технічних умов від прийнятих у нормативах.

2.2. Аналіз впливу дорожніх умов на ефективність роботи автосамоскидів

У структурі транспортного циклу кар'єрних автосамоскидів значну частку (50-83%) становить операція руху, тому якість робочої поверхні дороги є одним із факторів, що визначають продуктивність автотранспорту.

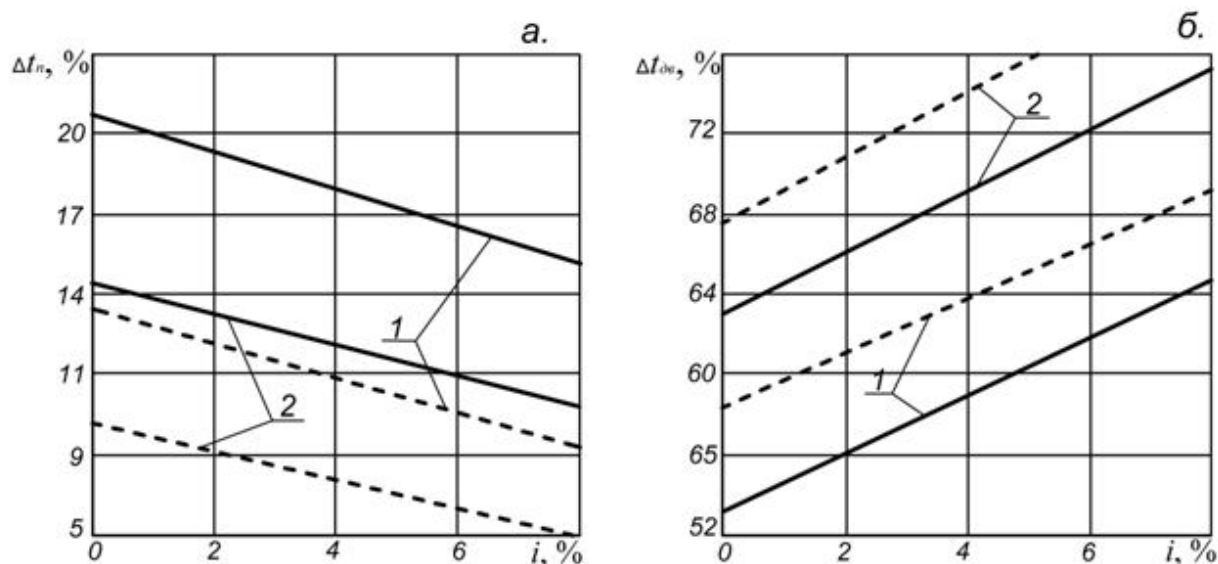


Рис. 2.2. Залежність частки навантаження та руху в транспортному циклі від середньозваженого ухилу: 1 і 2 – при відстані транспортування 1,5 км і 3,1 км; — при $n_{\text{ц}}=5$; - - - при $n_{\text{ц}}=3$

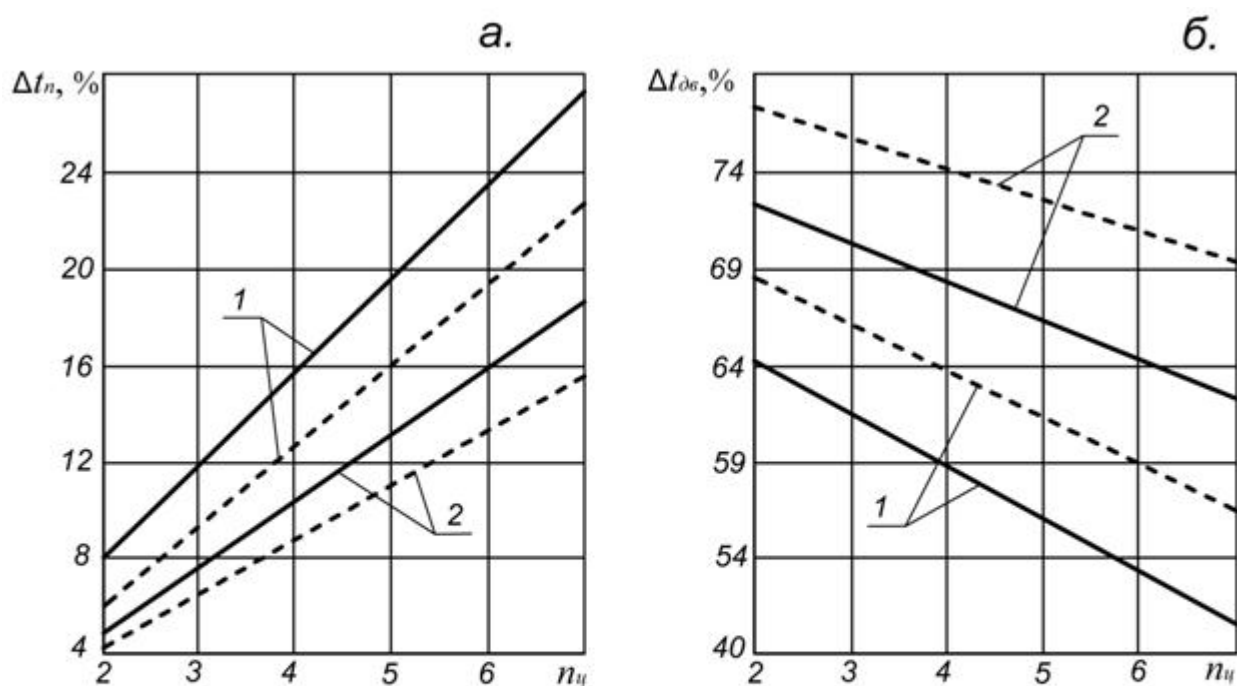


Рис. 2.3. Залежність частки навантаження та руху в транспортному циклі від числа циклів навантаження: 1 і 2 – при відстані транспортування 1,5 км і 3,1 км; — при $i=2\%$; - - - при $i=6\%$.

Технологічні автодороги в кар'єрі поділяються на постійні та тимчасові, які суттєво відрізняються за якістю проїжджої частини. Постійні дороги на кар'єрах виконуються зазвичай із щебеневим покриттям. Вони характеризуються відносно високими транспортно-експлуатаційними якостями і забезпечують опір руху порядку 200-410 Н/т. Це дозволяє розвивати середні швидкості руху на горизонтальних ділянках 25-28 км/год у вантажному та 27-32 км/год у порожняковому напрямках. Тимчасові дороги облаштовуються зазвичай без покриттів. Їм властиві значні нерівності, коритоподібний поперечний профіль і високий опір руху 700-1000 Н/т. Природно, що середня швидкість руху на таких дорогах суттєво знижується і становить 12-15 км/год та 14-18 км/год, відповідно, у вантажному та порожняковому напрямках.

«Дослідження стану автодоріг у межах залізрудних кар'єрів свідчить, що транспортно-експлуатаційні властивості як постійних, так і тимчасових шляхів залишаються порівняно стабільними в межах одного кар'єру. Це дає підстави вважати доцільним при визначенні продуктивності автосамоскидів на конкретних маршрутах руху використовувати довжину тимчасової ділянки дороги як показник її якості» [88].

«Протяжність тимчасових автодоріг визначається сукупністю чинників, серед яких: довжина фронту гірничих робіт, параметри відвалів і перевантажувальних площадок, швидкість зміщення вибою та зон розвантаження, забезпеченість дорожньо-будівельною технікою, а також рівень організації будівництва й експлуатації кар'єрних технологічних шляхів» [89]. Залежно від зазначених факторів довжина тимчасової частини автодороги на різних трасах руху в межах одного кар'єру коливається від 100-150 до 500-600 м, досягаючи в окремих випадках 800-900 м. Відсутність у діючій методиці визначення продуктивності кар'єрного автотранспорту показника довжини тимчасової частини автодороги є однією з причин розбіжності розрахункової та фактичної продуктивності автосамоскидів.

Проведені аналітичні дослідження з використанням багатфакторних

регресійних моделей тривалості руху автосамоскидів показують, що збільшення довжини тимчасової частини автодороги призводить до істотного зниження продуктивності автосамоскидів (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Продуктивність автосамоскидів БелАЗ-75119 (Q_a , т/зміну) при різній довжині тимчасової частини автодороги

Число циклів навантаження	Довжина тимчасової частини автодороги, м				
	100	200	400	600	800
2	$\frac{990}{1,0}$	$\frac{968}{0,98}$	$\frac{926}{0,9}$	$\frac{888}{0,9}$	$\frac{852}{0,86}$
3	$\frac{966}{1,0}$	$\frac{939}{0,98}$	$\frac{900}{0,9}$	$\frac{863}{0,9}$	$\frac{830}{0,87}$
5	$\frac{916}{1,0}$	$\frac{897}{0,98}$	$\frac{861}{0,9}$	$\frac{828}{0,9}$	$\frac{797}{0,87}$

Примітка: 1. У знаменнику – відносна зміна продуктивності.

2. Дані таблиці відповідають дальності транспортування 2 км та середньозваженому ухилу траси 4%.

«Значимість довжини тимчасової частини дороги як фактора, що визначає продуктивність автосамоскидів, залежить від поєднання значень інших гірничотехнічних факторів: відстані транспортування, середньозваженого ухилу траси, вантажопідйомності автосамоскида і числа циклів навантаження» [86]. Так, при дальності транспортування 1,0 км та середньозваженому ухилі траси руху 4% збільшення тимчасової частини дороги на 300 м зумовлює зниження продуктивності автосамоскида БелАЗ-7519 на 10,3%, а БелАЗ-75131 на 9,5%. При дальності транспортування 2,0 км і тому ж середньозваженому ухилі подібне збільшення тимчасової частини дороги призводить до зниження продуктивності відповідно на 6,5 і 6,0%. (рис. 2.4).

«Ступінь впливу довжини тимчасової ділянки дороги на продуктивність автосамоскида оцінювали за допомогою коефіцієнта впливу

тимчасової дороги ($K_{\text{в.д}}$). Цей коефіцієнт визначали як відношення продуктивності автосамоскида за фактичної довжини тимчасової автодороги на трасі до його продуктивності за умов, коли довжина тимчасової ділянки становить 100 м» [76]. Основними факторами, що визначають величину $K_{\text{в.д}}$, є дальність транспортування та середньозважений ухил траси руху. Найбільш значне коливання $K_{\text{в.д}}$ у функції від дальності перевезення спостерігається на ділянці $l=2,5$ км. За значень $l \geq 2,5$ км графік залежності $K_{\text{в.д}}=f(l)$ набуває тенденції до вирівнювання (рис. 2.5). Зміна ступеня впливу довжини тимчасової частини дороги на продуктивність автосамоскида в залежності від величини середньозваженого ухилу практично постійне на всьому відрізку реально існуючих значень останнього і знижується зі збільшенням довжини траси руху.

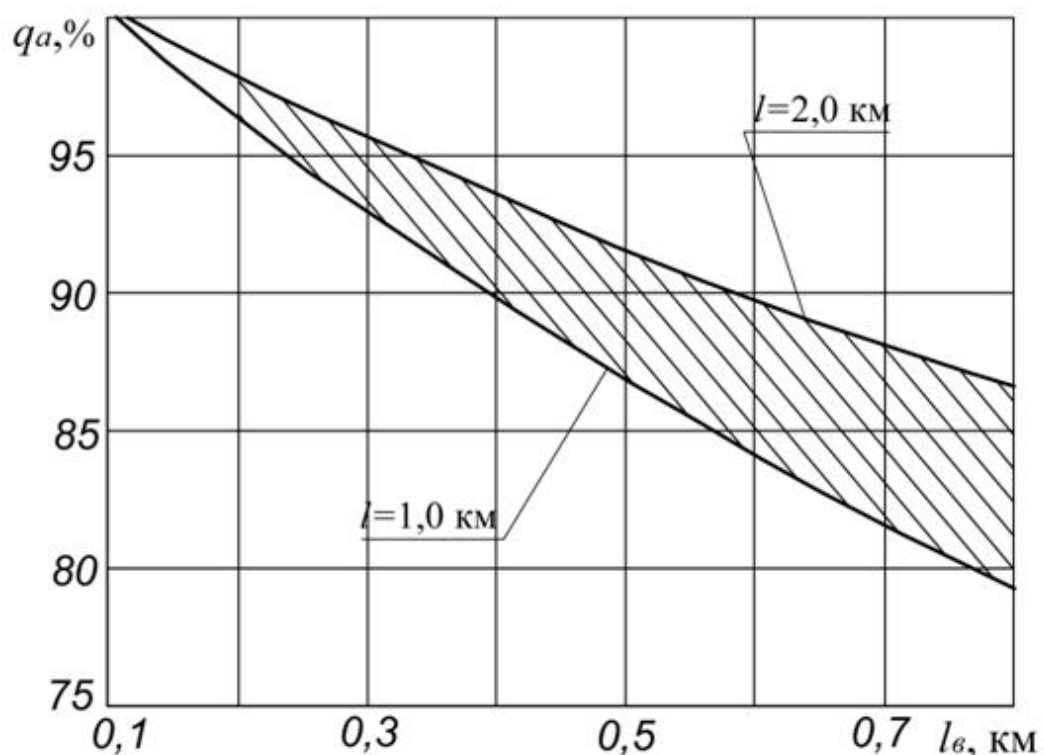


Рис. 2.4. Відносна зміна продуктивності автосамоскидів залежно від довжини тимчасової частини дороги в інтервалі відстаней транспортування (від 1,0 до 2,0 км).

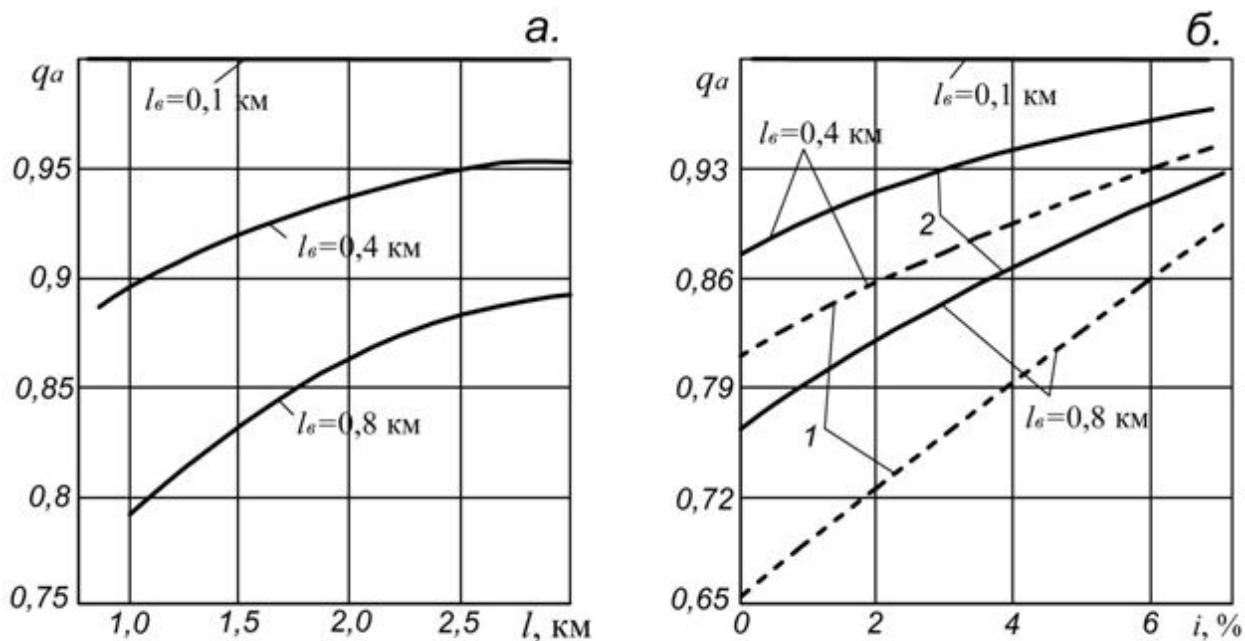


Рис. 2.5. Відносна зміна продуктивності автосамоскидів при відхиленні довжини тимчасової ділянки автодороги від умовно-нормативного значення залежно від: а – відстані транспортування; б - середньозваженого ухилу трасі; 1 і 2 – відстань транспортування 1 км і 2 км.

Отже, протяжність тимчасової ділянки автодороги суттєво впливає на продуктивність автосамоскидів і має обов'язково враховуватися під час планування та нормування автотранспортних робіт у кар'єрі. Цей вплив може бути кількісно охарактеризований «коефіцієнтом впливу тимчасової дороги», значення якого необхідно визначати диференційовано з урахуванням транспортної відстані та середньозваженого ухилу траси.

2.3. Вплив кускуватості гірничої маси на продуктивність автосамоскидів

«Гранулометричний склад гірничої маси у вибої обумовлює час навантаження автосамоскида і, як наслідок, тривалість рейсу. Крім того, він впливає на коефіцієнти розпушення та заповнення кузова, які визначають ступінь використання вантажопідйомності автосамоскида» [93]. У ряді наукових праць [93-98] «досліджено вплив кускуватості гірничої маси на параметри екскаваційного циклу, ефективність використання

навантажувального обладнання та автотранспорту, на трудомісткість операцій у вибої й видалення негабаритів, а також на кількість поломок машин і викликані ними простої». Встановлено [96], що найбільшої інтенсивності навантаження може бути досягнуто за умови:

$$\frac{B_k}{d_{cp}} \leq 11 \quad (2.4)$$

а оптимальною за критерієм мінімуму витрат на підготовку гірничої маси є умова:

$$\frac{B_k}{d_{cp}} \leq 6,5 \quad (2.5)$$

«Показовою рисою цих робіт є подання узагальненої закономірності зміни продуктивності автосамоскидів залежно від крупності фрагментів підірваної гірничої маси» [96].

«Оцінювання впливу кускуватості гірничої маси на роботу автосамоскидів має проводитися з урахуванням таких факторів, як відстань транспортування, середньозважений ухил траси, вантажопідйомність автомобіля та відповідність місткості його кузова об'єму ковша екскаватора. Нестача комплексних досліджень у цьому напрямі спричиняє те, що наявна методика визначення продуктивності кар'єрного автотранспорту лише орієнтовно враховує якість підготовки гірничої маси. У результаті виникають неточності в плануванні та нормуванні роботи автомобільного транспорту і в розрахунку необхідної кількості автосамоскидів для кар'єру. З огляду на це виконано аналітичний аналіз впливу перелічених факторів на варіацію продуктивності самоскидів залежно від кускуватості гірничої маси» [97].

Розрахунок коефіцієнта екскавації (K_e) та тривалості циклу навантаження (t_u) при різній кускуватості гірничої маси проводився за допомогою наведених у роботі [95] закономірностей:

$$K_e = 0.9 - \frac{4}{C^2 + 1}, \quad (2.6)$$

$$t_u = 5,5\sqrt{E_{Г.К}} + 0,1\beta_e + K_C^{25}, \quad (2.7)$$

«Зростання середнього діаметра шматків гірничої маси та частки негабариту призводить до збільшення варіації часу навантаження, а також до додаткових витрат часу на розбирання та сортування вибою й виконання аварійних ремонтів екскаватора. У підсумку це порушує ритмічність вантажно-транспортного процесу та спричиняє збільшення простоїв автосамоскидів у зоні навантаження» [98].

Зниження продуктивності автосамоскидів найбільш істотно при величині $d_{cp} > 0,5 \div 0,6$ м для навантажувально-транспортних комплексів з автосамоскидів БелАЗ-548А та екскаваторів ЕКГ-4,6, ЕКГ-6,3УС и ЕКГ-10 та при $d^{cp} \geq 0,6 \div 0,7$ м й комплексів з автосамоскидів вантажопідйомністю 75-130 т та екскаваторів ЕКГ-12,5 та ЕКГ-20 (рис. 2.6). Причина полягає в тому, що при вказаних інтервалах діаметра середнього шматка зростає кількість негабариту, збільшується час навантажувального циклу та знижуються показники екскавації й ритмічності транспортно-навантажувальних операцій.

При $d_{cp} = 0,5 \div 0,7$ м основним чинником зниження продуктивності є зменшення коефіцієнта екскавації (k_e). Зниження продуктивності відбувається ступінчасто у міру того, як зменшення k_e призводить до збільшення числа циклів навантаження.

Для оцінки ступеня впливу на продуктивність автосамоскидів якості розпушування гірничої маси при різному поєднанні гірничо-технічних умов експлуатації прийнято "коефіцієнт впливу кусковатості", що дорівнює відношенню продуктивності при даній кускуватості гірничої маси до продуктивності при крупності гірничої маси в вибої, що задовольняє умові:

$$\frac{B_k}{d_{cp}} \leq 6 \div 6,5 \quad (2.8)$$

Найбільш помітний вплив кусковатості гірничої маси на продуктивність автосамоскидів спостерігається при навантаженні екскаваторами з невеликою ємністю ковша ($4-6 \text{ м}^3$) й при відносно великому числі циклів екскавації $n_u > 4$. Так, при зміні величини d_{cp} від 0,3 до 0,7 м продуктивність автосамоскидів БелАЗ-548А з навантаженням екскаватором

ЕКГ-4,6 за 5 циклів знизиться на 18%, а з навантаженням екскаватором ЕКГ-10 за 2 цикли - на 10%. Продуктивність автосамоскидів БелАЗ-7519 в комплексі з екскаватором ЕКГ-12,5 за 4 цикли при зміні кускуватості гірничої маси від $d_{cp} = 0,4$ м до $d_{cp} = 0,9$ м знизиться на 16%, а в комплексі з екскаватором ЕКГ-20 за 2 цикли - на 9%.

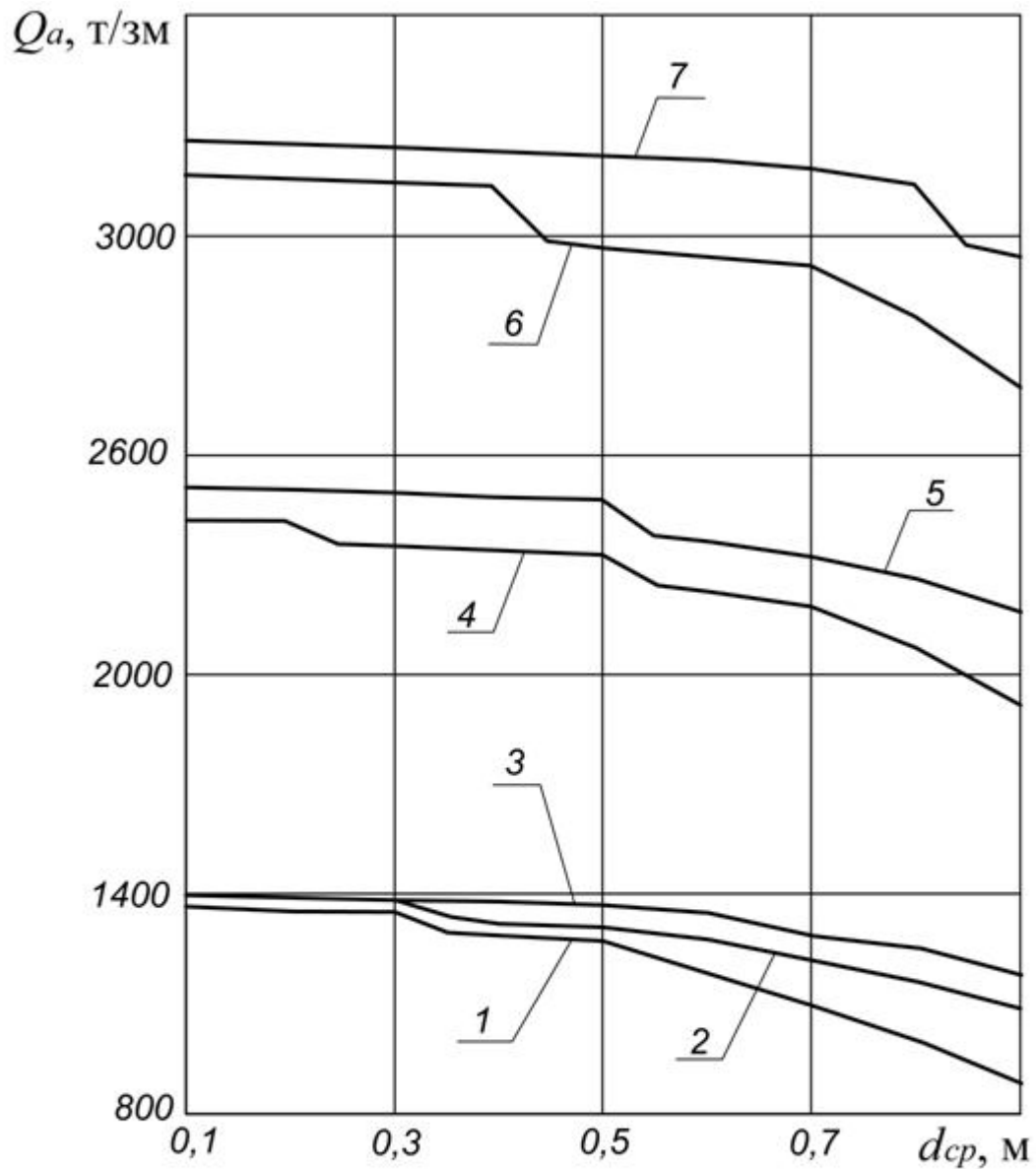


Рис. 2.6. Зміна продуктивності автосамоскидів залежно від діаметра середнього шматка гірничої маси у вибої: 1 – БелАЗ-548 (навантаження екскаватором ЕКГ-4,6); 2 – БелАЗ-548А (ЕКГ-6,3УС); 3 – БелАЗ-548А (ЕКГ-10); 4 – БелАЗ-549 (ЕКГ-10); 5 – БелАЗ-7519 (ЕКГ-12,5); 6 – БелАЗ-131 (ЕКГ-12,5); 7 – БелАЗ-131 (ЕКГ-20).

Аналіз впливу якості подрібнення гірничої маси на продуктивність автосамоскидів залежно від дальності транспортування та середньозваженого ухилу траси показує, що за інших рівних умов найбільш виражений ефект спостерігається на відстанях до 2,0–2,5 км за ухилу траси 3–4%. (рис. 2.7). Чим більше значення діаметра середнього шматка гірничої маси, тим інтенсивніше змінюється "коефіцієнт впливу кусковатості" зі збільшенням довжини та середньозваженого ухилу траси. При довжині траси більше 2,5–3,0 км і середньозваженому ухилі до 3% "коефіцієнт впливу кусковатості" можна з достатньою для практичних цілей точністю вважати постійним.

З огляду на вищенаведене, під час визначення продуктивності автосамоскидів слід урахувувати якість підготовки гірничої маси до виймання через застосування «коефіцієнтів впливу кусковатості», диференційованих залежно від дальності транспортування, середньозваженого ухилу траси та співвідношення місткостей кузова автосамоскида і ковша екскаватора.

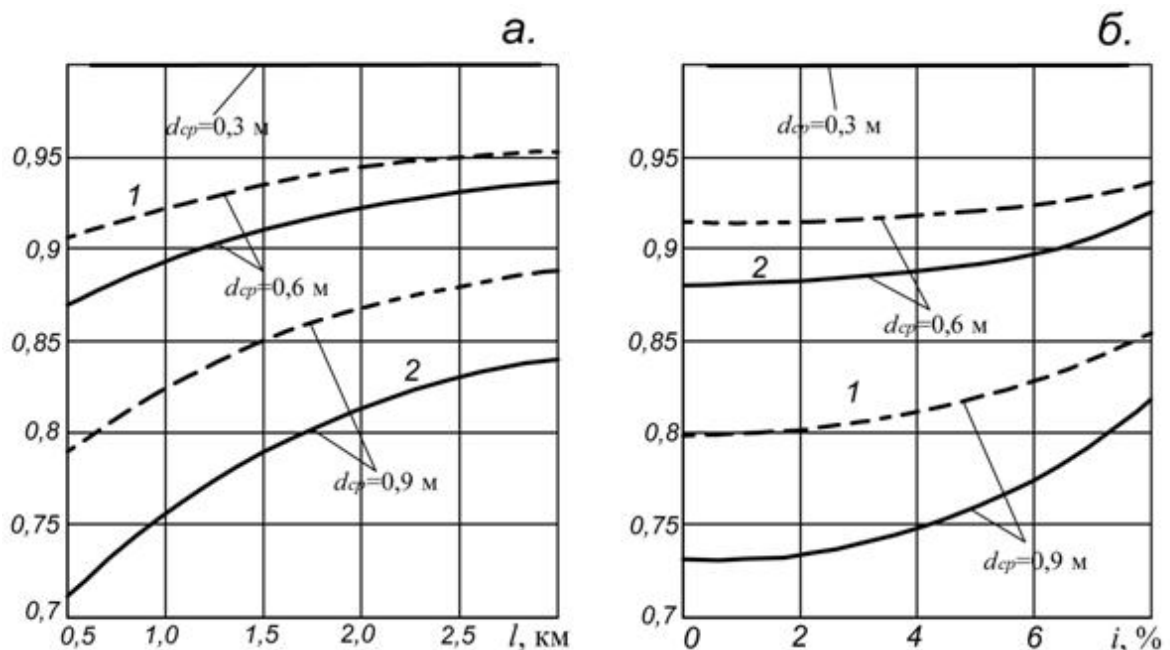


Рис. 2.7. Відносна зміна продуктивності автосамоскида при відхиленні кусковатості гірничої маси від умовно-нормативного значення залежно від: а – відстані транспортування; б – середньозваженого ухилу траси: 1 та 2 – число циклів навантаження 3 та 5.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ.

Огляд літератури демонструє різноплановість підходів до оцінки та підвищення ефективності кар'єрного автотранспорту: від аналізу організаційних чинників та технічного стану до енергетичних моделей і цифрових систем управління. Це підтверджує комплексний характер проблеми й потребу у поєднанні національного та міжнародного досвіду для формування сучасних методик оптимізації транспортування гірничої маси.

Комплексний аналіз існуючих методів підвищення ефективності кар'єрного автосамоскида виявив недостатню вивченість низки проблем, які потребують оптимізації та вдосконалення системи автомобільного транспорту.

Було встановлено:

1. Мінливість гірничо-технічних умов експлуатації обумовлює значні відхилення фактичної продуктивності автосамоскидів від нормативної, які можуть бути оцінені відповідними коригувальними коефіцієнтами.

2. Найчастіше в широких межах змінюються кускуватість гірничої маси в вибої та довжина тимчасової частини автодороги трасами руху.

Зміна діаметра середнього шматка гірничої маси від 0,3 до 0,9 м викликає відповідну зміну продуктивності на 10-40%, а зміна довжини тимчасової частини автодороги від 0,1 до 0,8 км - на 8-43%. Величина коефіцієнтів, що враховують відхилення продуктивності автосамоскидів при різних значеннях зазначених показників, залежить від відстані транспортування, середньозваженого ухилу траси та числа циклів навантаження.

3. Встановлено, що при $l < 2,0$ км, $H < 130$ м, $n_y = 3 \div 4$ і при достатній забезпеченості автотранспортом може бути економічно доцільним недовантаження дробової частини ковша, якщо величина її не більше 0,5 і коефіцієнт використання вантажопідйомності не менше 0,9.

4. Встановлені закономірності є основою для розробки коригувальних коефіцієнтів, що враховують відхилення продуктивності автосамоскидів від нормативної при зміні умов експлуатації.

На основі висновків можна сформулювати наступні рекомендації відносно подальшого розвитку питання підвищення ефективності процесу транспортування гірничої маси на кар'єрах:

1. Обґрунтувати функціональний критерій та номенклатури показників якості експлуатації кар'єрних автосамоскидів, які враховують специфіку їх роботи як гірничих транспортних машин.

2. Розробити методику науково-обґрунтованого прогнозування та планування основних техніко-експлуатаційних показників роботи кар'єрних автосамоскидів.

Бібліографія.

1. Васильев М. В. Транспортные процессы та оборудование на кар'єрах. – Недра, 1986. – 240 с.
2. Мельников Н.В., Реентович Э.И., Симкин Б.А. Теория и практика открытых разработок. - 2-е изд., перераб. и доп. - Недра, 1979.-616 с.
3. Кулешов А.А., Тымовский Л.Г. Эксплуатация транспорта в условиях Севера. - Недра, 1973. - 246 с.
4. Ржевский В.В. Научные основы проектирования карьеров. - Недра, 1977. - 598 с.
5. Спиваковский А.О., Потапов М.Г. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок. - Недра, 1983. - 383 с
6. Темченко О.А. Обґрунтування доцільності застосування комбінованих транспортних технологій на залізрудних кар'єрах. *Вісник Національного гірничого університету*. 2021. №3. С. 45–53. URL: <https://tech.vernadskyjournals.in.ua>
7. Ковалевич Л.А. Організаційно-технологічні основи ефективної експлуатації автосамоскидів у гірничих кар'єрах. *Дис. ... канд. техн. наук*. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. 210 с. URL: <https://ztu.edu.ua>
8. Пахомов В.І. Обґрунтування раціональної організації експлуатації кар'єрних автосамоскидів. *Науковий вісник Київського національного університету будівництва і архітектури*. 2024. №2. С. 112–121. URL: <https://journal-knu.com.ua>
9. Фролов О.О., Литвинчук І.Д., Остапчук А.О. Оптимізація роботи екскаваторно-автомобільного комплексу при відробці флювіогляціальних відкладів розкриву на кар'єрі Соснівського родовища гранітів. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Технічні науки*. 2023. №1(91). С. 366-376.
10. Темченко О.А., Разумова К.М., Шевчук Н.А. Обґрунтування доцільності застосування комбінованих транспортних технологій для

забезпечення ефективної розробки залізрудних родовищ. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Том 32(71). №5. С. 43–50.

11. Teng S., Li X., Li Y., Xu Z., Ai Y., Chen L. Scenario Engineering for Autonomous Transportation: A New Stage in Open-Pit Mines. *arXiv*, 2024.

12. Ren X., Guo H., Kai S., Mao G. Real-time Path Planning of Driverless Mining Trains with Time-dependent Physical Constraints. *arXiv*, 2022.

13. Пахомов В.І., Гірін І.В., Тищенко В.Ю., Жалдаченко О.А. Обґрунтування раціональної організації експлуатації кар'єрних автосамоскидів. *Вісник Криворізького національного університету*. 2021. Вип. 52. С. 52–58. DOI: 10.31721/2306-5451-2021-1-52-58-64.

14. Пахомов В.І., Гірін І.В., Прістинський М.Г. Визначення раціональних параметрів автосамоскидів в умовах кар'єрів. *Вісник Криворізького технічного університету*. 2018. Вип. 47. С. 16–21. DOI: 10.31721/2306-5435-2018-1-47-16-21.

15. Монастирський Ю.А., Максименко І.С. Дослідження закономірностей зміни витрат палива кар'єрними автосамоскидами та дизель-тролейвозами на залізрудних кар'єрах. *Гірничий вісник*. 2024. Вип. 112. С. 29–33. DOI: 10.31721/2306-5435-2024-1-112-29-33.

16. Біленко П.В. Тенденції розвитку кар'єрного транспорту в умовах глибоких розробок. *Гірничий журнал*. 2022. Вип. 20. № 1. С. 102–107. DOI: 10.31721/2306-5435-2022-1-110-102-107.

17. Середа Б.П., Муковська Д.Я. Підвищення ефективності роботи кар'єрних автосамоскидів шляхом удосконалення системи «двигун-трансмсія». *Наукові праці*. 2019. Вип. 11. С. 45–50.

18. Холман П. Тенденции повышения эффективности производства в горнодобывающей промышленности. *Горный журнал*. 1995. №12. С. 3-5.

19. Другливер Роберт Ф., Мончини Курт Р. Карьерное оборудование фирмы "Катерпиллар". *Горный журнал*. 1994. 4. С. 5-9.

20. Другливер Роберт Ф. Методы сокращения времени погрузки самосвалов. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 26-30.
21. Ингл Джон Х. Пути увеличения срока службы шин в процессе их эксплуатации. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 23-26.
22. Майминд В.Я. Расчет себестоимости перемещения горной массы при изменении условий транспортирования. *Горный журнал*. 1986. №5. С. 12-14.
23. Миллер Ричард С. Выбор вида привода большегрузных карьерных самосвалов. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 17-20.
24. Монрой Дэвид. Проектирование системы «автосамосвал – дорога». *Горный журнал*. 1994. №4. С. 20-21.
25. О'Нейл Кларк Ф. Самосвал CAT 785. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 9-17.
26. Смит Джордж. Использование автогрейдеров для повышения производительности карьерных самосвалов. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 22-23.
27. Холманн Пит Ж., Спрауле Марк В. Эффективные способы погрузки автосамосвалов с помощью колесных погрузчиков. *Горный журнал*. 1994. №4. С. 30-32.
28. Корецкий В.Б. Оценка и повышение ремонтной технологичности большегрузных карьерных автосамосвалов на угольных разрезах Севера. *Автореф. дисс.... канд. техн. наук*. Нерюнгри : ТИ (Ф) ЯГУ, 2001. 29 с.
29. Костиков В.С. Исследование основных параметров электросамосвалов для стройиндустрии (применительно к условиям карьеров камнедробительных заводов). *Автореф. дисс. ... канд. техн. наук*. Киев: Киевский инженерно-строительный институт, 1968. 27 с.
30. Прасол Н.С. Исследование и оптимизация погрузочно-транспортных систем циклического действия с целью эффективного их использования на открытых разработках. *Автореф. дисс. ... канд. техн. наук*. Караганда: КарПИ, 1971. 23 с.

31. Гавриленко В.М., Ковальчук В.В., Григор'єв В.О. Техніко-економічне обґрунтування вибору автосамоскидів для відкритих гірничих робіт. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2018. №2. С. 45–53.
32. Петренко О.О., Сидоренко І.В., Шевченко О.М. Економічна ефективність використання автосамоскидів у системах транспортування на гірничих підприємствах. *Гірничий журнал*. 2019. №3, С. 112–118.
33. Zhang, L., Wang, Y., & Li, J. Economic analysis of truck fleets for open-pit mining operations. *Journal of Mining Science*. 2020. 56(4). С. 543–550.
34. Smith, R., & Johnson, P. Cost-benefit analysis of autonomous haul trucks in surface mining. *Mining Technology*. 2021. 130(2). 89–95.
35. Nguyen, T., & Tran, H. Optimization of haul truck fleet for open-pit mining operations. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2022. 32(1). 115–120.
36. Монастирський Ю.А. Assessing the performance efficiency of haul trucks in open-pit mining operations. *Mining Engineering Review*. 2025. №1. С. 57–64. URL: <https://mining.in.ua>
37. Бондаренко С.П., Іванченко М.В., Кравченко Т.А. Порівняльна оцінка ефективності експлуатації автосамоскидів у гірничодобувних підприємствах України. *Економіка та управління підприємствами*. 2022. №4. С. 90–98. URL: <https://ej.kherson.ua>
38. Bodziony P., Czuba W., Sobota P., Lutyński A. The Influence of the Mining Operation Environment on the Energy Consumption and Durability of Mining Transport Vehicles. *Energies*. 2024. Vol. 17, No.8. P. 2154. DOI: <https://doi.org/10.3390/en17082154>
39. Energy and exergy assessment of heavy-duty mining trucks. *Journal of Cleaner Production*. 2024. Vol.437. P.140917. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140917>

40. Curi A., da Silva R., Ribeiro D., Barros J. Evaluation of Haul Trucks Performance in a CSN Mine. In. *Advances in Sustainable Mining Practices*. Springer, 2014. P. 75–89. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-02678-7_6
41. Yildirim M. Haul truck speed analysis and effect on productivity in surface mining operations. *University of Arizona*. 2021. 145 p. URL: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/664512>
42. Nikbin R., Yarahmadi R., Khodayari A. Enhancing sustainability in mining by reducing hauling energy consumption: A review of alternative technologies. *Sustainability*. 2025. Vol. 17, No. 4. P. 2215. DOI: <https://doi.org/10.3390/su17042215>
43. Mesa J.A., Tang Q., Huang X., López A. Digital fleet management and energy optimization in open-pit mines: A review of recent advances. *Resources Policy*. 2024. Vol. 87. P. 104002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2024.104002>
44. Солод Г.И., Шахова К.И., Русихин В.И. Повышение долговечности горных машин. Машиностроение, 1979. 184 с.
45. Федоров М.В. О комплексной оценке качества промышленных изделий. *Техническая эстетика*. 1966. №3. С. 56-58.
46. Целиков А.Т. Аттестация продукции и рентабельность. *Стандарты и качество*. 1969. №10. С. 24-28.
47. Азгальдов Г.Г. Райхман Э.П. Экспертные методы в оценке качества товаров. Экономика, 1974. 151 с.
48. Бурдаков В.Д. Квалиметрия транспортных средств. Методика оценки эффективности использования. Изд-во стандартов, 1990. 160 с.
49. Гришпун З.С. Данияров А.Н. Обоснование весовых коэффициентов при комплексной технико-экономической оценке транспортных машин. *Известия вузов. Горный журнал*. 1981. №2. С. 55-58.
50. Данияров А.Н. Определение коэффициентов весомости при количественной технико-экономической оценке машин и оборудования. *Известия вузов. Горный журнал*. 1992. №12. С. 82-83.

51. Данияров А.Н. Хайрулин Т.Х. Сравнительная оценка коэффициентов весомости, используемых при технико-экономических расчетах. *Известия вузов. Горный журнал*. 1982. №6. С. 74-77.
52. Азгальдов Г.Г. Райхман Э.П. О квалиметрии. Изд-во стандартов, 1972. 172 с.
53. Крапивинский З.Н. Оценка качества продукции. Изд-во стандартов, 1968. 123 с.
54. Роосе Э.О комплексной оценке качества. *Техническая эстетика*. 1968. №7. С. 12-15.
55. Томашевский А. Попытка количественной оценки критериев качеств измерительных приборов. *Pomary, automatyko, kontrolia*. 1966. №12. С. 8-9.
56. Harrington E.C.Jr. The desirability Function. *Industr. Quality Control*. 1965. P. 26-27.
57. Семенов Г.М. Определение научно-технического уровня технических объектов. *Горный журнал*. 1989. №9. С. 18-20.
58. Шейнбаум В.С. Применение метода функции полезности для оценки технического уровня бурового оборудования на стадии проектирования. *Известия вузов. Нефть и газ*. 1989. №1. С. 85-91.
59. Пахомов В.І., Гірін І.В., Тищенко В.Ю., Жалдаченко О.А. Обґрунтування раціональної організації експлуатації кар'єрних автосамоскидів. *Вісник Криворізького національного університету*. 2021. С. 52–58.
60. Кривда В.В. Обґрунтування раціональних параметрів систем розробки глибоких залізрудних кар'єрів при застосуванні автосамоскидів удосконаленої конструкції. *Дис. ... канд. техн. наук: 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин*. Дніпропетровськ, 2015. 210 с.
61. Головіна О.В. Підвищення ефективності перевезень кар'єрних автосамоскидів. *Транспорт (частина 2)*. 2021. С. 125-129.

62. Vukovic V. Reducing Haul Truck Fuel Consumption in Open Pit Mines by Strategic Changes to the Haulage Cycle. *Kingston: Queen's University*. 2013. P. 72. URL: <https://qspace.library.queensu.ca/items/d737a3ad-d516-4877-87d2-f21bcd7c4664>.
63. Yildirim M. Haul truck speed analysis and effect on productivity in surface mining operations. *Tucson : University of Arizona*. 2021. P. 145. URL: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/660252>.
64. Yildirim M. Optimization of the Haulage Cycle Model for Open Pit Mining. *Tucson : University of Arizona*, 2020. P. 102. URL: <https://repository.arizona.edu/handle/10150/321594>.
65. Çetin N. Open Pit Truck/Shovel Haulage System Simulation. *Дисертація (Ph.D.)*. Ankara : Middle East Technical University, 2004. P. 198. URL: <https://etd.lib.metu.edu.tr/upload/12605499/index.pdf>.
66. Bozorgebrahimi E. The evaluation of haulage truck size effects on open pit mining. *Vancouver : University of British Columbia*. 2004. P. 154. URL: <https://open.library.ubc.ca/collections/ubctheses/831/items/1.0081125>.
67. Tadubana G.K. Prediction of fuel consumption of haulage trucks in open pit mines : дослідницький звіт / теза. Palapye : Botswana International University of Science & Technology (BIUST), 2021. URL: <https://repository.biust.ac.bw/handle/123456789/512>.
68. Bush T. A. Strategies for automating open pit mine haulage planning : докторська дисертація. Rolla : Missouri University of Science & Technology, 2003. 236 с. URL: https://scholarsmine.mst.edu/doctoral_dissertations/1467/.
69. Ковалевич Л.А. Організаційно-технологічні основи ефективної експлуатації автосамоскидів у гірничих кар'єрах : дис. ... канд. техн. наук. Житомир : Державний університет «Житомирська політехніка», 2023. 210 с. URL: <https://ztu.edu.ua>.
70. Pakhomov V., Hirin I., Malka V. Research and Effectiveness of Energy-Saving Technologies in Mining Vehicles. *Journal of Kryvyi Rih National University*, 2022.

71. Монастирський Ю.А., Максименко І.С. Дослідження закономірностей зміни витрат палива кар'єрними автосамоскидами та дизель-тролейвозами на залізорудних кар'єрах. *Гірничий вісник*, 2024. С. 29–33.
72. Slobodyanyuk R., Pyzhyk M. Round-Trip Haulage as a Means of Increasing Open Pit Mining Efficiency. *Journal of Mining and Geological Sciences*. Vol. 60. Part II. 2017.
73. Choi et al. Optimization of haulage-truck system performance for ore transportation in open-pit mining. *Energy Policy / Energy Resources journal*. 2022.
74. Анісімов О.О. Фактори, що впливають на продуктивність екскаваторно-автомобільних комплексів. *ResearchGate / Матеріали конференції*. 2018.
75. Артманов П.В. Оценка долговечности несущих металлоконструкций карьерных автосамосвалов с использованием системы спутникового мониторинга GPS. *Диссертация кандидата технических наук*. 2010. 124 с.
76. A. Hasiri et al. Exploring the Role of Autonomous Trucks in Addressing Transportation Challenges. *Systems* (MDPI). 2024.
77. H. Mesa et al. Assessing technological trends in mining fleet energy management. *ScienceDirect article / Energy/Resources review*. 2025.
78. Slobodyanyuk V. K., Slobodyanyuk R.V. The Use of Slope Hoisting Plants to Create the Conditions for Circular Traffic of Dump Trucks. *Кривий Ріг*, 2024. Р. 65.
79. Голоскоков Е.Г., Баркалов В.И., Омшанский В.П. Колебания подвески автомобиля при ударном нагружении его сыпучей средой. *Автомобильная промышленность*. 1971. № 11. С. 28-29.
80. Гольд Б.В., Оболенский Е.П. Прочность и долговечность автомобилей. *Машиностроение*, 1974. 345 с.

81. R. Nikbin et al. Enhancing sustainability in mining by reducing hauling energy consumption through optimization of distance and slope with semi-mobile in-pit crushers and conveyors (SMIPCC). *ResearchGate / PMC summary*, 2025. 120 p.

82. Дьяков И.Ф. Влияние микропрофиля дорог на повреждаемость конструкций. *Автомобильная промышленность*. 1980. № 6. С. 18-19.

83. Пархиловский И.Г. Спектральные плотности распределения неровности микропрофиля дорог и колебания автомобиля. *Автомобильная промышленность*. 1967. № 10. С. 35-40.

84. Певзнер Я.М., Тихонов А.А. Исследование статистических свойств микропрофиля основных типов автомобильных дорог. *Автомобильная промышленность*. 1964, №1.

85. Астров В.А., Ковицкий В.И., Кутеиев В.Ф. Качество дорожного полотна и эксплуатационные свойства АТС. *Автомобильная промышленность*. 1985. №10. С. 16-17.

86. Афанасьев В.Л., Хачатуров А.А. Статистические характеристики микропрофиля автомобильных дорог и колебания автомобиля. *Автомобильная промышленность*. 1966. № 12. С. 23-27.

87. Островцев А.Н., Трофимов О.Ф., Красиков В.С. Принципы классификации микропрофиля дорог с учетом повреждающего воздействия их на конструкции автомобиля. *Автомобильная промышленность*. 1979. № 1. С. 8-10.

88. Шевченко А.И., Дмитриченко С.С. Особенности учета неровности пути при оценке нагруженности несущих систем автомобилей и других машин. *Автомобильная промышленность*. 1968. № 5. С. 27-28.

89. Красноштанов Р.Ф. Технологический транспорт на карьерах. *Горный журнал*. 1994. № 9. С. 30-33.

90. Razumova K.M., Temchenko O.A., Maksymov S.V., Maksymova O.S. *Research of Duration Influence of Loading and Unloading Operations on the*

Use Efficiency of Technological Motor Transport on Open Pit Iron Mines. Science and Transport Progress. 2021.

91. Zbigniew Krysa, Michał Patyk, Przemysław Bodziony. Operational Environment Effects on Energy Consumption and Reliability in Mine Truck Haulage. *Energies*. 2025.

92. Vukovic V. *Reducing Haul Truck Fuel Consumption in Open Pit Mines by Strategic Changes to the Haulage Cycle* : Мастерська теза / Case Study. Queen's University, 2013. URL: <https://qspace.library.queensu.ca/items/d737a3ad-d516-4877-87d2-f21bcd7c4664>.

93. Кривда В.В., Косінцева П.Ю. Вплив крупності гірничої маси на ефективність роботи автосамоскидів у відкритих гірничих роботах. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2016. Вип. 1. С. 45–50.

94. Павленко В.І., Герасименко О.В. Аналіз впливу крупності гірничої маси на техніко-економічні показники роботи автосамоскидів. *Науковий вісник НГУ*. 2017. Т. 38. № 1. С. 65–70.

95. Шевченко О.С., Коваленко І.М. Моделювання впливу крупності гірничої маси на ефективність роботи автосамоскидів. *Гірничий журнал*. 2018. № 2. С. 112–118.

96. Литвиненко В.В., Мельник І.В. Визначення оптимальних параметрів роботи автосамоскидів з урахуванням крупності гірничої маси. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2019. № 2. С. 98–104.

97. Ващків О.В. Основні фонди вантажного автомобільного транспорту: проблеми ефективного використання. *Наукові праці*. 2015. Т. 31, № 3. С. 45–50.

98. Ващків О.В. Вплив техніко-економічних показників на ефективність роботи автосамоскидів у кар'єрах. Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету. 2016. Вип. 1. С. 55–60.