ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: **«Розробка ресурсозберігаючих технологій для використання на великовантажних кар'єрних автосамоскидах»**
за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт»

Виконав
студент гр. АТ-23-1м О.С. Гайдамака

Науковий керівник
к.т.н., доцент каф. АТ О.Д. Почужевський

Допущений до захисту: "___"____2024 р.

зав. каф. АТ
професор Ю.А. Монастирський

Кривий Ріг
2024 р.

ABBYY PDF Transformer 3.0
Click here to buy
www.ABBYY.com

ЗАВДАННЯ

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Реферат

Тема: «Дослідження та оптимізація експлуатаційних параметрів кар'єрних автосамоскидів у гірничотехнічних умовах з метою ресурсозбереження»

Магістерська робота присвячена аналізу експлуатаційних умов кар'єрних автосамоскидів, вивченню їхньої взаємодії з гірничотехнічними факторами та розробці ресурсозберігаючих технологій. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю підвищення ефективності транспортування гірничої маси, оптимізації роботи техніки та зменшення енерговитрат у складних умовах глибоких кар'єрів.

У роботі досліджено вплив технічних характеристик силових установок та умов експлуатації на ефективність роботи кар'єрних самоскидів. Розглянуто сучасні підходи до ресурсозбереження та запропоновано нові моделі, що враховують специфіку гірничих умов. Основні результати представлені у вигляді рекомендацій щодо адаптації технічних параметрів дизельних двигунів до умов експлуатації.

Об'єкт дослідження: процес транспортування гірничої маси кар'єрними автосамоскидами.

Предмет дослідження: взаємозв'язок між технічними характеристиками транспорту та умовами експлуатації.

Основні завдання роботи: 1. Аналіз технічних параметрів силових установок і технологічних процесів транспортування. 2. Дослідження впливу експлуатаційних факторів (кут нахилу траси, висота підйому) на продуктивність техніки. 3. Розробка імітаційних моделей для оцінки роботи автосамоскидів у різних умовах. 4. Обґрунтування критеріїв ефективності використання пального. 5. Удосконалення методики вибору параметрів силових установок.

Наукова новизна: розроблено критерій ефективності використання пального, що дозволяє оптимізувати параметри роботи кар'єрних самоскидів. Запропоновано математичні моделі для оцінки експлуатаційних умов та обґрунтовано технічні характеристики двигунів для різних умов роботи.

Практична цінність: запропоновані рекомендації спрямовані на підвищення продуктивності автосамоскидів, зменшення витрат пального та адаптацію техніки до складних гірничотехнічних умов. Результати роботи можуть бути використані гірничодобувними підприємствами для покращення транспортних процесів.

Апробація результатів: основні положення дослідження представлені на міжнародних і всеукраїнських науково-технічних конференціях, зокрема у рамках заходів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України та Криворізького національного університету.

Обсяг роботи: магістерська робота складається зі вступу, п'яти розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг – 92 сторінки.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ЗМІСТ

ВСТУП 5
1. АНАЛІЗ 8
1.1. Аналіз гірничотехнічних умов експлуатації техніки 8
1.2. Дослідження використання силових установок кар'єрними автосамоскидами 13
1.3 Аналіз існуючих досліджень по ресурсозбереженню 19
Висновки до розділу 1 20
2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ 22
2.1 Взаємозв'язок умов експлуатації на функціонування великовантажних кар'єрних автосамоскидів 22
2.2. Дослідження ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів 24
Висновки розділу 2 36
РОЗДІЛ 3: АНАЛІЗ РОБОТИ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ В РІЗНИХ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВАХ 38
3.1. Формування математичної моделі ймовірнісно-статистичного аналізу 38
3.3 Формування моделі транспортування гірничої маси використовуючи метод імітації 43
Висновки розділу 3 66
РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ 67
4.1 Розробка математичної моделі показників ефективності 67
4.2 Матмодель формування технічних характеристик ДВЗ 74
Висновки до 4 розділу 81
5. ОХОРОНА ПРАВЦІ 82
5.2. Особливості організації охорони праці на підприємстві, що займається гірничо-транспортними роботами 84
5.3. Правила безпечної поведінки в надзвичайних ситуаціях 86
Висновки розділу 5 89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 90
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 92

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ВСТУП

Актуальність теми. Сьогодні У найближчій перспективі видобуток корисних копалин відкритим способом залишається ключовим напрямом розвитку гірничих робіт в Україні та країнах СНД. Цей підхід активно застосовується як для розробки відкритих родовищ, так і у випадках використання комбінованих методів видобутку. При цьому успішність і ефективність видобувних робіт значною мірою залежать від рівня організації технологічних процесів, зокрема, процесу транспортування гірської маси. На підприємствах гірничодобувної галузі, які використовують відкритий метод видобутку, особливе значення має кар'єрний автотранспорт. Саме він визначає не лише умови праці, а й загальні техніко-економічні показники роботи таких підприємств.

За останні десятиліття експлуатаційні умови кар'єрних самоскидів зазнали суттєвих змін. Поглиблення кар'єрів, деякі з яких досягають глибин 500-650 метрів, спричинило значне збільшення відстаней транспортування. В окремих випадках ці відстані складають 4-6 км у комбінованих схемах транспортування та досягають 10-12 км у монотранспортних системах. Незважаючи на суттєві відмінності у гіротехнічних умовах на різних підприємствах, досить часто для транспортування застосовуються самоскиди з однаковими технічними характеристиками. Це, своєю чергою, впливає на рівень їхньої ефективності в конкретних умовах експлуатації.

Автотранспорт залишається основним видом транспорту в гірничих роботах, застосовуючись як самостійно, так і в поєднанні з іншими видами транспорту, такими як залізничний чи конвеєрний. Аналіз впливу гіротехнічних умов на роботу силових установок автосамоскидів має важливе значення, адже це дозволяє підвищити ефективність роботи техніки, знизити витрати пального та забезпечити безпеку експлуатації на маршрутах із великими ухилами.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Пріоритетним напрямом стає розробка та впровадження ресурсозберігаючих технологій для використання на великовантажних кар’єрних самоскидах. Це пов’язано з тим, що існуючі моделі дизельних двигунів не завжди відповідають вимогам різних гіротехнічних умов.

Використання пневмоколісного транспорту, який не потребує рейкового покриття, зумовлено специфічними просторовими обмеженнями кар’єрів. У великих кар’єрах автомобільний транспорт часто виконує роль частини комбінованих транспортних систем. Хоча технологічний автомобільний транспорт має численні переваги, він також характеризується високими енерговитратами. З огляду на це, вдосконалення технічних характеристик автосамоскидів, спрямоване на адаптацію до конкретних умов кар’єрів та оптимізацію процесу транспортування гірської маси, є одним із ключових наукових завдань для гірничодобувних підприємств.

Об'єктом цього дослідження є процес транспортування гірської маси кар'єрними самоскидами. **Предметом** – взаємозв'язок між технічними характеристиками процесу перевезення гірської маси та параметрами силових установок кар'єрних самоскидів. Основна мета дослідження полягає у визначенні критеріїв ефективної експлуатації самоскидів з різними технічними параметрами силових установок у глибоких кар'єрах. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання:**

1. Провести аналіз впливу технічних характеристик силових установок та технологічних параметрів транспортного процесу на ефективність експлуатації кар'єрних самоскидів.
2. Дослідити вплив умов експлуатації (висота підйому, кут нахилу траси) на параметри транспортного циклу самоскидів за допомогою імітаційного моделювання.
3. Класифікувати умови роботи кар'єрних самоскидів з урахуванням нахилу траси.
4. Обґрунтувати оптимальні технічні параметри силових установок для різних умов використання автосамоскидів.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

5. Удосконалити методику вибору технічних характеристик сил вих установок для транспортування гірської маси з урахуванням критерію ефективності використання пального.

Методи дослідження включають аналіз науково-технічної літератури, імітаційне моделювання робочих режимів силових установок, аналіз експериментальних даних та результатів моделювання, а також статистичний аналіз.

Наукова новизна полягає у визначенні зв'язку між параметрами процесу перевезення гірської маси та характеристиками силових установок кар'єрних самоскидів. Запропоновано критерій ефективності використання енергії пального для оптимізації технічних параметрів силових установок. Обґрунтовано оптимальні умови експлуатації самоскидів з різними технічними характеристиками за критерієм ефективності використання пального.

Практична цінність роботи полягає у вдосконаленні методики вибору технічних параметрів силових установок кар'єрних самоскидів для різних умов роботи, а також в обґрунтуванні оптимальних умов експлуатації установок з різними технічними характеристиками.

Апробація. Матеріали досліджень пройшли апробацію:

- XXII Міжнародна конференції Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України «Розробка ресурсозберігаючих технологій для використання на великовантажних кар’єрних автосамоскидах»;

- Всеукраїнська науково-технічна конференція Криворізький національний університет, 24 жовтня 2024р., м. Кривий Ріг «Огляд інноваційних методів ресурсозбереження для великовантажних кар’єрних автосамоскидів».

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

1. АНАЛІЗ

1.1. Аналіз гірничотехнічних умов експлуатації техніки

Сучасний етап розвитку видобутку корисних копалин характеризується стійкою тенденцією до збільшення глибини розробки родовищ і масштабів гірничих робіт. Зростають геометричні параметри кар'єрів, удосконалюються технології, спрямовані на підвищення ефективності, а також спостерігається посилена інтенсифікація гірничих процесів. Одночасно з цим транспортні системи в кар’єрах стають дедалі складнішими, що вимагає нових технічних рішень для забезпечення стабільної роботи.

Серйозним недоліком відкритого способу видобутку корисних копалин є високі витрати на транспортування. На транспортування припадає від 62% до 73% від загальної собівартості видобутку, що робить цей процес одним із найзатратніших у гірничій промисловості. При цьому автомобільний транспорт залишається основним засобом перевезення в кар’єрах, забезпечуючи переміщення гірської маси на всіх етапах виробничого процесу.

На різних етапах освоєння кар’єрів автосамоскиди застосовуються як окремий і незалежний вид транспорту, так і в комбінації з іншими транспортними засобами. Із зростанням обсягів видобутку та збільшенням глибини розробки родовищ автомобільний транспорт все частіше використовується у поєднанні з залізничними або конвеєрними системами, що дозволяє оптимізувати перевезення та знизити витрати. У таких схемах автомобільний транспорт виконує роль проміжного ланцюга, сполучаючи різні етапи транспортної системи.

Одним із ключових факторів, які обмежують ефективне використання кар’єрних самоскидів, є протяжність маршрутів транспортування і кут нахилу доріг. Ці характеристики безпосередньо впливають на продуктивність транспорту, споживання пального та загальну економічну ефективність робіт.

Для оцінки складності транспортних умов автосамоскидів використовується такий показник, як середній нахил дороги. Цей параметр враховує всі

елементи транспортної траси, включаючи горизонтальні відрізки, плавні під-
йоми та ділянки з крутим нахилом. Середній нахил є важливим критерієм для проектування транспортних систем, оскільки дозволяє врахувати реальні умови експлуатації та сприяє оптимізації роботи автотранспорту.

$$i_{\text{ср.в}} = \frac{H_{\text{п}}}{L} \cdot 100, \%$$

де Нп – відображає висоту підйому вантажу (гірничої маси), м;

L – відстань транспортування вантажу, м.

Середній кут нахилу доріг є важливим показником, що визначає складність як окремих ділянок, так і загального маршруту транспортування в межах кар'єру. Цей параметр впливає на експлуатаційні умови транспорту та ефективність перевезень.

З одного боку, уповільнення підготовчих робіт для видобутку запасів і зростання частки безпосередніх видобувних операцій змушують гірничі підприємства зменшувати масштаби розробки родовищ. З іншого боку, завдяки постійному вдосконаленню технологій і техніки видобутку проектні параметри кар'єрів переглядаються у бік збільшення. Це передбачає зростання глибини розробки, збільшення крутизни транспортних доріг та модернізацію всієї транспортної системи кар'єрів, щоб забезпечити їх відповідність сучасним вимогам.

Із поглибленням кар'єрів і зменшенням їх геометричних параметрів умови експлуатації стають дедалі складнішими. Транспортні засоби, зокрема автосамоскиди, потребують адаптації до цих умов, набуваючи спеціальних конструктивних та експлуатаційних характеристик. Це дозволяє їм забезпечувати ефективне транспортування на значних глибинах і в умовах підвищеної складності транспортної інфраструктури.

Практичний досвід відкритого видобутку корисних копалин, зокрема діамантів, демонструє тенденцію до перегляду проектних параметрів кар'єрів із метою збільшення їх максимальної глибини. Більшість таких кар’єрів було модернізовано, і їхні проектні глибини суттєво зросли порівняно з початковими значеннями. На сьогодні для кімберлітових родовищ проектні глибини

кар’єрів досягають від 301 до 602 метрів (рис. 1.1), що перевищує початкові показники у 1,4-2,1 рази.

Ця тенденція свідчить про важливість застосування сучасних технологій і технічних рішень, що дозволяють ефективно розробляти родовища на великих глибинах, одночасно підвищуючи продуктивність і оптимізуючи процеси транспортування.

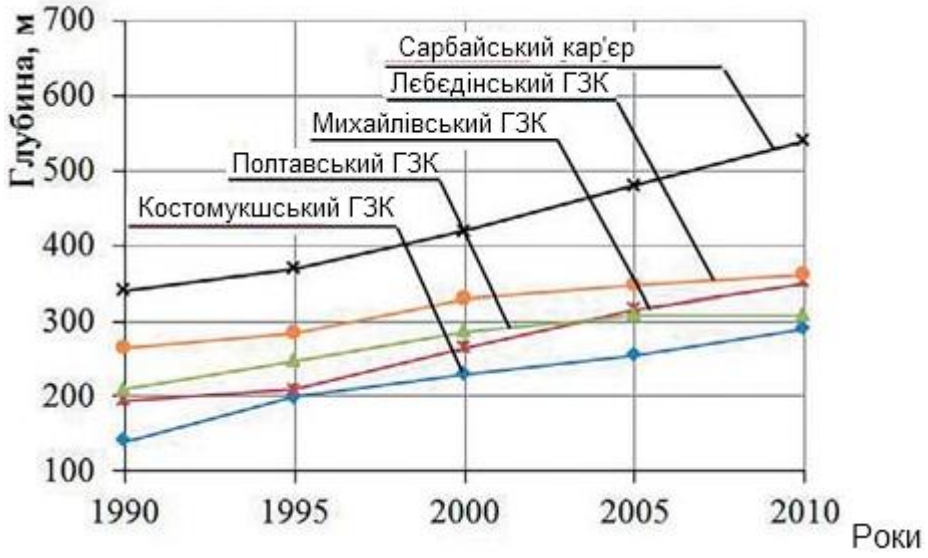


Рис. 1.1 Динаміка зміни глибини на залізорудних кар'єрах

Досягнення максимальних глибин при відкритих гірничих розробках із використанням сучасних технологій і наявної техніки стає дедалі складнішим завданням. Для цього необхідно не лише значно, більше ніж у два рази, збільшити потужності гірничо-транспортного обладнання, але й виконати масштабну реконструкцію кар’єру. Такий процес може тривати понад 17-20 років, причому на період від 8 до 12 років видобуток руди доводиться повністю припиняти. До того ж, розробка на великих глибинах нерідко призводить до втрат частини корисних копалин, які залишаються у стінках і на дні кар’єру через складнощі з їх видобуванням.

Під час експлуатації родовищ автомобільний транспорт активно використовується як для самостійного транспортування на магістральних маршрутах, так і як невід’ємна частина комбінованих систем перевезень. Такі системи включають залізничний і конвеєрний транспорт, що дозволяє оптимізу-

вати процес доставки гірничої маси.

Зі зростанням глибини кар'єрів і обсягів перевезень автомобільний транспорт дедалі рідше використовується як єдиний вид транспорту. Натомість він частіше інтегрується у комбіновані транспортні схеми, де працює разом із залізничними та конвеєрними системами. Це забезпечує вищу ефективність перевезень, знижує витрати та відповідає сучасним вимогам гірничодобувних підприємств.

Варто зазначити, що спад у використанні автотранспорту, спричинений економічними труднощами 1990-х років, вже вдалося подолати. Нині обсяги перевезень знову демонструють зростання, що стало можливим завдяки модернізації транспортного парку. У кар'єрах активно впроваджуються сучасні великовантажні автосамоскиди (див. рис. 1.2), які відповідають новітнім стандартам надійності та продуктивності.

У комбінованих схемах перевезень автотранспорт залишається незамінним через свою маневровість і мобільність. Ці характеристики забезпечують його конкурентоспроможність і значущість у гірничодобувній галузі. Завдяки таким якостям автомобільний транспорт продовжує відігравати ключову роль у доставці гірничої маси, підтримуючи високу продуктивність та гнучкість логістичних процесів.

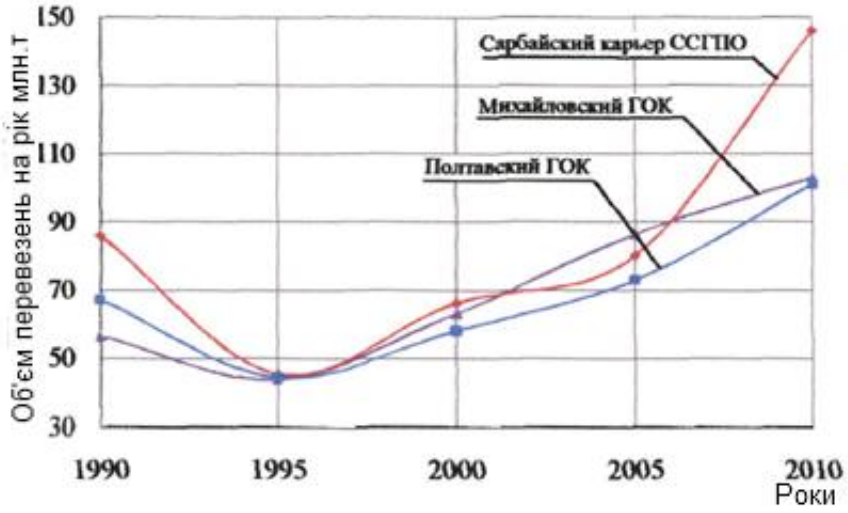


Рис. 1.2 Величина вантажообігу на різних підприємствах великовантажними кар'єрними автосамоскидами

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Найбільшим обмеженням для використання автотранспорту в кар'єра є відстань транспортування матеріалів і кут нахилу доріг. Економічно виправданими вважаються відстані перевезення близько 3,1-4,1 км, а в деяких випадках, за участю великовантажних автомобілів, – 4,8-5,9 км. Різні дослідники підтверджують, що одним із ключових показників складності перевезення великовантажними машинами на кар'єрах є ніщо інше як середній зважений кут нахилу маршрутів руху. Він безпосередньо відображає і горизонтальні, і помірно похилі та круті ділянки шляху. Середньозважений нахил відображає труднощі перевезення, ступінь навантаження на вузли й агрегати автомобілів, і є основним критерієм при транспортуванні гірських порід автосамоскидами.

Дослідження умов експлуатації автосамоскидів у кар’єрах показують, що на окремих ділянках технологічних доріг нахил може досягати значення 12,2%. Аналіз розподілу довжини ділянок із різними нахилами на технологічних маршрутах гірничодобувних підприємств свідчить, що в кар’єрах глибокого типу близько 12,1% доріг мають нахил понад 10%. У той же час на верхніх рівнях кар’єрів частка доріг із нахилом у діапазоні 12-19% сягає 30-34% від їх загальної протяжності.

Результати досліджень, які стосуються змін експлуатаційних умов автотранспорту зі збільшенням глибини видобування корисних копалин, демонструють тенденцію до поступового зростання висоти підйому та середньозваженого нахилу доріг (див. рис. 1.3). Прицьому сильно круті нахили спостерігаються на ділянках у глибоких кар’єрах, де протяжність доріг та їх параметри значною мірою обмежені. У таких умовах середньозважений нахил доріг наближається до максимально допустимих значень, визначених чинними стандартами та правилами.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

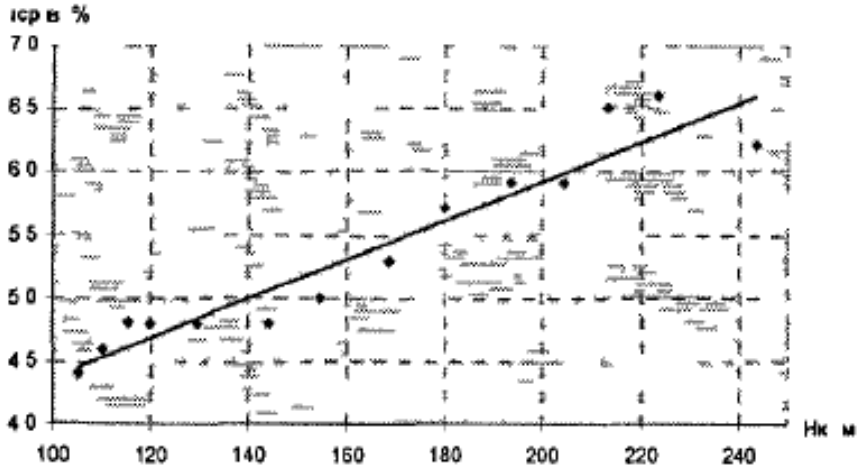


Рис.1.3. Залежність зміни значення глибини кар'єрів та висоти підйому гірничої маси машинами на середньозважений ухил технологічних доріг в залізорудних кар'єрах

1.2. Дослідження використання силових установок кар’єрними автосамоскидами

Автотранспорт займає одну з ключових позицій серед усіх видів транспорту, які використовуються в гірничодобувній галузі для перевезення корисних копалин та допоміжних матеріалів. Його важливість пояснюється високою мобільністю, універсальністю та здатністю працювати в умовах обмеженої інфраструктури.

Зважаючи на тенденції у розвитку гірничої промисловості, прогнозується подальше зростання обсягів видобутку корисних копалин, що своєю чергою супроводжується збільшенням розміру ковшів екскаваторів. Ці зміни диктують необхідність застосування автосамоскидів із більшою вантажопідйомністю, оскільки це дозволяє значно підвищити ефективність перевезень і скоротити витрати на транспортування. Хоча впровадження автосамоскидів із вантажопідйомністю до 500 тонн є технічно можливим, їх використання, як правило, обмежується великими кар’єрами. Водночас у галузі зберігається тенденція до стабілізації середньої вантажопідйомності кар’єрних автосамоскидів.

У сучасних умовах темпи зростання середньої вантажопідйомності автосамоскидів поступово знижуються (рис. 1.4). Це пояснюється переходом на нові види трансмісій, зокрема гідромеханічну, та збільшенням вантажопід-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

йомності техніки до 90-130 тонн. При цьому на ринку спостерігається зро-
тання інтересу до автосамоскидів із електромеханічною трансмісією. Вантажопідйомність таких машин досягає 130 тонн, і їх частка у структурі ринку постійно зростає, що підтверджується даними (рис. 1.4, б; таблиця 1).

Ще однією важливою тенденцією є зменшення питомої потужності кар'єрних автосамоскидів зі збільшенням їхньої вантажопідйомності. Для машин із вантажопідйомністю до 75 тонн залишається резерв для підвищення їхньої питомої потужності, оскільки потужність двигунів внутрішнього згоряння здебільшого відповідає потребам. Проте для самоскидів із вантажопідйомністю понад 75 тонн такий резерв відсутній, що створює певні обмеження в їх експлуатації (рис. 1.5).

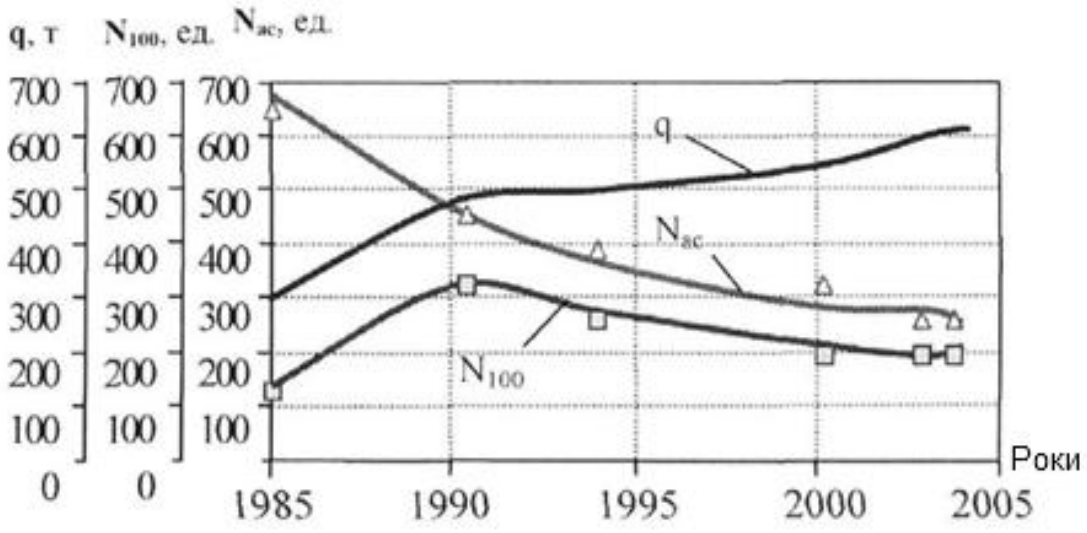
Зі збільшенням глибини видобутку корисних копалин у відкритих кар'єрах перед гірничодобувними компаніями постає низка проблем, пов'язаних із експлуатацією автотранспорту. Зокрема, виникає необхідність у вдосконаленні тягово-динамічних характеристик автосамоскидів, що стає ключовим завданням для забезпечення їх ефективної роботи в складних умовах кар'єрів.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

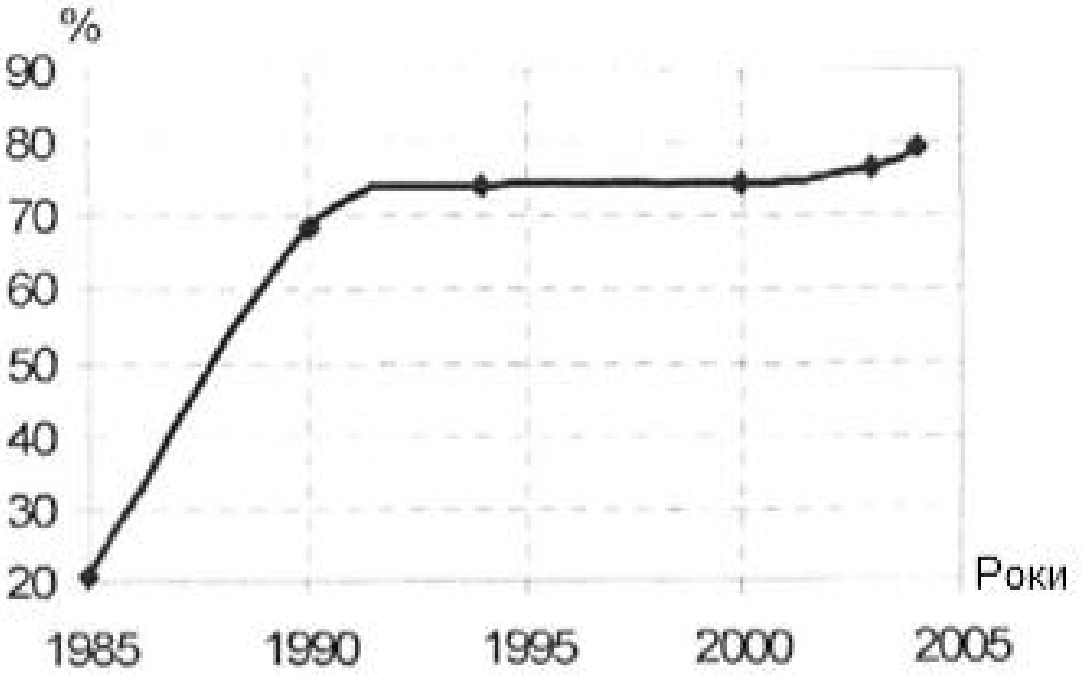
Таблиця 1.1

Різновидлності комплектування великовантажних кар'єрних автосамоскидів

Модель	Повна маса, т	Ванта-жо-сть, т	Тип трансмісії	Потужність ДВЗ, кВт	Максимальна швидкість, км/г	Об'єм геом. з шапкою 2:1, м.куб	Габаритні розміри (ДхШхВ), м	Радіус повороту, м
БелАЗ-7540	52,6	30	ГМП	265-309	50	15,1/19,2	7,41x3,86x3,93	8,7
БелАЗ-7545	80	45		447	55	21,5/27,7	8,56x4,24x4,475	9
БелАЗ-7547	78,1	45		368-448	50	19,7-35,9/26,2-43,3	8,39x4,11x4,39	10,2
БелАЗ-7555	95,5-104,1	55-60		522-560	55	22,3-50/33,3-57,9	8,89x4,74x4,56	9
БелАЗ-5770	166	90		783	60	37,7-75/53,3-93	10,34x5,90x5,34	11
БелАЗ-7513	230-244	110-136	ЕМТ	895-1193	48-64	40-103,8/67-134,8	11,50x6,40x5,90	13
БелАЗ-7517	294	154-160		1400-1491	64	65,6/96,5	12,3x6,85x6,2	14
БелАЗ-7530	331,6-376,1	180-220		1715	43-64	80-117/112,4-147	13,39x7,82x6,79	15
БелАЗ-7531	401,5	240		1864	64	102,4/141,1	13,39x8,06x6,72	15
БелАЗ-7560	560-610	320-360		2610-2800	64	139-162,8/199-218	14,90x9,25x7,22	17,2
Caterpillar 770	71,2	36,3	ГМП	355	74,8	16,4/25,1	8,74x4,75x3,91	8
Caterpillar 772	82,1	45		399	79,7	23,3/31,3	8,74x4,75x4,09	10
Caterpillar 773E	99,3	55,5		501	62,2	26,6/35,2	9,12x5,08x4	12,5
Caterpillar 773F	100,7	54		524	68	25,9/35,1	10,25x5,43x4,12	13
Caterpillar 775F	109,8	64		552	67,4	32/41,9	10,33x5,25x4,11	13
Caterpillar 777F	163,3	91		700	64,5	41,9/60,2	10,53x6,49x4,70	14,2
Caterpillar 785C	249,5	136		1005	54,1	-/78	10,62x6,64x5,77	15,3
Caterpillar 789C	317,5	177		1320	52,6	92/121	11,63x7,67x6,15	15,1
Caterpillar 793D	383,7	232		1743	54,2	-/140	13,05x8,36x6,60	16,35
Caterpillar 797B	623,7	345		2513	67,6	-/220	14,40x9,66x7,72	20,25
Hitachi EH1100	110,6	59-65	ГМП	567	57,9	28,2/38,7	9,68x4,98x4,62	9,6
Hitachi EH1700	163,3	95,2		783-899	55,7	39,5/60,4	10,54x6,25x5,17	10,6
Hitachi EH3500	325	185	ЕМТ	1491	56	74/111	13,50x8,01x6,77	13,6
Hitachi EH4000	384	222		1864	66,9	83,5/134	14,28x9,54x7,36	15,1
Hitachi EH5000	510	290		2014	60	156/206	15,22x9,28x8,01	15,8



а)



б)

Рис.1.4 Динаміка зміни вантажопідйомності великовантажних кар'єрних автосамоскидів

а - зміна величин (q - вантажопідйомність середнього автосамоскида, Nac - середня кількість автосамоскидів, Nioo - кількість автосамоскидів з вантажопідйомністю понад 100 тонн);

б - частка автосамоскидів із вантажопідйомністю понад 100 тонн відносно загальної кількості

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

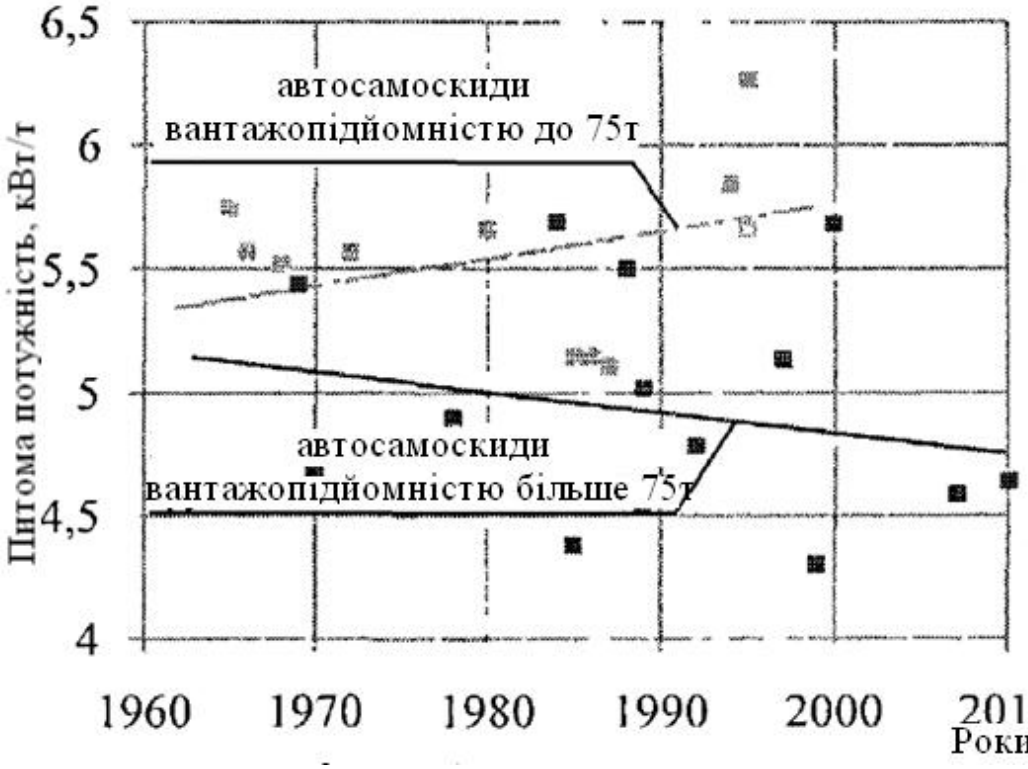


Рис. 1.5 Зміна питомої потужності двигунів великовантажних кар'єрних автосамоскидів

Спрощення конструкції кар’єрних самоскидів призвело до зменшення ширини транспортних шляхів, що з одного боку позитивно впливає на організацію роботи в умовах обмеженого простору кар’єру. Проте для забезпечення стійкості самоскидів у таких умовах виникла потреба збільшувати їхню довжину або висоту. Це, у свою чергу, суттєво впливає на радіус повороту транспортного засобу, що може ускладнювати маневрування, особливо в умовах зменшення ширини робочих майданчиків на великих глибинах кар’єру.

Основним завданням залишається зниження витрат пального на транспортування кожної тонни гірничої маси, включаючи корисні копалини та породи розкриття. Для цього важливо зменшувати обсяги розкривних робіт і скорочувати витрати пального на тонну матеріалу. Один із можливих підходів полягає у зменшенні дистанції перевезення завдяки збільшенню кута нахилу транспортних шляхів. Однак це вимагає використання потужніших самоскидів, здатних ефективно працювати на крутих схилах.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Покращення маневреності самоскидів стає критичним аспектом їхньої роботи, оскільки зі збільшенням глибини кар'єрів середня ширина робочих зон зменшується. Це створює значні труднощі під час завантаження і розвантаження, а також підвищує вимоги до технічних характеристик транспорту.

Для підтримання продуктивності в умовах глибоких кар'єрів необхідно не лише збільшувати потужність самоскидів, а й удосконалювати їхні гальмівні системи, які мають витримувати інтенсивне навантаження на крутих ухилах. Від надійності гальм залежить безпека експлуатації транспорту, особливо в умовах постійного спуску та підйому.

Всі ці фактори впливають на роботу автотранспорту, спричиняючи зниження швидкості руху, збільшення тривалості маневрових операцій і зростання витрат пального. Щоб забезпечити ефективність роботи на великих глибинах, необхідно створювати нові типи транспортних засобів, орієнтуючись на комплексний підхід. Він має враховувати як технологічні вимоги гірничих підприємств, так і технічні можливості самоскидів, а також результати аналізу експлуатаційних характеристик.

До таких вимог входить:

- Зменшення швидкості руху самоскидів на складних ділянках.
- Збільшення часу на виконання маневрових операцій.
- Підвищення витрат пального та енергії для транспортування матеріалів.

Формування технічних завдань для розробки нових транспортних засобів неможливе без детального аналізу умов експлуатації на кожному конкретному підприємстві. Важливо також враховувати сучасні досягнення науки й техніки, які можуть сприяти створенню більш ефективних та продуктивних машин.

Отже, розробка високопродуктивних, енергоефективних транспортних засобів для роботи у складних умовах глибоких кар'єрів має базуватися на інтегрованому підході. Він повинен охоплювати весь процес — від визна-

чення технологічних вимог до розробки технічних параметрів, що забезпечать відповідність найвищим стандартам гірничої галузі.

1.3 Аналіз існуючих досліджень по ресурсозбереженню

Аналіз наукової літератури, присвяченої гірничій техніці та транспорту, свідчить про те, що питання ефективного транспортування гірничої маси в умовах відкритого видобутку корисних копалин залишається одним із найбільш актуальних і важливих у галузі. Воно викликає значний інтерес серед дослідників, які займаються вдосконаленням технологій і підвищенням продуктивності гірничих робіт.

Вагомий внесок у розробку цієї теми зробили видатні вчені, серед яких Н.В. Мельников, , П.І. Томаков, В.Л. Яковлєв, А.Н. Шилін, А.А. Кулешов, М.В. Васильєв, М.Г. Потапов, П.П. Бастай, та інші. Їхні праці охоплюють різні аспекти транспортних систем у кар'єрах, сприяючи впровадженню інноваційних рішень і вдосконаленню існуючих методик.

Значну увагу науковці приділили вдосконаленню кар'єрного транспорту. Наприклад, дослідження вчених таких як М.Г. Потапов, В.Л. Яковлєв, М.В. Васильєв та В.П. Смирнов були спрямовані на підвищення продуктивності транспортних систем. У рамках їхніх робіт аналізувалися технічні характеристики великовантажних автосамоскидів, вивчалися особливості їхньої експлуатації, а також розроблялися критерії для оптимального вибору техніки залежно від умов видобутку.

Важливим напрямом досліджень стало вивчення технічних та технологічних параметрів кар'єрного обладнання. У працях членів-кореспондентів РАН, зокрема Яковлєва та доктора технічних наук М.В. Васильєва, було зроблено акцент на ефективність комбінованих транспортних систем і взаємодію різних видів транспорту у кар'єрах. М.В. Васильєв також детально досліджував питання оптимізації цих систем для поліпшення їхньої продуктивності та енергоефективності.

Академік В.В. Ржевський у своїх роботах розробив основні підходи до

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

вирішення проблем, пов’язаних із експлуатацією глибоких кар’єрів. Він акцентував увагу на мінімізації негативного впливу складних умов роботи та впровадженні інноваційних технічних рішень.

Дослідження проблем створення та експлуатації автосамоскидів для глибоких кар’єрів, а також автоматизації транспортних систем, представлені в роботах Є.В. Горшкова, А.С. Довженка, В.М. Альтшулера та інших, стали основою для підвищення надійності, довговічності, енергоефективності обладнання та зменшення експлуатаційних витрат.

Професор М.В. Васильєв приділив значну увагу розробці методик моделювання транспортних циклів автосамоскидів, а також визначенню оптимальних режимів їхньої роботи в різних умовах експлуатації. Його роботи мають вагоме значення для вдосконалення транспортування у гірничій галузі.

Таким чином, дослідження, присвячені розвитку кар’єрного транспорту, залишаються важливим і перспективним напрямом наукової діяльності. Проте вони все ще потребують подальшого вдосконалення методик, а також розробки нових алгоритмів для обґрунтування техніко-експлуатаційних характеристик, з урахуванням специфіки умов роботи на кожному окремому гірничому підприємстві. Це дозволить підвищити продуктивність, ефективність і надійність транспортних систем у гірничій галузі.

Висновки до розділу 1

У сучасних умовах відкритого видобутку корисних копалин спостерігається тенденція до зростання глибини кар'єрів і збільшення складності транспортних маршрутів. Це створює додаткові вимоги до техніки, зокрема автосамоскидів, що повинні працювати в умовах крутих нахилів доріг та великих відстаней транспортування.

Одним з основних факторів, що обмежують ефективне використання автосамоскидів, є високі витрати на транспортування гірничої маси. Для оптимізації цього процесу важливе значення має комбінування автомобільного транспорту з

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

іншими видами транспорту, такими як залізничний та конвеєрний, що дозволя знижувати витрати і підвищувати ефективність перевезень.

Збільшення глибини кар'єрів і крутизни транспортних шляхів вимагає вдосконалення технічних характеристик автосамоскидів, таких як потужність двигунів, маневровість та стійкість на крутих ухилах. Техніка повинна бути адаптована до нових умов, що зумовлює необхідність використання потужніших і маневреніших машин.

Зі збільшенням глибини кар'єрів та скороченням простору для маневрів важливе значення має покращення маневреності автосамоскидів, а також удосконалення їхніх гальмівних систем. Це дозволить забезпечити безпеку та ефективність транспортування в обмежених умовах.

Проблеми підвищення ефективності та ресурсозбереження є важливими в контексті транспортування гірничої маси. Потрібно зменшувати витрати пального на одиницю матеріалу, що включає оптимізацію транспортних маршрутів і вдосконалення самоскидів для роботи на складних ділянках. Інноваційні підходи до проектування та впровадження нових технологій допоможуть забезпечити ефективну та енергоефективну роботу автотранспорту в гірничій галузі.

Дослідження, проведені вченими, свідчать про важливість постійного вдосконалення кар'єрного транспорту та застосування комбінованих систем перевезень. Розробка нових моделей техніки та технологій, орієнтованих на високі стандарти безпеки та ефективності, є ключовим аспектом розвитку галузі.

Таким чином, подальший розвиток технологій та техніки для відкритого видобутку корисних копалин вимагає комплексного підходу до проектування транспорту, що включає як оптимізацію існуючих систем, так і впровадження нових інноваційних рішень, які забезпечують ефективне і безпечне транспортування гірничої маси в умовах складних експлуатаційних умов.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

2. ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ ДЛЯ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ

2.1 Взаємозв'язок умов експлуатації на функціонування великовантажних кар'єрних автосамоскидів

Розвиток відкритих методів видобутку корисних копалин супроводжується збільшенням концентрації виробничих процесів і суттєвими змінами в глибині, масштабах і геометрії кар'єрів, відстанях перевезення і складності підйому видобутої гірничої сировини на поверхню.

Зі збільшенням глибини розробки родовищ погіршуються техніко-економічні показники видобування мінеральних ресурсів. Основною причиною цього є підвищення коефіцієнта розкриву та зростання витрат на транспортування. Попри це, виробничі потужності кар'єрів продовжують збільшуватися. Для компенсації негативних змін необхідно вдосконалювати технологічні процеси видобутку і впроваджувати нову гірничо-транспортну техніку, що визначає основні тенденції розвитку кар'єрів значної глибини.

Фактори, що впливають на ефективність роботи кар'єрів при поглибленні видобутку, можна поділити на явні 3 группи: природні, технічні та гірничотехнічні.

Гірничо-геологічні чинники включають концентрацію корисного компонента в породах, міцність і глибину залягання заляганні руди, фізичні і механічні властивості гірських порід, умови гідрогеології та стійкість стін кар'єру. Ці параметри впливають на продуктивність кар'єру, оскільки визначають ефективність використання техніки та експлуатаційні можливості обладнання.

До найбільш численної групи належать гірничотехнічні (технологічні) фактори. Вони охоплюють зміну параметрів систем розробки та зон видобутку, параметри транспортних систем і схеми розкриву, збільшення кількості відходів і зниження ефективності роботи гірничо-транспортного устаткування.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Підсумовуючи сучасний стан видобутку твердих корисних копалин у глибоких кар'єрах, можна виділити ключові тенденції їхнього розвитку. Відзначається зниження ефективності видобутку через зростання обсягів розкривних робіт і збільшення транспортних витрат. Це відбувається одночасно з поглибленням кар'єру та його розширенням. Збільшуються технічні характеристики гірничо-транспортного обладнання для підвищення показників видобування, завантаження, транспортування і зберігання видобутої сировини. Застосування комбінованих видів транспорту та оптимізація методів розкриву сприяють зниженню витрат на переміщення гірничої маси. Розробляються транспортні системи, що можуть працювати без суттєвих змін протягом всього періоду експлуатації кар'єру. Крім того, застосовуються заходи для мінімізації впливу видобутку на навколишнє середовище.

Академік Н.В. Мельников провів аналіз і класифікацію факторів, які впливають на економічні показники гірничих підприємств. Відповідно до цієї класифікації та даних наукових досліджень було виділено такі групи факторів: гірничо-геологічні, техніко-економічні, організаційно-виробничі та соціально-екологічні.

Фізико-географічні фактори включають широкий спектр кліматичних і географічних характеристик, які визначають умови навколишнього середовища в певному регіоні. До цих факторів належать середньорічні температури повітря, які варіюються залежно від сезону: влітку і взимку. Також враховується рівень вологості, який може коливатися між мінімальними та максимальними значеннями, а також атмосферний тиск, що впливає на метеорологічні процеси.

Серед важливих параметрів виділяється кількість опадів, яка може бути як у вигляді дощу, так і снігу, висота снігового покриву в зимовий період, а також кількість днів із туманами, які обмежують видимість протягом року. Окрему роль відіграє швидкість вітру, яка оцінюється за середніми показниками мінімальних і максимальних значень. Також враховується рівень

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

сонячної радіації, який впливає на енергетичний баланс регіону, і сейсмічну активність, що визначає потенційну небезпеку землетрусів.

Географічні особливості включають рельєф території, який може бути рівнинним, горбистим чи гірським, а також наявність водних ресурсів, таких як річки, озера чи моря, що є важливими для господарської діяльності. Координати місцевості (широта і довгота) визначають її розташування на земній кулі, що впливає на кліматичні умови. Крім того, у деяких регіонах слід враховувати наявність вічної мерзлоти, яка створює специфічні умови для будівництва, сільського господарства та транспорту.

Таким чином, фізико-географічні фактори формують цілісну картину природних умов у регіоні, від яких залежить характер його використання та розвиток економічної діяльності.

2.2. Дослідження ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів

Для визначення впливу різних факторів на роботу силових установок кар’єрних автосамоскидів важливо оцінити параметри, які забезпечать оптимальну ефективність майбутніх моделей цієї техніки. Досягнення цієї мети можливе шляхом детального аналізу взаємозалежності між продуктивністю автосамоскидів і чинниками, які на неї впливають. Серед них: технологічні аспекти, кліматичні умови експлуатації та характеристики основних агрегатів, зокрема двигунів, що є ключовими елементами енергосилових установок.

Оскільки взаємозв’язок між гірничо-геологічними умовами, використовуваним автотранспортом, дорожніми характеристиками, виробничими параметрами та кліматичними особливостями є суттєвим, можна виділити чотири основні групи умов, які впливають на експлуатацію автосамоскидів:

1. Гірничотехнічні умови

- Глибина кар’єра, яка визначає висоту підйому гірничої маси автотранспортом (у метрах).

- Довжина маршруту транспортування гірничої маси (у кілометрах).

- Протяжність похилих ділянок дороги або їх коефіцієнт ухилу (у граду-

сах).

- Щільність гірничої маси (тонн на кубічний метр).

- Міцність порід, яка впливає на параметри видобування та транспортування.

2. Дорожні умови

- Середній та максимальний нахил трас (у відсотках), що впливає на витрати енергії.

- Коефіцієнт опору коченню, залежний від типу покриття доріг.

- Частка під'їзних шляхів у загальній довжині маршруту (у відсотках).

- Кількість поворотів на маршруті, що визначає маневреність техніки.

- Параметри радіусів поворотів, включаючи мінімальні та середні значення (у метрах).

- Технічна швидкість руху автотранспорту (у кілометрах на годину).

3. Організаційно-технологічні умови

- Кількість автотранспортних одиниць у складі автопарку підприємства.

- Час фактичної експлуатації автосамоскидів протягом доби (у годинах).

- Коефіцієнт використання пробігу транспортних засобів.

- Середній пробіг техніки (у тисячах кілометрів), що відображає середній вік автопарку.

4. Кліматичні умови

- Максимальні та мінімальні температури в районі кар'єра (у градусах Цельсія).

- Швидкість вітру, яка досягає максимальних значень (у метрах на секунду).

- Кількість днів із низькими температурами за рік.

- Тривалість періодів із сніговим покривом та кількість днів із туманами.

- Річний обсяг опадів (у міліметрах).

Характерні зони кар'єрів

З огляду на різноманітність гірничотехнічних умов та специфіку видобування в глибоких кар'єрах, можна визначити кілька типових зон, які мають поді-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

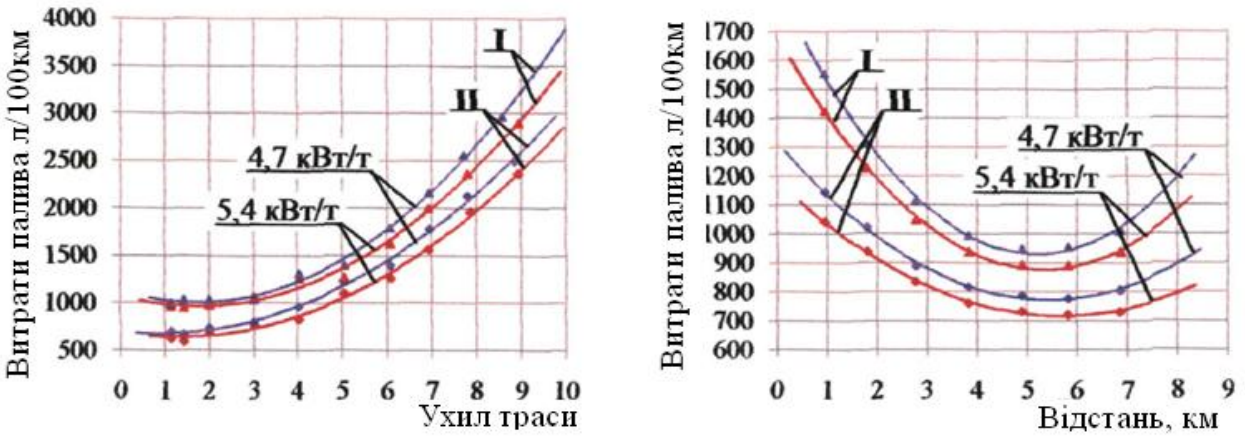
бні характеристики. Серед них:

- Розташування робочих горизонтів залежно від глибини кар'єра на певному етапі розробки.

- Висота підйому гірничої маси від горизонту робочої зони до поверхні або до місць вивантаження.

- Організація транспортної системи на основі розкривних виробок, які забезпечують доступ до певних груп горизонтів.

Аналіз експериментальних даних [1] свідчить про існування емпіричної залежності між витратою дизельного палива автосамоскидами та гірничотехнічними умовами. Це підкреслює необхідність урахування широкого спектра факторів для підвищення ефективності експлуатації кар'єрного транспорту.



а) б)

Рис. 2.1 Розхід дизпалива машиною при питомій потужності 5,35 кВт/т і 4,68 кВт/т в залежності від кута нахилу маршруту руху технолічної дороги (а) і відстані перевезення (б) за умови руху за вантажем (І) і порожним (П)

Отримані значення досліджень, проведених на автосамоскидах, оснащених двигуном ЧН-21/21, свідчать, що найбільш раціональне використання потужності цих двигунів досягається на дорогах із нахилом від 4% до 7% [1]. У таких умовах забезпечується оптимальна швидкість руху самоскидів із навантаженням, яка варіюється в межах 14-18 км/год, що відповідає сучасним стандартам роботи вугільних розрізів. Це підкреслює необхідність врахування нахилу доріг, умов транспортування та потенційних змін у довгостроковій перспективі при виборі типу двигуна та його технічних параметрів.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Дослідження експлуатаційних характеристик двигунів 8АМС-2Т, встановлених на великовантажних БелАЗ, виявили, що ефективність діяльності двигуна суттєво залежить від нахилу дорожнього полотна. Наприклад, для автосамоскида БелАЗ-7519 було встановлено, що мінімальна витрата пального на одиницю пройденої відстані досягається саме на дорогах із нахилом 4-7%. Якщо нахил дороги менший за 4%, двигун не використовує свій потенціал у повному обсязі, що свідчить про недостатню ефективність його роботи. Натомість при схилах понад 7% двигун працює в менш економічному режимі, що веде до зростання витрат пального.

Аналіз впливу гірничотехнічних умов на параметри транспортного циклу кар'єрних автосамоскидів дає змогу визначати оптимальні технічні характеристики силових установок. Це сприяє не лише зниженню енерговитрат, але й підвищенню загальної продуктивності транспорту.

Особливості експлуатації автотранспорту в кожній зоні кар'єру мають свій характер. У процесі поглиблення кар'єру кути нахилу автомобільних доріг зазвичай збільшуються, що дозволяє зменшувати обсяги розкривних робіт. Проте такі зміни можуть призводити до значного зростання витрат пального, іноді настільки, що економічно доцільніше переходити на використання іншого типу силової установки.

Серед технологічних факторів, що впливають на транспортування, можна виділити такі аспекти, як конфігурація та форма доріг, якість їхнього покриття, схеми маневрування в робочих зонах, а також ефективність використання потужності під час підйомів. Із зростанням кута нахилу значення горизонтальних ділянок дороги у середньому нахилі траси зростає. Це особливо актуально при переході до крутіших трас із нахилом у межах 10-16%. У таких випадках потрібно мінімізувати довжину так званих "зм'якшуючих" вставок та зон з'єднання доріг, щоб зменшити додаткові витрати.

Конструктивні фактори охоплюють рівень технічного вдосконалення двигунів, систем подачі палива та загальні характеристики автосамоскидів. З метою підвищення ефективності та екологічності дизельних двигунів доціль-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

но вдосконалювати паливні системи, а також впроваджувати сучасні систем електронного регулювання подачі пального.

На техніко-економічні показники та надійність роботи двигуна значний вплив мають характеристики його функціонування. Серед них можна виділити якість розпилення пального, обсяг і тиск повітря, ступінь стиснення, момент упорскування пального, дисоціацію газів і режими роботи двигуна. Важливим завданням є оптимізація системи управління силовою установкою, яка має ґрунтуватися на аналізі тягового зусилля. Це дозволить забезпечити ефективне використання техніки в кар'єрах, досягти високої продуктивності, економічності та екологічності.

Таким чином, сучасний підхід до організації роботи кар'єрних автосамоскидів повинен враховувати комплексний вплив гірничотехнічних, технологічних та конструктивних факторів. Лише така інтеграція дозволить оптимізувати роботу транспорту, знизити витрати енергії та забезпечити його стійке функціонування в умовах глибоких кар'єрів.

Фактори, які впливають на експлуатацію кар'єрних автосамоскидів, відіграють вирішальну роль у забезпеченні стабільної роботи двигунів, ефективного функціонування паливної системи, а також у процесах заправки та передачі енергії. Крім того, вони включають періоди простою транспортних засобів, зумовлені організаційними причинами, та частоту проведення технічного обслуговування. Наукові дослідження, зокрема проведені Чудаковим Є.А., свідчать, що оцінка ефективності експлуатації автосамоскида повинна враховувати не лише потужність, яка потрібна для подолання опору руху, але й активацію додаткових агрегатів шасі, а також витрати пального під час виконання робіт.

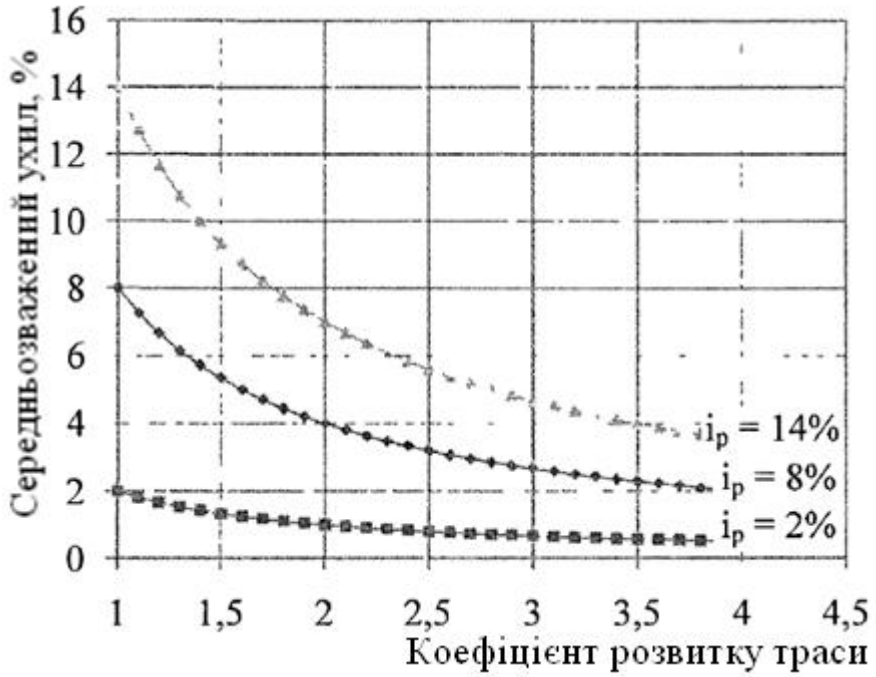


Рис. 2.2. Закономірність зміни середньозваженого ухилу та коефіцієнта розвитку траси

У більшості випадків під час розрахунків не беруть до уваги специфічні фактори експлуатації, що може призводити до недооцінки реальних умов роботи техніки. Хоча розрахунки тягових характеристик стандартних автомобілів зазвичай враховують особливості експлуатаційних умов, ці методики не завжди застосовуються до кар'єрних автосамоскидів. Це пов'язано з тим, що умови роботи такої техніки суттєво залежать від гірничотехнічних особливостей конкретного кар'єру, які змінюються залежно від місця й часу експлуатації.

Основні параметри, такі як вантажопідйомність чи потужність двигуна, залишаються незмінними. Однак такі змінні фактори, як глибина кар'єру, довжина транспортного маршруту та середньозважений ухил доріг, мають значний вплив на умови роботи автосамоскидів. Зокрема, із збільшенням глибини кар'єру виникає потреба у зміні характеристик транспортних шляхів, що безпосередньо впливає на режими роботи силових установок.

У зв'язку з цим під час розрахунків і вибору технічних характеристик силової установки автосамоскида необхідно враховувати специфічні умови експлуатації, а також прогнозований розвиток гірничих робіт. Такий підхід

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

дозволяє точно оцінити, як саме зміна умов роботи вплине на ефективність двигуна.

Фактори, що впливають на експлуатацію кар'єрних автосамоскидів, умовно можна розділити на дві основні групи. Перша група пов'язана із технічними характеристиками самого транспортного засобу: конструктивні особливості, потужність двигуна, тип паливної системи та інші параметри. Друга група включає характеристики транспортної системи кар'єру, такі як схеми транспортування, обладнання, режими роботи та протяжність маршрутів перевезення.

Гірничотехнічні умови суттєво впливають на режими роботи та загальну ефективність силових установок кар'єрних автосамоскидів. Зокрема, зміна режиму експлуатації через зміну гірничотехнічного середовища може спричинити зміну потужності двигуна, зменшення його продуктивності або збільшення витрат пального. Таким чином, оптимізація умов експлуатації техніки в кар'єрі дозволяє значно підвищити продуктивність роботи, знизити енергетичні витрати та покращити загальну ефективність транспортних процесів.

Забезпечення ефективної роботи автосамоскидів у кар'єрах залежить від комплексного підходу до організації їхньої експлуатації. Це включає врахування як конструктивних і технічних особливостей машин, так і специфіки гірничих умов, у яких вони працюють. Оптимізація цих аспектів дає можливість не лише підвищити продуктивність, але й забезпечити економічність транспорту, що є ключовим завданням для ефективного розвитку кар'єрного транспорту.

Трансмісії автомобілів із механічним типом передачі відіграють ключову роль у регулюванні процесу передачі потужності від двигуна до ведучих коліс. Цей процес тісно пов'язаний із обертанням вихідного вала, частота якого визначається швидкістю обертання коліс транспортного засобу. Умови руху, зокрема зміна опору на різних швидкостях, можуть суттєво впливати на величину потужності, необхідної для подолання цього опору, що забезпечує

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

стабільність і безперервність роботи автомобіля.

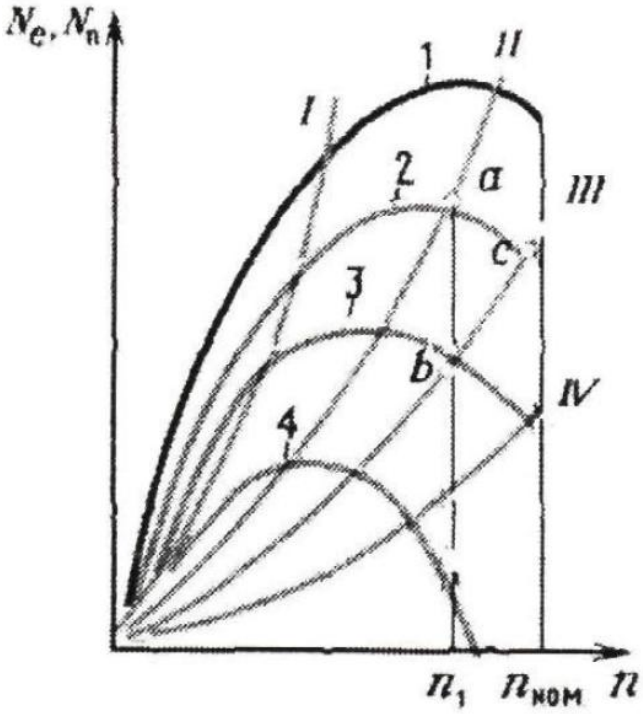


Рис. 2.3 Залежність технічних характеристик ДВЗ і споживача

Кар'єрні самоскиди оснащуються більш складними енергетичними системами, які включають двигун внутрішнього згоряння, інтегрований з електромеханічною трансмісією. У такій системі двигун виконує функцію генератора, що передає енергію на електромотори мотор-коліс (детальніше на схемі, див. рис. 2.4). Робочі режими двигуна зображуються у вигляді точок на діаграмі, обмежених контуром кривої потужності, що залежить від швидкості обертання. Це дозволяє чітко аналізувати роботу двигуна в різних умовах експлуатації.

Ефективність роботи двигуна значною мірою залежить від таких індикаторних параметрів, як індикаторний коефіцієнт корисної дії (ККД) та середній індикаторний тиск. Індикаторний ККД відображає, наскільки ефективно енергія пального перетворюється у корисну роботу, а середній індикаторний тиск демонструє ступінь використання об'єму циліндра. Цей параметр також впливає на масу і розміри двигуна, оскільки дозволяє оцінити його конструктивні можливості.

Підвищення таких показників, як індикаторний ККД і середній індика-

торний тиск, має низку переваг. Зокрема, це сприяє підвищенню ефективності роботи двигуна, зменшенню його розмірів і ваги, а також зниженню витрати пального. Ці зміни позитивно позначаються на загальній екологічності системи, оскільки зменшується кількість шкідливих викидів у довкілля.

Для забезпечення максимальної ефективності роботи кар'єрних самоскидів важливо враховувати всі ці параметри при проєктуванні двигуна та трансмісії. Правильне налаштування взаємодії між двигуном і електромеханічною системою сприяє оптимізації використання енергії, підвищенню продуктивності та зниженню впливу на навколишнє середовище. У результаті такі системи забезпечують стабільну роботу автосамоскидів навіть у складних умовах гірничого середовища, роблячи їх експлуатацію більш ефективною та екологічно безпечною.

Таким чином, сучасні технологічні рішення в області трансмісій та двигунів дозволяють досягти балансу між продуктивністю, енергоефективністю та екологічністю. Це особливо важливо для транспортних засобів, які працюють у складних умовах, таких як кар'єрні самоскиди, де вимоги до потужності та надійності є надзвичайно високими.

Обсяг паливно-повітряної суміші, що надходить у циліндр двигуна, а також коефіцієнт надлишку повітря безпосередньо залежать від погодних умов, які мають значний вплив на ефективність роботи двигунів внутрішнього згоряння. Такі залежності є ключовими для аналізу реальних умов експлуатації силових установок, що дозволяє точно розраховувати їх робочі характеристики. Проведення аналізу навантажувальних режимів роботи двигуна є основою для оптимізації його роботи у складних експлуатаційних умовах.

Дослідження впливу різноманітних факторів експлуатації, включно з природними, гірничотехнічними та кліматичними умовами, надають необхідну інформацію для визначення параметрів двигуна та оптимізації його роботи. Збір і аналіз даних щодо умов роботи кар'єрного транспорту, враховуючи режими експлуатації автосамоскидів і їх силових установок, створюють базу для подальших стендових експериментів і комп'ютерного моделювання.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

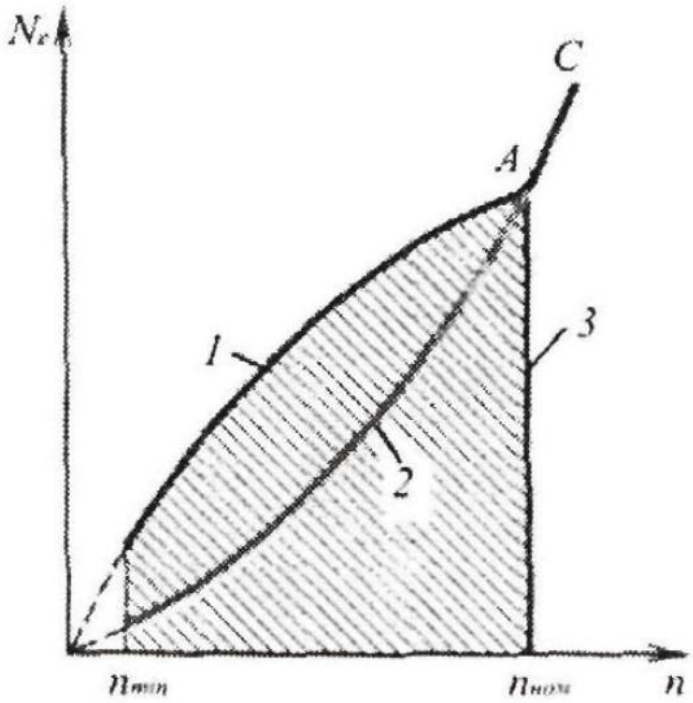


Рис. 2.4. Розподіл варіації зміни 1 зовнішньо-швидкісної і 2 генератора характеристики дизельного двигуна

Розроблена система класифікації гірничотехнічних умов, створена С.В. Яковлєвим, враховує ключові параметри, такі як глибина розрізів, транспортні зони й нахил автодоріг, і поділяє ці умови на кілька категорій. На основі аналізу досвіду експлуатації кар'єрних автосамоскидів у глибоких кар'єрах і прогнозів розвитку таких об'єктів виділяють три основні зони, які детально розглянуті в розділі 2.2.

Верхня зона характеризується стабільністю транспортних маршрутів і можливістю створення прямих спусків, що дозволяє ефективно використовувати автомобільний транспорт. Середня зона потребує залучення комбінованих методів транспортування, включаючи автомобільний і залізничний транспорт, а також створення тимчасових спусків і маневрування в умовах змінного напрямку руху. Нижня зона є найскладнішою для роботи, оскільки має обмежений простір і вимагає постійного відкриття нових горизонтів для забезпечення подальшого видобутку.

Висота зон і вибір оптимальних транспортних засобів для їх обслуговування можуть суттєво змінюватися залежно від геометрії кар'єру. Навіть

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

кар’єри зі схожими габаритами та глибинами можуть демонструвати значні відмінності у створенні транспортних систем, зумовлені різницею у геологічних та гірничотехнічних умовах.

Під час видобутку корисних копалин умови для транспортування змінюються через поступове заглиблення кар’єру, а технологічні можливості транспорту постійно вдосконалюються. Це потребує регулярного коригування компонентів транспортної системи кар’єру для забезпечення її ефективності.

Перед подальшою диференціацією гірничотехнічних умов слід чітко визначити ключові параметри, які характеризують ці умови з огляду на використання кар’єрних автосамоскидів. До таких параметрів належать висота підйому, довжина маршруту перевезення й нахил автодоріг. Відмінності у цих умовах, а також технологічні особливості гірничих робіт і режими роботи автосамоскидів, обумовлені геологічними умовами й розташуванням родовища, впливають на характеристики експлуатації техніки.

Доктор технічних наук В.Л. Яковлєв у своїй класифікації врахував оптимальні зони для використання різних типів транспорту, таких як автомобільний і залізничний, і можливість переходу між цими видами транспорту. Для автотранспорту розроблена диференціація гірничотехнічних умов, що впливає на роботу силових установок автосамоскидів на ділянках із різним поздовжнім ухилом.

У сучасних технологіях гірничих робіт виділяють зони експлуатації автосамоскидів, які суттєво різняться за такими параметрами, як відстань транспортування і висота підйому маси. Зміна цих параметрів може значно впливати на вибір технічних характеристик силових установок, оптимальних для конкретних умов. Таким чином, системний підхід до оцінки й класифікації гірничотехнічних умов дозволяє вдосконалити роботу транспортних систем кар’єрів і забезпечити їх високу продуктивність та ефективність.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

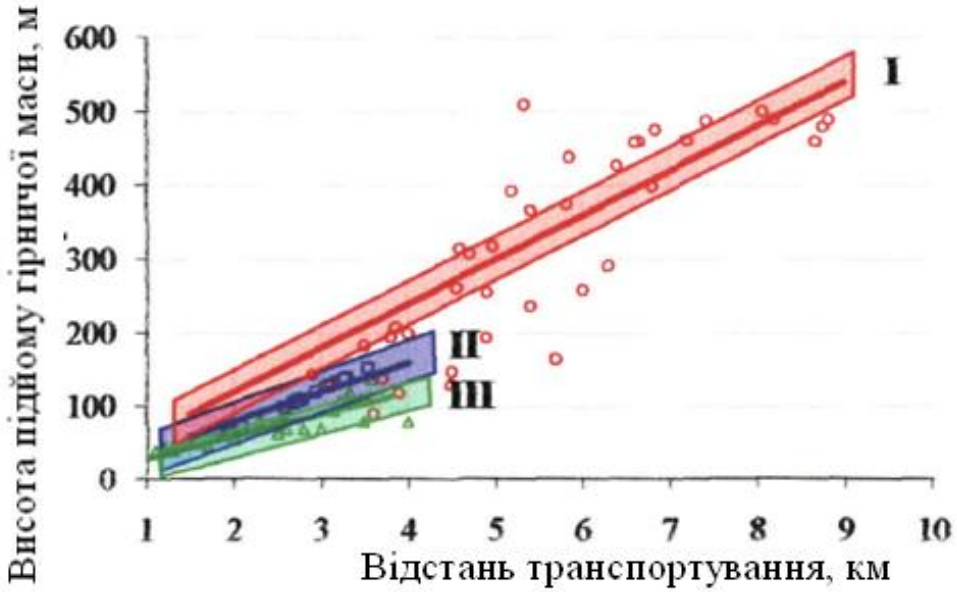


Рис. 2.5. Залежність гірничий і технологічних умов залежно від кута ухилу маршруту: круто-похилі «I», похиллі (I I), слабко-нахиленні(I I I)

Таблиця 2.1

Різновиди гірничотехнічних умов експлуатації машин

Типи	Висота підйому, м	Відстань перевезення, м	Середньозважений кут, %
Крутопохилі траси	0-600,0	1-10,0	6,0-8,0
Нахиленні траси	0-300,0	1-5,0	4,0-6,0
Слабконахилені траси	0-100,0	1-3,0	2,0-4,0

Згідно з розробленою класифікацією, надзвичайно важливо підбирати силові установки з оптимальними технічними характеристиками, які б найкраще відповідали умовам експлуатації, що властиві кожній групі. Як зазначає методика [92], при проектуванні комплексів, що включають кар'єрні автосамоскиди та екскаватори, слід особливо враховувати такі важливі параметри, як вантажопідйомність автосамоскида, тип транспортного засобу, характеристики ковша екскаватора та кут нахилу автомобільних доріг. Серед усіх цих факторів, технічні показники силових установок автосамоскидів є найважливішими, оскільки вони мають вирішальний вплив на ефективність роботи транспорту та його енергетичні витрати під час переміщення гірничої маси.

При цьому, варто зазначити, що при розробці силових установок для

кар'єрних автосамоскидів часто не береться до уваги динамічний розвиток глибини кар'єрів і зміни, які відбуваються з часом. Через це, силові установки, розроблені ще в 1980-х роках, вже не відповідають вимогам сучасних гірничотехнічних умов. Умови експлуатації автосамоскидів в кар'єрах безпосередньо впливають на режими роботи їхніх силових установок, тому використання установок з оптимальними технічними характеристиками в різноманітних гірничотехнічних умовах може значно зменшити витрати пального і підвищити загальну ефективність технологічного транспорту в умовах кар'єрів.

Оптимальні парметри представлених силових установок повинні визначатися відповідно до класифікації гірничотехнічних умов, що дасть змогу правильно підібрати техніку для конкретного кар'єру. Використання кар'єрних автосамоскидів з такими силовими установками дозволяє значно покращити технологічні процеси гірничих робіт, забезпечуючи при цьому ефективний контроль над ключовими аспектами, такими як розкриття родовищ, планування робочих графіків, обсяги виконаних розкривних робіт, інтенсивність видобутку та загальний процес розвитку кар'єра. Важливою складовою цього процесу є необхідність забезпечення стабільності, особливо при збільшенні поздовжнього ухилу автомобільних доріг, оскільки це дозволяє уникнути потенційних ризиків і значно підвищує безпеку експлуатації транспортних засобів у кар'єрі.

Висновки розділу 2

При розрахунку та визначенні технічних характеристик силових установок для кар'єрних автосамоскидів важливо ретельно враховувати не лише поточні умови експлуатації, але й перспективи розвитку відкритих гірничих робіт, оскільки ці фактори суттєво впливають на основні показники дизельного двигуна внутрішнього згоряння. При цьому слід звертати увагу на продуктивність автосамоскидів та ефективність витрат пального, що є важливими показниками в умовах кар'єрної експлуатації.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Вибір технічних параметрів силових установок має базуватися на ком-плексному підході, який враховує різноманітні групи гірничотехнічних умов, а не лише специфіку конкретного транспортного маршруту. Запропонована класифікація доводить важливість застосування силових установок з відповідними технічними характеристиками для кожної окремої групи експлуатаційних умов, що дає змогу оптимізувати роботу автосамоскидів у кар'єрних умовах.

Під час визначення технічних характеристик силових установок автосамоскидів слід також враховувати такі фактори, як кут нахилу бортів кар'єру. Важливо підібрати відповідні параметри для гальмівних систем, щоб забезпечити безпечний рух транспортного засобу навіть при максимально можливих кутах нахилу автомобільних доріг, що характерні для кар'єрів.

Використання силових установок для кар'єрних автосамоскидів з оптимальними технічними характеристиками має значний вплив на процес гірничих робіт. Це дозволяє точніше планувати етапи освоєння родовищ, складати детальний календарний план, визначати обсяги проведених розкривних і поточних гірничих робіт, а також регулювати інтенсивність видобутку корисних копалин та строки будівництва кар'єра. Крім того, важливо забезпечити стабільність та стійкість транспортних засобів при збільшенні поздовжнього нахилу автодоріг, щоб уникнути можливих порушень безпеки і гарантувати безперебійну експлуатацію автосамоскидів навіть за складних умов.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

РОЗДІЛ 3: АНАЛІЗ РОБОТИ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ КАР'ЄРНИХ АВТОСАМОСКИДІВ В РІЗНИХ ГІРНИЧОТЕХНІЧНИХ УМОВАХ

3.1. Формування математичної моделі ймовірнісно-статистичного аналізу

На сучасних кар'єрних автосамоскидах впроваджено цілу низку передових технічних систем, основною метою яких є забезпечення максимальної ефективності та продуктивності роботи техніки. До складу таких систем входить система управління тяговим електроприводом (СУТЕП), яка використовується в моделях машин білоруського заоду. Також встановлюється електронний блок управління дизельними двигунами Камінц, що інтегрується з трансмісійними механізмами на таких брендах, як Камацу, CAT та інших марках кар'єрних самоскидів.

Окрім виконання своїх основних завдань, ці електронні системи знаходять застосування в діагностуванні різноманітних агрегатів і компонентів, що входять до складу автосамоскидів. Їх функціонал дозволяє зчитувати і накопичувати ключові робочі параметри техніки, які є надзвичайно корисними для проведення наукових досліджень і аналізу.

Наприклад, електронний блок керування дизельним двигуном серії Q від компанії CAT має можливість відслідковувати тривалість роботи двигуна під навантаженням, що представлено на графіку (див. Рис. 3.1). Такий підхід значно полегшує процес моніторингу та сприяє підвищенню надійності і довговічності техніки.

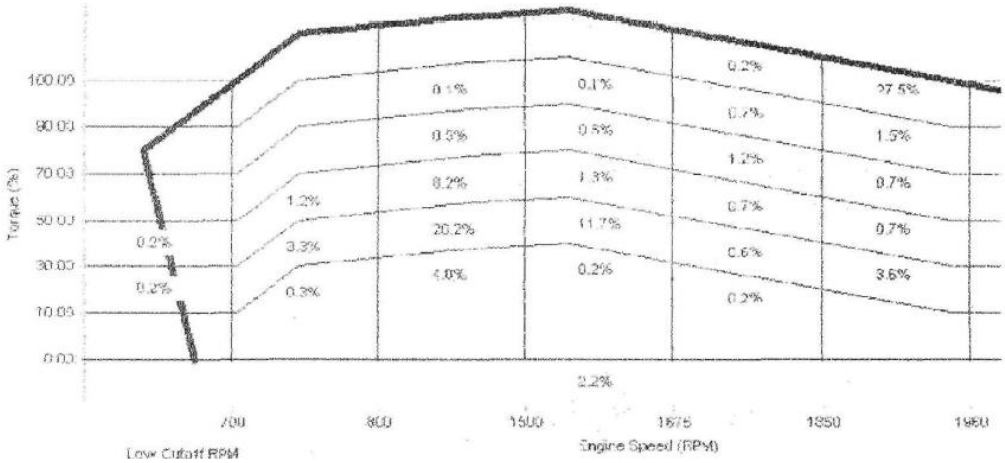


Рис. 3.1. Робота ДВЗ Cummins QSK45,0

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Необхідно підкреслити, що кар'єрні автосамоскиди експлуатуються у різноманітних умовах, які охоплюють гірничо-технічні, дорожньо-транспортні та кліматичні фактори. Ці чинники суттєво впливають на опір руху як у внутрішніх системах автомобіля, так і за його межами. До таких опорів відносяться механічні та інерційні втрати у двигуні, трансмісії, під час кочення коліс, а також аеродинамічний опір. Крім того, експлуатаційні умови визначають режими роботи автосамоскидів, що прямо впливає на їх техніко-економічні характеристики, серед яких витрати пального, продуктивність і загальна надійність машини.

Одним із найважливіших завдань у процесі проєктування та оптимізації транспортних двигунів є підбір таких значень конструктивних і регулювальних параметрів, які б забезпечували найвищу ефективність роботи кар'єрних автосамоскидів за будь-яких умов експлуатації. Наприклад, варто розглянути робочі режими CAT QSK-60, що встановлюються на автосамоскиди БелАЗ753060 із вантажопідйомністю 220,0 тонн (мал. 3.1), а також двигунів CAT QSK-45, що застосовуються в моделях БелАЗ75130Е0 із вантажопідйомністю 130 тонн (рис.3.2.). Дані режими експлуатації досліджуються, зокрема, на прикладі Навоїйського гірничо-металургійного комбінату та Полтавського гірничо-збагачувального комбінату, де активно використовуються такі машини.

Цей аналіз дозволяє виявити залежності між робочими режимами та показниками продуктивності, що сприяє вдосконаленню техніки й адаптації її до конкретних експлуатаційних умов.

На рисунку 3.1 наведено середні робочі режими автосамоскидів, що експлуатуються в різних умовах. До аналізованого парку входять машини, які працюють на Бачатському вугільному розрізі (3 одиниці БелАЗ-75306), Нерюнгрінському розрізі (8 одиниць БелАЗ753060), Навоінському комбінаті (14 шт БелАЗ75130GE) і Полтавському ГЗК (4 шт БелАЗ75130GE).

Із аналізу даних, представлених на рисунку 3.3, видно, що двигуни серії QSK45 здебільшого функціонують у режимах часткових навантажень. У

той же час, двигуни QSK60 демонструють роботу при навантаженнях, які наближаються до номінальних значень.

Ці особливості свідчать про різні умови експлуатації та робочі характеристики самоскидів залежно від типу двигуна та умов використання, що є важливим фактором для їх налаштування та подальшої оптимізації.

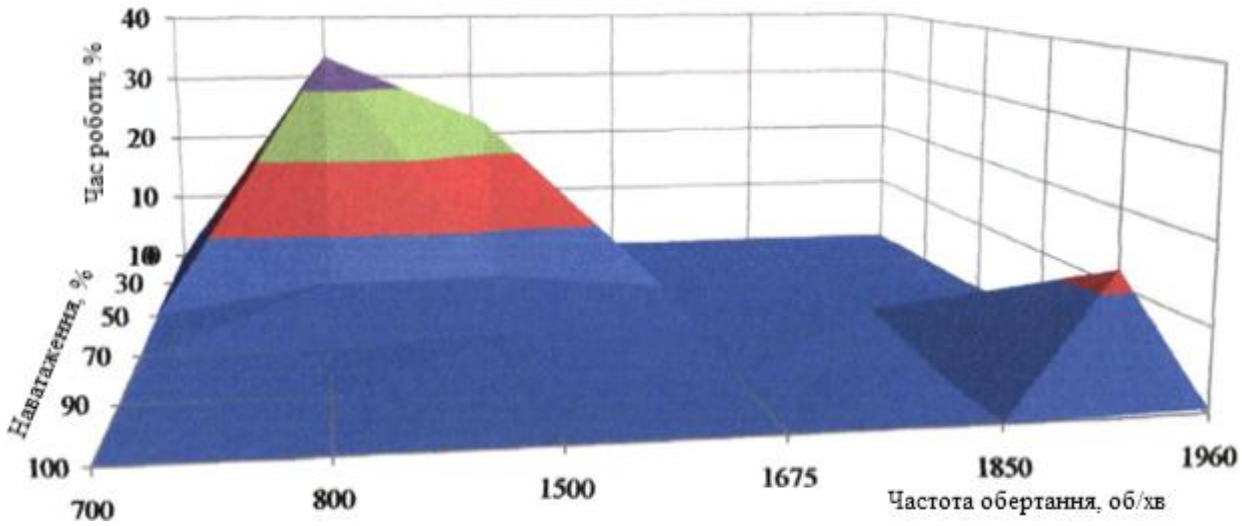


Рис. 3.1. Діаграма робочих процесів QSK60

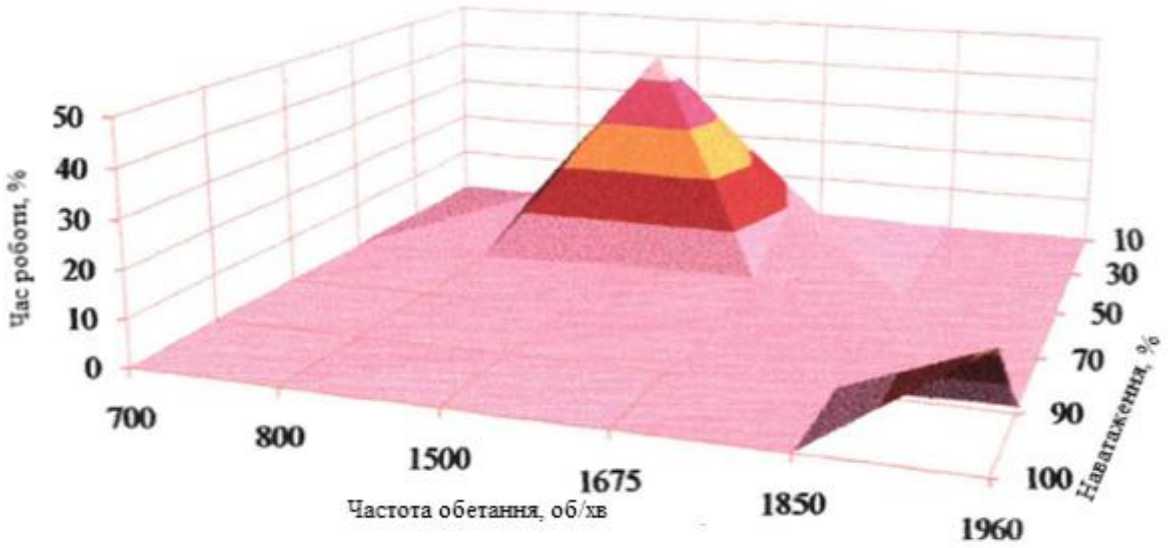


Рис. 3.2 Діаграма робочих процесів QSK45 на ПолтавськомуГЗК

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

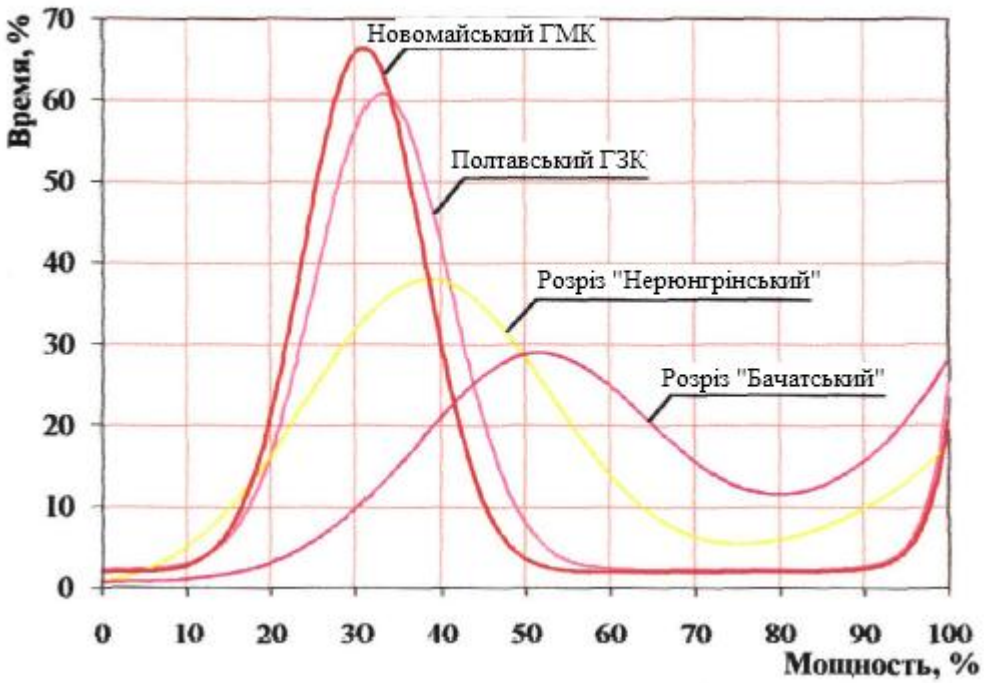


Рис. 3.3. Розподіл часу за режимами роботи дизельного ДВЗ

Дослідження, проведені для режимів роботи двигунів Cummins, показують, що силові установки кар'єрних самоскидів БелАЗ-7513GE не використовуються на максимальну потужність, у той час як двигуни самоскидів БелАЗ-75306 працюють у режимі максимальної продуктивності протягом широкого діапазону зовнішніх швидкісних характеристик. Це в основному пов'язано з їх високою вантажопідйомністю та експлуатацією на транспортних трасах, що мають плавні ухили або горизонтальні ділянки, що дає змогу транспортним засобам розвивати швидкість, наближену до максимально допустимої для цього типу техніки.

Для імітації робочих режимів силових установок кар'єрних автосамоскидів БелАЗ-75130 були побудовані рівняння регресії, використовуючи спеціалізовану програму Тренди ФСП-1. Вони стали основою для розробки ймовірнісно-статистичних моделей, які точно відображають робочі режими самоскидів з вантажопідйомністю 130 та 220 тонн. Такі моделі враховують специфічні умови експлуатації техніки як на вугільних розрізах, так і на залізорудних кар'єрах (детальні дані можна знайти в Таблиці 3.1).

Такий підхід забезпечує можливість більш точного оцінювання ефек-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

тивності роботи техніки в різних умовах та створення прогнозів, спрямованих на підвищення продуктивності технічних засобів при різноманітних варіантах експлуатації.

Таблиця 3.1

Апроксимація залежностей роботи ДВЗ БелАЗ 7513

Кар'єр (розріз)	Рівняння регресії	Коефіцієнт детермінації
Розріз «Нерюнгрінський»	$T = -0{,}3909 + 0{,}0617e^{0{,}0568N} + \frac{1373{,}7153e^{\frac{-(N-38{,}5612)^2}{2\cdot 14{,}4426^2}}}{14.4426\sqrt{2\pi}}$	R^2=0.9644
Розріз «Бачатський»	$T = 0{,}6546 + 0{,}0427e^{0{,}0647N} + \frac{957{,}9477e^{\frac{-(N-55{,}1465)^2}{2\cdot 14{,}098^2}}}{14.098\sqrt{2\pi}}$	R^2=0.9996
Новомайський ГМК	$T = 2{,}2712 + \frac{1150{,}7625e^{\frac{-(N-33{,}1882)^2}{2\cdot 7{,}8224^2}}}{7.8224\sqrt{2\pi}}$	R^2=0.9993
Полтавський ГЗК	$T = 1{,}999 + \frac{1140{,}1292e^{\frac{-(N-30{,}9686)^2}{2\cdot 7{,}047^2}}}{7.047\sqrt{2\pi}}$	R^2=0.9998

Показник питомої витрати пального в номінальному режимі часто є лише умовною оцінкою ефективності роботи дизельних двигунів. У реальних умовах експлуатації двигуни значну частину часу функціонують у проміжних режимах, які залежать від типу обладнання та особливостей використання (див. Рисунок 3.3). На основі рівнянь, наведених у Таблиці 3.1, а також характеристик завантаження двигунів, можна визначити фактичні витрати пального для кар'єрних автосамоскидів із різними технічними параметрами силових установок.

Режими функціонування силових установок кар'єрної техніки є надзвичайно різноманітними, причому більшість робочого часу припадає саме на проміжні режими. Тому підвищення паливної ефективності дизельних двигунів автосамоскидів під час експлуатації можливо досягти за рахунок зниження витрат пального саме в цих проміжних режимах. Це можна реалізувати шляхом оптимізації зовнішньої швидкісної характеристики двигуна,

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

корекції його питомої витрати пального ge, а також адаптації цих параметрів до специфічних гірничо-технічних умов великих кар'єрів.

Таким чином, зменшення витрат пального в проміжних режимах є ключовим напрямком для підвищення загальної ефективності роботи кар'єрної техніки, що враховує специфіку експлуатаційних умов і дозволяє досягти більшої продуктивності при зниженні експлуатаційних витрат.

3.3 Формування моделі транспортування гірничої маси використовуючи метод імітації

Імітаційне моделювання є одним із найефективніших методів математичного відображення, яке прималося для виконання аналізу функціонування складних систем. Цей підхід включає побудову логіко-математичних моделей, які описують структуру та поведінкові особливості досліджуваної системи. У більшості випадків така модель створюється у вигляді комп'ютерної програми, яка дозволяє проводити обчислювальні експерименти з метою отримання даних про роботу системи за певний період часу.

Імітаційне моделювання не обмежується лише аналізом реальної системи. У рамках цього методу розробляється імітаційна модель, а також створюється відповідна комп'ютерна програма. Водночас визначаються й реалізуються ключові взаємозв'язки між моделлю, програмою та реальною системою, що забезпечує точність і коректність моделювання (див. Рисунок 3.4).

Таким чином, імітаційне моделювання виступає не лише інструментом аналізу, а й способом побудови оптимальних рішень для складних систем, що функціонують у змінних умовах. Цей підхід дає змогу відтворити їхню поведінку, оцінити потенційні результати та внести необхідні корективи для покращення ефективності.

На зображенні 3.4 представлені варіанти конфігурацій, що використовуються для моделювання руху кар'єрного автосамоскида. Переміщення гірської маси цим транспортним засобом описується через різноманітні Хт-параметри, які змінюються з плином часу в процесі експлуатації. Імітаційна

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

модель включає вибір специфічних інструкцій для налаштування цих параметрів, виконання яких дає змогу з високою точністю відтворювати функціонування реальної системи. Обчислювальні експерименти передбачають збір, накопичення й подальшу обробку статистичних даних, що стосуються динаміки зміни Xт(t)-параметрів.

Серед великої кількості параметрів силових установок виділяються два ключові: максимальна потужність і середньоексплуатаційні витрати пального. Для спрощення подальших досліджень розглядаються лише часткова маса автосамоскида, потужність його силової установки та питома потужність, позначена як Руд. Завданням є визначення оптимальних значень Руд і експлуатац. витрат палива Qscp. Це досягається шляхом варіювання цих показників у відповідних межах (діапазон) та пошуку найкращих варіацій відстані перевезення та висоти підйому гірської маси, що забезпечують максимальну ефективність використання.

Коефіцієнти ефективності, отримані під час моделювання, використовуються як ключові показники для вдосконалення технічних параметрів силових установок, які встановлюються на кар'єрні автосамоскиди. Ці коефіцієнти є основою для аналізу та подальшої оптимізації, що дозволяє підвищити ефективність експлуатації техніки в умовах реальних робочих навантажень.

Критерії оптимізації включають визначення таких параметрів, як Руд і Qscp, які оцінюються після виконання імітаційного моделювання. У рамках цього моделювання відтворюється рух автосамоскида по дорозі зі складним профілем, максимально наближеним до реальних умов експлуатації. Такий підхід дозволяє більш точно оцінити взаємодію між технічними характерис-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

тиками транспортного засобу і специфікою дорожнього покриття чи траєкторії.

Оскільки двигуни внутрішнього згоряння, які використовуються на кар’єрних автосамоскидах, здебільшого функціонують у режимах, що не є стабільними, важливим завданням є дослідження їхньої поведінки під час таких робочих циклів. Несталі режими роботи характеризуються частими змінами навантаження, обертів і умов, що впливає на їх продуктивність і витрату палива. Тому розуміння можливостей і обмежень роботи двигунів у таких умовах є ключовим фактором для подальшого вдосконалення їх конструкції та управління.

Детальне вивчення роботи двигунів у несталих режимах дозволяє врахувати широкий спектр впливів, таких як частота зміни режимів, тривалість максимального навантаження, енерговитрати під час прискорень і уповільнень. Крім того, аналіз таких режимів роботи дає змогу оцінити стійкість системи, її адаптивність до різних умов експлуатації та потенційний вплив на термін служби двигуна й інших вузлів транспортного засобу.

Таким чином, імітаційне моделювання в поєднанні з аналізом отриманих коефіцієнтів ефективності створює базу для розробки нових підходів до проектування і вдосконалення силових установок кар’єрних автосамоскидів. Це сприяє підвищенню їхньої надійності, економічності та продуктивності навіть за умов нестабільних і високих навантажень, що характерні для роботи в кар’єрах.

Двигуни, які встановлюються на кар'єрних автосамоскидах, працюють у широкому спектрі режимів, що створює потребу у розробці спеціального обладнання та методології для проведення натурних стендових випробувань. Ці випробування мають відтворювати умови, максимально наближені до реальних умов експлуатації. Для вирішення цього завдання необхідно чітко визначити діапазон можливих несталих режимів роботи двигуна.

Досконаліть, ефективність і техніко-економічні показники кар'єрної техніки визначаються характеристиками її компонентів і агрегатів, які здійс-

нюють перетворення або передачу енергії. У випадку кар'єрних автосамоскидів із дизель-електричним приводом до таких компонентів належать дизельний мотор, перетворювач енергії (генератор) і електродвигуни мотор-коліс.

Дизельний двигун виконує функцію первинного джерела енергії, перетворюючи хімічну енергію, що міститься у пальному, на механічну. Цей процес відбувається завдяки спалюванню пального в циліндрах двигуна, що створює рух поршнів, перетворюючи теплову енергію в механічну роботу. Надалі механічна енергія передається до генератора, який трансформує її в електричну енергію, призначену для живлення електродвигунів.

Електродвигуни, у свою чергу, використовують отриману електричну енергію для створення обертового руху. Завдяки цьому вони генерують крутний момент, який передається через систему приводу на колеса автосамоскида, забезпечуючи його пересування. Таким чином, вся система працює як узгоджений ланцюг, де кожен елемент виконує свою специфічну функцію для перетворення енергії та передачі її на колеса транспортного засобу.

Однак у цьому процесі відбуваються певні втрати енергії, що обумовлені фізичними властивостями компонентів та їхньою ефективністю. Для оцінки цих втрат використовується показник коефіцієнта корисної дії (ККД), який визначає, наскільки ефективно кожен елемент системи виконує свою функцію. Зокрема, оцінюється ККД дизельного двигуна, який залежить від ступеня перетворення хімічної енергії на механічну. Крім того, враховуються втрати в генераторі, де частина механічної енергії втрачається під час її перетворення на електричну. Не менш важливим є ККД електродвигунів, який відображає, наскільки ефективно електрична енергія перетворюється на обертову механічну силу.

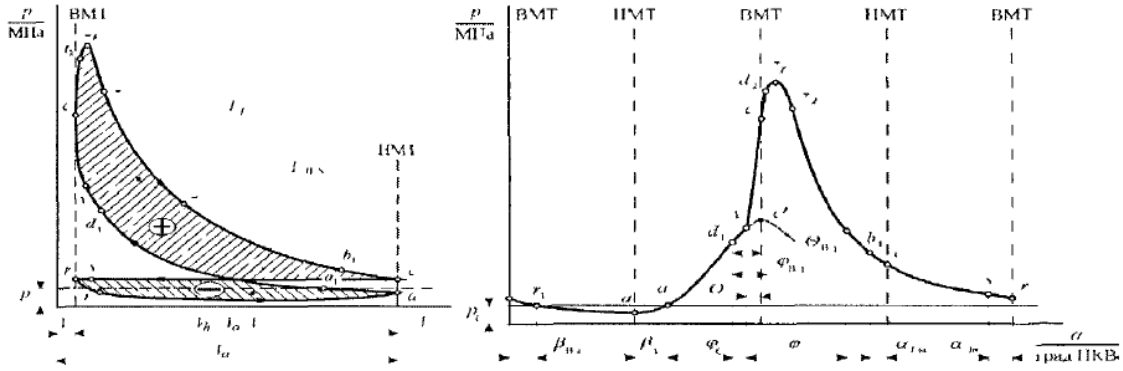
Загальний рівень енергетичних втрат у системі визначається взаємодією цих компонентів і залежить від характеристик обладнання, таких як конструктивні особливості, якість матеріалів, умови експлуатації та навіть ступінь зношеності елементів. Таким чином, аналіз ККД кожного з етапів енергетичного ланцюга дозволяє виявити потенційні резерви для підвищення

ефективності роботи системи загалом, зокрема шляхом зниження втрат енергії у найкритичніших точках.

Згідно з теорією руху автомобілів, частина енергії витрачається на подолання опору руху, до якого входять опір кочення шин, опір підйому, інерційні втрати через масу транспортного засобу та аеродинамічний опір.

Моделювання робочих процесів дизельного двигуна базується на методиці теплового розрахунку, запропонованій професором В.І. Гриневцем і вдосконаленій та ін.. Так Вібе доповнив методику, враховуючи швидкість горіння пального, яке дає можливість враховувати кут випередження запалювання, час подачі тепла у робоче середовище і бехзпосередньо характер процесу в часі.

У результаті теплового розрахунку отримують індикаторну діаграму тиску в робочому циліндрі мотора (рис. 3.5, а). Позначення на рисунку 3.5, б: φС – період затримки самозаймання пального; φВпр – тривалість уприскування; θ – кут випередження запалювання; φz – умовна тривалість згоряння; θВпр – кут випередження уприскування.



а) б)

Рис. 3.5. Графіки роботи дизельного ДВЗ на 4 ри такти «р - V» (а) і «р - а» (б)

Площа, що утворюється під кривою індикаторної діаграми, визначає індикаторну роботу L1. Цей показник використовується для обчислення важливих індикаторних параметрів, які характеризують робочий цикл дизельного двигуна. До таких параметрів належать середній індикаторний тиск p1, індикаторна потужність N1, індикаторний коефіцієнт корисної дії η1, а також

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

індикаторна витрата пального g1. Ці величини наведені в Таблиці 3.2, а також представлені відповідні розрахунки для різних режимів роботи двигуна.

Таблиця 3.2

Показники дизельного ДВЗ

Параметр	Показнки ДВЗ	
	індикаторні	ефективні
Тиск	$p_i = \frac{p_c}{\varepsilon - 1}\left[\frac{\lambda}{n_2 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1}\left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}\right)\right]$	$p_e = \eta_M p_i$
Потужність	$N_e = \frac{\eta_M p_i V_h in}{30\tau}$	$N_e = \frac{\eta_M p_i V_h in}{30\tau}$
Витрати палива	$g_i = \frac{3600}{\eta_i H_u}$	$g_e = \frac{G_t}{N_e}$
ККД	$\eta_i = \frac{L_i}{H_u}$	$\eta_e = \frac{3600}{g_e H_u}$

Індикаторні показники використовуються головним чином для оцінки роботи дизельного двигуна та ефективності автосамоскида в умовах, які характерні для конкретних гірничо-технічних ситуацій. Вони дозволяють отримати більш точну інформацію про продуктивність та працездатність машини в різних режимах експлуатації. Ключові параметри дизельного двигуна, що визначають його ефективність, враховують різноманітні типи затрат, такі як подолання сил тертя системи поршнь-стінки циліндра, втрати на тертя у підшип. ковзання, а також насосні втрати, що виникають у процесах подачі і відводу газів. Крім того, важливими є втрати, пов'язані з роботою допоміжних механізмів, таких як розподільча система (ГРМ), насос подачі мастила, насос системи охолодження і насос подачі пального.

Аналіз тиску, який визначається на індикаторній діаграмі, враховуючи кінематику кривошипно-шатунного механізму, дозволяє більш детально вивчити рух цього механізму. Зокрема, сила, що виникає від тиску газів, а також інші сили, що діють в рамках цього механізму, призводять до утворення крутного моменту на маховику двигуна, який потім передається генератору для виконання необхідних функцій.

$$M - M_c = \pm J \frac{d\omega}{dt}$$

У режимах роботи, де спостерігається нерівномірність енергоспоживання, виникає дисбаланс між енергією, яку виробляє двигун внутрішнього

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

згоряння (ДВЗ), та енергією, яку потребує споживач. Ця розбіжність опису ється рівнянням, де параметр \(J \) представляє сумарний момент інерції обертових і зворотно-поступальних мас системи «двигун – споживач», а \(M_c \) – момент опору з боку споживача. У контексті роботи кар'єрного автосамоскида головним споживачем енергії є тяговий генератор.

Сучасні системи електроприводу кар'єрних автосамоскидів використовують синхронні генератори в поєднанні з електродвигунами постійного струму. Це визначає особливості електромеханічної трансмісії, що функціонує на основі інтеграції змінного і постійного струмів. Така трансмісія забезпечує ефективне управління енергопотоками в різних режимах роботи автосамоскида.

Електропривод складається з тягового генератора, який приводиться в дію дизельним двигуном. Обмотки статора цього генератора під'єднані до некерованих випрямлячів, що забезпечують перетворення змінного струму на постійний. Для розширення діапазону швидкостей за повного навантаження двигуна може бути активовано режим ослаблення магнітного поля збудження генератора. Цей режим регулюється спеціальним блоком управління збудженням, який включає трифазний тиристорний випрямляч. Така конструкція дозволяє оптимізувати роботу електроприводу в умовах змінних навантажень.

Під час руху автосамоскида по нерівностях дорожнього полотна на його ведучих колесах можуть виникати змінні обертові моменти навіть у разі руху по горизонтальній прямій ділянці. Ця проблема стає більш помітною при русі по криволінійних маршрутах. Проте для розрахунку тягових характеристик автосамоскидів зазвичай використовується спрощена модель прямолінійного руху, яка ігнорує вплив дорожніх нерівностей і відмінностей у поведінці лівого та правого коліс. Якщо ковзання ведучих коліс відсутнє, у рамках цієї моделі не має значення кількість ведучих мостів: умовно весь крутний момент передається на одне «умовне» ведуче колесо.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Розраховуючи загальний тяговий момент ведучих коліс, необхідно враховувати всі сили опору, які повинен подолати двигун, передаючи енергію через трансмісію до коліс. Водночас слід зважати на енергетичні втрати, що виникають у вузлах трансмісійної системи, таких як редуктори та привідні механізми. Ці фактори істотно впливають на ефективність передачі енергії та продуктивність роботи всієї системи.

Питома ефективна витрата палива двигуна (ge) визначає кількість палива, яке споживається в одиницю часу при стабільному режимі роботи двигуна, відносно потужності, що розвивається в цьому режимі. Для обчислення витрати палива за одиницю часу застосовується часова витрата палива (Gт). Питома та часова витрати палива взаємопов'язані за таким співвідношенням:

$$g_e = \frac{G_т}{P_{д.н}} 10^6$$

де РДН — це потужність двигуна, що визначається при сталому режимі роботи з незмінною швидкістю обертання (ωд = const), виражена в кілограмах на секунду. Потужність Рд.н описує рівень навантаження на двигун і враховує різноманітні чинники, зокрема опори руху автосамоскида, втрати потужності в трансмісійних механізмах, а також енергоспоживання на привід допоміжного обладнання двигуна та системи керування автосамоскидом. Визначення Рд проводиться за допомогою такої формули:

$$P_{д.н} = \left|P_{в.о} + P_{тр} + P_f + P_i + P_w\right|$$

Питома витрата палива (gД) змінюється залежно від того, в якому режимі працює двигун. На графіку показано характеристику паливної ефективності двигуна, де присутні лінії, що відповідають різним рівням потужності навантаження Рдн при стабільних значеннях питомої витрати палива (gд). Це лінії рівних питомих витрат пального і демонструють, як питомі витраата пального змінюються від швидкості обертання вала мотора (nд) та рівня потужності нагрузки Рдн. В точці А на малюнку відображено min питомі затрати пального, тоді як точка В позначає максимальну потужність двигуна і відповідну максимальну питому витрату палива. З графіка можна зробити висно-

вок, що при однаковому навантаженні двигуна Рдн витрата пального (gд) в
рюється залежно від швидкості кутової швидкості КВ двигуна.

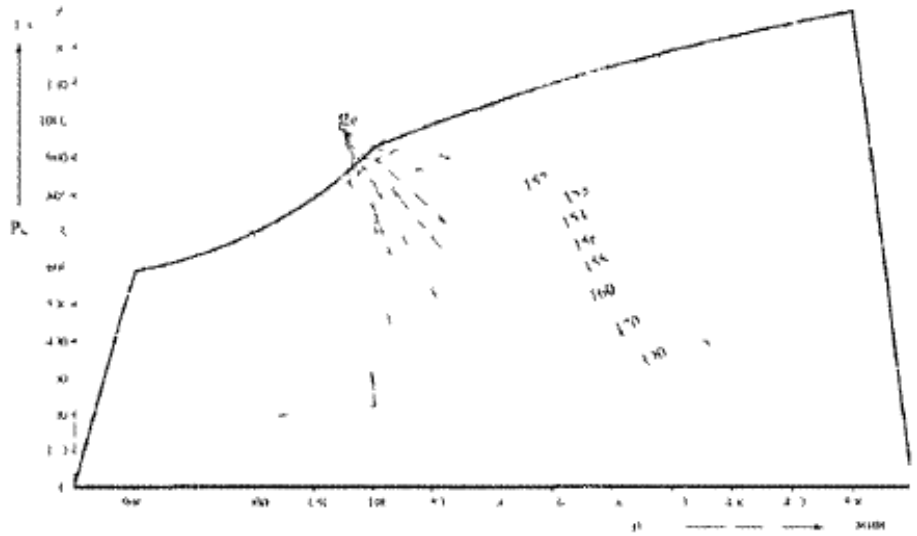


Рис. 3.6. Багатопараметрична характеристика мотора 6ДМ210АФ

Застосування кар'єрних автосамоскидів дозволяє оперативно та з високою ефективністю оцінювати й обирати найбільш економічно доцільний тип спеціалізованого транспорту, враховуючи технічні характеристики та умови експлуатації. Завдяки проведенню розрахунків ключових параметрів роботи таких машин, можна визначити оптимальні показники їхніх силових установок. Це дає змогу обрати рішення, що найкраще відповідає специфіці гірничотехнічних умов, забезпечуючи максимальну продуктивність або мінімізуючи споживання пального під час виконання робіт.

Зокрема, у рамках дослідження об'єктом моделювання виступає транспортний цикл роботи кар'єрного автосамоскида моделі BelAZ-7513. Цей автомобіль оснащений дизельним двигуном марки Cummins QSK45-C, потужність якого знаходиться в діапазоні від 895 до 1678 кВт. Такий двигун працює у поєднанні з електромеханічною трансмісією, що забезпечує високу ефективність роботи навіть у складних умовах експлуатації.

У процесі моделювання враховувалися кілька ключових факторів. Наприклад, ухил дорожнього полотна, яким пересувається автосамоскид, змінювався в межах від 4% до 18%. Глибина кар'єра, що визначає висоту підйому видобутої гірничої маси, варіювалася в діапазоні від 100 до 900 метрів.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для оцінки протяжності транспортних маршрутів застосовувався коефіцієнт розвитку траси, обчислений відповідно до методики професора В.С. Хохрякова, що становить 1,2. Крім того, було враховано максимальну допустиму швидкість руху, яка на дорогах кар'єру складає 30 км/год.

Особливу увагу слід звернути на наявність системи наддуву в дизельних двигунах кар'єрних самоскидів. Це технічне рішення дозволяє випускати двигуни з різними рівнями потужності в межах одного модельного ряду. Завдяки цьому є можливість вибору найбільш оптимальної потужності двигуна, яка відповідатиме специфічним вимогам конкретного проєкту. Такий підхід сприяє підвищенню універсальності й адаптивності техніки, що використовується в умовах відкритих кар’єрів, дозволяючи гнучко реагувати на зміну умов експлуатації та технологічні потреби.

Таким чином, аналіз експлуатаційних параметрів кар'єрних автосамоскидів, таких як BelAZ-7513, забезпечує можливість точного моделювання їхньої роботи, оптимізації характеристик і досягнення високої продуктивності. Це сприяє ефективній організації транспортування гірничої маси, економії ресурсів і підвищенню рентабельності виробничих процесів.

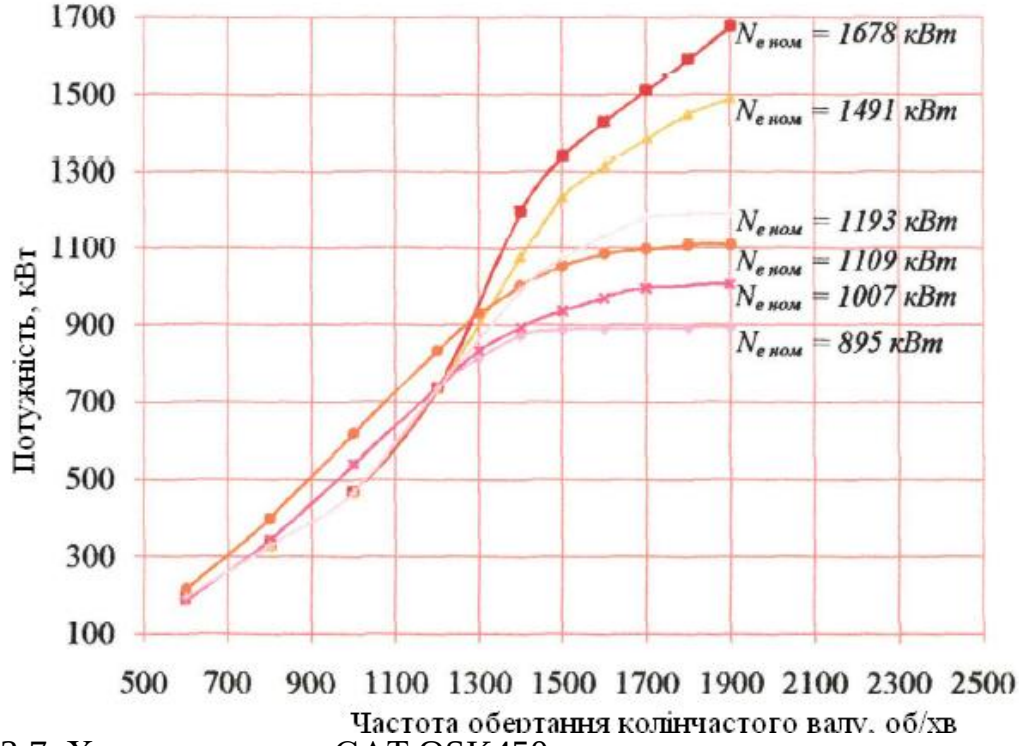


Рис. 3.7. Характеристики CAT QSK450

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Використання сучасних компонентів паливної системи та електронних систем управління подачею пального демонструє значний потенціал для підвищення ефективності роботи двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ). Такі інновації дозволяють оптимізувати процес згоряння пального, зменшуючи втрати енергії та підвищуючи загальний коефіцієнт корисної дії (ККД) силових установок.

Застосування новітніх паливних форсунок із високоточним розпиленням забезпечує більш рівномірне змішування пального з повітрям, що сприяє кращому горінню та зниженню викидів шкідливих речовин. Крім того, використання паливних насосів високого тиску дозволяє підтримувати стабільну подачу пального навіть у складних умовах експлуатації, таких як високе навантаження чи робота на значних висотах.

Електронні системи управління паливоподачею, зокрема блоки керування двигуном (ECU), відіграють ключову роль у досягненні максимальної ефективності. Завдяки датчикам, які відстежують параметри роботи двигуна (температуру, тиск, швидкість обертання тощо), система в режимі реального часу регулює кількість та час впорскування пального. Це дозволяє забезпечити оптимальні умови для кожного режиму роботи двигуна – від холостого ходу до максимального навантаження.

Важливою перевагою таких систем є можливість адаптації до різних типів пального, що дає змогу використовувати альтернативні джерела енергії, наприклад, біопаливо. Крім того, електронні системи дозволяють реалізувати стратегії зменшення викидів CO_2 та інших шкідливих речовин, що відповідає сучасним екологічним стандартам.

Загалом, впровадження сучасних компонентів паливної системи та електронного управління сприяє не лише економії пального, а й підвищенню надійності та довговічності двигунів. Це особливо актуально для кар’єрної техніки та іншого транспорту, що працює у важких умовах, адже дозволяє зменшити експлуатаційні витрати та мінімізувати час простоїв (рис. 3.8).

Паралельно зі зростанням потужності дизельних двигунів важливим

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

аспектом залишається обґрунтований і раціональний вибір їхніх ключових характеристик. Цей вибір значною мірою впливає на такі важливі показники, як тягово-швидкісні властивості автосамоскидів, а також їхню економічність у споживанні пального. Оптимальні параметри двигуна дозволяють забезпечити не лише ефективну роботу транспортного засобу у важких умовах кар'єрів, але й суттєво підвищити його загальну продуктивність і зменшити витрати ресурсів на виконання технологічних завдань.

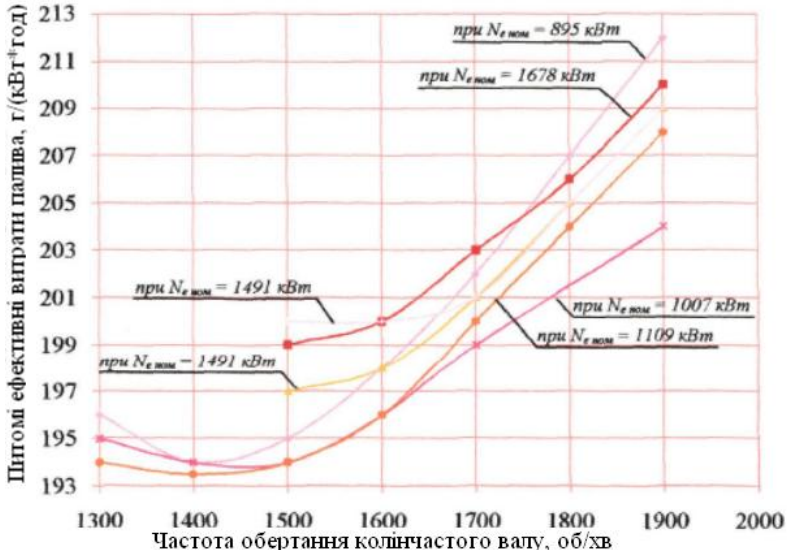


Рис. 3.8. Ефективна витрата пального CAT QSK450

Так, правильне поєднання технічних характеристик двигуна, таких як потужність, крутний момент і економічна витрата пального, має вирішальне значення для досягнення балансу між високою продуктивністю та оптимальними експлуатаційними витратами. Дослідження показують, що ретельний підхід до вибору параметрів двигуна дозволяє суттєво поліпшити динамічні властивості автосамоскида, включаючи його швидкість руху на різних ділянках траси, тягові здібності при підйомах, а також ефективність використання пального за різних режимів роботи (рис. 3.9).

Цей комплексний підхід є надзвичайно важливим у процесі проєктування та експлуатації автосамоскидів, особливо в умовах складних гірничо-геологічних факторів. Врахування специфіки роботи техніки дозволяє не лише підвищити ефективність використання ресурсів, а й оптимізувати виробничі процеси, забезпечуючи стабільність і надійність роботи транспортного парку.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Рис. 3.9. Багатопараметричні залежності 6ДМ-210АФ

Визначити та розрахувати єдине оптимальне поєднання параметрів питомої потужності і середніх експлуатаційних витрат палива для різних гірничотехнічних умов роботи є неможливим, оскільки це залежить від багатьох змінних факторів. З цієї причини вибір типового маршруту, який відповідає специфічним умовам експлуатації, є надзвичайно важливою і відповідальною задачею, що потребує детального вивчення.

У випадку з кар'єрними автосамоскидами існує декілька типовичних умов експлуатації, що значно варіюються за такими критеріями, як середньозважений нахил дороги, відстань транспортування та висота підйому гірничої маси. Ці фактори мають значний вплив на ефективність роботи автосамоскида в кожному конкретному випадку (табл..3.3 і графіно на рис. 3.10.).

Таблиця 3.3

Розповсюджені умови експлуатації великовантажних кар'єрних автосамоскидів

Висота підйому, м	Висота транспортування (км) при коефіцієнті розвитку трас 1,2 та керуючому ухилі , %								
	2	4	6	8	10	12	14	16	18
100	6,00	3,00	2,00	1,50	1,20	1,00	0,86	0,75	0,67
200	–	6,00	4,00	3,00	2,40	2,00	1,71	1,50	1,33
300	–	9,00	6,00	4,50	3,60	3,00	2,57	2,25	2,00
450	–	–	9,00	6,75	5,40	4,50	3,86	3,38	3,00
600	–	–	–	9,00	7,20	6,00	5,14	4,50	4,00
900	–	–	–	–	10,80	9,00	7,71	6,75	6,00

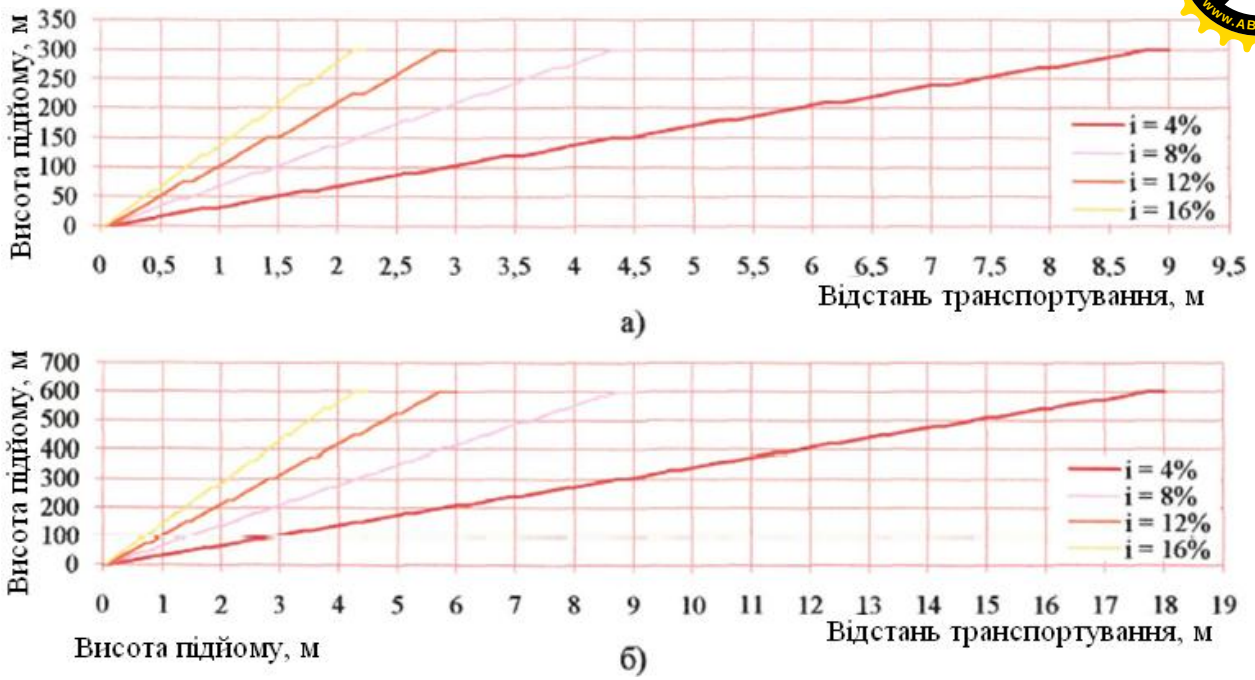


Рис. 3.10. Параметри трас відповідно в кар'єрах 300 м (а) та 600 м (б)

Моделювання процесу транспортування гірничої маси кар'єрним автосамоскидом через імітаційні методи включає кілька важливих етапів: розрахунок ключових технологічних параметрів, збір необхідних даних, збереження результатів моделювання, а також їх подальший аналіз для отримання корисної інформації.

Результати, які отримуються в процесі імітаційного моделювання транспортування гірничої маси автосамоскидами, мають практичне значення для визначення основних технологічних параметрів. Це включає в себе обчислення середньої технічної швидкісті руху машини з різними парметирами мотора у безносередніх умовах досліджень, а також виявлення залежностей ефективності машин від цих умов. Крім того, модель дозволяє обґрунтувати можливі шляхи для підвищення продуктивності техніки і оцінити її паливну економічність.

Продуктивність кар'єрного автосамоскида є критичним параметром, який впливає на ряд інших технічних та техніко-економічних характеристик, зокрема на витрати палива для транспортування гірської маси. Оцінка продуктивності, в свою чергу, базується на точному визначенні середньотехнічної швидкості руху, що досягається за допомогою імітаційного моделювання.

Застосована програма дає змогу проводити обчислення миттєвих парамет-

рів транспортного циклу автосамоскида з обраним інтервалом часу, а також візуалізувати отримані результати на графіках для зручного аналізу. Характер змін параметрів під час імітаційного моделювання відповідає реальним умовам експлуатації, що підтверджується даними, отриманими з електронних систем діагностики дизельного двигуна CAT QSK450 і електричної трансмісії GeneralEllectric.

Крім того, програма дозволяє детально вивчати зміни технічних характеристик кар'єрних автосамоскидів та їх силових установок залежно від змінних параметрів процесу транспортування гірничої маси, а також надавати накопичену інформацію у вигляді зручних для аналізу форматів.

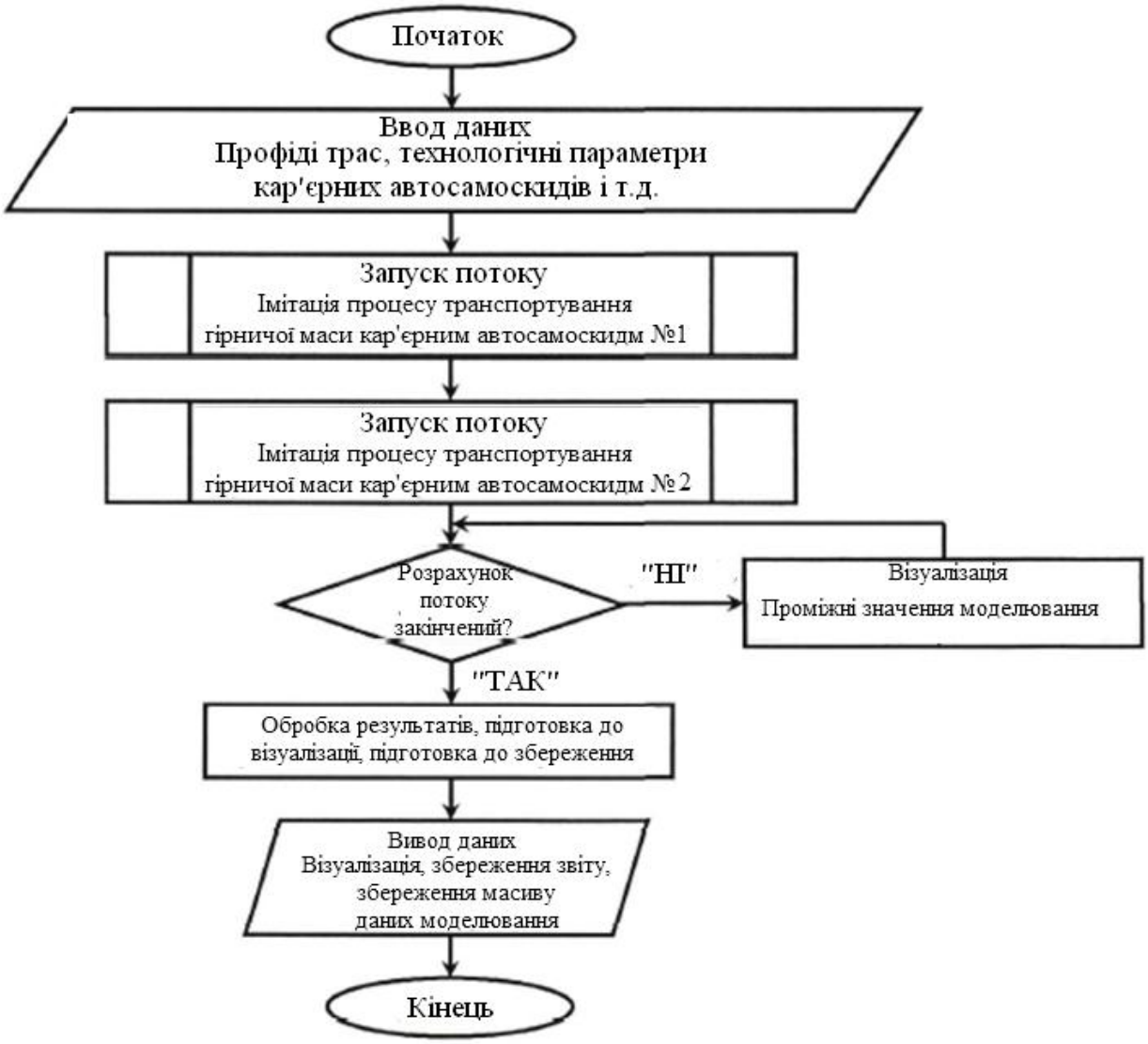


Рис. 3.11 Алгоритм транспортування гірничої маси машиною

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Рис. 3.12 Алгоритм транспортного циклу

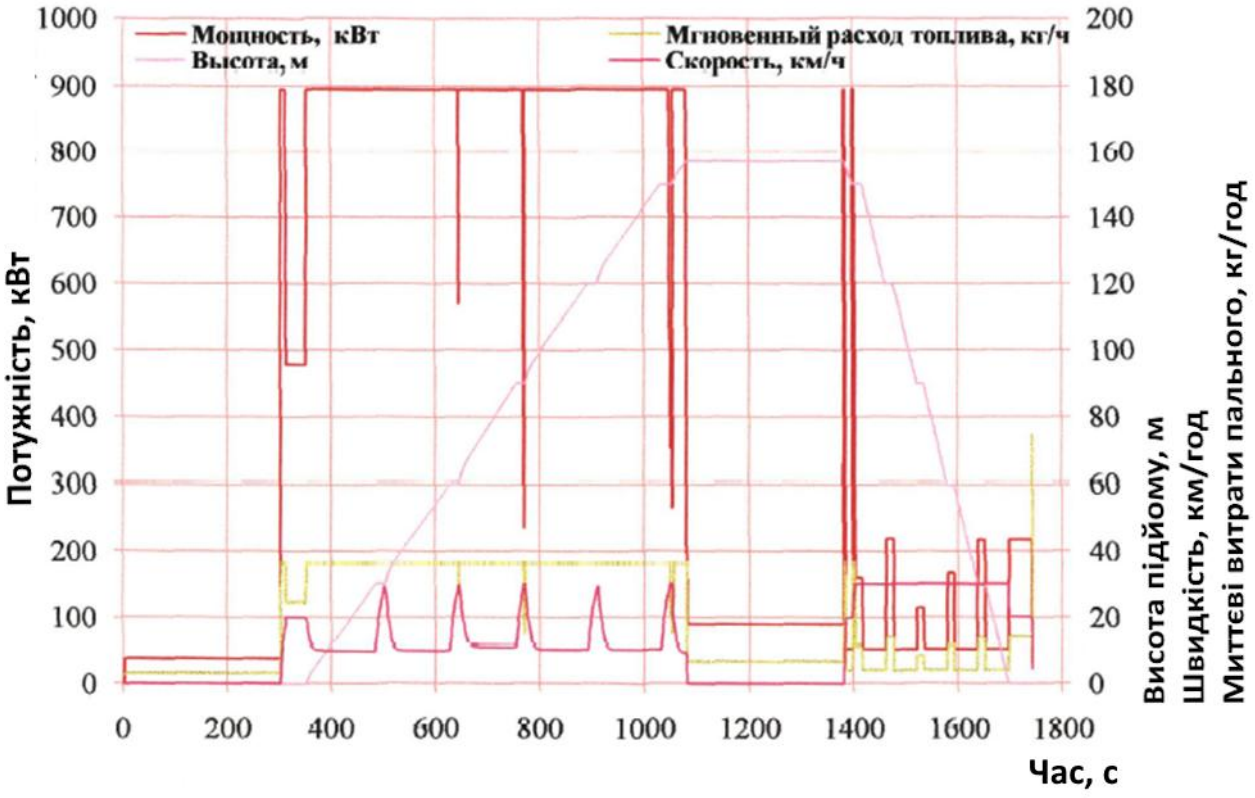


Рис. 3.13 Закономырносты змыни параметрів транспортного циклу

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

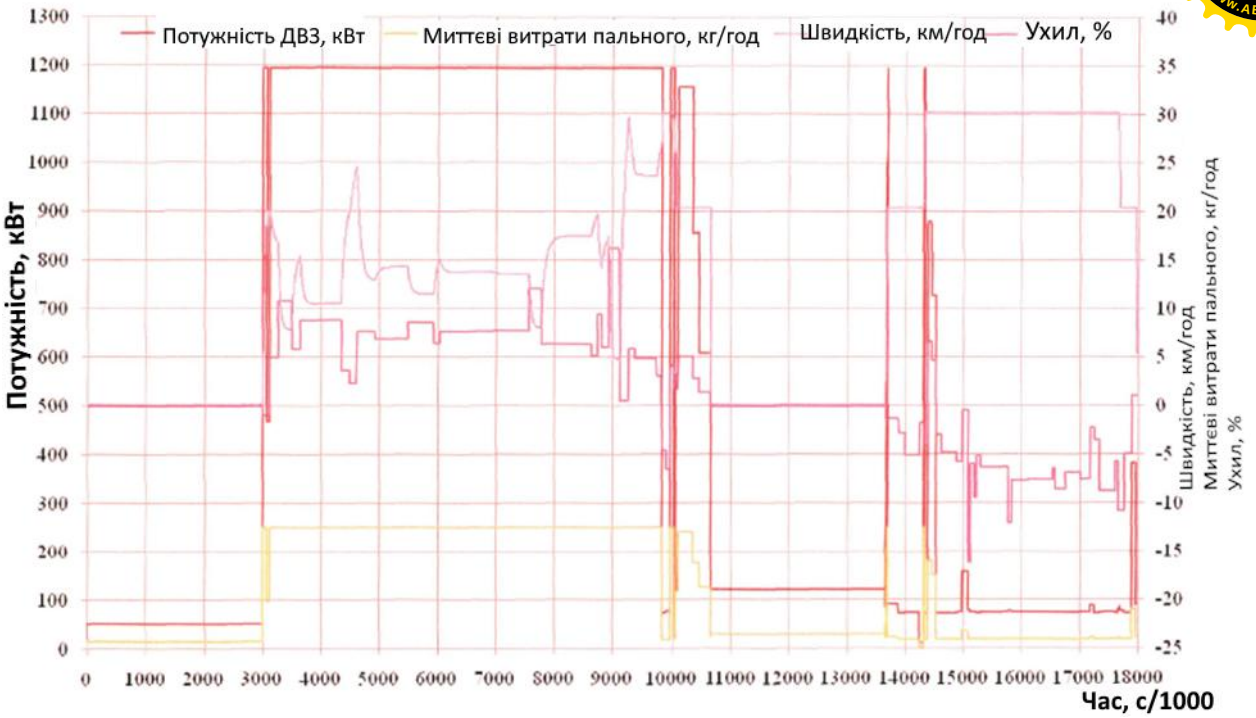


Рис. 3.14 - Графік залежності технічних характеристик кар'єрного самоскида

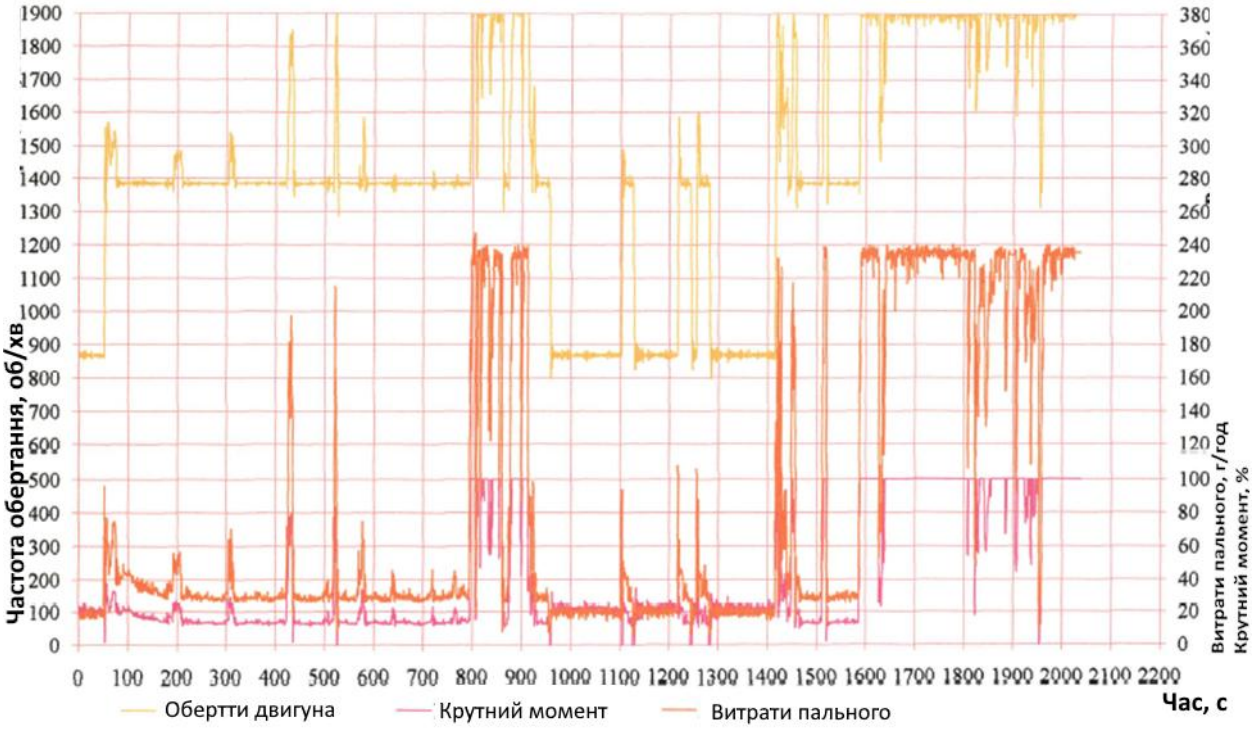


Рис. 3.15 Роботи CAT QSK450

Модель імітаційного транспортного циклу:

1. Час транспортного циклу

$$t = \frac{l\left\{k_{гор}\left[\frac{3{,}6}{v_{гор}} N_{ДВС}\eta_{тр} - (G_a + q)\omega_U g\right] + (G_a + q)\omega_U g + \frac{3{,}6}{v_{сп}} N\eta_{тр}\right\} + H_n g(1 - k_{гор})(G_a + q)}{2(N_{ДВС} - N_{в.о})\eta_{тр}} +$$

$$+ t_{м.п} + t_{о.п} + t_п + t_{м.р} + t_р, \text{ мин},$$

де t_n, t_p - час навантаження/розвантаження.; $t_{мп}$, $t_{м.р}$ - час простою навантаження/розвантаження відповідно, $t_{0.п}$ - час простою навантаження;

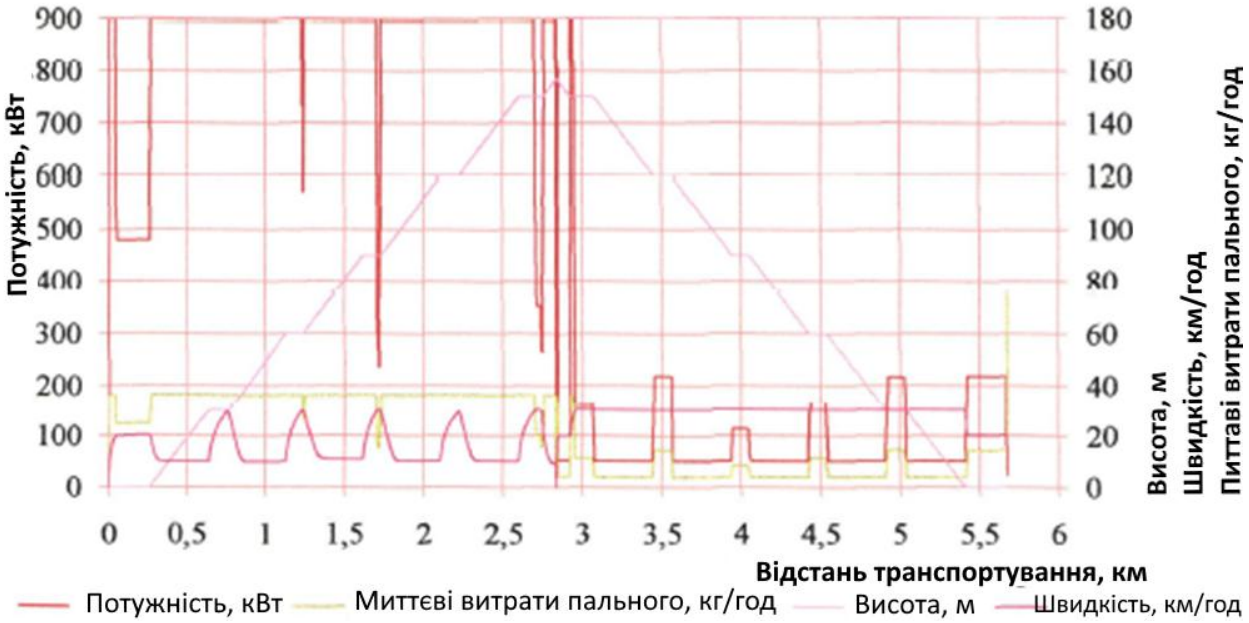


Рис. 3.16 – Закономырності зміни характеристик маши ни від довжини руху

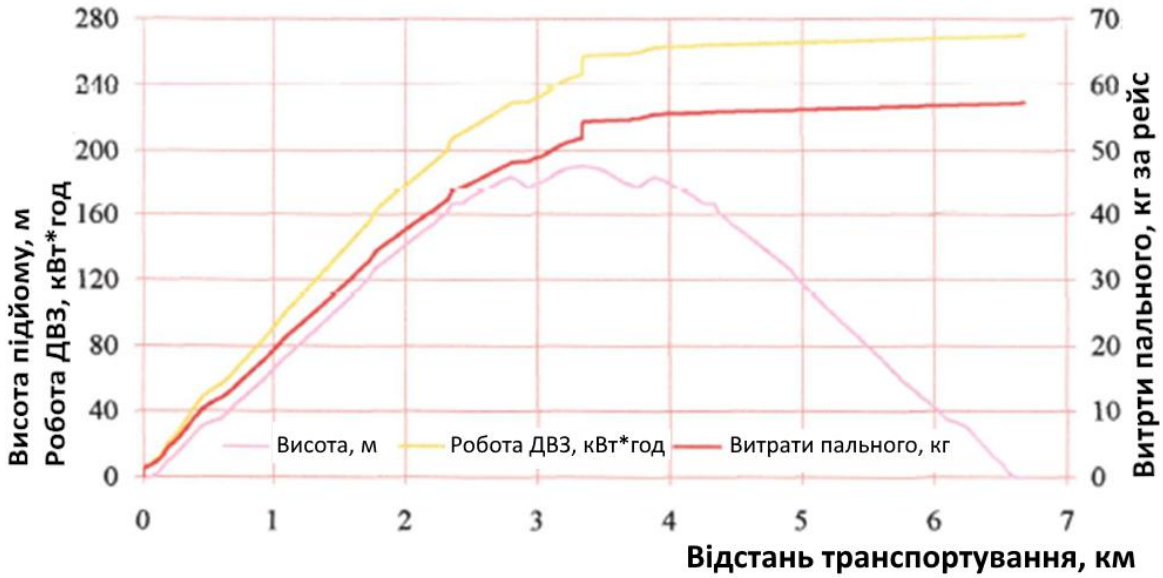


Рис. 3.17. Фінішні результати моделювання

Переформулюючи цю залежність та враховуючи, що v = Lit, можна встановити взаємозв'язок швидкості з тими ж параметрами.

2. Середня технічна швидкість автосамоскида на транспортному циклі

$$v_{ср\,т} = \frac{2(N_{ДВС} - N_{в.о})\eta_{тр}}{k_{гор}\left[\frac{3{,}6}{v_{гор}} N_{ДВС}\eta_{тр} - (G_a + q)\omega_0 g\right] + (G_a + q)\omega_0 g + \frac{3{,}6}{v_{сп}} N_{ДВС}\eta_{тр} + i_{ср\,в} g(1 - k_{гор})(G_a + q)}$$

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

де $v_{гор}$ - швидкість машини по горизонталі у завантаженому стані, у кілометрах на годину; $v_{сп}$ - середня швидкість порожньої машини.

Варто зазначити, що в імітаційній моделі транспортного циклу кар'єрного автосамоскида визначається максимальна швидкість на різних ділянках маршруту. Однак фактична швидкість руху обчислюється за допомогою програми, яка враховує різноманітні фактори, що впливають на рух. До цих факторів належать такі умови, як час розгону та гальмування, нахили дороги (підйоми та спуски), опір коченню, зчеплення шин з дорогою, наявність поворотів і багато інших параметрів. Таким чином, фактична швидкість зазвичай знаходиться в діапазоні від 10 до 18 кілометрів на годину, що відповідає середньотехнічній швидкості руху кар'єрних автосамоскидів в реальних експлуатаційних умовах.

Продуктивність автосамоскида, у свою чергу, може бути розрахована за допомогою відповідної формули, що дозволяє точно визначити ефективність роботи транспорту при виконанні певних завдань.

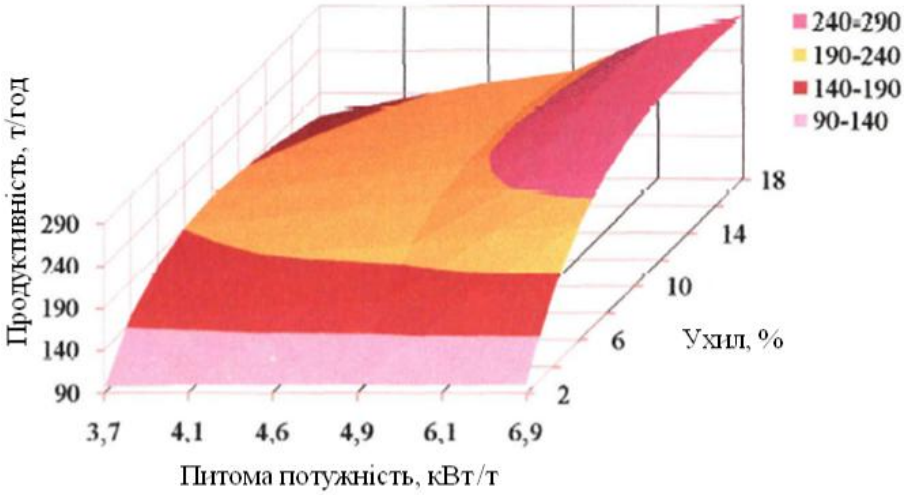
$$П = \frac{60}{t_ц} \cdot q \cdot k_з$$

де tц — час транспортного циклу машини; q — вантажопідйомність; kЗ — коефіцієнт, що визначає рівень завантаження автосамоскида.

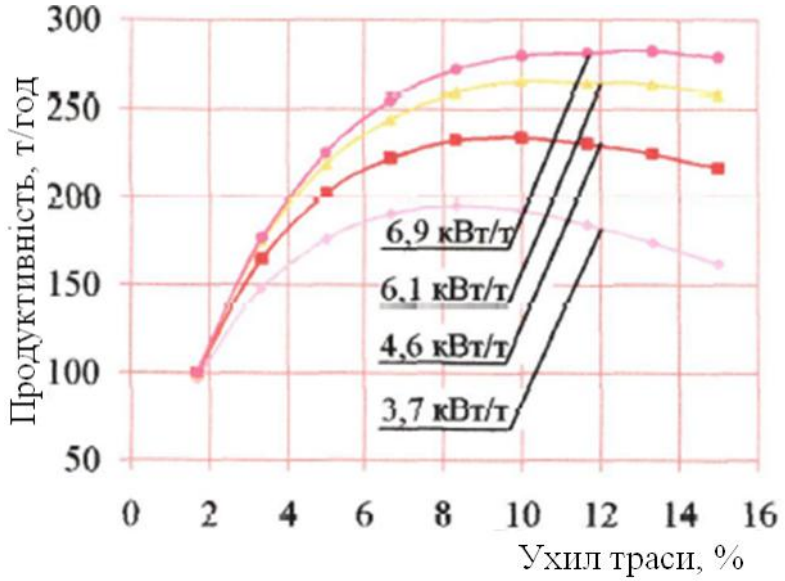
Таким чином, за допомогою сформованої моделі для кар'єрного автосамоскида можна здійснити точний розрахунок його продуктивності та витрат палива при різних умовах експлуатації в гірничотехнічних умовах, що дозволяє оптимізувати його використання (див. рис. 3.18).

З графіків можна зробити висновок, що за однакових умов, при збільшенні нахилу доріг, ефективність транспортування покращується, навіть якщо середня технічна швидкість автосамоскида зменшується. Це пояснюється тим, що при збільшенні нахилу скорочується відстань транспортування, що в свою чергу підвищує ефективність. Таке зменшення відстані транспортування має вирішальний вплив на покращення ефективності роботи автосамоскида.

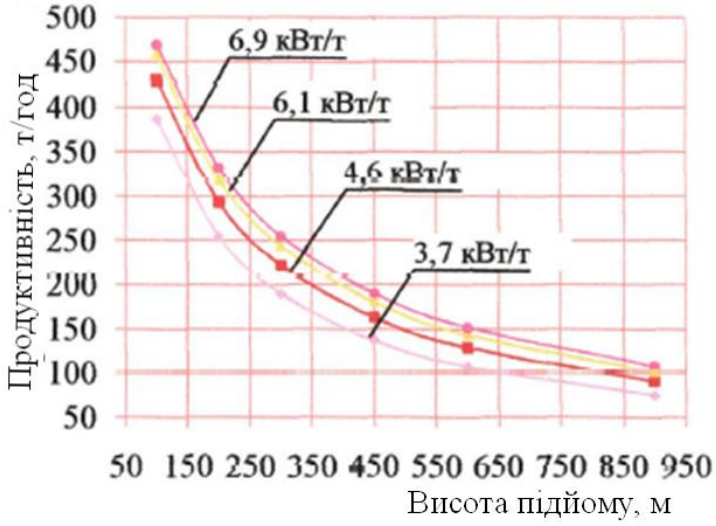
ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com



А



Б



В

Рис. 3.18 Ефктивныість великовантажного карэрного автосамоскида різною вылносною потужністю мотора: а), б) - при висоті підйому 300,0 м; в) - при

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ухилі траси 8,1%

Водночас, інтенсивність зростання продуктивності знижується із збільшенням нахилу, оскільки зростає частка допоміжних операцій, що займають більше часу в загальному циклі. Згідно з проведеним аналізом впливу різних технологічних параметрів, таких як швидкість руху та нахил дороги, на продуктивність автосамоскидів у гірничому секторі, підвищення потужності силової установки вказує на значні переваги підвищення нахилу, оскільки це дозволяє збільшити питому потужність автосамоскида. Це значно ефективніше, ніж підвищення середньої технічної швидкості руху.

Отже не менш важливою є оцінка питомої витрати пального для автосамоскидів з різними технічними характеристиками силових установок. Для оцінки витрати пального на виконання транспортного циклу можна застосувати наступну формулу:

$$Q_{ц} = Q_{подъем} + Q_{гор} + Q_{ман.} + Q_{разгр}$$

де Qпод – це витрата палива при пыдйомы вантажу; Qгор – витрата лыныйних ділянках; Qман – витрата під час маневрування; Qпозг – витрата під час розвантаження.

Для того, щоб розрахувати витрату пального, враховуючи різні гірничотехнічні параметри, застосовуємо наступне рівняння:

$$Q = \frac{g_e(N) \cdot N_{уч} \cdot t}{\eta_{тр}} = \frac{g_e(N) \cdot F_к}{3600\eta_{тр}} \cdot L_{уч} = \frac{g_e(N) \cdot \left[(G_a + q)(\omega_o + i_{уч})\right]}{3600\eta_{тр}} L_{уч}, \text{ кг}$$

де —витрата пального при потужності N, виражена в грамах на кіловат-годину; Ny4 — середнє значення потужності, на конкретній ділянці, в кіловатах; t — час, необхідний для проходження ділянки; ηтр — ККД трансмісії, що враховує ефективність перетворення енергії в трансмісійних механізмах; q — вантажопідйомність автосамоскида, яка вимірюється в тоннах.

Для розрахунку витрат пального на різних ділянках використовуються відповідні формули та вирази, що дозволяють оцінити загальні витрати пального для кожної з них. Як результат, ми отримуємо такі результати:

$$Q_ц = \frac{g_{eN}(G_a + q)g\omega_0 L(1-k_{гор}) + 0{,}001 g_{eN}(G_a + q)gH_n(1-k_{гор}) + g_e(N)(G_a + q)g\omega_0 Lk_{гор}}{3{,}6\eta_{тр}} +$$

$$+ \frac{g_e(N)N_{ман}t_{ман}}{3600\eta_{тр}} + \frac{g_e(N)N_{розгр}t_{розгр}}{3600\eta_{перед.розгр}}, кг$$

де geN — номінальний коефіцієнт ефективності витрати пального дизельним двигуном, виражений у грамах на кіловат-годину (г / (кВт • год)); ge(N) — питомий коефіцієнт ефективності витрати пального дизельного двигуна при конкретному значенні потужності N, виражений у грамах на кіловат-годину (г / (кВт • год)); Нп — висота підйому гірничої маси, в метрах (м); η — коефіцієнт корисної дії трансмісії та механізму приводу перекидання; tман, tрозв — час, необхідний для маневрування під час розвантаження та час, витрачений на сам процес розвантаження, відповідно, у секундах (с).

Для оцінки паливно-енергетичних характеристик роботи кар'єрних автосамоскидів зазвичай використовується показник питомої витрати пального на одиницю транспортної роботи, який вимірюється в грамах на тонно-кілометр (г/т-км). Цей показник можна обчислити, спростивши отримані рівняння до такої форми: г/т-км.

$$Q_{уд} = Q_ц /(L \cdot q)$$

Ми також аналізуємо ефективність витрат пального кар'єрних автосамоскидів з різними показниками питомої потужності, порівнюючи їх у схожих умовах експлуатації. Зокрема, досліджується процес підйому гірничої маси на висоту 300 метрів із врахуванням середнього нахилу дороги (див. рис. 3.19, б). Крім того, проводиться аналіз за умов нахилу дороги 8%, змінюючи висоту підйому (рис. 3.19, в). Результати показали, що при середніх нахилах у межах 8–10% різниця у витратах пального для різних моделей автосамоскидів становить лише 2–3%. Однак, якщо нахил перевищує 10%, автосамоскиди з більшою питомою потужністю (6.1–6.9 кВт/т) демонструють значно кращу паливну ефективність.

При збільшенні висоти підйому гірничої маси спостерігається позитивна тенденція до зниження питомих витрат пального. Утім, у таких умовах менш потужні автосамоскиди, оснащені двигунами з питомою потужністю

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

3.7–4.7 кВт/т, виявилися більш економічними. Це свідчить про те, що оптимальний вибір техніки залежить не тільки від нахилу дороги, а й від робочих параметрів конкретного об’єкта.

Як правило, залежність питомої витрати пального від потужності дизельного двигуна має вигляд кривої з певними зонами зниження та зростання витрат. Аналіз отриманих результатів розрахунків та дослідження різних режимів роботи кар'єрних автосамоскидів дозволяють дійти висновку, що мінімальна питома витрата пального досягається в діапазоні потужності, на якому двигун працює більшу частину часу. Це підкреслює важливість вибору таких характеристик двигуна, які б забезпечували ефективну роботу автосамоскида з урахуванням специфіки експлуатації в кар’єрних умовах.

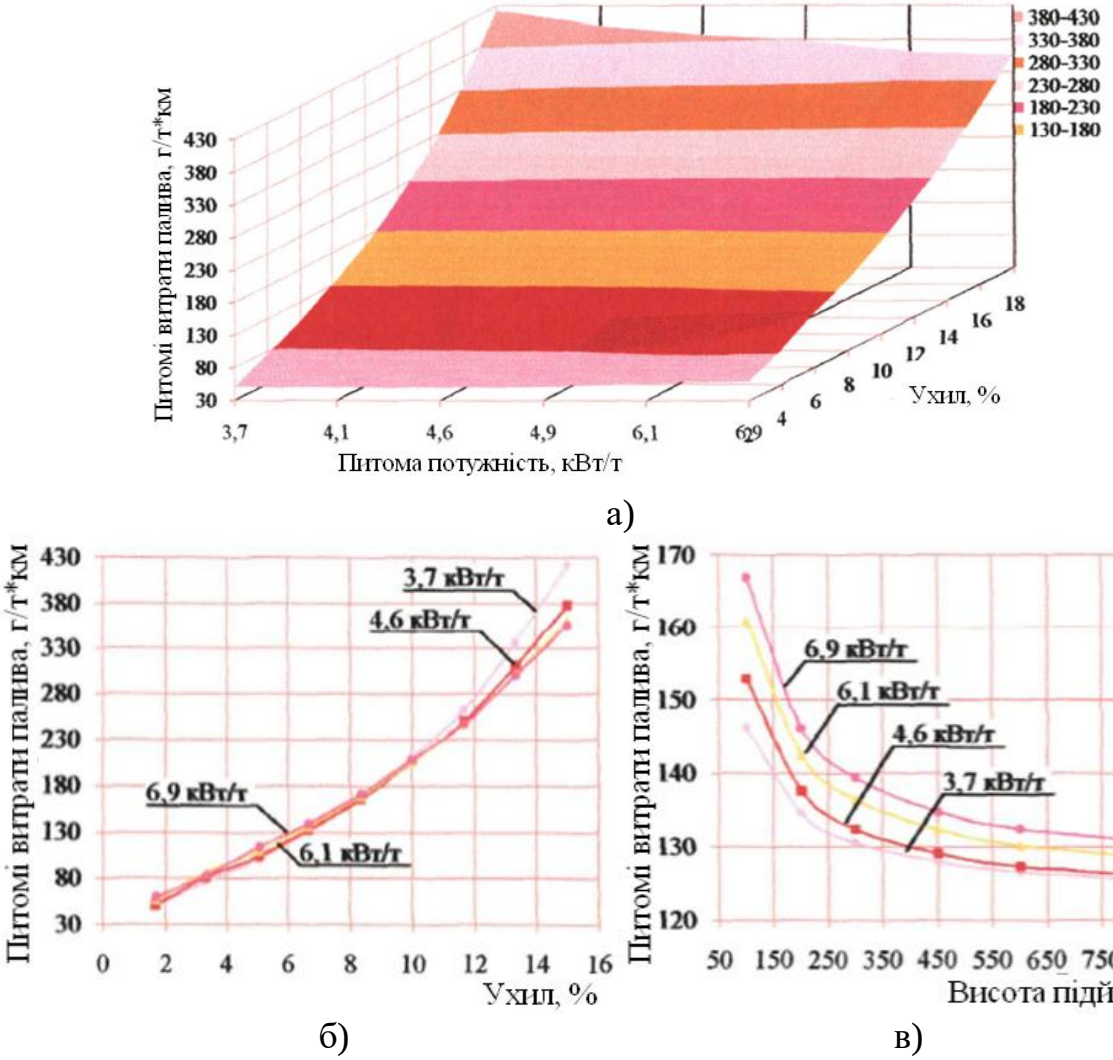


Рис. 3.19 Витрата пальноо великовантажними кар'єрними самоскидами з різноманытною питомою потужністю: а), б) - при висоті підйому 300,0 м; в) - при ухилі траси 8%

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Висновки розділу 3

Аналіз наукових джерел показує відсутність альтернативних методів для ефективного дослідження паливної ефективності кар'єрних автосамоскидів на поточний момент, окрім розробленої Інститутом гірничого двигунобудування Уральської гірничої академії наук експериментально-аналітичної методики. Застосування паливно-вимірювального обладнання в межах цієї методики дозволяє досягти низької похибки при вимірюваннях, забезпечити точність метрологічних перевірок і забезпечити простоту конструкції.

Наразі немає доступних пристроїв для точного вимірювання витрати палива для кар'єрних автосамоскидів великої вантажопідйомності. Стандартні прилади для вимірювання пального в баках автосамоскидів мають значні похибки, що робить їх непридатними для проведення досліджень щодо паливної ефективності.

Для експериментальних експериментыв витрати палива рекомендовано використовувати створену методику вимірювання витрат палива. Вона дозволяє ураховувати не лише гірничо-технічні, але і кліматичні умови, а також конструктивну специфіку машини.

Для теоретичного аналізу енергетичних параметрів транспортування кар'єрними автосамоскидами доцільно використовувати імітаційну модель транспортного циклу, яка реалізована в програмному продукті "Віртуальна модель машини". Різниця між результатами досліджень зазвичай складає близько 3%.

Аналіз експлуатаційних властивостей великовантажних кар'єрних автосамоскидыву, ураховуючи гірничотехнічні умови та нахил автомобільних трас, дає змогу знаходити ефективны парметри ДВЗ машин для выдкртих розробок, з ухилом на мінімізацію енергетичних витрат і підвищення продуктивності.

Встановлено, що при середньому нахилі від 8,1 до 10,1% витрати палива для кар'єрних автосамоскидів з різною потужністю відрізняються на 2-3%. Однак при нахилах трас, що перевищують 10%, автосамоскиди з більшою потужністю (від 6,1 до 6,9 кВт/т) виявляються більш економічними. При підвищенні висоти підйому гірничої маси зростає паливна економічність автосамоскидів, однак менш потужні двигуни (від 3,7 до 4,6 кВт/т) демонструють кращі економічні показники.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

РОЗДІЛ 4. ФОРМУВАННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ

4.1 Розробка математичної моделі показників ефективності

Системний підхід передбачає вивчення об'єкта як єдиного цілого, що дозволяє визначити та оцінити його інтеграційні властивості. Цей підхід дозволяє максимально глибоко зрозуміти взаємозв'язки між окремими частинами та характеристиками об'єкта. Основною метою застосування системного підходу при визначенні параметрів силових систем є виявлення взаємозв'язків і закономірностей, які притаманні транспортним системам у кар'єрах. Такий підхід допомагає встановити ефективні механізми взаємодії різних елементів системи, що є надзвичайно важливим для досягнення оптимальних результатів.

Транспортна система кар'єра є єдиною та циклічною, оскільки вона включає в себе різні елементи, які взаємодіють один з одним, що дозволяє здійснювати управління всією системою в цілому. Така циклічність забезпечує злагоджену роботу транспортних засобів у кар'єрі, а також їхню високоефективну взаємодію з іншими елементами виробничого процесу. Вибір структури та параметрів силових систем для кар'єрних автосамоскидів є важливим етапом їхнього функціонального проектування, оскільки це безпосередньо впливає на здатність техніки досягати високої продуктивності в умовах реальної експлуатації. Параметри роботи кар'єрних вантажівок значною мірою залежать не тільки від їхніх фізичних характеристик, але й від зовнішніх чинників, таких як специфічні умови навколишнього середовища, а також дії водія або автоматизованої системи керування.

Тому для досягнення максимальної ефективності вантажівок необхідно проводити проектування на основі системного підходу, який розглядає вантажівку як складову частину процесу транспортування гірничої маси, що включає в себе взаємодію між різними елементами, що визначають її продуктивність. Кожна вантажівка є складною механічною системою, яка складається з взаємопов'язаних елементів, що взаємодіють між собою і зазнають впливу різноманітних зовнішніх факторів. Основні компоненти вантажівки включають механізми і системи, які мають свої фізичні характеристики, оцінка яких здійснюється через певні параметри, що визначають ефективність роботи всього транспортного засобу.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Якщо розглядати автосамоскид як систему, то його характеристики будуть залежати не тільки від фізичних параметрів окремих компонентів, але й від того, як ці компоненти взаємодіють між собою. Структура вантажівки визначає її складові частини та зв'язки між ними, орієнтуючись на оптимізацію їхнього функціонування для досягнення максимальної ефективності. Відповідно, параметри вантажівки повинні бути правильно підібрані та оптимізовані для забезпечення максимальних результатів в умовах конкретної експлуатації.

У цьому дослідженні буде розглянуто, як внутрішні параметри вантажівок, зокрема характеристики їхніх механізмів і систем, взаємодіють із зовнішніми параметрами, такими як характеристики процесу транспортування гірничої маси. Взаємодія цих параметрів безпосередньо впливає на ефективність роботи та функціонування силових систем автосамоскидів, що є ключовим фактором для забезпечення високої продуктивності на кар'єрних роботах.

До зовнішнього середовища для таких машин можна віднести не лише постійні дороги та транспортний рух, але й тимчасові фактори, такі як погодні умови, що можуть суттєво вплинути на характеристики транспорту та на ефективність виконання завдань. Параметри доріг, якими рухаються вантажівки, включають такі фактори, як повздовжні так і поперечні ухили, радіуси кривизни ділянок трас, коефіцієнти опору кочення і т.д.. Транспортний рух, у свою чергу, характеризується інтенсивністю, яка визначається кількістю машин, що проходять певну ділянку дороги за одиницю часу, а також кількістю смуг і складом рухомого складу, що також має важливий вплив на ефективність роботи.

Крім того, важливими є параметри повітряного середовища, що включають температуру та атмосферний тиск, швидкість і напрямок вітру. Всі ці фактори безпосередньо впливають на роботу техніки і потребують врахування при проектуванні та експлуатації кар'єрних автосамоскидів. Вихідні показники роботи машини визначають її продуктивність і ефективність роботи, зокрема такі показники, як транспортна робота і витрати пального на кожні 100 км подорожі.

Питання, пов'язані з порівнянням силових систем, є складними і недостатньо дослідженими, але вони мають важливе значення для наукових і проектних

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

організацій. Вибір технічних характеристик силових установок для автосамоскидів залежить від якості використовуваних транспортних засобів і їхньої здатності до забезпечення високої транспортної продуктивності в умовах експлуатації. Оцінка роботи дизельних двигунів здебільшого здійснюється на основі питомих витрат пального, однак цей показник не завжди точно показує фактичну економічність ДВЗ машин, особливо в умовах відкритих розробок.

У зв'язку з цим для оцінки ефективності експлуатації автосамоскидів у кар'єрі необхідно застосовувати комплексний показник, який враховує не тільки технічні характеристики ДВЗ. Томуважливим показником є коефіцієнт ефективності, який дає змогу оцінити загальний рівень ефективності системи, включаючи вибір оптимальних парметри ДВЗ і трансмісії машини, з урахуванням основних техніко-економічних вимог, таких як підвищення продуктивності, а також збереження пального та енергоресурсів.

$$k_{эф} = \frac{m_г v_{ср}}{100 Q_{s\,ср}}$$

де mг – вант-сть авто, т; vср – сер. швидкість, км-год; Qscp – сер. витр. пального на 100 км шляху, л.

Дехто вважає: $A = Qv^2L$

Тому узагальнений технічний показник якості К:

$$K = Qv^2L\sqrt{H/\hat{V}}$$

де Q — середня вантажопідйомність, т; v — сер. швидкість руху (враховуючи час, що витрачається на простої для ремонту та технічного обслуговування теплового двигуна), км/год; L — сер. довжитна перевезення вантажу, км; H — середня висота траси, м; V — обсяг для вантажа, м³.

Цей тип транспорту може бути застосований як у техніко-економічних розрахунках, так і для оцінки екологічної та енергетичної ефективності. Це дає змогу суттєво впливати на вибір теплових двигунів, вибір пального та оптимізацію режимів роботи двигунів з урахуванням економічних та екологічних аспектів, а також використовувати мікропроцесорні технології в процесі експлуатації. Умови для оптимізації потужності кар'єрних автосамоскидів при транспортуванні

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

гірничої маси на великі відстані за заданої висоти підйому були досліджені в р
ботах Тарасова П.І. та Горшкова Е.В.

П.І. Тарасов запропонував використовувати технічний критерій у вигляді інтегрального коефіцієнта, який відображає співвідношення між витратами пального в стандартних умовах і фактичними витратами пального в конкретних умовах експлуатації. Результати проведених експериментальних досліджень підтверджують важливість застосування різних типів силових установок в оптимальних умовах, що підкреслює значення цього інтегрального коефіцієнта для точнішого врахування специфіки гірничотехнічних умов.

Цей інтегральний коефіцієнт (який можна побачити в таблиці 4.1 та на рисунку 4.1) демонструє, як змінюються витрати пального за умов, що відрізняються від стандартних. Він розраховується на основі таких параметрів, як відстань перевезення, яка становить 2 км, та висота підйому гірничої маси, яка дорівнює 100 метрам.

Зокрема, Е.В. Горшков, кандидат технічних наук, пропонує здійснювати оптимізацію питомої потужності автосамоскидів на основі економічного критерію, яким є вартість перевезення однієї тонни гірничої маси (див. рисунок 4.2).

Ефективність роботи ДВЗ машин, які застосовуються для перевезення гірської маси, зазвичай оцінюється через технічні показники, які відображають рівень розвитку та вдосконалення використовуваної техніки. Ці показники дають змогу оцінити технічний стан і потужність силових установок, що впливають на загальну продуктивність автотранспорту. Водночас економічні показники, такі як витрати пального, обслуговування та інші експлуатаційні витрати, дозволяють здійснювати більш комплексну оцінку результативності експлуатації транспортних засобів протягом певного проміжку часу. Це є важливим аспектом для визначення загальної ефективності їх використання в конкретних умовах, оскільки економічні показники дають змогу зрозуміти, наскільки раціонально використовуються ресурси, а також чи виправдовує

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

техніка свою вартість в умовах реального виробничого процесу.

Таблиця 4.1

Коефіцієнт обліку гірничотехнічних умов експлуатації великовантажних самоскидів

Висота підйому гірничої маси, м	Відстань транспортування, км									
	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
25	1,410 / 1,519	0,993 / 1,046	0,755 / 0,811	0,682 / 0,701	0,653 / 0,641	0,647 / 0,609	0,639 / 0,586	0,627 / 0,568	0,621 / 0,553	0,615 / 0,537
50	1,974 / 2,169	1,125 / 2,191	0,92 / 0,962	0,818 / 0,824	0,659 / 0,75	0,700 / 0,666	0,661 / 0,635	0,634 / 0,613	0,626 / 0,579	0,628 / 0,547
75	–	1,393 / 1,433	1,053 / 1,078	0,951 / 0,915	0,747 / 0,846	0,786 / 0,766	0,735 / 0,711	0,704 / 0,687	0,679 / 0,644	0,646 / 0,601
100	–	–	1,162 / 1,213	1,000 / 1,000	0,918 / 0,912	0,856 / 0,848	0,819 / 0,792	0,764 / 0,741	0,725 / 0,705	0,677 / 0,666

Примітка. Чисельник – транспортний засіб з питомою потужністю двигуна 5,41кВт/т, у знаменнику 4,71кВт/т.

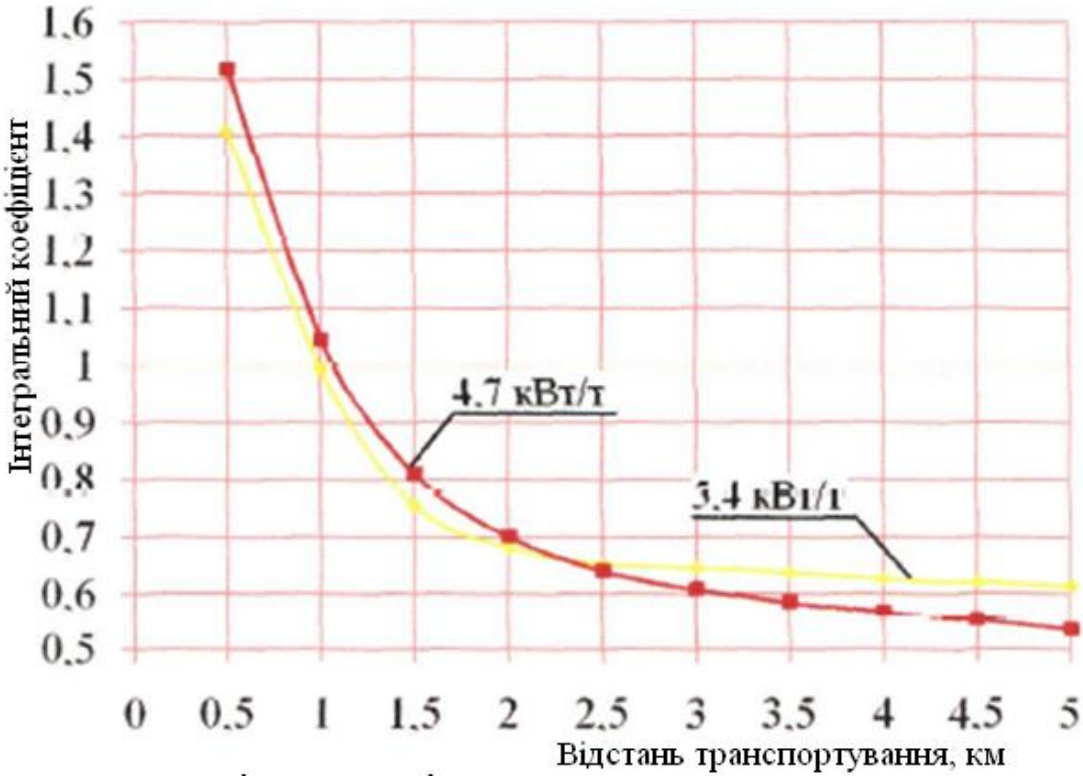


Рис. 4.1. Закономірності зміни показника із різною питомою потужністю під час підйому гірської маси на 25 м

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

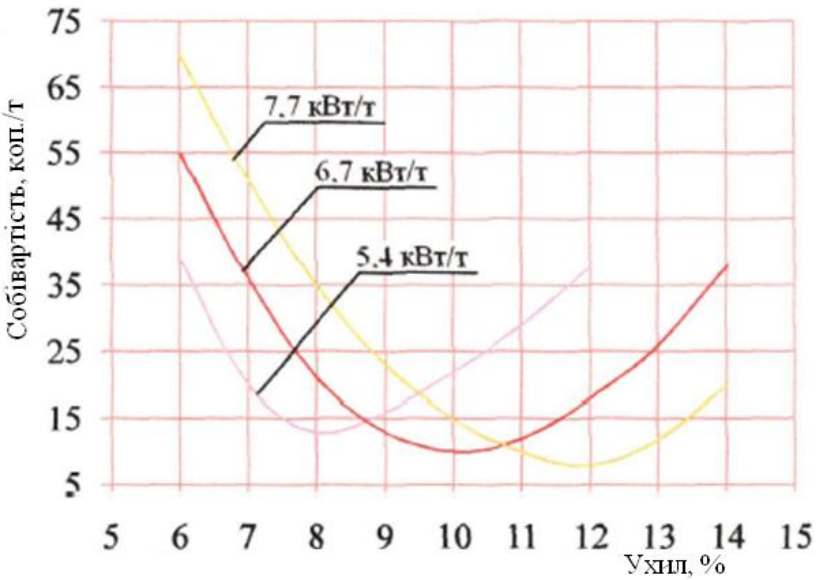


Рис. 4.2 Собівартість транспортування 1т із різною питомою потужністю мотору при висоті підйому на 100 м

Дані, наведені в Таблиці 4.2, служать орієнтиром для оцінки ефективності, однак вони не враховують повною мірою специфічні умови, в яких здійснюється експлуатація автомобілів, що перевозять гірничу масу. Вибір оптимальних характеристик автомобіля залежить від його здатності ефективно працювати в конкретних умовах, що можна визначити на основі дорожніх випробувань у типових умовах експлуатації для кожного конкретного автомобіля.

Зазвичай для оцінки продуктивності і економічності автомобіля використовуються такі показники, як середня швидкість руху та середня витрата пального, оскільки вони безпосередньо впливають на ефективність транспортування гірничої маси. Тому експлуатація автотранспорту для перевезення гірничої маси в специфічних гірничотехнічних умовах безпосередньо впливає на режими роботи силових систем автомобіля.

Використання силових установок з оптимальними характеристиками в різних гірничо-технічних умовах дозволяє знизити витрати пального, що в свою чергу підвищує ефективність роботи автотранспорту на кар'єрах. Параметри силових систем визначаються відповідно до конкретних груп гірничотехнічних умов, зокрема враховуючи середні нахили доріг та інші фактори, що можуть впливати на експлуатацію транспорту.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Таблиця 4.

Відображення прийнятих показників ефективності машин

Формула	Одиниці виміру	Автор (и)	Найменування	Можливість використання для кар'єрного автотранспорту
$k_{эф} = \frac{m_г v_{ср}}{100 Q_{s\ ср}}$	т*км/л*год	М.С. Висоцький, А.И. Гришкевич, Л.Х. Гилелес і	Застосовується для оптимізації параметрів двигуна і трансмісії магістральних автопоїздів	Не відображає гірничотехнічних умов експлуатації (висота підйому, ухил автодоріг)
$K = Qv^2 L\sqrt{H/\hat{V}}$	Тран	В.О. Нєтухов, І.Л. Шегалов	Вибір транспортно-логістичної стратегії перевезень і пріоритетних видів транспорту і їх швидкісних режимів	Узагальнений показник, який базується на середніх статистичних величинах і не відображає специфіки технології гірських робіт
$\lambda = W\Pi$	Дж/год	Ю.Е. Воронов, А.В. Буянкін	Дозволяє кількісно оцінити виконання автосамоскидом своєї функції	Не враховуються конкретні гірничотехнічні умови експлуатації
$\eta = \frac{P_т}{P_ф Q_{у.т}} \cdot 100$	%	Ю.И. Лель	Слугує для оцінки енергетичної ефективності різних видів кар'єрного транспорту	Не враховано гірничотехнічні умови, транспортну роботу і продуктивність у часі
$D = PT$	г*с/т*м	Ю.І. Лель, Е.В. Горшков, Г.О.Ворошилов	Використовується для обґрунтування оптимальних ухилів автодоріг при розробці нагірно-глибинних кар'єрів	Для оцінки ефективності різних видів транспорту в ідентичних або відрізняємих умовах кар'єрів
$K_{инт} = \frac{Q_н^б}{Q_н^ф}$	–	П.І. Тарасов	Використовується для оцінки ефективності кар'єрних автосамоскидів в різних гірничотехнічних умовах	Не враховується продуктивність кар'єрного автосамоскиду і виконуєма транспортна робота

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Для подальших досліджень беремо коефіцієнт ефективності кар'єрних автосамоскидів. Цей коефіцієнт дає змогу оцінити, наскільки ефективно працює автосамоскид у конкретних гірничо-технічних умовах, враховуючи споживану потужність і питому витрату пального силової установки. Коефіцієнт ефективності обчислюється на основі ряду таких параметрів:

$$k_{эф} = \frac{A_э}{E_т} \cdot 100$$

де Ле - еталонна транспортна робота, Дж; Ет - витрачається енергія палива, Дж;

Еталонна транспортна робота:

$$A_э = F_т L$$

Fт – сила тяги, кН; L – довжина руху, транспортування, км;

$$F_т = M_a g(f + i)$$

де і – ухил длянки траси, Ма - загальна маса, кг; g - прискорення вільного падіння, м / с2; f - коефіцієнт опору кочені;

Оскільки кар'єрні автосамоскиди використовують дизельні двигуни, то в розрахунках враховується витрати енергії дизельного пального:

$$E_т = Q_p H_u$$

де Qp - витрата пального, кг; Hu - теплотворна основа

4.2 Матмодель формування технічних характеристик ДВЗ

Покращення паливної економічності силових установок є надзвичайно важливим для збільшення продуктивності кар'єрних автосамоскидів. Це досягається через вдосконалення конструкції двигунів і процесу згоряння пального, що дозволяє підвищити механічний коефіцієнт корисної дії та знизити питому витрату палива. Проте навіть за умов зменшення питомої витрати пального на одиницю виконаної роботи в сучасних двигунах з 240,1-250,1 г/(кВт·год) до 198,1-208,1 г/(кВт·год), витрати на 1цю виконаної роботи (на перевезену тонну гірської маси або на тонну-кілометр) кар'єрними автосамоскидами залишаються досить високими. Крім того, обсяг використовуваної потужності ДВЗ в значній мірі визначає економічну ефективність роботи

експлуатації. З графіка характеристики навантаження двигуна видно, що зменшення завантаження призводить до різкого зростання питомої витрати палива. Отже, експлуатація двигунів при низьких навантаженнях, особливо поблизу режиму холостого ходу, спричиняє значне збільшення витрат палива на одиницю виконаної роботи порівняно з режимами при номінальному навантаженні.

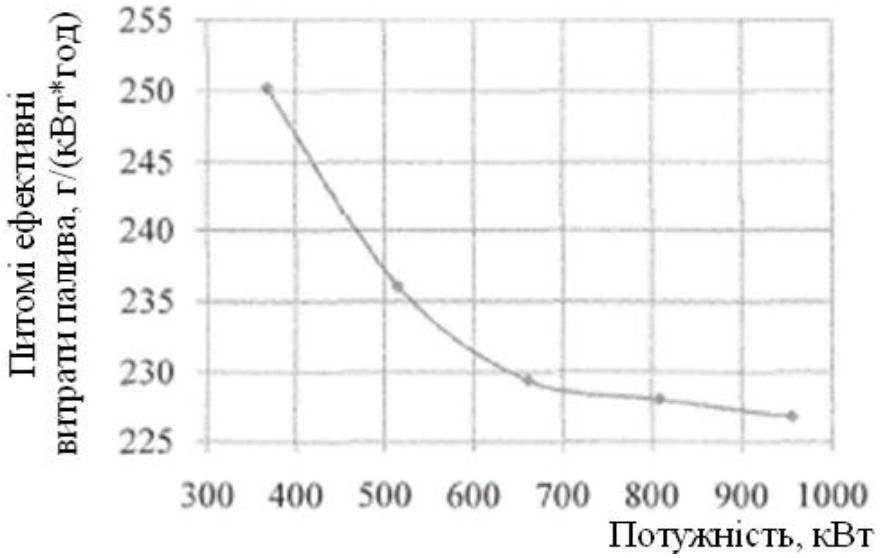


Рис. 4.3 Характеристика ДВ38ДМ210АМ

Отже, потужність двигунів, що встановлюються на кар'єрні автосамоскиди, повинна визначатися не тільки з огляду на величину максимальних навантажень, але й враховувати тривалість використання цієї потужності протягом робочої зміни, в реальних умовах експлуатації. Коли двигун працює на максимально можливих потужностях протягом короткого часу, це може призвести до значного зниження економічності використання палива для таких автосамоскидів. Тому доцільно застосовувати високопотужні двигуни в кар'єрних умовах, де дороги мають великі ухили або є досить круті.

У ситуаціях, коли потужні двигуни встановлюються на кар'єрних автосамоскидах, що працюють на рівних або слабо нахилених дорогах, для досягнення більшої паливної економічності, варто скоротити питому витрату палива на часткових і малих навантаженнях. Це можна реалізувати шляхом оптимізації процесів роботи двигуна. Наприклад, одним із способів є коригування кута випередження впорскування палива, що має відповідати конкрет-

ним умовам навантаження і швидкості руху. Такий процес зазвичай здійснюється за допомогою спеціальних автоматичних відцентрових муфт, які забезпечують необхідне коригування впорскування палива. Підвищення потужності двигуна дозволяє зменшити час роботи на холостому ходу та при низьких навантаженнях, оскільки це сприяє зменшенню кінетичної енергії автосамоскида і скороченню часу, витраченого на рух за рахунок інерційних сил.

Зміна номінальної потужності технічно справного двигуна на 40-50% веде до незначних змін у витраті палива на одиницю відстані (тонна-кілометр) для автосамоскида БелАЗ-7549. На основі проведених розрахунків можна зробити висновок, що питомі витрати палива, а також часові витрати пального, практично не змінюються при зміні потужності двигуна. Проте підвищення номінальної потужності допомагає знизити витрати палива на одиницю роботи, оскільки це дозволяє зменшити час, необхідний для проходження певної відстані. Тому при оцінці експлуатаційних витрат палива важливо враховувати відстань транспортування, а також висоту підйому гірської маси.

Рівень потужності кар'єрного автосамоскида визначається його питомою потужністю. Збільшення питомої потужності через підвищення потужності двигуна дозволяє зменшити навантаження на двигун під час виконання різних технологічних операцій. Отже, вибір і оптимізація технічних параметрів силових установок для кар'єрних автосамоскидів повинні базуватися на врахуванні коефіцієнта ефективності.

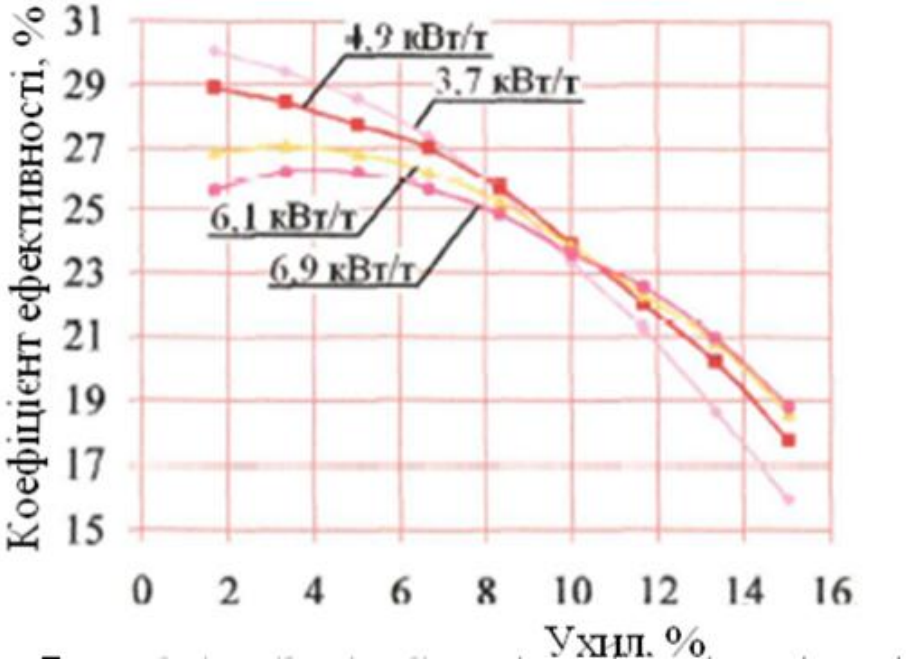
Для проведення розрахунків і вибору характеристик силових систем кар'єрних автосамоскидів необхідно мати початкові дані, які поділяються на дві основні категорії:

1. Технологічні параметри, до яких відносяться висота підйому гірничої маси, відстань транспортування, середній ухил дороги, коефіцієнт опору коченню та коефіцієнт зчеплення.

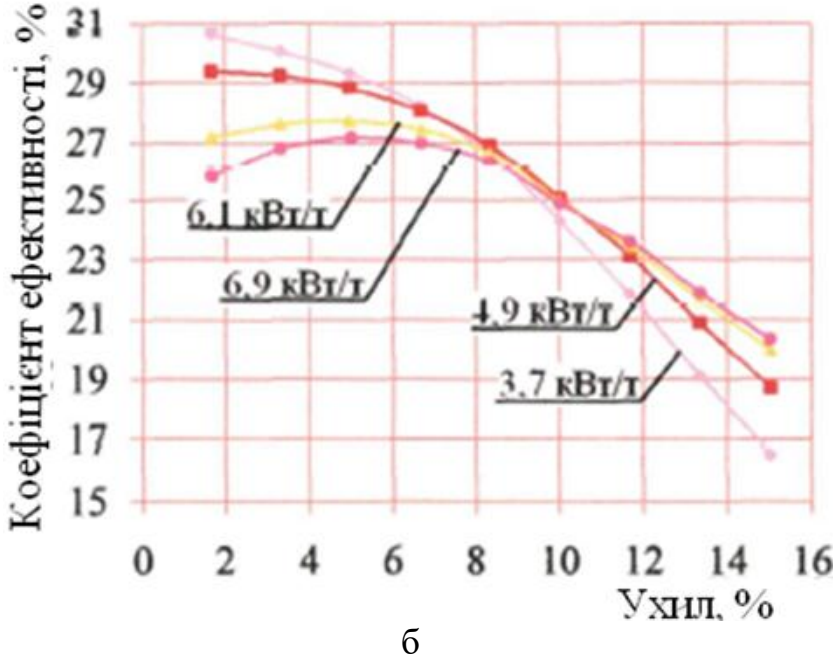
2. Технічні характеристики, такі як загальна маса автосамоскида, потужність силової установки, форма кривих питомого споживання палива, а та-

кож зовнішні характеристики двигуна внутрішнього згоряння.

На основі розробленої класифікації гірничотехнічних умов, розрахунки коефіцієнта ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів з різною потужністю відображаються на рисунках 4.4-4.6.

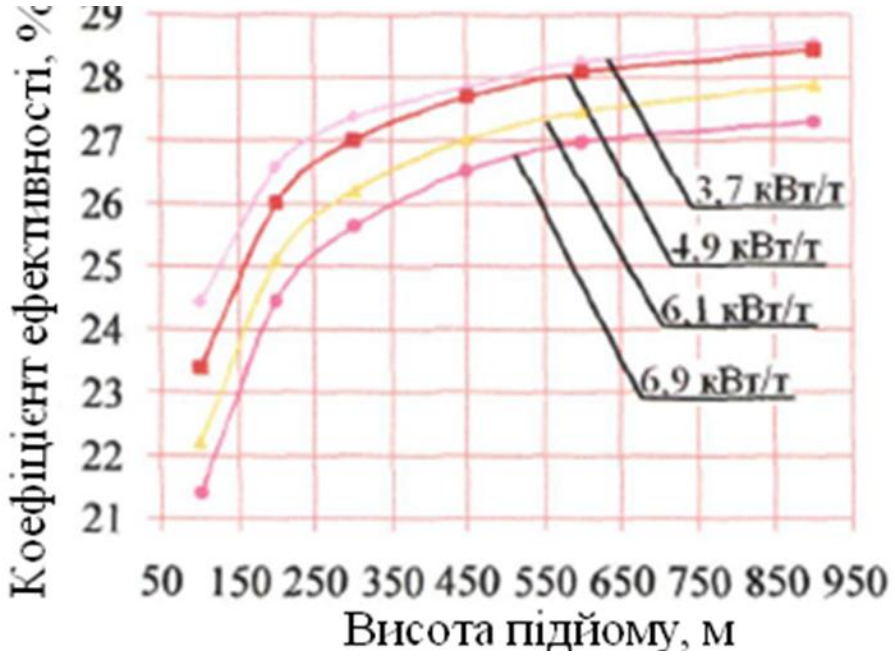


а

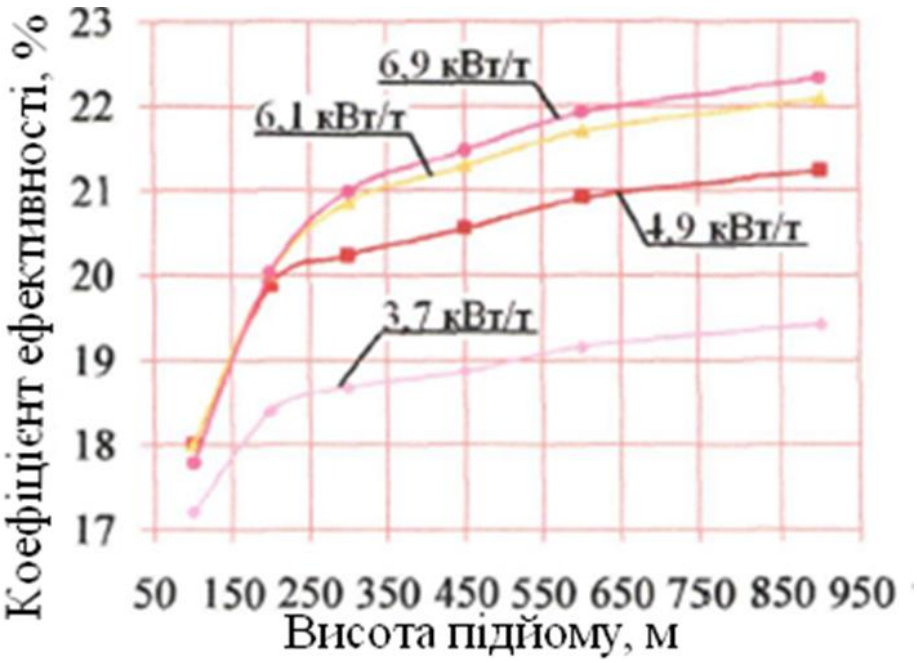


б

Рис. 4.4. Ефективність роботи великолвантажного автосамоскида при висоті підйому 300,0 і 600,0м



а



б

Рис. 4.5. Ефективність роботи великовантажного автосамоскида залежно від висоти підйому маси при ухилі трас 8,0 (а) і 16,0% (б)

Коефіцієнт ефективності використання силових установок кар'єрних автосамоскидів, який розглядається як залежність від висоти підйому гірської маси, середньозваженого ухилу дороги та питомої потужності, був представлений у вигляді функціонально-факторного статичного рівняння регресії. Це рівняння було розроблене на основі імітаційних платформ за участю доктора технічних наук В.А. Антонова, який працює в Інституті гірничої справи

Уральського відділення Російської академії наук (УрО РАН). Коефіцієнт детермінації цього рівняння склав 0,92, що свідчить про високу точність моделі в описі залежностей.

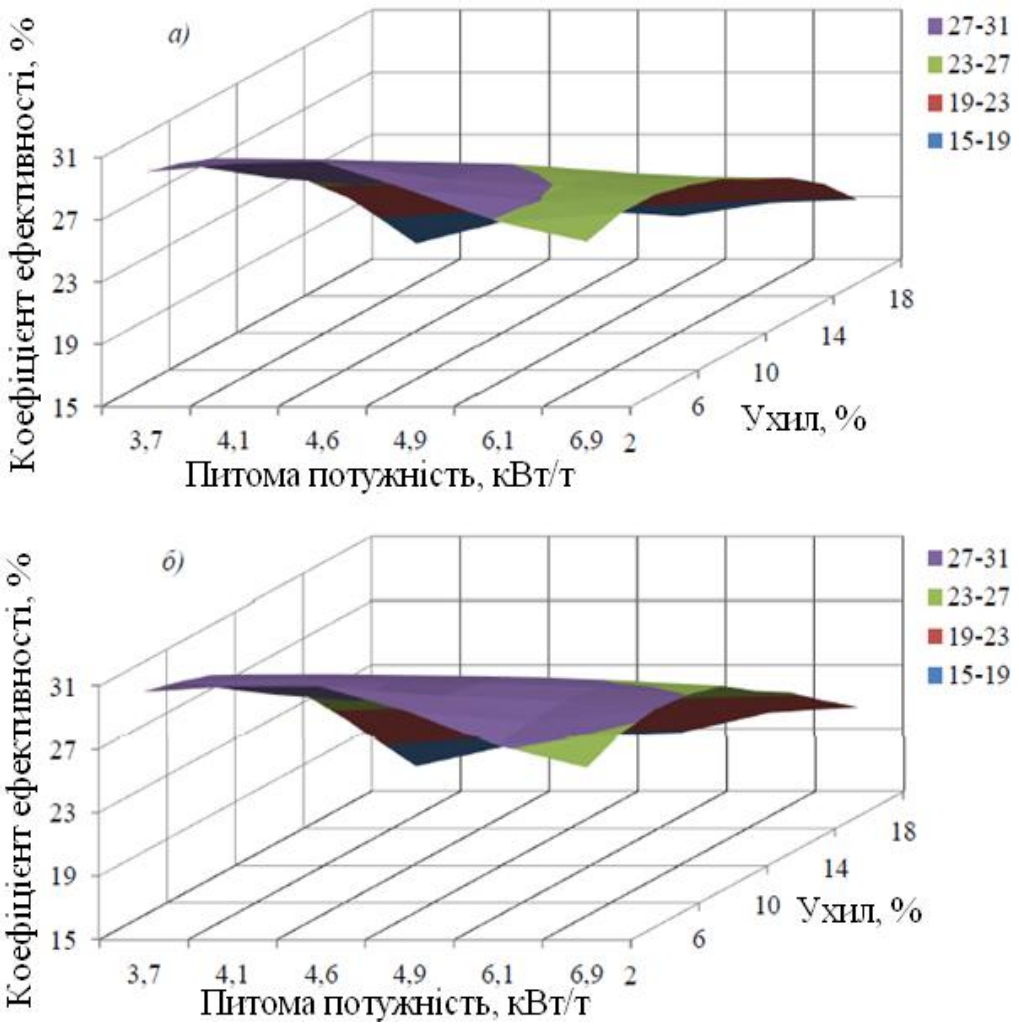


Рис. 4.6. Продуктивність кар'єрних самоскидів в залежності від відносної потужності двигунів і кута нахилу доріг при висоті підйому траси 300 м (а) та 600 м (б).

Це рівняння виглядає так:

$$k_{эф} = 31{,}45 - 138{,}95H^{-0{,}722} - 0{,}0459i^{1{,}89} - 1{,}14 \cdot 10^{-31}N_{уд}^{36{,}97}$$

де:

H - висота підйому гірської маси, м;i - середньозважений ухил дороги, %;Nуд - питома потужність кар'єрного автосамоскида, кВт/т.

Застосування силових установок кар'єрних самоскидів з оптимальними технічними характеристиками може мати значний вплив на технологічний процес гірничих робіт, включаючи планування та складання графіків, обсяг

робіт із видобутку, технічні плани, інтенсивність видобутку, а також строк будівництва кар'єру та інші аспекти. Водночас важливо враховувати, що при великому поздовжньому нахилі доріг необхідно дотримуватися меж стійкості, щоб уникнути втрати рівноваги автосамоскида.

Таблиця 4.3

Переваги експлуатації КС з різними типами ДВЗ

Висота підйому гірничої маси, м	Питома потужність карє'єрного автосамоскида, кВт/т								
	Ухил траси, %								
	2	4	6	8	10	12	14	16	18
100	4,1	3,7	3,7	3,7	3,7	4,1	4,6	4,9	6,1
200	4,6	4,1	3,7	3,7	4,1	4,9	4,9	6,9	6,9
300	4,6	3,7	3,7	3,7	4,1	4,9	6,9	6,9	6,9
450	4,6	3,7	3,7	3,7	4,9	6,1	6,9	6,9	6,9
600	4,6	3,7	3,7	4,1	4,9	4,9	6,9	6,9	6,9
900	4,6	3,7	3,7	4,1	4,9	6,1	6,9	6,9	6,9

На основі раніше наведених даних можна сформулювати чітку послідовність дій, яка дасть змогу вибрати найбільш оптимальну силову установку для кар'єрних автосамоскидів, що працюють у глибоких кар'єрах. Такий підхід дозволить досягти максимальної ефективності в експлуатації техніки при заданих умовах роботи. Процес вибору включає кілька етапів:

По-перше, необхідно врахувати ключові параметри, такі як висота підйому гірничої маси, відстань транспортування, середній ухил доріг та питома потужність автосамоскида. Після цього проводяться детальні математичні розрахунки основних експлуатаційних характеристик техніки, зокрема, оцінюється годинна продуктивність, витрата пального на підйом кожного метра висоти гірничої маси, а також визначається коефіцієнт ефективності, що дає змогу оцінити економічність роботи техніки в різних умовах.

Наступним етапом є пошук максимального значення коефіцієнта ефективності серед усіх отриманих варіантів. Це дасть змогу вибрати найбільш економічну і продуктивну установку, яка забезпечить найкращі показники роботи техніки в конкретних експлуатаційних умовах.

Далі, на основі максимального значення коефіцієнта ефективності обира-

ється відповідна питома потужність силової установки. Це забезпечить не тільки високу продуктивність, але й мінімальні витрати пального та зниження витрат часу на виконання завдань.

Останнім кроком є перевірка обраної питомої потужності кар'єрного автосамоскида на відповідність вимогам щодо тягових характеристик і зчеплення в умовах заданої експлуатації. Це дозволяє впевнитися, що техніка буде ефективно працювати навіть у найскладніших умовах гірничодобувного процесу, що забезпечить стабільну та продуктивну роботу в будь-яких умовах.

Висновки до 4 розділу

1. під час проектування ДВЗ для великовантажних кар'єрних автосамоскидів необхідно застосовувати системний підхід, який бере до уваги взаємозв'язок між двома основними компонентами: транспортування - кар'єрний автосамоскид.

2. Повна оцінка ефективності силових систем кар'єрних автосамоскидів повинна включати не тільки технічні характеристики силових установок, але й враховувати технологічні параметри процесу перевезення гірничої маси.

3. Режими роботи ДВЗ кар'єрних автосамоскидів визначаються умовами роботи в кар'єрі. Для кожної групи гірничотехнічних умов обираються оптимальні технічні характеристики силових установок, що базуються на середньозваженому нахилі та коефіцієнті ефективності експлуатації.

4. Отримані результтиати встановили, що зі зростання висоти підймання гірської маси, ефективність великовантажних кар'єрних автосамоскидів збільшується. Це видно на ділянках з нахилом від 8,1-10,1%, де більш економічними є автосамоскиди з низькою питомою потужністю, та на ділянках з ухилом від 10,1-12,1% до 16,1-18,1%, де кращу ефективність демонструють автосамоскиди з вищою питомою потужністю.

5. Найкращим методом для оцінки ефективності силових установок кар'єрних автосамоскидів є використання технічного критерію, що відображає рівень вдосконалення технічних характеристик. Економічний критерій дозволяє аналізувати результативність використання автотранспорту за конкретний період часу.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

5. ОХОРОНА ПРАВЦІ

5.1. Основи організації охорони праці на виробничому підприємстві

Охорона праці на виробничому підприємстві є важливим та невід'ємним елементом діяльності будь-якої організації. Вона включає в себе комплекс різноманітних заходів і стратегій, спрямованих на забезпечення безпеки та здоров'я працівників протягом їхньої роботи. Це питання має велику вагу, оскільки неувага до правил охорони праці може призвести до серйозних травм, розвитку захворювань, зниження ефективності праці та інших небажаних наслідків. Основні аспекти організації охорони праці на підприємстві передбачають наступне:

1. Оцінка потенційних ризиків: Першочерговим кроком є проведення аналізу потенційних ризиків, які можуть виникнути під час виконання виробничих операцій. Підприємство має ретельно вивчити та оцінити можливі небезпеки, які можуть загрожувати здоров'ю працівників, а також визначити шляхи їх усунення чи зменшення.

2. Розробка внутрішньої політики охорони праці: Підприємство повинно розробити та впровадити чітко структуровану політику охорони праці. Ця політика має включати в себе основні цілі, вимоги, стандарти та процедури, які повинні забезпечити безпечні умови праці та сприяти збереженню здоров'я працівників на всіх етапах виробничого процесу.

3. Професійне навчання та підготовка персоналу: Всі працівники підприємства зобов'язані пройти навчання з охорони праці та отримати необхідні знання для виконання своїх обов'язків без порушення стандартів безпеки. Важливою частиною є підготовка до правильного реагування на екстрені ситуації.

4. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту: Всі співробітники підприємства повинні мати доступ до необхідного захисного обладнання. Це можуть бути каски, спеціальні окуляри, респіратори, захисні рукавички, вушні протектори та інші засоби, що відповідають умовам конкретного робочого середовища.

5. Огляд та моніторинг дотримання норм охорони праці: Підприємство зобов'язано забезпечити постійний моніторинг та контроль за виконанням усіх норм і правил охорони праці на робочих місцях. Регулярні перевірки та нагляд є основою для запобігання можливим порушенням, що можуть спричинити аварії чи нещасні випадки.

6. Планування заходів для евакуації та дій в екстрених випадках: На підприємстві повинні бути розроблені чіткі плани евакуації для персоналу в разі надзвичайних ситуацій, таких як пожежі, вибухи чи інші аварії. Ці плани повинні бути доведені до відома всіх працівників, а також проводитися тренування для закріплення навичок евакуації.

7. Регулярні медичні огляди працівників: Важливим аспектом є проходження працівниками регулярних медичних оглядів і перевірок стану здоров’я. Це дозволяє вчасно виявляти захворювання або інші медичні протипоказання до виконання певних робіт, що сприяє зниженню ризику професійних захворювань.

8. Ведення документації та звітність щодо охорони праці: Підприємство повинно вести відповідну документацію, що фіксує усі заходи щодо охорони праці, а також інциденти та аварії, що мали місце на виробництві. Це допомагає своєчасно виявляти слабкі місця в охороні праці та коригувати політику компанії.

9. Неперервне вдосконалення системи охорони праці: Система охорони праці повинна бути гнучкою і здатною адаптуватися до змін на підприємстві, нових технологій та вимог. Постійне вдосконалення цієї системи допомагає уникати застарілих практик і створює безпечніше середовище для всіх працівників.

10. Співпраця з державними органами контролю: Підприємство повинно активно співпрацювати з органами державного нагляду та контролю, аби забезпечити виконання державних норм і стандартів охорони праці. Це важливо для дотримання вимог законодавства і створення належних умов для працівників.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Ці пункти є основними елементами стратегії охорони праці на будь-якому підприємстві, проте конкретні заходи можуть варіюватися в залежності від специфіки діяльності підприємства та вимог відповідних органів влади. Головним завданням є створення максимально безпечних умов праці для кожного співробітника, що дозволить знизити ризики травматизму та захворювань, покращити рівень виробничої ефективності та мінімізувати витрати, пов'язані з наслідками нещасних випадків.

5.2. Особливості організації охорони праці на підприємстві, що займається гірничо-транспортними роботами

Охорона праці при експлуатації автотранспортних засобів є надзвичайно важливою, оскільки водії та інші працівники, які мають справу з автомобілями, піддаються різноманітним ризикам та небезпекам, що можуть виникнути на дорогах або безпосередньо в умовах роботи. Для того, щоб забезпечити здоров'я і безпеку працівників під час використання автотранспортних засобів, необхідно дотримуватись низки важливих рекомендацій та встановлених правил:

1. Навчання водіїв: Організуйте комплексну підготовку водіїв, яка включає курси для водіїв і обов’язкові інструктажі з охорони праці. Важливо, щоб водії мали необхідні знання та навички для безпечного керування транспортними засобами.

2. Захисне обладнання: Вимагайте від водіїв використання спеціального захисного обладнання, зокрема касок, респіраторів, окулярів та інших засобів індивідуального захисту, залежно від специфіки роботи та наявних ризиків.

3. Технічний контроль транспортних засобів: Регулярно здійснюйте перевірку технічного стану автотранспортних засобів, особливо важливих систем, таких як гальмівна система, освітлення, стан шин та інших критичних елементів, що впливають на безпеку руху.

4. Дотримання дорожніх правил: Всі водії повинні суворо дотриму-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ватись правил дорожнього руху та забезпечувати безпеку на дорозі. Це включає в себе контроль швидкості, правильне розташування транспортного засобу на дорозі та виконання інших вимог, які забезпечують безпеку як водія, так і інших учасників дорожнього руху.

5. Системи безпеки в транспортних засобах: Використовуйте сучасні технології для підвищення безпеки, зокрема системи антиблокувальних гальм (ABS), системи електронної стабілізації (ESP) та інші інноваційні технології, які допомагають запобігти аваріям.

6. Умови експлуатації: Під час експлуатації автотранспорту враховуйте погодні умови, стан доріг та інші фактори, що можуть впливати на безпеку руху. Водії повинні бути ознайомлені з правилами обережного водіння в умовах поганої видимості, ожеледиці або сильних опадів.

7. Заборона вживання алкоголю та наркотичних речовин: Категорично забороняйте водіям вживати алкогольні напої чи наркотики під час виконання своїх обов’язків або перед роботою. Вживання таких речовин різко знижує рівень уваги та реакції, що може призвести до серйозних аварій.

8. Режим роботи та відпочинку: Дотримуйтесь чітко визначених графіків роботи та відпочинку для водіїв, щоб забезпечити необхідний рівень відпочинку та уникнути втоми. Втомлений водій значно підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій.

9. Медичні обстеження: Організуйте регулярні медичні огляди для водіїв, щоб переконатися в тому, що вони фізично готові до керування транспортним засобом. Це дозволить виявити будь-які медичні проблеми, які можуть заважати виконанню роботи.

10. Ведення звітності: Запровадьте систему звітності, яка дозволяє вести облік інцидентів, аварій, а також стану технічних засобів і транспортних засобів. Це допоможе оперативно реагувати на проблеми та удосконалювати організацію охорони праці.

Запровадження зазначених заходів та дотримання цих правил є ключовим для забезпечення безпеки та здоров'я працівників на автотранспортному

підприємстві. Це дозволить знизити ризик травм та нещасних випадків під час виконання робіт із використанням автотранспортних засобів, забезпечуючи тим самим їхню ефективну і безпечну експлуатацію.

5.3. Правила безпечної поведінки в надзвичайних ситуаціях

1. У разі загрози ураження стрілецькою зброєю:

- Закрийте штори або жалюзі, а також використовуйте спеціальну стрічку з паперу для заклеювання вікон, щоб зменшити ймовірність отримання травм від уламків скла.

- Вимкніть всі джерела освітлення, зачиніть вікна та двері.

- Прийміть позу на підлозі в кімнаті, де відсутні вікна, що виходять на вулицю, наприклад, у коморі, ванній кімнаті або передпокої.

2. У разі загрози бойових дій:

- Закрийте вікна шторками або жалюзі, використовуючи паперову стрічку для зменшення шкоди від осколків скла. Вимкніть усі електричні прилади, закрийте вентилі води та газу, погасіть пічне опалення.

- Заберіть важливі документи, гроші, продукти харчування, предмети першої необхідності та медичну аптечку.

- Швидко залиште житлове приміщення і сховайтеся в підготовленому підвалі або найближчому укритті.

- Попередьте своїх сусідів про потенційну небезпеку і допоможіть літнім людям або дітям.

- Намагайтеся не залишати укриття без крайньої необхідності.

- Підтримуйте спокій, не піддавайтеся паніці.

3. У разі вибуху:

- Перевірте, чи не отримали ви серйозних травм.

- Візьміть кілька хвилин, щоб заспокоїтися і оглянути ситуацію навколо. Переконайтеся, що немає загрози нових вибухів або обвалів, перевірте, чи не впали уламки скла, і визначте, чи потрібна допомога іншим.

- Якщо є можливість, спокійно вийдіть з небезпечної зони. Якщо ви потр пили під завали, подавайте звукові сигнали, щоб вас могли почути. Людина може вижити без води до п'яти діб при мінімальній активності.

- Дотримуйтесь вказівок рятувальників.

4. У разі повітряної небезпеки:

- Вимкніть джерела електроживлення, перекрийте подачу води та газу.

- Погасіть пічне опалення.

- Візьміть з собою важливі документи, гроші, продукти, медичну аптечку та інші предмети першої необхідності.

- Попередьте сусідів про можливу небезпеку і допоможіть тим, хто потребує допомоги, зокрема літнім та хворим.

- Якомога швидше дістаньтеся до найближчої захисної споруди або сховайтеся в безпечному місці.

- Залишайтеся спокійними і організованими, уникайте виходити з укриття без нагальної потреби, стежте за офіційними повідомленнями.

5. При загрозі масових заворушень:

- Зберігайте спокій і будьте тверезими у своїх судженнях.

- Якщо ви перебуваєте на вулиці, негайно залиште місце масових зборів і намагайтеся уникати контактів з агресивно налаштованими людьми.

- Не піддавайтеся на провокації.

- Надійно закрийте двері, не наближайтеся до вікон і не виходьте на балкон. Не залишайте приміщення без крайньої необхідності.

6. У разі захоплення злочинцями як заручника:

- Намагайтеся запам'ятати якомога більше деталей про злочинців: їхній вік, зріст, манеру поведінки та інші характеристики, які можуть допомогти в подальшому їхньому пошуку.

- Як тільки з'явиться можливість, спробуйте повідомити родичам або правоохоронним органам про своє місцезнаходження.

- Залишайтеся спокійними і розважливими, намагайтеся уникати ситуацій, що можуть спричинити ризик.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

- Якщо злочинці перебувають у стані алкогольного або наркотичного сп... ніння, намагайтеся зменшити взаємодію з ними, оскільки їхня поведінка може бути непередбачуваною.

- Уникайте підвищення агресії з їхнього боку своїми діями: не сперечайтеся, не чиніть опір без необхідності.

- Виконуйте вимоги злочинців і намагайтеся уникати конфліктних ситуацій, запитуйте дозволу на пересування чи відвідування туалету.

- Уникайте обговорення суперечливих тем, особливо політичних, і будьте уважними слухачами.

- Зберігайте гідність і не просіть нічого, навіть якщо їжа вам не дуже до смаку.

- Якщо ви проводите довгий час поруч зі злочинцями, намагайтеся встановити контакт з ними, викликайте гуманні почуття, але не давайте жодних підказок щодо того, що ви намагаєтеся дізнатися якусь інформацію.

- Намагайтеся не падати духом і використовувати методи саморозслаблення, такі як медитація, або згадайте вірші чи інші тексти, щоб відволіктися.

- Спостерігайте за поведінкою злочинців і їх планами, готуйтеся до втечі, якщо ситуація дозволяє.

- Якщо є можливість, знайдіть безпечне місце для укриття, наприклад, ванну кімнату чи комору, де можна сховатися під час можливого штурму або падіння уламків. Якщо неможливо сховатися, падайте на підлогу при будь-якому шумі або стрілянині.

Якщо застосовують сльозоточивий газ, дихайте через вологу тканину і часто моргайте, щоб викликати сльози.

- Під час штурму не беріть в руки зброю злочинців, щоб не стати мішенню для штурмових груп.

- При звільненні залишайте все без руху, оскільки можливі вибухи або пожежі, і беззаперечно виконуйте всі команди.

7. При евакуації цивільного населення з небезпечної зони:

- Візьміть з собою важливі документи, гроші, продукти харчування та ме-

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com
ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

дикаменти.

- Забезпечте допомогу людям похилого віку або тим, хто має обмежені фізичні можливості.

- Прикріпіть до одягу або покладіть у кишеню дітям дошкільного віку записку з іменем, адресою та іменами батьків.

- Дотримуйтесь визначеного маршруту евакуації. При необхідності звертайтеся за допомогою до правоохоронців або медиків.

Висновки розділу 5

Було проведено всебічний аналіз основних аспектів організації та забезпечення безпеки праці на підприємстві, зокрема з урахуванням розгляду нормативних актів та документів, що регулюють цю сферу. Особлива увага приділялася вивченню та обговоренню основних вимог, що визначають правові і технічні стандарти охорони праці на робочих місцях. В рамках дослідження також було охоплено важливі питання класифікації та типології надзвичайних ситуацій, що можуть виникнути в процесі діяльності підприємства. Ці ситуації можуть мати різну природу – як природні, так і техногенні. Розгляд цих категорій допомагає зрозуміти потенційні ризики та правильно реагувати на них для забезпечення безпеки персоналу та мінімізації негативних наслідків.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У рамках наших досліджень вдалося вирішити важливу наукову проблему, що полягала у створенні критерію для оцінки ефективності функціонування силових установок кар'єрних автосамоскидів, які використовуються для транспортування гірничої маси. Основні результати, отримані в ході роботи, можна викласти наступним чином:

1. За допомогою комп'ютерного моделювання ми дослідили транспортний цикл кар'єрного автосамоскида вантажопідйомністю 136,0 тонн, оснащеного різними силовими установками. Було встановлено взаємозалежності між потужністю двигунів, витратами палива, висотою підйому гірничої маси та середнім ухилом тра. Наші розрахунки показали похибку лише до 5% у порівнянні з реальними експериментальними даними, що підтверджує точність моделі.

2. Для вдосконалення вибору і оптимізації характеристик силових установок ми розробили коефіцієнт ефективності споживання енергії палива. Він відображає співвідношення між стандартною транспортною роботою та витратами палива. Обчислення здійснюється за допомогою функціонально-факторного рівняння регресії, яке враховує параметри ухилу трас, висоти підйому гірничої маси і питомої потужності автосамоскида.

3. В результаті досліджень ми виявили, що зі збільшенням висоти підйому гірничої маси підвищується ефективність роботи автосамоскидів. Для трас з ухилом до 6,1–8,12% найкращими виявилися автосамоскиди з меншою питомою потужністю. Натомість на трасах із ухилом у діапазоні до 10% до 16,1–18,1% кращу економічність демонструють автосамоскиди з більшою питомою потужністю.

4. Вперше вдалося визначити оптимальні умови роботи автосамоскидів із питомою потужністю від 3,71 до 4,61 кВт/т – це траси з ухилом 4,0–8,0% та висотою підйому до 300,1 метрів. Для моделей з питомою потужністю 4,90–6,90 кВт/т найкращі умови – це траси з ухилом 10–16% і висотою підйому до 900,0 метрів.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

5. Запропонована нами методика для визначення потужності силових установок дозволяє точніше вибирати технічні характеристики автосамоскидів для транспортування гірничої маси, зокрема в умовах глибоких кар'єрів. Цей підхід враховує такі важливі фактори, як ухил трас, висота підйому та питома потужність, що суттєво відрізняє його від традиційних методів.

6. Ми плануємо розробити систему управління силовими установками, яка мінімізує втрати потужності, та створити адаптивну систему управління. Ця система дозволить автосамоскидам автоматично підлаштовуватися до змінюваних умов у процесі експлуатації, що підвищить їх ефективність та економічність.

Загалом, отримані результати мають значний практичний і теоретичний потенціал для вдосконалення транспортного процесу в кар'єрах.

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки до підготовки магістерських робіт для студентів спеціальності 274 – Автомобільний транспорт денної та заочної форм навчання / Ю.А. Монастирський., КНУ. 2018, 24с .
2. Samatov, B., & Samatov, D. (2017). Effective strategies for exploiting open-pit mines. Springer.
3. Kecojevic, V., & Kecojevic, T. (2002). A new productivity formula for open-pit mining. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 16(1), 7-20.
4. Morin, K. A., & Amoushahi, N. (2014). Integration of Haul Truck Simulation and Dispatch in Open Pit Operations. Procedia Engineering, 83, 549-556.
5. Furlan, F., & Pourkhorshidi, A. R. (2017). A comparative study of data-driven methodologies for simulation and prediction of haul truck haul cycle time. Expert Systems with Applications, 83, 393-407.
6. Іванов, О. П., & Денисов, А. В. (2016). Оптимізація використання автосамоскидів на кар'єрах для підвищення їх продуктивності. Гірництво та гірнича механіка, (69), 76-84.
7. Лісовий, І. С., & Яценко, М. А. (2015). Дослідження роботи автосамоскидів у кар'єрах на основі вимірювальних даних. Механізація та автоматизація виробництва, (2), 22-29.
8. Петренко, В. П., & Карпов, В. І. (2014). Вплив режиму роботи на технічний стан автосамоскидів в кар'єрах. Ресурсозберігаючі технології в гірництві та обробці корисних копалин, (2), 33-40.
9. Kizil, M. S., & Knights, P. (2012). Handbook of Rules and Recommendations for Open Pit Mining. Springer Science & Business Media.
10. Kecojevic, V., Kecojevic, T., & Komljenovic, D. (2009). Environmental and economic optimization of waste haulage by conveyor selection. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 23(4), 287-297.
11. Kecojevic, V., Klima, M. S., & Komljenovic, D. (2007). An integrated approach to determine truck-shovel fleet size in open pit mines. International Journal of

ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com
ABBYY PDF Transformer 3.0 Click here to buy www.ABBYY.com

Mining, Reclamation and Environment, 21(1), 35-49.

12. Franks, D. M., Boger, D. V., Côte, C. M., Muller, W. J., & Eng, P. (2010). Sustainable development principles for the disposal of mining and mineral processing wastes. Resources Policy, 35(4), 284-292.
13. Pasquier, M., & Smith, M. J. (2008). Optimisation of drill and blast operations in open pit manganese mines. Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, 108(1), 9-18.
14. Kizil, M. S., Knights, P., & Kizil, E. (2005). Selection of optimal rehandle strategies in open pit mining. International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment, 19(2), 116-128.
15. Абрамов, В. О., Товкайло, В. В., & Скок, А. А. (2018). Аналіз факторів, що впливають на роботу самоскидів у кар'єрах. Гірничий вісник, (3), 99-104.
16. Марущак, П. М., & Перцев, М. Ю. (2019). Визначення факторів, що впливають на продуктивність та надійність автосамоскидів в кар'єрах. Вісник Львівського національного університету, (38), 197-203.
17. Гречко, О. І., & Курченко, В. М. (2017). Оцінка ресурсів та надійності автосамоскидів у відкритих кар'єрах. Геотехнічна механіка, (139), 87-94.
18. Camus, J. C. (2002). Haul truck economics. In Proceedings of the 31st International Symposium on the Application of Computers and Mathematics in the Mineral Industries (APCOM), Volume 1 (pp. 307-314).
19. Gómez-Muñoz, C., Morales, N., & Terrazas, J. C. (2014). A methodology for evaluating the criticality of a haul truck operation. Resources Policy, 40, 13-21.
20. Liu, S., Wang, Y., & Li, Q. (2016). Assessment of efficiency and productivity of open-pit mining using the mine-wide measurement data. Journal of Cleaner Production, 126, 493-501.
21. Sattarvand, J., & Loghman, A. (2014). A dynamic mathematical model for reliability analysis of open-pit truck-shovel haulage systems. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 27, 74-80.