

Ім'я користувача:
Олена Бондаренко

Дата перевірки:
07.06.2023 13:36:38 EEST

Дата звіту:
07.06.2023 13:38:59 EEST

ID перевірки:
1015483493

Тип перевірки:
Doc vs Internet + Library

ID користувача:
100005535

Назва документа: Kotliar_Yevhen_Serhiiovych_ET_20160

Кількість сторінок: 128 Кількість слів: 30162 Кількість символів: 222555 Розмір файлу: 2.77 MB ID файлу: 1015140742

5.32% Схожість

Найбільша схожість: 2.02% з Інтернет-джерелом (<http://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/41897/1/%d0%97%d0%99..>)

4.78% Джерела з Інтернету

733

Сторінка 130

1.48% Джерела з Бібліотеки

188

Сторінка 135

0% Цитат

Вилучення цитат вимкнене

Вилучення списку бібліографічних посилань вимкнене

0% Вилучень

Немає вилучених джерел

Модифікації

Виявлено модифікації тексту. Детальна інформація доступна в онлайн-звіті.

Замінені символи

331

ЗАЯВА

Я, Котляр Євген Сергійович
(ПІБ повністю)

студент групи ЕТ20160
(шифр групи)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

освітньої програми Електричний транспорт
(назва освітньої програми)

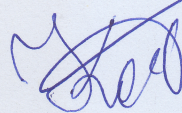
освітнього ступеня підготовки бакалавр
(бакалавр, магістр)

Заявляю, що моя випускна кваліфікаційна робота на тему:
«Підвищення енергоефективності залізничного кар'єрного транспорту»

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел мають відповідні посилання. Прошу перевірити її на наявність академічного плагіату.

Я ознайомлений з чинним «Порядком перевірки кваліфікаційних випускних робіт здобувачів вищої освіти на виявлення текстових та графічних запозичень засобами перевірки на плагіат», згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску випускної кваліфікаційної роботи до захисту.

Дата 07.06.2023 р.



Євген КОТЛЯР

Керівник



В'ячеслав ВАСИЛЬЄВ

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Навчально-науковий центр заочної освіти»

Кафедра «Електрорухомий склад залізниць»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ЕРС
_____/Андрій АФАНАСОВ/
(підпис)
Дата _____

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра

на тему: «Підвищення енергоефективності залізничного кар'єрного транспорту»

за освітньою програмою: «Електричний транспорт»

зі спеціальності: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Виконав: студент
групи «ЕТ20160» _____

(підпис студента)

/Євген КОТЛЯР/
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: _____

(підпис)

/ст. викл. В'ячеслав
ВАСИЛЬСВ/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер: _____

(підпис)

/ст. викл. В'ячеслав
ВАСИЛЬСВ/
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

(підпис)

Дніпро – 2023 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty «Educational and scientific center of distance education»

Department «Electric rolling stock of railways»

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: «Improving the energy efficiency of railway mining transport»
according to educational curriculum «Electrical Transport»
in the Speciality: «141 Electrical energetics, electrical engineering and
electromechanics»

Done by the student of the group ET20160:

/Yevhen KOTLIAR/

Scientific Supervisor:

/Viacheslav VASYLIEV/

Normative controller:

/Viacheslav VASYLIEV/

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: «Навчально-науковий центр заочної освіти»

Кафедра: «Електрорухомий склад залізниць»

Рівень вищої освіти: бакалавр

Освітня програма: «Електричний транспорт»

Спеціальність: «141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студенту Котляр Євген Сергійович

1. Тема роботи: «Підвищення енергоефективності залізничного кар'єрного транспорту»

Керівник роботи: Васильєв В'ячеслав Євгенович, старший викладач
затверджені наказом № 144 ст від 06.02.2023

2. Строк подання студентом роботи: 10. 06. 2023 р.

3. Вихідні дані до роботи: параметри тягового забезпечення процесу
перевезення гірничої маси в кар'єрі; аналіз розходу електричної енергії на
видобуток гірничої маси в ГЗК; перспективний план видобутку корисних
копалин Криворізького залізрудного басейну.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: аналіз стану і перспективи розвитку транспортних систем глибоких кар'єрів.

4.2 Основна частина: Розробка методу енергетичної оцінки транспортних систем глибоких кар'єрів. Розробка основних напрямків зниження енергоспоживання технологічним кар'єрним транспортом.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових

креслень): Розподіл обсягів видобутку гірської маси по глибині залізрудних кар'єрів за 2015-2020 рр; Кількість гірської маси, добутої по роках, млн.т.; Порівняння різних видів кар'єрного транспорту за вартістю 1 т*км; Питома енергоємність технологічної схеми гірських робіт;

Показники енергетичної ефективності; Залежність питомої дії транспорту при русі на підйом від ухилу і коефіцієнту опору коченню; Основні напрямки підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Розділ 1	ст. викл. каф. ЕРС Васильєв В.Є.		
Розділ 2			
Розділ 3			

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	01.03.2023	
2	1 Стан і перспективи розвитку транспортних систем глибоких кар'єрів	10.03.2023	
3	2 Розробка методу енергетичної оцінки транспортних систем глибоких кар'єрів	01.04.2023	
4	3 Основні напрямки зниження енергоспоживання технологічним кар'єрним транспортом	13.05.2023	
5	Висновки	05.06.2023	
6	Оформлення роботи	10.06.2023	
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.06.2023	
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	27.06.2023	

Студент

(підпис)

Євген КОТЛЯР

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

(підпис)

ст. викл. В`ячеслав
ВАСИЛЬЄВ

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття першого (бакалаврського) рівня освіти на тему «Підвищення енергоефективності залізничного кар'єрного транспорту» складається з вступу, трьох основних розділів, виконаних на 117 сторінках машинописного тексту, містить 24 ілюстрації, 38 таблиць, перелік посилань включає в себе 11 найменувань і додатків на 10 сторінках. Загальний об'єм роботи 127 сторінок.

Об'єктом досліджень є зниження розходу енергоспоживання засобами тягового забезпечення в кар'єрах по видобутку корисних копалин (автомобільного, залізничного і конвеєрного транспорту). Метою роботи є розробка методики енергетичної оцінки енергоспоживання під час видобутку і транспортування гірничої маси з підприємств чорної металургії. Галузь застосування – залізничний транспорт, підприємства по видобутку корисних копалин.

У вступі обґрунтована актуальність теми, сформульовані мета і основні завдання роботи.

Перший розділ присвячений аналізу гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов розробки глибоких кар'єрів, розглянуто умови, особливості і техніко-економічні показники роботи різних видів транспорту глибоких кар'єрів, а також виконано аналіз енергоспоживання технологічними процесами на глибоких кар'єрах.

У другому розділі розглянуто загальні принципи енергетичної оцінки технологічних процесів і транспортних систем глибоких кар'єрів, виконано дослідження енергетичної ефективності різних видів кар'єрного транспорту: автомобільного, дизель-тролейвозного транспорту, залізничного транспорту, а також конвеєрного і скіпового транспорту.

В третьому розділі приведені основні напрямки зниження енергоспоживання технологічним кар'єрним транспортом, виконана оцінка енергоємності транспортних систем глибоких кар'єрів, запропоновані шляхи зниження розходу дизельного палива технологічним автотранспортом, а також шляхи економії і раціонального використання електричної енергії на залізничному і конвеєрному транспорті

Ключові слова: кар'єр, тяговий агрегат, електровоз, автосамоскид, конвеєр, транспорт, руда, економія, розхід, паливо, ресурс, процес.

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів	6
Вступ	7
1 Стан і перспективи розвитку транспортних систем глибоких кар'єрів	9
1.1 Гірничо-геологічні умови розробки глибоких кар'єрів	9
1.2 Умови, особливості і техніко-економічні показники роботи різних видів транспорту глибоких кар'єрів	15
1.3 Аналіз енергоспоживання технологічними процесами на глибоких кар'єрах	32
1.4 Висновок по розділу	39
2 Розробка методу енергетичної оцінки транспортних систем глибоких кар'єрів	40
2.1 Загальні принципи енергетичної оцінки технологічних процесів і транспортних систем глибоких кар'єрів	40
2.2. Дослідження енергетичної ефективності різних видів кар'єрного транспорту	47
2.3 Висновок по розділу	89
3 Основні напрямки зниження енергоспоживання технологічним кар'єрним транспортом	90
3.1 Оцінка енергоємності транспортних систем глибоких кар'єрів	90
3.2 Шляхи зниження розходу дизельного палива технологічним автотранспортом	93
3.3 Шляхи економії і раціонального використання електричної енергії на залізничному і конвеєрному транспорті	102
3.4 Нові енергетичні джерела живлення, технічні і конструктивні рішення транспортних систем кар'єрів найближчого майбутнього	111
Висновки	116
Перелік посилань	117
Додатки	118
Додаток А – Перелік мультимедійних демонстраційних матеріалів	119
Мультимедійні демонстраційні матеріали	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ВР – вибухові речовини;
ДЗФ - дробарно-збагачувальні фабрики;
ЦПТ - циклічно-потокова технологія;
УП - умовне паливо;
БТО - британська теплова одиниця;
ГМТ - гідромеханічна трансмісія;
ЕМТ - електромеханічна трансмісія;
ЕКА - електричний кар'єрний електропоїзд;
АКС - аеростатно-канатний спуск;
АКТС - аеростатно-канатна транспортна система;
ГТД - газотурбінний двигун;
АБ - акумуляторна батарея;
КЕУ - комбінована енергосилова установка;
ТАА - турбо-акумуляторний автосамоскид

ВСТУП

Україна входить в число провідних мінерально-сировинних держав світу. Поєднання різновікових структурних елементів, що сформувалися внаслідок вияву всіх властивих становленню земної кори процесів, обумовило широкий діапазон корисних копалин, що складають мінерально-сировинну базу країни. Україна, яка займає всього 0,4% земної суші і де проживає 0,8% населення планети, має в своїх надрах 5% мінерально-сировинного потенціалу світу.

Питання економії енергетичних ресурсів стояли перед суспільством за всіх часів. З підвищенням рівня розвитку цивілізації ця актуальна проблема усе більше загострюється, переростаючи в кризу всієї економіки. Характерним прикладом такого явища стала енергетична криза на початку 70-х років XX в. у Європі. Сьогодні в Україні також існує ряд енергетичних проблем, обумовлених неплатоспроможністю підприємств і населення, дефіцитом енергоресурсів і високими цінами на енергоносії. Підприємства не в змозі освоїти зростаючі тарифи на теплову і електричну енергію.

Для успішного розв'язку цієї проблеми необхідно налагодити систему контролю і обліку теплової і електричної енергії; розробку і впровадження ефективних технологічних розв'язків, що забезпечують зменшення загальних і питомих витрат енергії, проведення комплексного аналізу підприємств із питань енергозбереження; впровадження альтернативних, більш економічних джерел одержання і передачі енергії. У липні 2017 року були прийняті поправки до "Закону про енергозбереження" [1], що є основним документом по реалізації політики енергозбереження, але цей документ скоріше продекларував гостроту проблеми, ніж указав шляху її реалізації.

Гірничодобувне підприємство як одна з найбільш енергоємних галузей промисловості займає суттєву частину енергетичного балансу нашої країни. Енергоємність відкритого способу видобутку корисних копалин у значній мірі (50-90%) визначається енерговитратами на транспортування гірської маси, що мають тенденцію до збільшення з ростом глибини розробки. Аналіз структури енергоспоживання на кар'єрах показує, що найбільш енергоємним є процес транспортування гірської маси. Збільшення енергоємності при одночасному інтенсивному зростанні цін на енергоресурси стає одним з основних факторів, що лімітують розвиток гірського виробництва, і робить необхідним впровадження високоефективних енергозберігаючих технологій обліку і зниження витрати дизельного палива і електроенергії технологічним кар'єрним транспортом.

Метою роботи є розробка методу енергетичної оцінки і практичних рекомендацій зі зниження енергоємності транспортних систем глибоких кар'єрів.

Ідея полягає у використанні критеріїв мінімізації питомих енерговитрат на підйом гірської маси і питомої дії окремих видів транспорту при формуванні енергетично ефективних транспортних систем глибоких кар'єрів.

Завдяки цьому стане можливим отримання наступних результатів.

1 Використання як основного критерію мінімуму витрат первинних енергоресурсів на підйом гірської маси, а в якості додаткового - мінімуму питомої дії, що зв'язує енерговитрати із продуктивністю і організацією роботи транспортної системи, дозволяє розробляти стратегію формування енергетично ефективних транспортних систем глибоких кар'єрів.

2 Підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів може бути досягнуте збільшенням ухилів транспортних комунікацій. Для кожного виду транспорту існують оптимальні ухили внутрішньокар'єрних трас, що забезпечують мінімальні енерговитратні на підйом гірської маси.

3 Комплексне використання сукупності автоматизованих баз даних гірничо-транспортного обладнання, системи автотранспортних комунікацій і первинної маркшейдерської інформації як банку даних дозволяє підвищити наукову обґрунтованість і точність розрахунків енергетичних показників кар'єрного автотранспорту при плануванні і нормуванні витрати дизельного палива і електроенергії.

Використання результатів досліджень дозволить:

- оптимізувати зони експлуатації різних видів транспорту по глибині кар'єрів і скоротити енерговитратні на транспортування гірничої маси;
- приймати науково обґрунтовані рішення на стадії проектування, що забезпечують енергетично ефективну роботу транспортних систем глибоких кар'єрів;
- забезпечувати автоматизоване рішення завдань аналізу, планування і нормування енергетичних показників технологічного автотранспорту глибоких кар'єрів.

1 СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

1.1 Гірничо-геологічні умови розробки глибоких кар'єрів

Основною особливістю розвитку всесвітньої гірської промисловості на доступну для огляду перспективу є стійка орієнтація на відкритий спосіб розробки, що забезпечує найкращі економічні показники. Питома вага відкритого способу розробки становить у світі 72-73%, у США - 83%, у країнах СНД - близько 70% [2]. В Україні відкритим способом добувається більш 40% вугілля, 91% залізних руд і більш 70% руд кольорових металів. Висока питома вага відкритого способу розробки в Україні свідчить про збереження цього генерального напрямку розвитку гірничодобувних галузей промисловості при переході до ринкової економіки. Розвиток відкритого способу розробки характеризується ростом концентрації виробництва, супроводжується збільшенням глибини і просторових розмірів кар'єрів, відстаней транспортування і складності доставки гірської маси на поверхню.

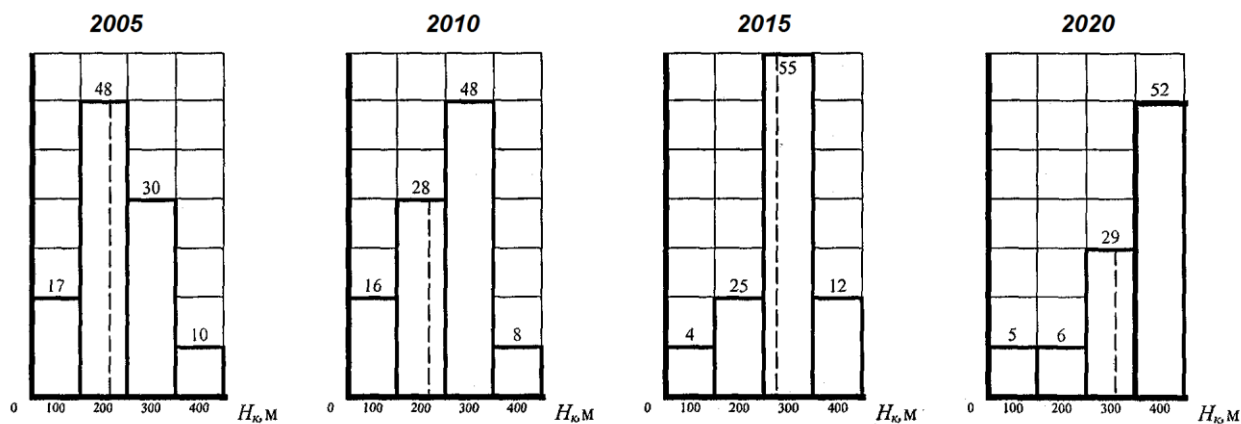
В 2020 р. 18 залізрудних кар'єрів мали глибину більш 200 м, а 5 (Соколовський, Срабайський, Ковдорський, Інгулецький і кар'єр ПГЗК) - більш 300 м. На них було добуто гірської маси, відповідно, 56,0 і 13,1% загальних обсягів (таблиця 1.1.1, рисунок 1.1.1).

Таблиця 1.1.1 – Розподіл залізрудних кар'єрів по глибині

Глибина кар'єрів, м	Рік							
	2015				2020			
	Кількість кар'єрів		Руда, %	Гірнична маса, %	Кількість кар'єрів		Руда, %	Гірнична маса, %
	Одиниць	%			Одиниць	%		
Нагорні	2	3,8	1,2	1,5	3	6,0	10,6	7,7
До 50	5	9,4	3,2	1,4	3	6,0	5,3	2,3
51-100	7	13,2	4,7	3,0	5	10,0	1,3	2,0
101-200	16	30,2	14,8	25,0	10	20,0	7,2	5,9
201-300	18	34,0	55,1	56,0	14	28,0	28,7	29,8
Понад 300	5	9,4	21,0	13,1	15	30,0	46,9	52,3
Всього	53	100,0	100,0	100,0	50	100,0	100,0	100,0

Середньозважена глибина залізрудних кар'єрів за 10 років (з 2015 по 2020 рр.) збільшилася на 40,6 м (з 174,9 до 215,5 м). Аналіз проектних рішень показує, що більшість діючих у цей час залізрудних кар'єрів буде експлуатуватися і після 2025 р. На кар'єрах глибиною 200 м і більш по замкненому контуру намічається добувати

до 2025 р. 70-76% руди і 78-82% гірської маси. Таким чином, основний обсяг видобутку і вилучення гірської маси в залізорудній отраслі в найближче десятиліття буде здійснюватися в основному шляхом освоєння глибоких горизонтів.



--- середньозважена глибина кар'єру, H_k - глибина кар'єру, м

Рисунок 1.1.1 - Розподіл обсягів видобутку гірської маси по глибині залізорудних кар'єрів за 2005-2020 рр.

Аналогічні тенденції і в інших галузях гірничодобувної промисловості найближчого зарубіжжя. Серед вугільних розрізів найглибшим є Коркинський (проектна глибина 630 м, фактична - 455 м). Розрізи Кедровський, Міжріченський, ім. 50-річчя Жовтня досягалися глибини 200 - 220 м при проектній глибині 300-360 м. Кар'єри Кальмакирський, Маднеульський, Сорський, Жданівський, Учалинський, що розробляють руди кольорових металів, мають глибину 220-280 м при проектній глибині 330-470 м. Серед нерудних кар'єрів найбільш глибокими є Баженівське ВАТ "Ураласбест". У цей час глибина Центрального кар'єру 285 м, а Південного - 300 м; проектом передбачена розробка цих родовищ до глибини 680 м. метрів.

Закордонні глибокі кар'єри представлені в основному підприємствами, що розробляють родовища руд кольорових металів: Бінгхем, Твін Бьюте, Берклі, Мішон, Сієрріта (США), Чукікамата (Чилі), Ендако (Канада), Антик (Швеція), Токвепала (Перу), Ерцберг (Австрія) і ін. Проектна глибина цих кар'єрів, як правило, перевищує 250-300 м, а кар'єри Палабора, Сієрріта і Токвепала будуть розроблятися до глибини 500-550 м [3].

Питання розробки глибоких кар'єрів теоретично були поставлені в 60-х роках ХХ в. До того ж часу ставляться перші класифікації кар'єрів по глибині, в основу яких було покладено різницю відміток дна кар'єру і поверхні. До глибоких минулого віднесені кар'єри, робочі горизонти яких розташовано на глибині 100-150 м. Під впливом технічного прогресу в гірській промисловості поняття «глибокий кар'єр» перетерплювало зміни [3]. В 80-х роках академік В.В. Ржевський до

глибоких відносить кар'єри, що мають глибину більш 200 м. У той же період В.В. Ржевським сформульовані характерні риси глибоких кар'єрів, що полягають у наступному:

- більша виробнича потужність по руді (10-25 млн. т/рік і більш) і по гірській масі (50-60 млн. т/рік і більш);
- тривалий строк існування кар'єру (зазвичай не менш 30 років);
- різке скорочення параметрів робочої зони зі збільшенням глибини розробки;
- комбіноване розкриття, у тому числі із застосуванням підземних виробітків;
- одночасне застосування різних технологій гірських робіт, а також видів і типів гірського і транспортного устаткування.

Таким чином, поняття «глибокий кар'єр» не статично. За 40 років значення глибини відкритої розробки, перевищення яких дозволяло відносити кар'єри до глибоких, збільшилися з 60-80 до 250-300 м.

В останні роки конкретизації поняття «глибокий кар'єр» був присвячений ряд робіт чл.-кор. РАН В.Л. Яковлева [4]. Їм відзначається, що «щодо розв'язку питань розкриття кар'єрів і транспортування гірської маси кар'єр слід вважати глибоким, якщо із застосуванням діючого на кар'єрі виду транспорту без заміни його технічних засобів або перегляду (реконструкції) схеми розкриття досягнення транспортними засобами нижніх горизонтів стає неможливим або неекономічним. При такому підході поняття «глибокий кар'єр» не є строго детермінованим і залежить, по-перше, від конкретних гірничотехнічних умов, по-друге, змінюється в часі у зв'язку з технічним прогресом».

В.Л. Яковлевим запропонована систематизація глибоких кар'єрів за умовами формування їх транспортних систем. Кар'єри були розділені на ряд груп, для кожної з яких найбільш краща своя послідовність розвитку кар'єрного простору і закономірність формування транспортної системи. До характерних ознак крім глибини кар'єру віднесені його просторові розміри в плані, запаси корисної копалини невиробнича потужність по гірській масі академіком В.В. Ржевським виділено два загальні напрямки розв'язку проблеми розробки глибоких кар'єрів:

- запобігання або зниження негативних наслідку росту глибини кар'єрів;
- компенсація негативних наслідків за рахунок застосування нових технологій і техніки.

Оскільки найбільш загальним синтезуючим параметром, який у значній мірі визначає техніко-економічні показники відкритої розробки, є виробнича потужність кар'єру, реалізація зазначених напрямків необхідна в першу чергу для підтримки потужності глибоких кар'єрів по корисним копалинам. Усі фактори, що впливають на продуктивність кар'єрів при збільшенні глибини гірських робіт, можна розділити на три основні групи:

- гірничо-геологічні (природні);
- технічні;
- гірничотехнічні (технологічні).

Зміна гірничо-геологічних умов розробки глибоких кар'єрів носить об'єктивний характер і має специфічні особливості для кожного родовища або групи родовищ.

Раніше проведеними дослідженнями, на прикладі залізорудних кар'єрів, встановлене, що з ростом глибини розробки гірничо-геологічні фактори характеризуються:

- збільшенням питомої ваги скельних порід у загальному обсязі гірської маси;
- збільшенням середньої міцності і блочності порід;
- зменшенням вмісту заліза в сирій руді;
- зменшенням потужності рудних тіл, зміною кутів падіння покладів, диз'юнктивними порушеннями;
- зміною гідрогеологічних умов розробки (зростанням водообільності);
- зміною стійкості порід у бортах кар'єрів.

По характеру впливу на продуктивність кар'єру гірничо-геологічні фактори можна розділити на дві основні групи:

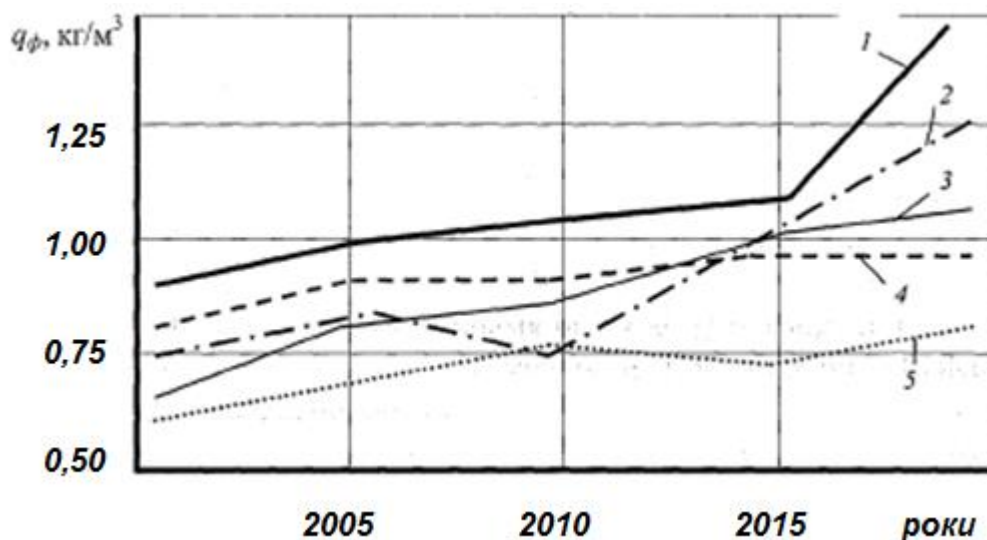
- фактори, що безпосередньо діють на продуктивність кар'єру;
- фактори, вплив яких на продуктивність кар'єру проявляється через зміну технічних і технологічних факторів.

До першої групи ставиться вміст корисного компонента в сирій руді, потужність і умови залягання рудного тіла.

Друга група включає фізико-механічні властивості гірських порід (міцність, блочність), гідрогеологічні умови розробки і стійкість бортів, тобто фактори, що впливають на продуктивність кар'єру через технічну і експлуатаційну продуктивність устаткування.

Одним з найважливіших факторів, що компенсують негативний вплив зміни фізико-механічних властивостей гірських порід (міцності і блочності) з ростом глибини розробки на продуктивність кар'єрів, є збільшення питомої витрати вибухових речовин (ВР). За останні 20 років питома витрата ВР на глибоких залізорудних кар'єрах збільшився в середньому на 35,8% (рисунок 1.1.2).

У цей час на ряді підприємств (Костомукшський, Оленегірський, Михайлівський, Полтавський, Качканарський ГЗК) він досяг 1,2-1,6 кг/м. Забезпечення оптимальних параметрів підривних робіт дозволило максимально послабити вплив росту міцності і блочності гірських порід на процеси екскавації, транспортування і відвалоутворення. У той же час це приводить до різкого збільшення частини буровибухових робіт у собівартості видобутку гірської маси на глибоких кар'єрах.



1 - Костомукшський; 2 - Оленегірський; 3 - кар'єри ССППО; 4 - кар'єр "Залізний" Ковдорського ГЗК; 5 - Коршуновський

Рисунок 1.1.2 - Динаміка по роках питомої витрати вибухових речовин (q_ϕ) на глибоких залізрудних кар'єрах

Найбільш велику групу представляють гірничотехнічні (технологічні) фактори, що включають зміну параметрів систем розробки і робочої зони, параметрів транспортних систем і схем розкриття, збільшення обсягів розкривних порід і зниження експлуатаційної продуктивності гірничотранспортного обладнання.

Технологічні фактори характеризуються тісним взаємозв'язком і мають загальні тенденції зміни із глибиною розробки на різних кар'єрах.

Важливою особливістю гірничотехнічних факторів є те, що вони, на відміну від природних, є керованими в певному діапазоні зміни. Керуючими впливами, що включають впровадження високопродуктивних засобів гірничотранспортної техніки, удосконалювання параметрів системи розробки, схем розкриття і транспортних систем кар'єрів, можна компенсувати негативний вплив глибини розробки і підтримувати продуктивність кар'єрів тривалі періоди на заданому рівні.

На основі статистичного аналізу встановлене, що сучасний стан робочої зони більшості глибоких залізрудних кар'єрів характеризується:

- зменшенням середньої ширини робочих майданчиків на 7-13 м на кожні 50 м збільшення глибини розробки (рисунок 1.1.3);
- зниженням забезпеченості готовими до видобутку запасами до 0,4-1,0 місяців;
- скороченням довжини робочого фронту.

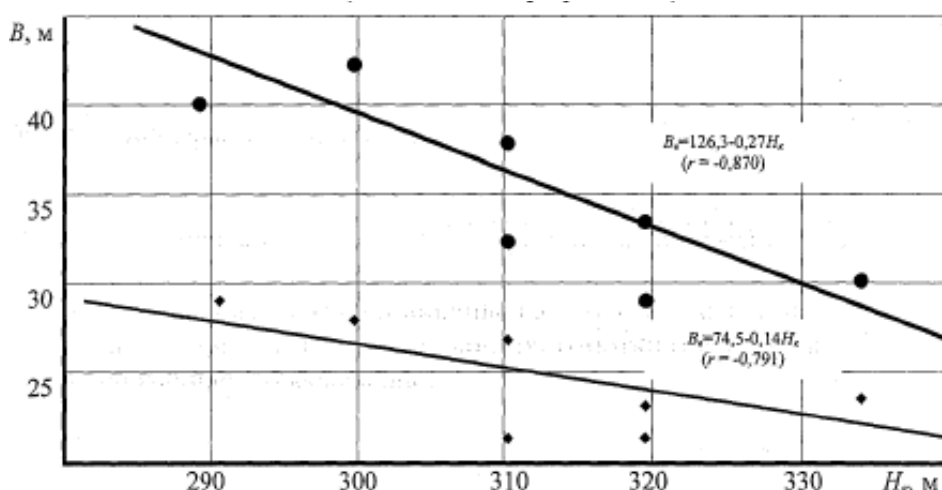


Рисунок 1.1.3 - Зміна середньої ширини робочого майданчика по руді (B_p) і розкриву (B_e) із глибиною розробки (H_k) (Соколовський кар'єр ССГПО)

Разом з тим на продуктивність обладнання впливає не тільки погіршення гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов розробки зі збільшенням глибини кар'єрів, але і фактор технічного прогресу. Результуюча тенденція динаміки продуктивності обладнання формується залежно від співвідношення позитивних (технічний прогрес) і негативних (збільшення глибини гірських робіт) факторів. У цілому по залізрудних кар'єрах в 2005-2020 рр. технічний прогрес у значній мірі компенсував негативний вплив глибини гірських робіт на продуктивність бурового і екскаваторного обладнання (таблиця 1.1.2).

Таблиця 1.1.2 - Показники середньорічного збільшення змінної продуктивності обладнання і темпу технічного прогресу на залізрудних кар'єрах (1990-2000 рр.)

Найменування обладнання	Середньорічний темп збільшення продуктивності, %	Темп технічного прогресу, %	
		середньорічний по отрасли	Діапазон варіювання на кар'єрах
Бурові верстати СБШ-250МН	0,42	1,3	0-4,3
Екскаватори ЕКГ-8И при роботі з автотранспортом	0,65	2,2	6,7
Екскаватори ЕКГ-8И при роботі із залізничним транспортом	0,18	1,7	0-3,5

Разом з тим на окремих кар'єрах із залізничним транспортом вплив глибини на продуктивність екскаваторного обладнання був переважним. Так, на Сарбайському кар'єрі ССГПО в середньорічне зниження продуктивності екскаваторів ЕКГ-8И при роботі на залізничний транспорт склало 2,2%, на кар'єрі ПГЗК - 0,8%.

Найбільший вплив глибина розробки оказує на продуктивність і техніко-економічні показники кар'єрного транспорту. Дотепер на більшості вітчизняних кар'єрів повної компенсації зниження техніко-економічних показників транспортування зі збільшенням глибини розробки технічним прогресом забезпечити не вдається. У зв'язку із цим транспортна проблема була і залишається однією з найважливіших.

Основна економічна проблема глибоких кар'єрів полягає в необхідності значних капітальних вкладень на підтримку потужності. Середня капіталомісткість 1 т підтримуваної потужності глибоких залізрудних кар'єрів у період 2015-2020 рр. становить \$20-24 (при вартості 1 тони залізної руди \$75). У галузевому масштабі збереження залізрудного балансу за рахунок підтримки потужності глибоких кар'єрів можна вважати економічно виправданим, оскільки зазначені питомі капітальні вкладення на 20-25% менше капітальні вкладень на 1 т видобутку при спорудженні нових підприємств із повним технологічним циклом (без обліку витрат на інфраструктуру). Разом з тим питомі капітальні витрати на підтримку потужності окремих глибоких кар'єрів варіюються в широких межах: від 5-7 дол/т (Соколовський, Срабайський, Тейський кар'єри) до 30-40 дол/т (Полтавський, Оленегірський, Ковдорський, Першотравневий кар'єр ПГЗК і ін)

В умовах ринкової економіки джерелами фінансування капітальних вкладень на підтримку потужності і відшкодування зношування основних промислово-виробничих фондів можуть бути тільки власні засоби підприємств, які складаються з амортизаційного фонду і частини прибутку, а також позикові засоби у вигляді банківських кредитів. До 80-90% капітальних вкладень на підтримку потужності пов'язані з реконструкцією транспортних систем глибоких кар'єрів. У сучасній економічній ситуації багато підприємств не забезпечені цими засобами, що веде до зниження обсягів виробництва.

Разом з тим неплановане вибуття потужності не можна вважати неминучим явищем на глибоких кар'єрах в умовах ринкової економіки. Ряд українських підприємств, що експлуатують глибокі кар'єри (ЦГЗК, ПівГЗК, ПГЗК), показують приклад стабільної роботи і не скорочують, а навіть нарощують виробничі потужності.

1.2 Умови, особливості і техніко-економічні показники роботи різних видів транспорту глибоких кар'єрів

Основним напрямком розв'язку проблеми видачі гірської маси із глибоких кар'єрів є комбіноване використання двох і більш видів транспорту, при якому забезпечується найбільша ефективність кожного виду, що входить у комбінацію,

знижується собівартість і трудомісткість транспортування. Широке впровадження комбінованих транспортних схем приводить до зростання ролі і значення, а також до зміни технологічних функцій автомобільного транспорту. У всіх існуючих і перспективних комбінаціях автотранспорт виконує, в основному, роль складальної ланки, що формує вантажопотік гірської маси безпосередньо із зони кар'єру.

Ефективність застосування засобів технологічного кар'єрного транспорту залежить від його параметрів і гірничотехнічних умов експлуатації, які характеризуються обсягами перевезень корисної копалини і розкриття, відстанями перевезень, параметрами навантажувального обладнання, типом і параметрами пунктів розвантаження, якістю дорожнього покриття траси руху, геометрією траси, інтенсивністю руху автосамоскидів, станом ремонтної бази, кліматом району розробки, рівнем організації нормування, планування і ін.

Засоби технологічного автотранспорту характеризуються вантажопідйомністю, чисельністю парку, ступенем зношування, типом трансмісії, місткістю кузова.

По характеру виконуваної транспортної роботи автомобільні перевезення в глибоких рудних кар'єрах можна підрозділити на два основні види: зовнішні (магістральні) і внутрішньокар'єрні (складальні). Магістральні перевезення характеризуються роботою автосамоскидів на схемах, що зв'язують робочу зону або її частину з пунктами приймання гірської маси, розташованими на поверхні (зовнішні відвали, дробарно-збагачувальні фабрики (ДЗФ), рудні склади). Збільшення глибини залізрудних кар'єрів привело до різкого скорочення області застосування автосамоскидів як магістрального транспорту. Статистичні дані показують, що при досягненні залізрудними кар'єрами глибини 200 м і більш складальні перевезення становлять 80-100% загальних об'ємів транспортування автосамоскидами. У цей час на залізрудних кар'єрах країн СНД 81,1% загального обсягу технологічних перевезень автосамоскидами припадає на складальні перевезення. Найпоширенішими є комбінації автомобільного із залізничним (84,0%) і конвеєрним (15,5%) транспортом.

У розвитку технологічних автоперевезень на залізрудних кар'єрах можна виділити наступні характерні періоди.

1 1965-1975 рр. Період характеризувався інтенсивним зростанням обсягів перевезень, що в першу чергу було пов'язане з технічним переозброєнням кар'єрів. З 1965 р. замість знятого з виробництва автосамоскида МАЗ-525 Білоруським автозаводом був освоєний серійний випуск автосамоскидів Белаз-540 (27 т), а з 1968 р. Белаз-548А (40 т). За розглянутий період загальні обсяги перевезень автотранспортом на залізрудних кар'єрах зросли в 2,7 рази, складальні - в 5,2 рази, магістральні - в 1,8 рази. Число залізрудних кар'єрів, що використовують автотранспорт як складальну ланку, збільшилося з 9 до 22. Практично всі

внутрішньокар'єрні перевезення (99,4%) здійснювалися в комбінації із залізничним транспортом. Річна продуктивність на 1 облікову автотону зросла з 4850 т в 1965 р. до 7250 т в 1975 р.

2 1976-1981 рр. У зазначений період проблема транспорту глибоких кар'єрів набула особливу актуальність. Рішення її було ускладнено рядом технічних, технологічних і організаційних труднощів. У першу чергу до них слід віднести відставання розкривних робіт від проектного рівня і недолік транспортних засобів. За розглянутий період обсяг магістральних перевезень зменшився на 20,5%, а складальних збільшився на 24,3%. Спостерігалось інтенсивне зростання об'ємів автоперевезень у комбінації з конвеєрним транспортом, що було пов'язане із впровадженням циклічно-потокової технології (ЦПТ) гірських робіт на ряді кар'єрів Кривого Рогу (ІНГЗК, НКГЗК, ПГЗК, ПівГЗК). Питома вага перевезень автотранспортом у схемах ЦПТ збільшився з 2,3 до 6,2% загальних об'ємів. У той же час, незважаючи на збільшення тоннажу облікового парку, а також на ріст середньої вантажопідйомності автосамоскида з 31,5 до 42,5 т, зазначені фактори не змогли компенсувати зниження експлуатаційних показників, викликаних ускладненням умов роботи на глибоких горизонтах. Річна продуктивність на облікову автотону зменшилась з 7,25 тис.т в 1975 р. до 6,0 тис.т в 1981 р.

За розглянутий період чітко виявилось відставання технічного рівня великовантажного автомобілебудування від зрослих вимог гірничорудних підприємств. Досвід експлуатації показав, що, що серійно випускаються автосамоскиди з гідромеханічною трансмісією не повністю відповідають умовам роботи в глибоких кар'єрах як по вантажопідйомності, так і по тягово-динамічних якостях. В 1978 р. Білоруським автозаводом був початий серійний випуск автосамоскида Белаз-549 вантажопідйомністю 75 т з електромеханічною трансмісією. В 1980-1981 рр. проведені експлуатаційні випробування дизель-електричних автосамоскидів Белаз-7519 (110 т) і Белаз-7521 (180 т). Серійний випуск автосамоскидів Белаз-7519 початий в 1982 р. Однак зазначені заходи не змогли виявити вирішального впливу на техніко-економічні показники технологічного транспорту.

3 1982-1988 рр. Обсяги перевезень автотранспортом на залізничних кар'єрах збільшилися в 1,5 рази (з 752,0 до 1107,0 млн. т), значно покращилися експлуатаційні і техніко-економічні показники. Так, річна продуктивність автосамоскида на середньосписочну автотону виросла з 6,0 до 8,9 тис. т, середня вантажопідйомність автосамоскида - з 42,5 до 75,5 т. Це було обумовлено в першу чергу оснащенням гірничодобувних підприємств імпортними автосамоскидами HD-1200 фірми "Комацу" вантажопідйомністю 120 т. Питома вага технологічних автоперевезень зазначеними моделями автосамоскидів збільшився з 17,3% в 1981

р. до 37,2% в 1988 р. Одночасно Білоруський автозавод інтенсивно нарощував випуск дизель-електричних автосамоскидів Белаз-549 і Белаз-7519. До 1989 р. автосамоскидами вантажопідйомністю 75-120 т здійснювалося близько половини технологічних автоперевезень гірської маси на залізорудних кар'єрах. У цей же період почалася модернізація автосамоскидів, що серійно випускаються, Белаз-540А и Белаз-548А. Відмінними рисами модернізованих автосамоскидів Белаз-7540 (30 т) і Белаз-7548 (42 т) стали кращі швидкісні і тягово-динамічні якості, багатоступінчаста коробка передач, підвищена потужність і надійність дизельних двигунів.

Частка складальних перевезень автотранспортом збільшилася до 70,5%. Питома вага автоперевезень у комбінації з конвеєрним транспортом виріс із 6,2 до 14,5% у зв'язку: з введенням нових комплексів ЦПТ на Оленегірському, Стойленському, Ковдорському, Інгулецькому і Полтавському ГЗК.

4 1989-2005 рр. Період характеризувався зниженням обсягів виробництва на залізорудних кар'єрах, особливо різким з 1991 р. - при переході від планової до ринкової економіки. Основними причинами кризового стану залізорудної підотраслі країн СНД у ці роки з'явилися зниження потреби в руді через скорочення виплавки чавуну, важке фінансове становище гірських і металургійних підприємств і різке зниження інвестицій на підтримку і введення нових потужностей гірничозбагачувального підприємства.

Обсяги перевезень технологічним автотранспортом скоротилися з 1107,0 до 730,0 млн. т (1994 р.), річна продуктивність автосамоскида на середньосписочну автотону - з 8,9 до 6,9 тис. т. Однієї з основних причин зниження продуктивності з'явилося фізичне і моральне старіння обладнання, затримка темпів технічного переозброєння і заміни зношених машин. Відбулася стабілізація середньої вантажопідйомності облікового автосамоскида на рівні 80-81 т, різко знизився темп росту середньої місткості ковша екскаватора на кар'єрах, що дозволило ряду дослідників затверджувати вичерпання можливості підвищення ефективності роботи глибоких кар'єрів за рахунок технічного переозброєння і збільшення одиничної потужності транспортно-гірничо-транспортної техніки [4]. Із цим не можна погодитися, аналізуючи стійкі тенденції підвищення одиничної потужності обладнання на закордонних кар'єрах [5].

З 2015 р. відзначається початок періоду припинення спаду, стабілізації і деякого нарощування обсягів виробництва на залізорудних кар'єрах України. Стійкість цієї тенденції буде визначатися адаптацією конкретних підприємств до ринкових умов функціонування.

У розглянутий період Білоруським автозаводом розроблений новий типорозмірний ряд автосамоскидів Белаз, що включає шість базових моделей вантажопідйомністю 30-32, 50-58, 80-90, 120-135, 180-210 і 250-280 т.

У цей час на кар'єрах у міру списання автосамоскиди Белаз-540А и Белаз-548А замінюються модернізованими моделями Белаз-7522 (30 т), Белаз-7540 (30 т), Белаз-75405 (30 т), Белаз-7523 (42 т), Белаз-7548 (42 т), Белаз-75485 (42 т). Планується випуск перспективної моделі Бе-Лаз-7555 (55 т) з автоматичною багатоступінчастою коробкою передач. На зміну автосамоскидам Белаз-549 і Белаз-7519 надходять Белаз-7549 (80 т), Белаз-7512 (120 т), Белаз-7524 (120 т) і Белаз-75131 (130 т), що відрізняється від свого попередника Белаз-7519 (110т), 7512 (120 т) більш високою продуктивністю (13000 т/міс) і низькою (114 г/ткм) питомою витратою палива у комбінації з поліпшеними динамічними характеристиками, високою надійністю дизель-генераторної установки, дисковими гальмами, поліпшеною гідравлічною системою рульового керування, а також конструктивними змінами, спрямованими на зниження працездатності при обслуговуванні і ремонті мотор-коліс.

На кар'єрах країн СНД одержали досить широке поширення автосамоскиди закордонних фірм. Тут, поряд із уже згаданими японськими автосамоскидами HD-1200, експлуатуються дизель-електричні машини R-170 (154 т) фірми "Юклід" (Донської ГЗК), автосамоскиди з гідромеханічною трансмісією Cat-785^і (130 т) і Cat-789^і (154 т) фірми "Катерпіллер" (ПГЗК, ПівГЗК).

Умови експлуатації технологічного автотранспорту на магістральних і складальних перевезеннях глибоких кар'єрів мають значні відмінності, що визначає різні вимоги до конструктивних параметрів автосамоскидів.

Дослідженнями встановлені найбільш імовірні умови експлуатації складального автотранспорту. Вони характеризуються:

1 Порівняно малими (0,5-1,0 км) і середніми (1,1-2,5 км) відстанями перевезення гірської маси при значній питомій вазі тимчасових автодоріг (до 50-70%) у загальній відстані транспортування (кар'єри ССГПО, ІнГЗК, НКГЗКа і ін.).

2 Мінімальними параметрами робітничих (30-35 м) і маневрових (15-20 м) майданчиків, складними трасами із кривими малих радіусів (12-18 м) і, переважно, тупиковими під'їздами до екскаваторів (кар'єри Північного ГЗК, ССГПО, Михайлівського ГЗК, Оленегірського ГЗК і ін.).

3 Транспортуванням в основному скельних порід ($\gamma = 3,2-4,0 \text{ т/м}^3$) на внутрішньокар'єрні перевантажувальні комплекси (екскаваторні пункти, бункери дробарних установок, естакадні перевантаження).

4 Великою інтенсивністю руху автосамоскидів (до 170-200 авт/г) на основних ділянках трас, що здійснюють технологічний зв'язок забоїв з пунктами приймання гірської маси.

До теперішнього часу складальний автотранспорт застосовується на всіх великих залізничних кар'єрах, а також на ряді кар'єрів кольорової металургії і вугільної промисловості.

Середньозважений поздовжній ухил складальних автотрас змінюється від мінус 5-7% при вантажному напрямку руху на спуск у схемах ЦПТ до плюс 5-7% при вантажному напрямку руху на підйом, становлячи в середньому на розглянутих кар'єрах 3,75%. Керівний ухил, як правило, не перевищує 7-8%. У глибинній зоні кар'єрів максимальні ухили окремих ділянок трас часто підвищуються до 9-10%. Транспортування проводиться по тимчасових автодорогах на робочих горизонтах і на підйом (спуск) до внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктів. Тимчасові автодороги на скельній основі споруджуються без покриттів. Побудова їх обмежується плануванням дорожнього полотна бульдозерами з наступним підсипанням для зменшення зношування автошин. Ширина проїзної частини автодоріг залежно від вантажопідйомності автосамоскидів змінюється від 9-11 до 17-19 м.

Зона роботи складального автотранспорту в більшості випадків обмежується робочою зоною кар'єру і відокремлена від автоцеха на 4-10 км, у зв'язку із чим спостерігається низький рівень коефіцієнта використання пробігу (0,40-0,45), скорочується чистий час роботи протягом зміни до 6,0-6,5 год, підвищується витрата дизельного палива і автошин.

Взаємодія і взаємоув'язка параметрів і режимів роботи складального (автомобільного) і виданого (залізничного, конвеєрного, скіпового) видів транспорту здійснюється через перевантажувальні пункти. При автомобільно-залізничному транспорті на кар'єрах переважне розповсюдження отримали екскаваторні перевантажувальні пункти. До їхніх переваг відноситься мобільність і простота розташування.

Разом з тим вони вимагають значних площ, додаткових екскаваторів, мають високу енергоємність, вартість перевантаження і низьку продуктивність. На закордонних кар'єрах внутрішньокар'єрні екскаваторні пункти замінені естакадно-бункерними з віброживильниками [6]. При автомобільно-конвеєрному транспорті перевантажувальні пункти містять у собі розвантажувальний майданчик із прийомною ямою, грохотильне і дробарне обладнання, бункери і живильники. Вони можуть бути мобільними (пересувними) і стаціонарними. Орієнтація на мобільні комплекси є основним напрямком підвищення ефективності циклічно-поточної технології гірських робіт.

Гірничотехнічні умови експлуатації визначають специфічні особливості роботи складального автотранспорту. До них слід віднести перевагу несталих режимів руху і значну питому вагу (до 40-50%) завантажувально-розвантажувальних і маневрових операцій у загальній тривалості транспортного циклу, недовикористання швидкісних якостей, підвищену на 25-40% питому витрату дизельного палива і автошин, меншу надійність і пробіг (на 25-30%) автосамоскидів до списання.

Своєчасний переніс перевантажувальних пунктів дозволяє протягом тривалих періодів підтримувати відносно стабільні гірничотехнічні умови роботи складального автотранспорту по відстані транспортування (L) і висоті підйому гірської маси (H_n). ріст, що спостерігається на ряді кар'єрів зазначених параметрів (L і H_n), пояснюється відставанням швидкості зниження комунікацій залізничного транспорту і перевантажувальних пунктів від швидкості зниження гірських робіт у зоні автотранспорту, стаціонарністю перевантажувальних пунктів ЦПТ і т.п.

Магістральні автоперевезення на глибоких залізрудних кар'єрах представлені, в основному, транспортуванням розкривних порід з верхніх і середніх горизонтів у зовнішні відвали. Робота автомобілів характеризується значними висотою підйому (від 80-100 до 120-160 м) і відстанню транспортування (від 2,2-2,6 до 4,2-4,8 км) при високих значеннях середньозважених ухилів трас (3,5-5,5%) (Інгулецький, Центральний ГЗК і ін.). Питома вага постійних автодоріг у загальній довжині відкочування досягає 70-85%.

Найбільш складні умови експлуатації мають два кар'єри чорної металургії (Ковдорський і Карагайський), де магістральні автоперевезення становлять 82-100% загальних, а автотранспорт є основним технологічним транспортом. Глибина Карагайського кар'єру комбінату "Магнезит" за період з 1987 по 2020 р. збільшилася з 211 до 309 м. При цьому середня відстань перевезень автотранспортом виросло з 3,04 до 4,41 км, середня висота підйому гірської маси - з 122,7 до 218,1 м, середньозважений ухил траси - з 4,0 до 5,0%. Характерною тенденцією для таких кар'єрів є більш інтенсивне збільшення висоти підйому гірської маси в порівнянні з відстанню транспортування і ріст відносини висоти до відстані (середньозваженого ухилу). Максимальна висота підйому гірської маси з нижніх горизонтів зазначених кар'єрів уже в цей час становить 320-350 м, а до кінця розробки досягне 400-450 м.

Ускладнення умов експлуатації із глибиною розробки приводить до різкого зниження продуктивності автотранспорту і підвищенню транспортних витрат. Частка автотранспорту в собівартості гірської маси глибоких кар'єрів досягає 55-70%. При переході до ринкової економіки відбулися значні структурні зміни в собівартості автоперевезень. Зміни характеризуються збільшенням частки витрат

на дизельне паливо і поточні ремонти. Так, в 1991-2020 рр. собівартість транспортування гірської маси автосамоскидами Белаз-7519 на Карагайском кар'єрі виросла в 3037 рази. Збільшення по статті "дизпаливо" склало 7081 раз, а по статті "ремонт і технічне обслуговування" - 4200 раз.

У той же час перехід до ринкової економіки виявив кращу адаптивність автотранспорту до зміни економічних і гірничотехнічних умов розробки в порівнянні з іншими видами кар'єрного транспорту.

На глибоких кар'єрах за рубежем автомобільний транспорт отримав набагато більше поширення, ніж на вітчизняних підприємствах. Автосамоскиди працюють як самостійний вид транспорту, у комбінації з конвеєрним транспортом і частково в комбінації із залізничним. В останні роки намітилася тенденція скорочення внутрішньокар'єрних залізничних перевезень [5].

У США за останні 15 років відбулася серйозна реорганізація гірничодобувних галузей промисловості, що полягає в закритті неефективних підприємств і різкому підвищенні продуктивності праці. Вижили тільки ті підприємства, які знизили ціну на свою продукцію на 25-30% і більше. У міднорудній промисловості продуктивність праці за період 2008-2014 рр. подвоїлася, на 25-40% підвищилася продуктивність у залізничній і вугільній промисловості. Прагнення до підвищення ефективності виробництва відбилося на політику в області конструювання і виробництва кар'єрних автосамоскидів. Тут відзначалися наступні тенденції:

1 Збільшення вантажопідйомності автотранспортних засобів. Середня вантажопідйомність автосамоскида з 2000 по 2020 р. підвищилася з 150 до 180-190 т. У цей час машини вантажопідйомністю 118-136 т становлять 20-25% загального парку, машини вантажопідйомністю 154-177 т - 45-50%, машини вантажопідйомністю понад 200 т - 25%.

2 Розширення області застосування гідромеханічної трансмісії. Історично зложилось так, що до початку 80-х років XX в. автосамоскиди вантажопідйомністю понад 77 т мали електричний привод. Гідромеханічна трансмісія в класі машин 118-136 т була випробувана лише в 1982 р. З тих пір область застосування гідромеханічної трансмісії постійно розширюється. У цей час автосамоскиди з автоматичною гідромеханічною передачею становлять близько 50% усіх машин, що випускаються, вантажопідйомністю 118-218 т. Основним виробником автосамоскидів з гідромеханічною трансмісією є фірма "Катерпиллер" (США), що випускає машини вантажопідйомністю від 32 до 218 т. Фірма успішно витримує конкуренцію з такими відомими виробниками автосамоскидів з електротрансмісією, як "Юклід" (США), "Юніт Клуно" (США), "Комацу" (Японія).

3 Спеціалізація кар'єрних автосамоскидів до конкретних гірничотехнічних

умов експлуатації. Спеціалізація полягає в оснащенні автосамоскидів змінними кузовами різної місткості, установці двигунів різної потужності, застосуванні посиленних гальмових систем і т.п.

4 Комп'ютеризація автосамоскидів, що полягає в установці мікропроцесорних систем подачі палива, керування трансмісією, бортового діагностичного обладнання. На сучасних автосамоскидах електронні датчики реєструють більш сорока параметрів роботи. У цьому напрямку японські виробники кар'єрної автотехніки "Комацу" створили автоматизовану систему контролю руху самоскида Komatsu Atonomous truck при переміщенні його по кар'єрних дорогах, у тому числі на ухилах до 12%. Система встановлюється на самоскидах "Комацу" малого і середнього типорозміру (HD-785, HD-465 HD-325) вантажопідйомністю від 32 до 80 т.

У таблиці 1.2.1 наведена динаміка обсягів перевезень залізничним транспортом на глибоких кар'єрах за 2000-2015 г.

Таблиця 1.2.1 - Обсяг перевезень на залізничному транспорті, млн.т

Назва підприємств	Роки досліджень						
	2010	2011	2012	2014	2016	2018	2020
Костомушський ГЗК	31,6	19,0	19,2	19,3	21,5	24,5	27,6
Оленегіорський ГЗК	26,9	18,2	10,1	8,8	9,3	8,4	9,2
Михайлівський ГЗК	98	54,8	58,9	55,2	53,9	64,3	74,2
Стойленський ГЗК	47,2	42,3	43,8	43,2	40,6	47,5	53,3
Лебединський ГЗК	70,1	64,7	70,7	69,6	71,8	69,8	70,9
Коршуновський ГЗК	42,5	33,96	33,8	25,6	27,3	19,8	18,9
Соколовско-Срабайський ГЗК	135	60,6	86,6	121,8	123,8	65,3	80,6
Качарське РУ	46,9	21,5	31,7	32,4	35,9	18,3	25,3
Лисаковський ГЗК	19,7	8,1	9,5	2,2	4,1	4,1	4,4
Центральний ГЗК	52,9	27,1	22,4	18,4	24,5	26,5	23,5
Південний ГЗК	100,4	63,0	52,8	45,2	51,0	58,3	63,2
Північний ГЗК	158,0	53,1	36,2	29,9	34,2	25,9	22,4
Інгулецький ГЗК	24,4	23,7	15,2	15,2	13,5	21,1	23,7
Полтавський ГЗК	83,8	49,3	38,3	36,8	36,9	13,3	12,7
Качканарський ГЗК	64,3	53,4	55,3	49,8	42,9	55,1	60,1
Середнє	68,41	37,66	36,88	36,03	38,25	33,71	36,92

Технічний рівень закордонних автосамоскидів визначає високі техніко-економічні показники їх експлуатації. Коефіцієнти технічної готовності і використання парку автосамоскидів підтримуються на рівні 0,85-0,90, пробіг

машин до списання становить 700-800 тис. км. Фахівці фірми "Катерпиллер" вважають, що їх підприємство, яке відповідає даним показникам або перевершують їх, конкурентно сьогодні і буде перспективним надалі.

В умовах глибоких кар'єрів залізничний транспорт застосовується у верхній і середній зонах глибини 150-180 м і за умови експлуатації потужних тягових засобів і достатнього розносу бортів до глибини кар'єру 250-300 м. При глибині кар'єру більш 150-180 м звичайно залізничний транспорт застосовується в комбінації з автомобільним. Кращі умови застосування залізничного транспорту представлено в таблиці 1.2.2.

Таблиця 1.2.2 – Об'єм перевезень залізничним транспортом млн./т

Устаткування	Вантажо- потік, млн.т/рік	Зона гірських робіт у кар'єрі	Висота підйому гірської маси, м	Відстань транспор- тування, км	Темп зниження гірських робіт, м/рік
Тепловози (ухил до 30 ‰)	15-30	Верхні	До 100	5-8	5-7
Електровози і тягові агрегати (ухил до 40 ‰)	20-40	Верхні і середні	До 200	7-10	6-8
Тягові агрегати, моторвагонні поїзди (ухил 60 ‰ і більш)	15-35	Середні і нижні	До 300-400	8-15	8-10
Стаціонарний дробильно-перевантажувальний комплекс	15-23	Глибокі рудні	40-80	2-4	5-7
			150-200	1,-2,5	
З екскаваторними і безекскаваторними перевантажувальними пунктами	10-15	Середні і нижні	60-80	0,5-1,5	8-10
			150-250	8-10	
З екскаваторним, бункерним або комбінованим перевантажувальними комплексами	15-20	Глибинна зона кар'єру	60-80	0,5-2,5	8-10
			150-300	0,7-1,5	
			0-1000	5-10	

Перехід на комбіноване використання автомобільного і залізничного видів транспорту, як правило, здійснюють на глибині 60-80 м. Комбінований автомобільно-залізничний транспорт у цей час застосовується на багатьох великих

кар'єрах значної глибини: Соколовском, Сарбайском, Лебединському, Центральному, Криворізькому ГЗК.

У цей час залізничний транспорт на кар'єрах є одним з основних видів технологічного транспорту. Специфіка умов роботи залізничного транспорту на великих кар'єрах і ріст масштабів відкритого способу розробки сприяли його виділенню в самостійний вид, що відрізняється від інших видів промислового транспорту як формами організації роботи, так і технічними засобами.

Говорячи про подальший розвиток промислового залізничного транспорту і перспективах його застосування, слід зазначити:

1 Оскільки витрати на видобуток рідкого палива збільшуються, то усе необхідніше стає застосування електричної тяги; очевидні також і переваги електровозної тяги перед тепловозною (висока надійність електровозів, малі працезатрати на обслуговування і ремонти; крім того, тепловозна тяга має низький експлуатаційний ККД по використанню палива - на рівні 9-12%, а для електровозної тяги цей показник вище і по первинному енергоносію становить для електростанцій 25-30%, для гідроелектростанцій більш 45%.

2 Підвищення ж ефективності тепловозної тяги може бути досягнуте створенням модульних конструкцій тепловозів на основі двох типів модулів. У цьому випадку на 22% знижується витрата палива.

3 Ріст обсягів вантажоперевезень веде до підвищення інтенсифікації роботи промислового залізничного транспорту, тому в нашій країні і за рубежом проводиться вдосконалювання залізничної колії (створення нових, більш надійних елементів колії - шпал, кріплень).

4 З'являється необхідність оперативного контролю стану верхньої будови колії; на основі одержання такої достовірної інформації є можливість розробки оптимальних планів ремонту і технічного обслуговування верхньої будови.

Перспектива використання залізничного транспорту на кар'єрах обумовлюється загальною тенденцією розвитку відкритих гірських робіт, що характеризуються збільшенням обсягів видобутку корисних копалин, глибини кар'єрів.

Щорічно збільшується відстань транспортування (таблиця 1.2.3), зростають до 60 - 80% ухили, схеми шляхового розвитку стають усе більш складними і громіздкими, при цьому з'являється ряд особливостей:

- станції, пункти обміну составів переносяться усе глибше;
- створюються спеціалізовані заїзди для організації відособлених вантажопотоків, що різняться або по характеру вантажів (руда, пухкий, скельний розкрив), або по напрямках (відвали, фабрики);
- ухили магістральних з'їздів на верхніх горизонтах 30-40 % змінюються до 60 - 80 % на нижніх;

- скорочується фронт гірських робіт, параметри робочої зони; з ростом глибини кар'єру зростає частка скельних порід, через що ускладнюється робота залізничного транспорту;

- з ростом глибини кар'єрів погіршуються техніко-економічні показники, ростуть енерговитрати на транспортування гірської маси.

Таблиця 1.2.3 - Відстань транспортування на деяких підприємствах по роках

Кар'єр	Середньозважена відстань перевезень, км				
	2000	2005	2010	2015	2020
Інгулецький ГЗК	1,2/8,6	1,3/9,0	1,1/9,1	1,0/9,4	1,0/9,4
Північний ГЗК	2,23/9,2	2,4/9,6	2,36/11,6	2,32/12,1	2,42/9,7

Рішенням задачі збільшення глибини кар'єрів, а отже, доробки нижніх горизонтів без заміни існуючого виду транспорту або відпрацювання окремих ділянок, зон без додаткового розносу бортів є збільшення керівних ухилів залізничних колій до 60-80% і розкриття глибоких горизонтів підземними виробітками. Проектом розкриття глибоких горизонтів підземними виробітками займалися Южгіпроруда, Кривбасспроект, Гіпроруда для ПГЗК, ІнГЗК, НКГЗКа, ЦГЗК, ССГЗК і ін (деякі проекти охарактеризовано в таблиці 1.2.4).

Таблиця 1.2.4 - Розкриття глибоких горизонтів підземними виробітками

Кар'єр	Характеристика
Кар'єри ПГЗК	Застосування автомобільно-залізничного транспорту для переміщення руди по похилому стовбуру із двома конвеєрними лініями довжиною 2,7 км з річною продуктивністю 37 млн. т руди. Довжина конвеєра в похилому стовбурі 800м. Проектна глибина кар'єру 450 м.
Олене-гірський	Розкриття глибоких горизонтів здійснюється похилим стовбуром (15°), оснащеним стрічковим конвеєром, що забезпечує скорочення приведених витрат на 2,5 млн. грн. (у цінах 2000 р.) і підвищення продуктивності праці на 57%
Ковдорський ГЗК	Виробітка - вертикальні шахтні стовбури. Руда по рудоспусках подається по двом конвеєрним лініям доставляється в дозаторні камери в скіпових стовбурів глибиною 680 м, діаметр стовбура 6 м.

Економічна криза в Україні негативно вплинула на економічне становище гірничодобувної галузі: насамперед недолік матеріальних і фінансових коштів і відсутність можливості замінити старе гірничотранспортне обладнання. Крім того, практика показує, що нові зразки транспортного обладнання створюються через 8-

10 років; іншими словами в більшості випадків доцільна модернізація діючого обладнання, яка, як правило, обходиться приблизно вдвічі дешевше, чим придбання нової техніки. На гірничодобувних підприємствах першочергової модернізації залізничного транспорту підлягають вітчизняні тягові агрегати типу ПЭ-2М, ОПЭ-1 і імпорتنі EL-10, а також вагони-самоскиди 2ВР-105, 2ВР-180 і ВР-85. У цей час Українським науково-дослідним і проектно-конструкторським інститутом електровозобудування (УЕлНІІ) розроблено кілька типів електровозів для гірської промисловості, а Дніпропетровським електровозобудівним заводом (ДЕВЗ) підготовлене виробництво для їхнього серійного випуску. Так, у якості бази нового агрегату прийнятий агрегат змінного струму ОПЭ-1 і постійного струму ПЕ-3Т, що випускається ДЕВЗом по документації УЕлНІІ.

Крім названих транспортних засобів, модернізації очікує обладнання, застосовуване для механізації найбільш трудомістких допоміжних процесів. Наприклад, необхідне вдосконалення переукладальних кранів типу КК, шпалопідбивальних, легких колісеремонтних машин, ручного електрифікованого інструмента і т.д. В останні роки особлива увага приділяється введенню нових принципів і методів організації роботи, засобів обчислювальної техніки, керуючих машин, систем телекерування і автоматизації на кар'єрному залізничному транспорті. Необхідна повна автоматизація, дистанційне керування пристроями для розпізнання вагонів, автоматичні ваги для зважування вагонів на ходу і групування їх в кар'єрні вертушки.

Невисока трудомісткість через порівняно невеликий штат поїзних бригад, невеликі витрати на ремонт, зміст і амортизацію рухомого складу при великому терміні служби забезпечують мати витрати на 1 ткм перевезень і дозволяють залізничному транспорту конкурувати з іншими видами кар'єрного транспорту.

Одним з найбільш прогресивних напрямків розвитку гірського виробництва є широке впровадження на залізрудних кар'єрах циклічно-потоквої технології (ЦПТ) як найбільш економічної і ефективної. Своєчасне її впровадження дозволяє скоротити витрати на транспортування гірської маси з великої глибини на 15-20%, знизити собівартість видобутку корисної копалини на 10-15% і підвищити продуктивність праці робітників, зайнятих в основних технологічних процесах в 1,2-1,5 рази (залежно від конкретних умов):

Певні умови застосування конвеєрного транспорту в глибоких кар'єрах:

1 для транспортування вугілля. Дотепер у СНД на вугільних кар'єрах конвеєри працюють у комбінації з одноковшовими екскаваторами, тому продуктивність конвеєрних ліній обмежується 400-500 т/ч;

2 для транспортування скельних крупнокускових порід і руди при включенні дроблення в технологічні процеси. Додаткові витрати на цей процес

компенсуються усуненням стадії великого дроблення на фабриках, а при дробленні породи значно спрощуються схеми відвалоутворення і його вартості.

Найбільш широке застосування циклично-потокова технологія отримала в Україні і Росії. Так, на залізрудних кар'єрах СНД в 2000 р. обсяг гірської маси, отриманий із застосуванням ЦПТ, склав 177,7 млн.т, у тому числі в Україні 138,5 млн.т, в Росії 39,2 млн.т. До 2004 р. її обсяг знизився, що пов'язане із загальним падінням обсягів видобутку, (таблиця 1.2.5). Обсяги робіт з використанням ЦПТ, досягши в 2000 р. максимального значення 177,75 млн. т, до 2006 р. скоротилися до 96,94 млн. т. У цей час ЦПТ застосовують на 11 великих залізрудних кар'єрах СНД: у Росії на Оленегірському, Ковдорському і Стойленському гірничозбагачувальних комбінатах, в Україні на Інгулецькому, Новокриворізькому, Центральному, Північному і Полтавському комбінатах.

Таблиця 1.2.5 - Кількість гірської маси, добутої із застосуванням ЦПТ, по роках, млн.т.

Гірничо-збагачувальний комбінат	Роки						
	1989-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2009-2014	2015-2018	2020
Україна							
Інгулецький	21,7	90,4	108,1	27,7	33,0	32,4	20,42
Південний	-	11,7	97,6	22,46	24,6	24,0	14,2
Новокриворізький	17,7	20,6	11,1	10,1	28,1	17,9	16,0
Центральний	-	-	20,3	16,21	17,05	19,0	6,49
Полтавський	-	-	9,3	9,8	12,7	13,2	5,77
Разом	39,4	150,0	331,0	104,7	138,55	128,5	53,77
Росія							
Стойленський	-	-	16,5	11,9	15,9	12,0	10,37
Ковдорський	-	-	-	-	14,2	10,9	8,8
Оленегірський	-	-	37,0	8,8	9,1	9,2	4,6
Разом		-	53,5	20,7	39,-2	32,1	27,7
Усього	39,4	150,0	384,5	124,77	177,75	160,6	96,94

В Україні працюють п'ять дробильно-конвеєрних трактів, у тому числі три з розташуванням похилого конвеєра в галереї, один у похилому стовбурі і один у відкритому виконанні. Вибір типу дробильних установок здійснюється на основі техніко-економічного аналізу з урахуванням гірничо-геологічних умов родовищ. При пересувних дробильних агрегатах можлива повна конвеєризація, тобто здійснення принципу поточності із метою автоматизації виробництва. Проектна

потужність дробильно-конвеєрних комплексів змінюється від 10 до 27 млн.т/рік (розраховуючи на залізну руду з насипною щільністю 2,2-2,3 т/м) (таблиця 1.2.6). За допомогою ЦПТ на залізорудних кар'єрах України перероблене близько 2 млрд.т скельної гірської маси, (2010-2015 рр.). Характерним для більшості кар'єрів є те, що циклічно-потокова технологія, як правило, впроваджується на них при глибині ведення добувальних робіт більш 150 м и в період, коли експлуатаційні витрати на транспортування гірської маси циклічними видами транспорту досягають значної величини.

Таблиця 1.2.6 - Основні параметри діючих дробильно-конвеєрних комплексів

Гірничо-збагачувальний комбінат	Проектна потужність, млн.т/рік	Висота підйому гірської маси, м	Довжина конвеєрної лінії, м	Максимальний кут нахилу конвеєрів, град.
Інгулецький	18,0	180	1700	16
Північний	18,0	204-235	1883-2062	15
Південний	20,0	218	2590	15
Новокриворізький:				
Кар'єр № 3	22,0	200	1075	15
Кар'єр № 2-БІС	10,0	149	680	12
Центральний	22,0	257	1830	16
Полтавський	16,0	153	590	15
Оленегорський	12,0	156	1013	16
Ковдорський	16,0	158	725	16
Стойденський	27,0	200	3000	15

Зі збільшенням глибини кар'єрів можливості конвеєрного транспорту значно розширені за рахунок зміни кута підйому до 18-20° (при використанні спеціальних конвеєрів - до 45-60°). Глибина кар'єрів, на яких експлуатуються лінії циклічно-потокової технології, становить у цей час від 160 до 426 м (таблиця 1.2.7). Гранична проектна глибина цих кар'єрів від 430 до 770 м.

Продуктивність конвеєрних установок з ростом глибини кар'єрів знижується незначно (не більше ніж на 3-5%). Конвеєрний транспорт найбільш ефективний при вантажообігу 20-30 млн.т/рік і більше. Рациональна відстань транспортування в глибоких кар'єрах може досягати 2,5-3,0 км. Подорожчання транспортування 1 т корисних копалин на кожний метр глибини кар'єру при конвеєрному транспорті становить 0,27 цента, а при залізничному транспорті - 1,95 центів.

При постійно зростаючій глибині залізорудних кар'єрів застосування ЦПТ у порівнянні з іншими видами кар'єрного транспорту при роботі в ідентичних умовах дозволяє знизити трудомісткість видобутку 1 т гірської маси в 1,2 - 1,5 рази,

скоротити на 20-25 % енергоспоживання, знизити собівартість вилучення і переміщення 1 т гірської маси залежно від конкретних умов розробки на 10-30% і більш.

Таблиця 1.2.7 - Глибина залізорудних кар'єрів, на яких ведеться експлуатація і будівництво комплексів ЦПТ

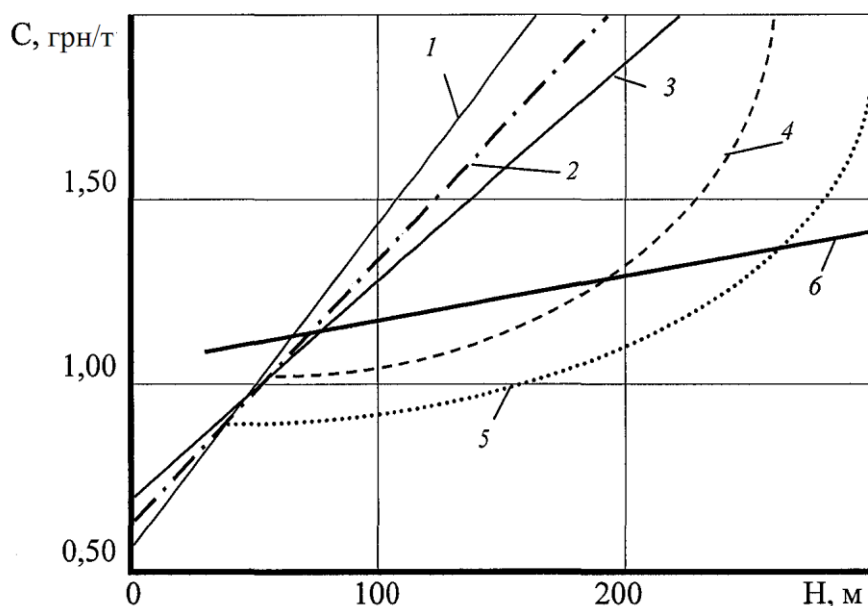
Кар'єри	Глибина, м (по замкненому контуру)			
	Проектна	Фактична		
		2000 р.	2005 р.	2020 р.
Інгулецький ГЗК	770	239	269	426
Полтавський ГЗК	700	201	280	395
Південний ГЗК	600	205	260	404
Кар'єр № 1 ЦГЗК і № 2	525	287	287	390
Кар'єр № 3 НКГЗК	500	220	232	335
Анновський кар'єр	500	175	195	300
Стойленський ГЗК	470	215	220	375
Оленегорський ГЗК	430	225	260	330
Ковдорський ГЗК	564	189	297	320
Першотравневий кар'єр	500	228	290	400
Кар'єр № 2-БІС НКГЗК	430	180	190	295

На рисунку 1.2.1 наведено порівняння різних видів кар'єрного транспорту за вартістю 1 т перевезень залежно від глибини розробки для вантажообігу 30 млн.т/рік.

На більшості сучасних діючих кар'єрів із глибиною 250-350 м (а іноді і раніше) переходять на комбіновані види транспорту. Порівняно низькі енерговитратні і собівартість транспортування, простота в монтажі і обслуговуванні конвеєрного транспорту, маневреність автомобілів зробили перспективною технологію з комбінованим автомобільно-конвеєрним транспортом.

При автомобільно-конвеєрному транспорті автосамоскиди здійснюють ті ж функції, що і при автомобільно-залізничному. На проміжних горизонтах розміщують перевантажувальні пункти, гірську масу до яких доставляють автосамоскиди. Відстань транспортування звичайно становить 0,6-0,8 км, рідше 1,0-1,5 км і більше. Конвеєри звичайно розміщують на тимчасово законсервованому або відпрацьованому борті. Автомобільно-конвеєрний транспорт застосовується в кар'єрах великої виробничої потужності.

Продуктивність його може досягати для кожної системи конвеєрів зі стрічкою шириною 3000 мм при швидкості 3-3,5 м/с 20 тис. м³/г.



1, 2, 3 – автотранспорт, відповідно вантажопідйомністю 30, 80, 120 т;

4 – електровозний транспорт; 5 – моторвагонний транспорт; 6 – конвеєрний

Рисунок 1.2.1 - Порівняння різних видів кар'єрного транспорту за вартістю 1 т перевезень

Впровадження ЦПТ на кар'єрах великої продуктивності і глибини дозволяє поліпшити техніко-економічні показники транспортування гірської маси конвеєрами, значно скоротити середню відстань транспортування руди (в 1, 5-2 рази), кількість транспортних засобів і, відповідно, число робітників; знизити собівартість транспортування гірської маси на 30-50%, збільшити продуктивність праці в 1,3-2, 0 рази і знизити собівартість видобутку руди на 10-20% залежно від конкретних технічних-гірничо-технічних умов, підвищити продуктивність праці.

Широке застосування одержали стрічкові конвеєри. У схемах ЦПТ на більшості кар'єрів вони є надійним устаткуванням. Коефіцієнт готовності одного становить 0,98-0,99. У порівнянні із залізничним і автомобільним транспортом стрічковий конвеєрний транспорт має такі переваги, як краща пристосованість до автоматизації, відносно невисока трудомісткість, здатність переміщення вантажів під порівняно більшими кутами підйому і практично необмежена продуктивність при роботі в ненапруженому режимі. Усі ці переваги обумовлюють у майбутньому досить широку сферу застосування конвеєрного транспорту на кар'єрах.

Одним з перспективних напрямків розвитку конвеєрного транспорту є створення і використання в гірській промисловості крутонахилених конвеєрів (КНК). Питання про створення крутонахилених конвеєрів став предметом інтенсивних досліджень учених і конструкторів Німеччини, США, Канади, Японії;

Польщі, Чехії і ін. Розробкою КНК займаються УкрНІІпроект, Донецький політехнічний інститут і ін. Конструкція крутонахилого конвеєра дозволяє здійснювати підйом гірської маси одним ставом під кутом $35-35^\circ$ на висоту до 120-160 м; пряме перевантаження гірської маси з одного конвеєра на іншій роблять на горизонтальних майданчиках шириною 26-30 м. Продуктивність комплексів - до 10-20 млн.т./рік (при насипній щільності матеріалу, що транспортується, $2,2-2,3 \text{ т/м}^3$).

Широке поширення одержали двохстрічкові конвеєри типу "сэндвич". Уперше їх застосували фірми "Лаухаммермашинен", "Машиненфабрик Букау Вольф" і "Любекер Машиненбау Гезельтшафт" (Німеччина). Основними перевагами цих конвеєрів є можливість транспортування насипного вантажу під кутом 90° , застосування звичайних гладких стрічок і зручність їх очищення, незалежність продуктивності конвеєра від кута його нахилу, виключення пилоутворення, можливість передачі більших тягових сил і потужності шляхом розподілу їх між двома стрічками, можливість уніфікації з основними вузлами звичайних стрічкових конвеєрів, можливість застосування одного конвеєрного става при змінному профілі траси транспортування, де притискна стрічка встановлюється тільки на крутонахилених ділянках.

Досвід наукових досліджень і проектних розробок, результати промислового впровадження комплексів ЦПТ показують, що для великих сучасних залізрудних кар'єрів при інтенсивному зростанні їх глибини і постійному погіршенні гірничотехнічних умов циклічно-потокова технологія сформувалася як самостійний науково-технічний напрямок і на сьогодні є найбільш прогресивним розв'язком завдань інтенсифікації і підвищення ефективності відкритих гірських розробок на більших глибинах.

1.3 Аналіз енергоспоживання технологічними процесами на глибоких кар'єрах

При відкритій розробці родовищ корисних копалин використовують три види енергії: електричну, теплову енергію дизельного палива і хімічну енергію вибухових речовин. При цьому теплова енергія дизельного палива і хімічна енергія вибухових речовин є самостійними видами енергії, а електроенергія - "проміжним" видом; вона легко передається на далекі відстані і на 90-98% перетворюється в інші корисні види енергії. Електроенергія і теплова енергія дизельного палива є альтернативними видами енергії, оскільки основний обсяг електроенергії виробляється на теплових електростанціях. Це дає можливість робити зіставлення і спільну кількісну оцінку зазначених видів енергії.

Загальноприйнятим показником електроспоживання гірських підприємств є питома витрата електроенергії на 1 т гірської маси, що становила в 2011 році на залізорудних кар'єрах СНД 2,0-4,0 кВт-г (таблиця 1.3.1).

Таблиця 1.3.1 - Структура електроспоживання на глибоких залізорудних кар'єрах

Технологічний процес	Питома витрата електроенергії	
	кВт-г/т	%
Буравлення	0,15-0,41	1,8-17,6
Екскавація	0,30-0,62	15,0-25,2
Залізничний транспорт	1,17-2,50	34,5-70,3
Конвеєрний транспорт у схемах ЦПТ	0,80-1,30	15,5-50,0
Перевантаження гірської маси	0,30-0,40	8,5-20,0
Дроблення в кар'єрі	0,06-0,20	1,6-4,5
Допоміжні процеси	0,05-0,35	2,2-15,2
Усього по кар'єру	2,0-4,0	100

Аналіз структури електроспоживання на кар'єрах із циклічною технологією показує, що найбільш енергоємними є процеси транспортування гірничої маси електрифікованим залізничним транспортом і екскавації. Витрата електроенергії на транспортування становить від 34,5 до 70,3%, на екскавацію - від 22,3 до 46,8% загальної витрати по кар'єрах.

Збільшення глибини гірських робіт супроводжується ростом питомої ваги електроспоживання на транспортування гірської маси в загальній витраті електроенергії. Так, питома вага електроспоживання на транспортування гірської маси залізничним транспортом у період 2001-2011 рр. на кар'єрах ПГЗК вирісло із 67,3 до 70,3%, на НКГЗК - з 53,8 до 54,3%, на кар'єрах Інгулецького ГЗК - з 44,5 до 52,1%, на кар'єрі Центрального ГЗК - з 34,5 до 51,3%.

Електроспоживання бурових робіт становить 1,8-17,6% про загальної витрати електроенергії і характеризується відносною стабільністю на більшості залізорудних кар'єрів (НКГЗК, кар'єри ПГЗК, Інгулецький кар'єр і ін.).

Значна частина електроенергії (2,2-15,2%) витрачається на допоміжні процеси гірського виробництва (освітлення, водовідлив, вентиляція, обладнання промплощадки і ін.).

Сучасний період характеризується зниженням загального електроспоживання у зв'язку з падінням обсягів виробництва і одночасно інтенсивним зростанням питомої витрати електроенергії (таблиця 1.3.2).

Таблиця 1.3.2 - Динаміка питомої витрати електроенергії на технологічних процесах кар'єрів із циклічною технологією гірських робіт

Показники питомої витрати електроенергії на видобуток 1 т., кВт·г/т, кВт·г/пм	Роки									
	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2016	2020
кар'єри ПГЗК										
- сирової руди	15,91	16,52	16,81	17,96	18,09	19,39	21,02	24,22	26,00	27,03
- гірської маси	2,95	2,96	3,04	3,18	3,31	3,30	3,50	3,51	3,73	3,81
у тому числі:										
- екскавація	0,57	0,56	0,62	0,60	0,77	0,81	0,82	0,81	0,92	0,93
- транспорт	1,92	1,98	1,93	2,00	2,07	2,21	2,40	2,50	2,73	2,86
- буравлення	19,15	19,94	19,31	16,29	16,23	12,41	14,32	15,23	16,20	16,84
Кар'єри Інгuleцького ГЗК										
- сирової руди	8,72	9,10	10,44	10,88	12,90	13,14	12,00	н.д	12,12	12,44
- гірської маси	2,91	3,27	3,22	3,42	3,47	3,24	3,07	н.д	3,51	3,66
у тому числі:										
- екскавація	0,44	0,46	0,49	0,51	0,77	0,73	0,75	н.д	0,81	0,90
- транспорт	1,49	1,75	1,71	1,96	1,91	1,90	1,88	н.д	1,91	1,97
- буравлення	11,67	12,61	12,55	12,14	13,40	12,68	12,47	н.д	12,95	13,21
Кар'єри Михайловського ГЗКа										
- сирової руди	-	7,78	7,68	8,39	6,52	6,83	7,33	н.д	8,15	8,54
- гірської маси		2,36	2,32	2,43	1,92	2,04	2,28	н.д	2,56	2,72
у тому числі:										
- екскавація		1,06	1,02	1,14	0,70	0,71	0,73	н.д	0,86	0,91
- транспорт	-	0,83	0,92	0,94	0,91	1,01	1,17	н.д	1,28	1,33
- буравлення		12,67	12,15	12,04	10,23	10,4	10,47	н.д	13,2	14,00
Кар'єри Качканарського ГЗКа										
- сирової руди	3,18	3,09	3,13	3,11	3,34	3,61	3,83	3,84	4,11	4,34
- гірської маси	2,07	1,99	2,00	2,01	2,17	2,32	2,41	2,47	2,86	2,86
у тому числі:										
- екскавація	0,74	0,75	0,75	0,73	0,55	0,56	0,59	0,63	0,83	0,91
- транспорт	0,92	0,92	0,92	0,93	1,07	1,20	1,30	1,29	1,56	1,73
- буравлення	18,20	18,40	17,01	16,83	17,10	16,90	17,30	н.д	18,91	19,02

Ріст питомої витрати електроенергії на видобуток 1 т гірської маси в «доринковий» період спостерігався на таких технологічних процесах, як екскавація

і транспортування залізничним транспортом. Так, на кар'єрах ПГЗК в період 2003-2020 рр. питома енергоємність екскавації збільшилася з 0,57 до 0,81 кВт-г/т, на Інгuleцькому кар'єрі - з 0,44 до 0,75 кВт-г/т.

Аналізом встановлено, що основними причинами відзначеного збільшення питомої витрати електроенергії з'явилися:

- ріст обсягів переекскавації гірської маси на внутрішньокар'єрних перевантажувальних пунктах;
- збільшення частки скельних порід у загальному обсязі екскаваторних робіт;
- зниження продуктивності екскаваторів зі збільшенням глибини гірських робіт;
- впровадження нових моделей екскаваторів, що характеризуються підвищеною питомою енергоємністю.

Питома енергоємність транспортування електрифікованим залізничним транспортом змінювалася 1,17 кВт-г/т (Михайлівський ГЗК) до 2,5 кВт-г/т (ССГПО), становлячи 50-70% від питомої витрати електроенергії на видобуток 1 т гірської маси. Характерною тенденцією було підвищення питомої енергоємності транспортування зі збільшенням глибини гірських робіт. Так, за період 1981-1991 рр. питома енергоємність залізничних перевезень на кар'єрах ССГПО збільшилася з 1,92 до 2,5 кВт-г/т, на Коршунівському ГЗК - з 1,49 до 1,88 кВт-г/т, на Михайлівському кар'єрі - з 0,83 до 1,17 кВт-г/т, на кар'єрах Качканарського ГЗК - з 0,92 до 1,3 кВт-г/т. Підвищення питомої енергоємності залізничних перевезень обумовлене зниженням продуктивності локомотиво-составів зі збільшенням глибини гірських робіт, ростом довжини відкочування і частки похилих ділянок у загальній відстані транспортування. За цей період глибина кар'єрів ССГПО збільшилася на 50 м, відстань транспортування - з 10,2 до 12,9 км. На кар'єрі Михайлівського ГЗК відстань транспортування за відповідний період зросло з 7,9 до 10,8 км, на Коршунівському ГЗК - з 11,4 до 12,3 км при росту глибини гірських робіт, відповідно, на 35 і 45 м. Дослідженнями встановлене, що на глибоких кар'єрах продуктивність залізничного транспорту знижується на 8,5-20% на кожні 100 м збільшення глибини. За статистичним даними, для Сарбайського кар'єру ССГПО це зниження становить 18%.

Значна роль у науково-технічному прогресі відкритої розробки належить циклічно-поточної технології, яка до теперішнього часу знайшла практичне застосування на дев'ятох залізрудних кар'єрах СНД. Впровадження схем циклічно-поточної технології спричиняє структурні і кількісні зміни у формуванні електричних навантажень кар'єрів. Частка електроспоживання комплексами ЦПТ у загальній витраті електроенергії по кар'єру змінюється від 15,5% (ПГЗК) до 40,9% (ІнГЗК). Питома енергоємність комплексів ЦПТ становить 1,12-1,38 кВт-г/т, що на

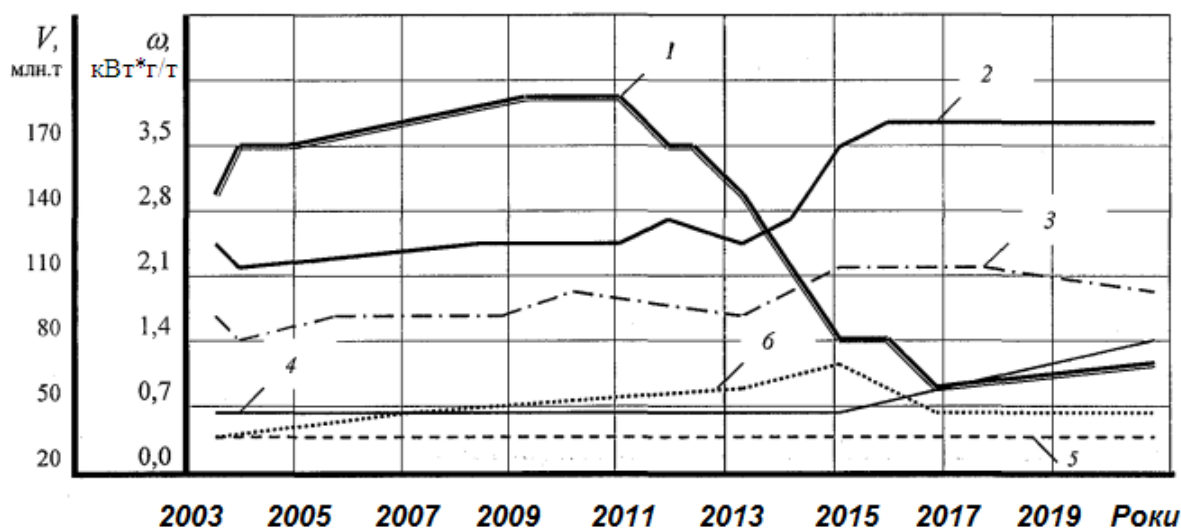
30-50% нижче енергоємності перевезень електрифікованим залізничним транспортом. У схемах ЦПТ найбільший інтерес представляє енергоємність дробильно-конвеєрних комплексів. Установлене, що на транспортування гірської маси стрічковими конвеєрами доводиться 80-95% загальної витрати електроенергії по дробильно-конвеєрному комплексу, на дроблення 5-20%. Питома витрата електроенергії на дроблення по розглянутих кар'єрах змінюється в досить широких межах (0,056-0,207 кВт-г/т), що пояснюється різними режимами роботи дробарок і значеннями їх продуктивності. Питома витрата електроенергії конвеєрними лініями залежно від схеми ЦПТ становить 0,603-1,325 кВт-г/т.

Прогресивні тенденції, що сприяють стабілізації електроспоживання на глибоких кар'єрах у десятилітній «доринковий» період (1981-1991 рр.), полягали в освоєнні циклічно-поточної технології гірських робіт, глибокому введенні електрифікованого залізничного транспорту за рахунок застосування підвищених ухилів, технічному переозброєнні, удосконалюванні планування і керування гірничотранспортним устаткуванням. Однак повної компенсації збільшення питомої енергоємності відкритої розробки зі збільшенням глибини за рахунок технічного прогресу забезпечити не вдалося в' основному через підвищення на 30-50% енерговитрат на технологічні перевезення залізничним транспортом і перевантаження гірської маси, недовантаження комплексів ЦПТ.

Перехід до ринкової економіки супроводжувався різким збільшенням енергоємності основних процесів відкритої розробки. Особливо сильно (в 1,6-2,0 рази) збільшилася енергоємність комплексів ЦПТ на Криворізьких кар'єрах у зв'язку з їхнім недовантаженням. В 2003-2005 рр. питома енергоємність видобутку гірської маси зросла в порівнянні з 1991 р. в 1,5 рази, у тому числі на залізничному транспорті в 1,41 рази, екскавації 1,45 рази, відвалоутворенні 1,49 рази, водовідливні 2,8 рази (рисунок 1.3.1).

Основними причинами збільшення енергоємності з'явилися різке, в 5,0-5, 5 рази, скорочення обсягів виробництва по гірській масі, старіння парку обладнання, незадовільний контроль і облік електроспоживання. Аналогічне положення спостерігається на багатьох залізничних кар'єрах.

Енергія рідкого, в основному дизельного, палива є другим по значимості видом енергії, використовуваної в гірничорудному виробництві. Річна витрата дизельного палива на кар'єрах чорної металургії в 2000-2010 рр. становила 1,0-1,1 млн. т. Якщо прийняти річне споживання дизельного палива гірничорудними підприємствами з відкритим способом розробки за 100%, те виявиться, що основна його витрата (близько 95%) пов'язана із транспортуванням гірської маси і переміщенням різних вантажів.



1 - обсяги видобутку гірської маси; 2-4 - питома енергоємність: 2 - у цілому по кар'єрах; 3 - на залізничному транспорті; 4 - на екскавації; 5 - на буравленні; 6 - на водовідлив і допоміжних процесах

Рисунок 1.3.1 - Обсяг видобутку гірської маси і питома витрата електроенергії на Криворізьких кар'єрах

Розглянемо динаміку споживання дизельного палива на кар'єрному автотранспорті (таблиця 1.3.3). Загальна витрата дизельного палива на кар'єрному автотранспорті з 2006 по 2020 р. збільшилася в 1,36 рази при рості вантажообігу за той же період в 1,56 рази.

Таблиця 1.3.3 - Динаміка витрати дизельного палива технологічним автотранспортом на кар'єрах чорної металургії країн СНД

Показники	Роки			
	2006	2010	2015	2020
Обсяг перевезень, млн.т	1046,7	1313,9	1507,0	790,0
Вантажообіг, млн. ткм	2231,2	2930,6	3477,0	1903,9
Середня відстань транспортування, км	2,13	2,23	2,31	2,41
Витрата дизпалива, тис.т.	280,5	336,4	381,1	259,9
Індекс росту витрати дизпалива в порівнянні з 2006 р.	1,0	1,20	1,36	0,93
Питома витрата дизпалива:				
г/т	268,0	256,0	252,9	329,0
г/ткм	125,7	114,8	109,6	136,5
Коефіцієнт використання парку, %	57,5	56,2	61,3	40,3

Менші темпи збільшення витрати палива в порівнянні з вантажообігом пояснювалися технічним переозброєнням автопарку, впровадженням

автосамоскидів особливо великої вантажопідйомності, зокрема імпортних HD-1200, що мають на 15-20% меншу питому витрату дизельного палива в порівнянні з вітчизняними, ростом коефіцієнта використання і технічної готовності парку. До 2008-2010 рр. на більшості залізрудних кар'єрів спостерігалася тенденція збільшення споживання дизельного палива на технологічних автоперевезеннях. Це пояснювалося ростом обсягів перевезень, збільшенням глибини кар'єрів і відстані транспортування гірської маси.

Найбільш інтенсивний ріст споживання дизельного палива був характерний для кар'єрів, що використовують автосамоскиди в якості самостійного (магістрального) виду транспорту (Ковдорський, Костомукшський, Першотравневий кар'єр ПівГЗК і ін.). Так, на Ковдорському кар'єрі споживання дизпалива в 2008-2010 рр. збільшилося в 1,83 рази (з 17,4 до 31,8 тис. т у рік).

Загальноприйнятим показником енергоспоживання кар'єрних автосамоскидів є питома витрата дизельного палива на одиницю вантажообігу (г/ткм) або на 1 т перевезеної гірської маси (г/т). На залізрудних кар'єрах він змінюється від 98-100 до 240-260 г/ткм і визначається факторами, які можна розділити на дві основні групи:

1 Гірничотехнічні і організаційні умови експлуатації автосамоскидів, що включають: відстань транспортування, висоту керуючого підйому гірської маси і середньозваженого ухилу автодоріг, стану і транспортно-експлуатаційній якості дорожнього покриття, тривалість завантажувально-розвантажувальних і маневрових операцій у транспортному циклі, коефіцієнти використання пробігу, вантажопідйомності і ін., а також конструктивні параметри: питому потужність, коефіцієнт тари, коефіцієнт корисної дії трансмісії, питому витрату палива при номінальному навантаженні двигуна і ін.

Середня питома витрата дизельного палива на кар'єрному автотранспорті чорної металургії за 2008-2010 рр. скоротився з 125,7 до 109,6 г/ткм, що було обумовлено як зміною гірничотехнічних умов, так і технічним переозброєнням автопарку. Найменшу середню питому витрату палива мали імпортні автосамоскиди HD-1200 (103,7 г/ткм), найбільшу - Белаз-549 (139,3 г/ткм). Підвищена питома витрата дизельного палива у автосамоскидів пояснюється відставанням їх технічного рівня від рівня закордонних аналогів по таких параметрах, як коефіцієнт тари, коефіцієнт корисної дії трансмісії, надійність і рівень комп'ютеризації. У той же час по такому важливому показникові, як питома витрата дизельного палива при номінальному навантаженні двигуна, двигуни 6ДМ-21, 8ДМ-21А, 12ДМ-21 перевершують закордонні аналоги (таблиця 1.3.4).

Таблиця 1.3.4 - Показники, що визначають паливну економічність кар'єрних автосамоскидів

Модель і вантажо-підйомність автосамоскида	Модель двигуна	Питома потужність, кВт- г/т	Питома витрата дизпалива		Середній ККД трансмісії	Коефіцієнт тари
			при номінальному навантаженні	на холостих обертах		
Белаз-7555 (55т)	ЯМЗ-845.10	5,62	216	7,6	0,76	0,73
Белаз-7513 (130т)	8ДМ-21АМС	5,08	209	13,2	0,78	0,81
Белаз-75303 (200т)	12ДМ-21АМ	5,00	208	17,2	0,78	0,76
HD-1200 (120 т)	КТА-2300	4,28	220	28,2	0,77	0,72
HD-1600 (160 т)	КТА-3067	4,35	220	14,4	0,78	0,69
М-120 (108т)	12Н-149Е1	3,82	215	9,8	0,80	0,74
Р-170 (154 т)	16Н-149Е1	4,67	215	12,1	0,80	0,66

1.4 Висновок по розділу

Найбільше значення питомої витрати дизельного палива було зафіксовано на Канарському ГЗК в автосамоскидів БелАЗ-549 - 258 г/ткм. Це зв'язане зі специфічними умовами експлуатації автотранспорту на кар'єрі, що характеризуються підвищеним коефіцієнтом опору коченню в літню пору через пружні деформації дорожніх покриттів на пухкій основі (0,040-0,045), недостатнім коефіцієнтом зчеплення при зволоженні дорожнього покриття і недовикористанням вантажопідйомності під час перевезення пухкого розкриву. Найбільш економічної по питомій енергоемності є експлуатація автосамоскидів HD-1200 на кар'єрі Михайловського ГЗК, що в першу чергу обумовлене високою якістю дорожнього покриття, раціональною організацією будівництва, ремонту і змісту внутрішньокар'єрних автодоріг. Після 2000 р., внаслідок падіння обсягів виробництва на кар'єрах, загальне споживання дизельного палива технологічним автотранспортом скоротилося. Таким чином, енергетична ефективність відкритих гірських робіт у значній мірі визначається енерговитратами на транспортування гірської маси, які мають тенденцію росту глибини розробки.

2 РОЗРОБКА МЕТОДУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОЦІНКИ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ГЛИБОКИХ КАР'ЄРІВ

2.1 Загальні принципи енергетичної оцінки технологічних процесів і транспортних систем глибоких кар'єрів

В останні роки енергетичний метод оцінки відкритих гірських робіт має найбільший розвиток. У будь-якому технологічному процесі виділяється три енергетичні складові [7]:

1 Теоретична енергоємність процесу - розрахункова питома кількість енергії, необхідна для заданої зміни фізичного стану і просторового положення об'єкта.

2 Питоме енергоспоживання - повна кількість енергії, витраченої в даному технологічному процесі на одиницю продукції.

3 Питому енергоємність процесу - фізична питома кількість енергії, що витрачається в реальному технологічному процесі на зміну фізичного стану і просторового положення одиниці маси або обсягу породи. При цьому питому енергоємність процесу E_{Φ} (МДж/т, МДж/м³) рекомендується визначати у вигляді різниці

$$E_{\Phi} = E - \frac{kN_{xx}T}{Q}, \quad (2.1.1)$$

де E - питоме енергоспоживання, МДж/т (МДж/м³); N_{xx} - потужність холостого ходу системи, кВт; k - коефіцієнт пропорційності; T - час проведення вимірів, годин; Q - фактична продуктивність, т (м³).

Під питомою енергоємністю будемо розуміти різницю між повною кількістю енергії, витраченої в даному процесі на одиницю продукції, і кількістю енергії, витраченої на холостий хід системи. Таке трактування не є вдалим і тому не знайшло практичного застосування. У машинах циклічної дії, що переважають на кар'єрах, так званий холостий хід є невід'ємною складовою технологічного процесу. Більше того, витрати енергії на холостий хід можуть бути в ряді випадків переважними. Так на схемах перевезення гірської маси зверху-униз при русі навантажених автосамоскидів на спуск основні витрати дизельного палива припадають на підйом порожніх автосамоскидів до місця навантаження, тобто на ту частину технологічного циклу, яку вважають холостим ходом. З іншого боку, у ряді технологічних процесів (наприклад, підривні роботи) холостий хід практично неможливо виділити.

У зв'язку із цим надалі під питомою енергоємністю ми будемо розуміти повну кількість енергії, витраченої в даному технологічному процесі на одиницю продукції, тобто те ж, що і питома енергоспоживання.

Увесь досвід досліджень, підкріплений аналізом технічної літератури, свідчать про те, що цей критерій дійсно є універсальним і може бути застосований у всіляких сферах матеріального виробництва. Такий підхід одержав найбільше поширення в практиці відкритих гірських робіт.

Питома енергоємність технологічної схеми гірських робіт визначається сумою питомих енергоємностей окремих технологічних процесів.

$$\omega_{mc} = \sum_{i=1}^n \omega_i = \omega_b + \omega_v + \omega_e + \omega_m + \omega_n + \omega_{vid}, \quad (2-1.2)$$

де ω_i – питома енергоємність i -го технологічного процесу, кДж/т; n - кількість технологічних процесів; $\omega_b, \omega_v, \omega_e, \omega_m, \omega_n, \omega_{vid}$ – питома енергоємність, відповідно, процесів буравлення, висадження, екскавації, транспортування, перевантаження і відвалоутворення, кДж/т.

Склад технологічних процесів визначається структурою комплексної механізації гірських робіт і видом видобуваної гірської маси (руда або розкривні породи). Так, при комбінованому транспорті технологічна схема вилучення з буравленням, висадженням, екскавациєю і транспортуванням включає також процес перевантаження гірської маси зі складального на магістральний транспорт, при ЦПТ - процес великого дроблення (1-а і 2-а стадії), на вилученні розкривних порід і некондиційних руд - процес відвалоутворення і складування.

Якщо гірські роботи в кар'єрі ведуться по декільком технологічним схемам, то загальна питома енергоємність визначається з вираження

$$\omega_k = \frac{\sum_{j=1}^m \omega_{mcj} \cdot V_j}{\sum_{j=1}^m V_j}, \quad (2.1.3)$$

де ω_{mcj} – питома енергоємність технологічної схеми гірських робіт, кДж/т; m - кількість технологічних схем; V_j - об'єм вилучення і транспортування гірської маси

по j -ій технологічній схемі, т/рік; $\sum_{j=1}^m V_j = \Pi_k$ – продуктивність кар'єру по гірській маси, т/рік.

Таким чином, питоме енергоспоживання є кількісною мірою, що характеризує властивості об'єкта розробки і параметри сполучених технологічних процесів.

У якості додаткового критерію для порівняння енергоємності різних технологічних процесів може бути прийнята величина питомої дії, що представляє собою добуток кількості енергії, що витрачається даним технологічним процесом, і часу, необхідного на виконання цього процесу.

$$d_{mc} = \sum_{j=1}^n \omega_{mcj} \cdot t_j - \quad (2.1.4)$$

де ω_{mcj} – питома енергоємність, кДж/т; t_j – час на виконання i -го технологічного процесу, с.

Розглянемо приклад порівняння енергетичних показників двох агрегатів, що беруть участь у i -м технологічному процесі (таблиця 2.1.1).

Таблиця 2.1.1 - Порівняння енергетичних показників обладнання, використовуваного в технологічному процесі

№ варіанта	Порівняння енергетичної ефективності обладнання	Оцінка енергетичних показників	
		Агрегат №1	Агрегат №2
I	$\omega_1 < \omega_2$	+	-
	$d_1 < d_2$	+	-
	Вибір обладнання	+	
II	$\omega_1 \approx \omega_2$	+	+
	$d_1 < d_2$	-	+
	Вибір обладнання		+
III	$\omega_1 > \omega_2$	-	+
	$d_1 < d_2$	+	-
	Вибір обладнання	Необхідний додатковий аналіз	

Маємо:

ω_1, ω_2 – питома енергоємність, відповідно, агрегатів №1 і №2, кДж/т;

d_1, d_2 – питома дія, відповідно, агрегатів №1 і №2, кДж-с/т.

Так, верстати шарошечного буравлення СБШ-320 і СБШ-250 МН характеризуються наступними енергетичними показниками:

	СБШ-250 МН	СБШ-320
Середня об'ємна швидкість буравлення, м ³ /год	13,5	20,0
Витрата енергії на вибуруювання 1 м ³ породи, кВт-г	25,5	34,0
Дія верстата при вибуруюванні 1 м ³ породи, кВт-г	1,9	1,7

Аналіз наведених даних дозволяє зробити ряд висновків щодо енергетичних показників бурових верстатів СБШ-320 і СБШ-250 МН:

- витрата енергії на вибурювання 1 м³ породи буровим верстатом СБШ-320 на 30% більше, чим при використанні верстата СБШ-250 МН;
- дія верстата СБШ-250 МН при вибурюванні 1 м³ породи більше на 12%, ніж при буравленні буровим верстатом СБШ-320.

Додатковий техніко-економічний аналіз дозволив зробити висновок про доцільність використання бурових верстатів СБШ-250 МН.

На підставі наведеної в таблиці 2.1.1 схеми для порівняння енергетичних показників можна зробити висновок про комплексний підхід до порівняння енергетичної ефективності застосовуваного на кар'єрі гірського або транспортного обладнання. При цьому питома енергоємність є основним показником енергетичної ефективності, а питома дія - додатковим або переважним при однакових значеннях питомої енергоємності показником.

Аналіз наукових досліджень показує, що критерії енергетичної ефективності - питома енергоємність і питома дія - можуть бути використані в якості критеріїв оптимізації технологічних процесів відкритих гірських робіт. Основні технологічні процеси видобутку і переробки за ознаками змушеної і сукупної оптимізації можуть бути класифіковані за наступною схемою: оптимізуємо за власним критерієм мінімуму енерговитрат за рахунок вибору режимних і технологічних параметрів процесу - буравлення, висадження, транспортування гірської маси, відвалоутворення і збагачення; оптимізуємо за сукупним критерієм мінімуму питомої дії за рахунок вибору режимних і технологічних параметрів попередніх процесів. Такими взаємозалежними процесами є бурільно-вибухові роботи (БВР) і екскавація; БВР - екскавація-транспорт; БВР - механічне дроблення; БВР - самороздрібнювання.

Загальна стратегія оптимізації виробництва повинна виходити із принципу

$$\left\{ \begin{array}{l} \omega_{mc}, d_{mc} \rightarrow \min, \\ \omega_{mc} = \sum_{i=1}^n \omega_i \rightarrow \min, \\ d_{mc} = \sum_{i=1}^n d_i \rightarrow \min. \end{array} \right. \quad (2.1.5)$$

Слід зазначити, що хімічна енергія вибухових речовин являє собою особливий вид енергії, використовуваний тільки при підривних роботах. Тому цільову функцію необхідно записати в наступному вигляді:

$$\begin{cases} (\omega_{\bar{o}} + \omega_e + \omega_m + \omega_n + \omega_{bid}) \rightarrow \min, \\ \omega_{\bar{e}} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (2.1.6)$$

$$\begin{cases} (d_{\bar{o}} + d_e + d_m + d_n + d_{bid}) \rightarrow \min, \\ d_{\bar{e}} \rightarrow \min. \end{cases} \quad (2.1.7)$$

Представлені види енергії, що застосовуються в практиці відкритих гірських робіт, характеризуються різною питомою вартістю. Тому з'являється можливість як комплексний критерій оптимізації використовувати вартісну оцінку енерговитрат.

$$\omega_{mc} W_{mc} = [(\omega_{\bar{o}} + \omega_e + \omega_m + \omega_{\bar{o}} + \omega_n + \omega_{bid}) W_e + \omega_{\bar{e}} W_{\bar{e}} + \omega_{dn} W_{dn}] \rightarrow \min, \quad (2.1.8),$$

$$d_{mc} W_{mc} = [(d_{\bar{o}} + d_e + d_m + d_{\bar{o}} + d_n + d_{bid}) W_e + d_{\bar{e}} W_{\bar{e}} + d_{dn} W_{dn}] \rightarrow \min \quad (2.1.9)$$

де $\omega_{\bar{o}}, \omega_{\bar{e}}, \omega_e, \omega_m, \omega_{\bar{o}}, \omega_n, \omega_{bid}, d_{\bar{o}}, d_e, d_m, d_{\bar{e}}, d_{\bar{o}}, d_n, d_{bid}$ – питомі значення енергоємності і дії, відповідно, процесів буравлення, екскавації, дроблення, збагачення, висадження і транспортування гірської маси; W_e – вартість електроенергії, грн.; $W_{\bar{e}}$ – вартість хімічної енергії, грн.; W_{dn} – вартість теплової енергії (енергії дизельного пального), грн.

Показник вартості Wi має динамічний характер і залежить від кон'юнктури ринку. Тому добутки $\omega_i Wi$ і $d_i Wi$ є автономними для кожного процесу і гнучким елементом цільової функції оптимізації.

Таким чином, головними показниками будь-якого виробничого процесу, якими слід управляти і які необхідно контролювати, є кількість зробленого кондиційного продукту і кількість витраченої енергії за час виробництва технологічного процесу. У зв'язку із цим можна зробити висновок про універсальність цих показників, що в принципі не суперечить ні фізичному, ні філософському розумінню енергії як форми руху і роботи, як заходу механічної взаємодії фізичних тіл.

При енергетичній оцінці транспортних систем глибоких кар'єрів виникають два ключові питання, що вимагають розв'язку.

Перший пов'язаний із приведенням теплової енергії дизельного палива, споживаної автотранспортом, і електричної енергії, що витрачається конвеєрним і залізничним транспортом, у порівнянний вид. У цьому напрямку у літературі існує

кілька підходів. Один з них, запропонований проф. Тангаєвим І.А., полягає в переводі витрати дизельного палива автосамоскидами з натуральних одиниць (г, кг) у кДж або кВт-г шляхом множення на питому теплоту згоряння дизпалива $Q_{\text{дп}}$ ($Q_{\text{дп}} = 43,5 \text{ кДж/г} = 12,08 \text{ кВт-г/кг}$) і порівнянні з фактичною витратою електроенергії електрифікованими видами транспорту [7]. Такий підхід не можна визнати методично правильним, тому що він приводить до енергетичної "дискредитації" автомобільного транспорту. Тут ми порівнюємо дизельне паливо - джерело енергії, максимально наближений до первинного (сирої нафти), з електроенергією, що є вторинним джерелом енергії і вироблюваної на теплових і гідроелектростанціях. При іншому підході, що одержав досить широке поширення в практиці, витрата електроенергії приводиться до витрати дизпалива шляхом множення на коефіцієнт, що характеризує питому витрату палива на виробництво 1 кВт-г електроенергії на дизельних електростанціях (230-250 г/кВт-г). Тут ми явно завищуємо енергоємність електрифікованих видів транспорту, оскільки основний обсяг електроенергії гірничодобувні підприємства одержують із електростанцій, що працюють на природному газі, вуглі і мазуті. Різниця в оцінках питомої енергоємності окремих видів транспорту глибоких кар'єрів при використанні зазначених методик становить 3,0-3,5 рази.

Найбільш об'єктивне зіставлення шляхом приведення витрати електроенергії і дизельного палива до витрати первинних енергоресурсів, тобто до "умовного палива" (УП), з урахуванням відповідних витрат енергії на їхній видобуток, переробку і транспортування. Аналогічний підхід одержав поширення за кордоном. Так, у США і Англії в якості критерію енергетичної оцінки використовують британську теплову одиницю (БТО) - кількість теплової енергії, яке необхідно затратити, щоб підняти температуру 1 фунта води на 1°F ($1 \text{ БТО} = 0,252 \text{ кал/кг}$).

Друге питання пов'язане з вибором і обґрунтуванням критерію оцінки енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів і окремих видів транспорту. Критерій оцінки енергетичної ефективності транспортних систем є тем основним фактором, який повинен визначати вірогідність результатів роботи транспорту глибоких кар'єрів і ефективність прийнятого рішення. Широко використовувані в практиці відкритих гірських робіт критерії (кВт-г/т, г/т, кВт-г/ткм, г/ткм), що враховують витрату енергії на одиницю об'єму перевезеної гірської маси або на одиницю вантажообігу, малоінформативні і не відбивають специфіки глибоких кар'єрів. Виходячи з функцій транспорту глибоких кар'єрів, у якості основного критерію оцінки енергетичної ефективності може бути прийнята величина питомих витрат енергії на підйом 1 т гірської маси з кар'єру, наведеної до первинних енергоресурсів - умовному паливу (УП).

Тоді коефіцієнт корисного використання енергії визначиться з вираження:

$$\eta = \left(\frac{P_T}{P_\Phi} \right) \cdot 100\% \quad (2.1.10)$$

де P_T - теоретично необхідна величина витрати енергії на підйом 1 т гірської маси на висоту 1 м ($P_T=9,81$ кДж/тм); P_Φ - фактичні витрати енергії даним видом транспорту, кДж/тм.

Приведення фактичних витрат енергії до витрати первинних енергоресурсів рекомендується робити по наступних вираженнях:

$$P_{\Phi A} = q \cdot k_{ПЕР} k_T k_D; \quad P_{\Phi K(Ж)} = \omega \cdot k_E k_{ПОТ} k_D, \quad (2.1.11)$$

де $P_{\Phi A}$, $P_{\Phi K(Ж)}$ - питома витрата палива на підйом гірської маси, відповідно, автомобільним і конвеєрним (залізничним) транспортом, г у.т./ тм; q , ω - відповідно, питома витрата дизельного палива (г/тм) і електроенергії (кВт-г/тм) конвеєрним (залізничним) транспортом; k_D , $k_{ПЕР}$ - коефіцієнти, що враховують витрати енергії на видобуток і транспортування палива ($k_D = 1,04 \dots 1,10$) і на одержання дизельного палива з нафти ($k_{ПЕР} = 1,18 \dots 1,20$) [7]; k_T - коефіцієнт, що враховує різницю питомої теплоти згоряння дизельного і умовного палива ($k_T = 1,5$); k_E - коефіцієнт, що враховує витрати умовного палива на одержання 1 кВт-г електроенергії ($k_E = 310 - 330$ г/кВт-г) [8]; $k_{ПОТ}$ - коефіцієнт, що враховує втрати електроенергії при передачі і розподілі ($k_{ном} = 1,09$).

Тоді, формулу 2.1.10 можна представити у вигляді:

$$\eta = \left(\frac{P_T}{P_\Phi \cdot Q_{УП}} \right) \cdot 100\% \quad (2.1.12)$$

де $Q_{УП}$ – питома теплота згоряння умовного палива, кДж/г ($Q_{УП} = 29,3$ кДж/г).

При рівних або близьких показниках питомої енергоємності, окремих моделей транспортних засобів, видів транспорту або транспортних систем необхідно використовувати додатковий критерій - питому дію. Дія, [Дж·с] - це фізична величина, що представляє собою добуток кількості енергії, що витрачається на переміщення об'єкта і часу його переміщення. Питома дія запишеться в такий спосіб

$$D_a = P_a \cdot t_a, \quad D_{K(Ж)} = P_{K(Ж)} \cdot t_{K(Ж)}, \quad (2.1.13)$$

де D_a , $D_{K(Ж)}$ - питома дія, відповідно, автомобільного і конвеєрного (залізничного) транспорту, г у.п.-с/тм; t_a , $t_{K(Ж)}$ - середній час підйому гірської маси, відповідно, автомобільним і конвеєрним (залізничним) транспорту, с.

Викладений методичний підхід дозволяє оцінити енергетичну ефективність транспортних систем і окремих видів транспорту, що використовують різні види енергії.

2.2 Дослідження енергетичної ефективності різних видів кар'єрного транспорту

2.2.1 Автомобільний, дизель-тролейвозний транспорт

У загальному виді витрата дизельного палива автосамоскидом за транспортний цикл ($Q_{Ц}$, л) визначається:

$$Q_{Ц} = Q_{ДГ} + Q_{ДП} + Q_H + Q_P + Q_M + Q_O, \quad (2.2.1)$$

де $Q_{ДГ}$, $Q_{ДП}$ - витрата палива, відповідно, на рух з вантажем і в порожняковому напрямку, л; Q_H , Q_P , Q_M , Q_O - витрата палива, відповідно, при навантаженні, розвантаженні, маневрових операціях, у період очікування навантаження, л.

У розгорнутому виді

$$Q_{Ц} = \sum_{j=1}^n l_j (g_{ДГj} + g_{ДПj}) + \frac{g_X (t_{П} + t_O) + g_{МП} t_{МП} + g_{MP} t_{MP} + g_P t_P}{60}, \quad (2.2.2)$$

де $g_{ДГ}$, $g_{ДП}$ - питома витрата палива, відповідно, навантажених і порожніх автосамоскидів на j -й ділянці траси, л/км; l_j - довжина j -ї ділянки траси, км; n - кількість ділянок траси; g_X , g_P , $g_{МП}$, g_{MP} - питома витрата палива, відповідно, на холостому ходу двигуна, при розвантаженні і на маневрових операціях, л/км; $t_{П}$, t_P , $t_{МП}$, t_{MP} , t_O - тривалість, відповідно, навантаження, розвантаження, маневрових операцій і очікування навантаження, хв.

Питома витрата палива навантажених і порожніх автосамоскидів (л/км) при русі на j -й горизонтальній ділянці траси або на підйом ($i > 0$) і роботі двигунів у тяговому режимі

$$g_{ДГ(П)_j} = \frac{g_H (G_a + k_{ГГ} G) (\omega_{0j} + i_j) k_{Пj}}{3.67 \cdot 10^2 \cdot \eta_a \cdot \rho}, \quad (2.2.3)$$

де G - вантажопідйомність автосамоскида, т; G_a - власна маса автосамоскида, т; ω_{0j} - коефіцієнт опору коченню на j -ї ділянці траси; i_j - ухил j -ї ділянки траси; ρ - щільність дизельного палива ($\rho = 0,825 \dots 0,865$ кг/л); g_H - питома витрата палива при номінальному навантаженні двигуна, г/кВт-год; $k_{П}$ - поправочний коефіцієнт, що враховує зміну величини g_H у реальних умовах на j -ої ділянці траси; η_a - коефіцієнт корисної дії трансмісії автосамоскида.

Питома витрата палива при номінальному навантаженні двигуна (g_H) є паспортною величиною, що характеризує фактичну витрату палива для одержання 1 кВт корисної енергії.

$$g_H = \frac{3600}{Q_{ДГ} \cdot \eta_C}, \quad (2.2.3)$$

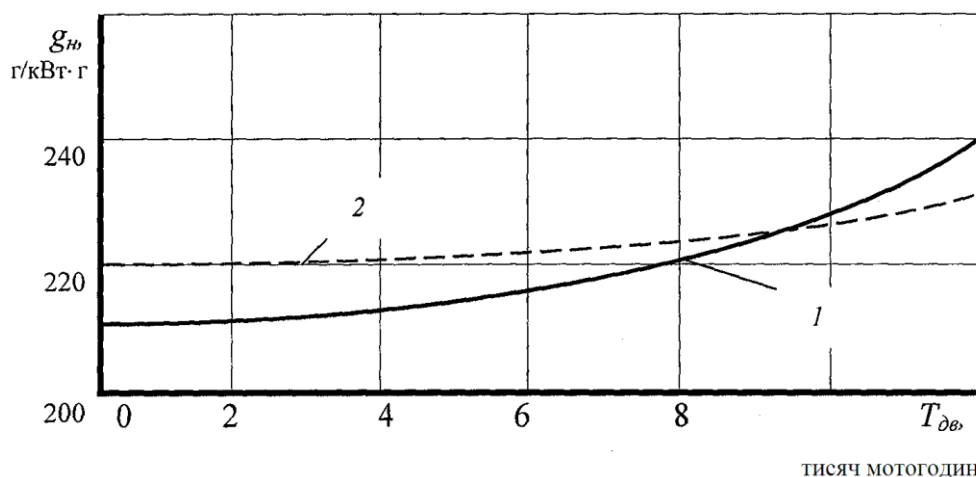
де $Q_{ДГ}$ - теплота згоряння дизельного палива, кДж/г ($Q_{ДГ} = 43,5$ кДж/г); η_C - ефективний ККД двигуна.

Звідси

$$g_H = \frac{3600}{Q_{ДГ} \cdot \eta_C} 100\%. \quad (2.2.5)$$

Для дизельних двигунів, застосовуваних на автосамоскидах Білоруського автозаводу, $g_H = 208 \dots 236$ г/кВт-г, а $\eta_C = 35,1 \dots 39,4\%$. Разом з тим значення g_H , що приводяться в паспортних даних, характеризують паливну економічність нових двигунів. Зі збільшенням зношеності двигунів спостерігається ріст питомої витрати палива. На підставі обробки статистичних даних установлено, що для білоруських двигунів внаслідок меншої надійності цей ріст носить більш інтенсивний характер, ніж для закордонних (рисунок 2.2.1).

При розрахунках витрати дизпалива слід робити коректування g_H по даним технічної діагностики двигунів. При відсутності таких даних рекомендується використовувати поправочні коефіцієнти, значення яких наведено в таблиці 2.2.1.



1- двигуни 8ДМ-21А (БелАЗ-7512); закордонні двигуни КТА-2300 (HD-1200)

Рисунок 2.2.1 - Залежність питомої витрати палива (g_H) від зношеності двигунів кар'єрних автосамоскидів ($T_{ДВ}$)

Таблиця 2.2.1 - Поправочні коефіцієнти до питомої витрати палива, що враховують зношеність двигунів

Мотогодини роботи двигуна					
До 1000	1000-4000	4000-6000	6000-8000	8000-10000	10000-12000
Значення коефіцієнту					
1,05	1,00	1,04	1,08	1,012	1,016

У реальних умовах g_H залежить також від використання потужності двигуна і частоти обертання вала двигуна

$$k_{Bj} = k_{1j} \cdot k_{2j}, \quad (2.2.6)$$

де k_{1j} - коефіцієнт, що враховує зміну g_H залежно від ступеня використання потужності двигуна (k_{Nj}) на j -ї ділянці траси; k_{2j} - коефіцієнт, що враховує зміну g_H залежно від частоти обертання вала двигуна k_{nj} на j -ї ділянці траси;

$$k_{Nj} = \frac{N_{Дj}}{N_{Д}}; \quad k_{nj} = \frac{n_j}{n_H}, \quad (2.2.7)$$

де $N_{Дj}$ - фактична (використовувана) потужність двигуна на j -ї ділянці траси, кВт; $N_{Д}$ - номінальна потужність двигуна, кВт; n_j - фактична частота обертання колінчатого вала двигуна на j -ї ділянці траси, хв⁻¹; n_H - номінальна частота обертання колінчатого вала при повній потужності, хв⁻¹.

При відомих значеннях k_N і k_{II} коефіцієнти k_1 і k_2 рекомендується приймати за графіком, побудованому за методикою І.С. Шлиппе (рисунок 2.2.2), або розраховувати по наступних емпіричних формулах:

$$k_{1j} = 1,61k_{Nj}^2 - 2,23 \cdot k_{Nj} + 1,60; \quad (2.2.8)$$

$$k_{2j} = 0,57k_{Bj}^2 - 0,80 \cdot k_{IIj} + 1,22. \quad (2.2.9)$$

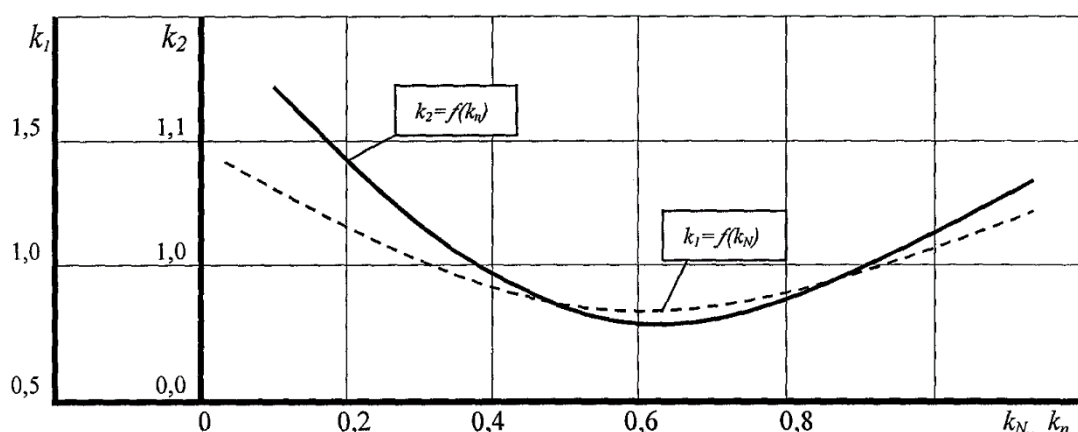


Рисунок 2.2.2 - Залежність коефіцієнтів k_1, k_2 від використання потужності (k_N) і частоти обертання колінчатого вала (k_{II}) двигуна автосамоскида

При відсутності експериментальних даних для навантажених автосамоскидів можна приймати $k_{II} \approx 1,0$, для порожніх - k_{II} визначати приблизно залежно від поздовжнього ухилу автодороги (таблиця 2.2.2).

Таблиця 2.2.2 - Значення k_{IIj} для порожніх автосамоскидів (щебеневе покриття)

Ухил автодороги	0,00	0,02	0,04	0,06	0,08 і більше
k_{IIj}	1,100	1,075	1,050	1,025	1,000

Коефіцієнт використання потужності (k_{Nj}) можна визначити експериментально, фіксуючи витрату палива в одиницю часу ($g'_{дг}$). При повному використанні потужності двигуна

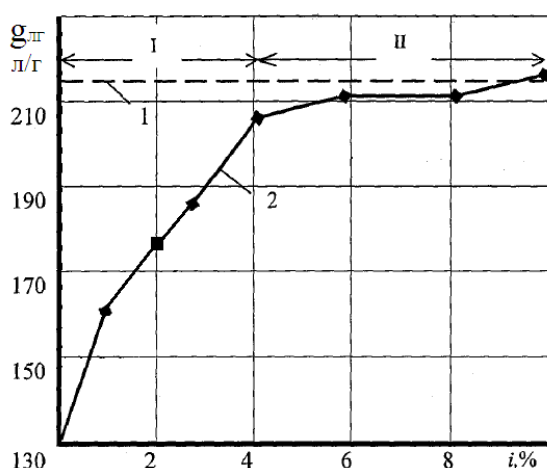
$$\begin{cases} g'_{дп} \rightarrow \max; \\ g'_{дг} \approx \text{const.} \end{cases} \quad (2.2.10)$$

Коефіцієнт використання потужності

$$k_{Nj} = \frac{g'_{ДГ}}{g'_{ДГ \max}}, \quad (2.2.11)$$

де $g'_{ДГ \max}$ - максимальна витрата палива в одиницю часу, л/г; $g'_{ДГ}$ - фактична витрата палива при русі навантаженого автосамоскида на j -ої ділянці траси, л/г.

Як видно з рисунку 2.2.3, неповне використання потужності двигунів навантажених автосамоскидів характерно для руху по горизонтальних і слабонахилених ділянках внутрішньокар'єрних автодоріг ($0 < i_j < 0,004$).



1 - розрахункові дані при повному використанні потужності двигуна; 2 - експериментальні дані;
I - область неповного використання потужності; II - область повного використання потужності

Рисунок 2.2.3 - Залежність питомої годинної витрати дизельного палива ($g_{ДГ}$) навантажених автосамоскидів БелАЗ-7512 (120 т) від поздовжнього ухилу автодороги (i) при русі по щебеневому покриттю (Сарбайський кар'єр)

Автосамоскиди великої вантажопідйомності оснащуються в основному гідро- і електромеханічними трансмісіями. Як правило, гідромеханічні трансмісії (ГМТ) використовуються на автосамоскидах вантажопідйомністю 30 - 100т; а електромеханічні (ЕМТ) - 70 - 318т. ЕМТ донедавна вважалася єдиною прийнятною для автомобілів вантажопідйомністю 100 т і більш. Однак в останні роки освоєне виробництво потужних автосамоскидів із ГМТ, здатних конкурувати з автосамоскидами з ЕМТ. Аналіз показав, що застосування ГМТ на автосамоскидах великої вантажопідйомності обумовлене їхнім конструктивним удосконалюванням і поліпшенням технології виготовлення, що сприяють підвищенню терміну служби в порівнянні з ЕМТ, особливо при роботі в глибоких кар'єрах з ухилами автодоріг 8 - 12%.

У методах розрахунків автомобіля інших авторів або не враховуються зовсім, або враховуються лише частково втрати в окремих вузлах трансмісії, такі як: втрати в зачепленнях, втрати в опорах, гідравлічні втрати і ін. Тому загальний ККД

трансмисії автосамоскидів з гідродинамічною передачею можна представити у вигляді добутку його складових.

$$\eta_a^{GMT} = \eta_{cp} \eta_{gm} \eta_{диф} \eta_p, \quad (2.2.12)$$

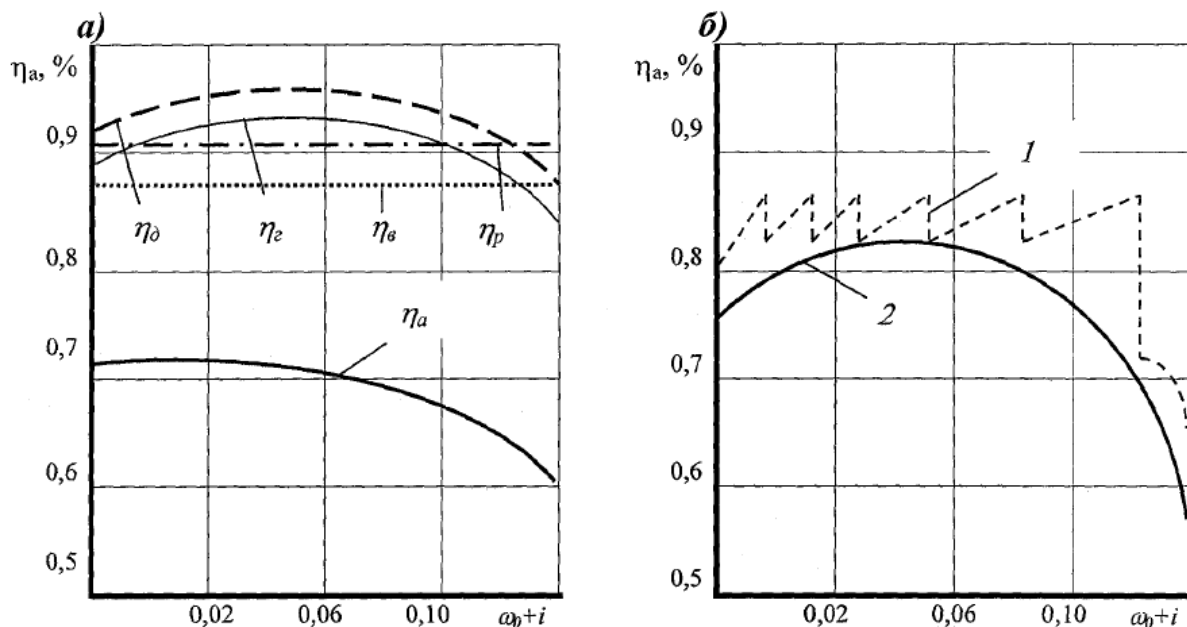
де η_{cp} - ККД согласуючого редуктора; $\eta_{гт}$ - ККД гідротрансформатора; $\eta_{диф}$ - ККД диференціала; η_p - ККД редуктора мотор-коліс.

ККД трансмісії автосамоскидів з електромеханічною передачею

$$\eta_a^{EMT} = \eta_v \eta_g \eta_{cp} \eta_d \eta_p, \quad (2.2.13)$$

де η_v - коефіцієнт, що враховує втрати потужності на допоміжні цілі (вентиляція двигуна, воздухоочищення і вихлоп, привод насосів рульового керування, гальмової системи і перекидаючого механізму, обдув генератора, випрямляча і тягових електродвигунів мотор-коліс); η_g - ККД генератора; η_{cp} η_d - ККД тягових електродвигунів; η_p - ККД редуктора мотор-коліс.

Для автосамоскидів БелАЗ із ЕМТ максимальні значення ККД трансмісії становлять 0,67-0,77 (рисунк 2.2.4, а).



а - БелАЗ-7512 (120 т); б - закордонні автосамоскиди; 1 -автосамоскид Cat-785 (130 т) з багатоступінчастою ГМТ; 2 - автосамоскид вантажопідйомністю 120 т з ЕМТ; η_d - втрати потужності на допоміжне устаткування; η_g , η_p , η_d - ККД, відповідно, генератора, редуктора мотор-колеса, тягового електродвигуна.

Рисунок 2.2.4 - Залежність коефіцієнта корисної дії трансмісії автосамоскидів

(η_a) від сумарного опору руху $(\omega_0 + i)$ мотор-коліс;

Дотепер у розрахунках витрати палива не враховувався той факт, що ККД електромеханічних трансмісій - величина змінна, і залежить у тяговому режимі від сили струму (навантаження), що і визначається співвідношенням електричних, магнітних і механічних втрат у генераторі і тягових електродвигунах мотор-колісб[6].

Через складність аналітичного опису в розрахунках рекомендується використовувати експериментальні залежності η_a від сумарного опору руху $(\omega_o + i)>$, що мають вид

$$\eta_a = k_t \left[A(\omega_o + i)^2 + B(\omega_o + i) + C \right], \quad (2.2.14)$$

де k_t - коефіцієнт, що враховує зношеність трансмісії ($k_t = 0,87-5-1,0$); A, B, C - емпіричні коефіцієнти.

Установлене, що для БелАЗ-7512 при $k_t = 0,87$

$$\eta_a = -5,625(\omega_o + i)^2 + 0,425(\omega_o + i) + 0,622. \quad (2.2.15)$$

Для автосамоскидів з електричним приводом характерні гострий пік при $i = 3+5\%$ і різке зниження ККД при подальшому збільшенні ухилу. Максимальні значення η_a автосамоскидів з ЕМТ фірм США досягають 0,80-0,81, однак форма залежності $\eta_a = f(\omega_o + i)$ аналогічна формі для автосамоскидів БелАЗ. ККД трансмісії закордонних автосамоскидів з багатоступінчастою гідромеханічною передачею залишається практично постійним ($\eta_a = 0,80-0,85$) у діапазоні ухилів $i = 2...14\%$ (рисунок 2.2.4, б).

Використання отриманих закономірностей дозволило значно підвищити точність розрахунків витрат дизельного палива (рисунок 2.2.5). Розрахункові значення характеризуються високою збіжністю з результатами експериментальних досліджень - відносна погрішність не перевищує 5,0-5,5%.

При русі автосамоскидів на спуск ($i < 0$) можливі наступні режими:

1 Гальмівний режим, або режим накату ($|i_j| \geq \omega_{oj}$). У цьому випадку витрата палива (л) на ділянці довжиною l_j

$$Q_{ДГ(П)j} = \frac{g_X}{v_{Г(В)j}}, \quad (2-2-16)$$

де $V_{Г(В)j}$ - швидкість навантаженого (порожнього) автосамоскида на спуску, км/г.

2 Тяговий режим ($|i_j| < \omega_{0j}$). У цьому випадку приймається максимальне із двох значень витрат (л), обчислених по формулах

$$Q_{ДГ(\Pi)_j} = \max \left\{ \begin{array}{l} \frac{g_X (G_a + k_{\Gamma} G) (\omega_{0j} + i_j) k_{nj} l_j}{3.67 \cdot 10^2 \eta_a \rho} \\ \frac{g_X}{V_{\Gamma(\Pi)_j}} l_j \end{array} \right. \quad (2.2.17)$$

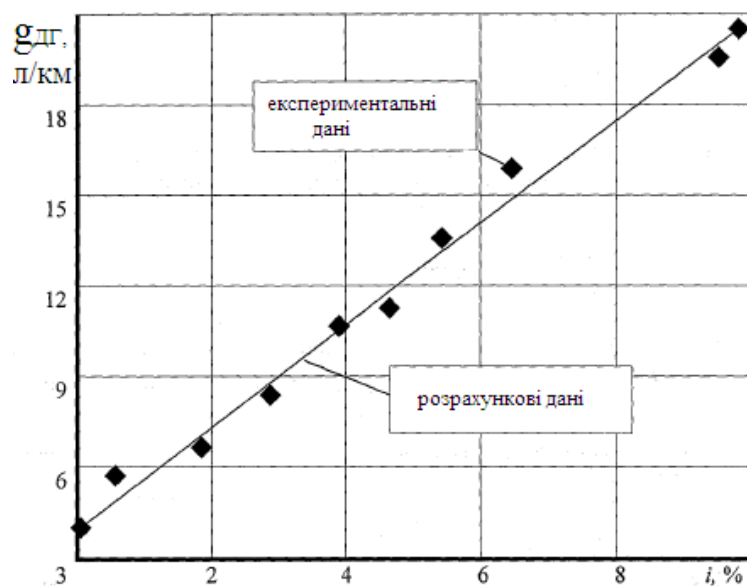


Рисунок 2.2.5 - Залежність питомої витрати дизельного палива ($g_{ДГ}$) навантажених ($\kappa_T = 1,0$) автосамоскидів БелАЗ-7512 (двигун 8ДМ-21А) від ухилу автодороги (i) при русі по щебеневому покриттю ($\omega_0 = 0,02$)

Питома витрата палива при розвантаженні і на маневрових операціях визначається експериментально або приблизно по формулі

$$g_i \approx \frac{g_H N_{Д} k_{Ni}}{1000 \rho} \quad (2.2.18)$$

де g_i - питома витрата палива на i -му режимі, л/г; k_{Ni} - коефіцієнт використання потужності двигуна на i -му режимі (значення k_{Ni} представлено в таблиці 2.2.3.).

Річна витрата дизельного палива (Q_r , кг) по парку автосамоскидів визначається по формулі

$$Q_{\Gamma} = \frac{Q_H A \rho k_{\text{ДОП}}}{k_{\Gamma} G}, \quad (2.2.19)$$

де A - річний обсяг перевезень гірської маси автотранспортом, т; $k_{\text{ДОП}}$ - коефіцієнт, що враховує додаткові витрати палива на нульові пробіги і внутрішньогаражні потреби, а також збільшення витрати в зимовий час і в міжсезоння ($k_{\text{ДОП}} = 1,1$).

Таблиця 2.2.3 - Значення коефіцієнта використання потужності двигуна (k_{Ni}) на різних режимах

Характеристика режиму	Розвантаження	Маневри при установці	
		на розвантаження	під навантаження
k_{Ni}	0,06-0,08	0,38-0,40	0,10-0,12

Питома витрата палива на одиницю транспортної роботи (g_y , г/ткм)

$$g_y = \frac{1000 Q_{\Gamma}}{AL}, \quad (2.2.20)$$

де L - середня відстань транспортування гірської маси, км.

При створенні і впровадженні комплексів ЦПТ розширюються можливості економії дизельного палива за рахунок організації перевезень складальним автотранспортом "зверху вниз" при русі навантажених автосамоскидів на спуск. Ефективність електродинамічного гальмування автосамоскидів при русі на спуск обмежується потужністю, що розсіюється гальмовими резисторами. За даними гірничорудних підприємств (Інгулецький ГЗК) при русі навантажених автосамоскидів на спуск при $|i_j| > 0,04$ спостерігалися випадки перегріву гальмових резисторів і відмови гальмової системи. Зазначена проблема вирішується шляхом впровадження примусового охолодження гальмової системи. У цей час пройшли випробування дослідні зразки автосамоскидів БелАЗ-751201, обладнані гальмовими резисторами обдуваемого типу УВТР-2х600 із приводом вентиляторів від тягових електродвигунів мотор-коліс ДК-722. При використанні примусового охолодження гальмової системи рух навантажених автосамоскидів на спусках (гальмовий режим) відбувається при холостому ході двигунів на знижених обертах ($n = 700$ хв⁻¹). У цьому випадку витрата палива скорочується в 1,38-1,83 рази залежно від моделі двигуна (таблиця 2.2.4).

Витрата палива при роботі автосамоскидів на спуск гірської маси в порівнянні з роботою на підйом скорочується в 1,1-1,75 рази залежно від співвідношення похилих і горизонтальних ділянок у загальній довжині траси. Так, при середній відстані транспортування 2 км і висоті підйому гірської маси 100 м питома витрата палива автосамоскидами БелАЗ-7512 становить 144,0 г/ткм, а при відповідній відстані перевезень і глибині спуску - 96,0 г/ткм (рисунки 2.2.6).

Таблиця 2.2.4 Показники питомої витрати палива автосамоскидами (щебеневе покриття)

Показники	Моделі автосамоскиду	
	БелАЗ-7512	БелАЗ-7518
Модель двигуна	8ДМ-21А	8РА4-185
Витрата палива на холостому ході, л/ч: при $n = 700 \text{ хв}^{-1}$ при $n = 1100+1500 \text{ хв}^{-1}$	16,45 22,65	17,40 31,90
Витрата палива на операціях циклу, л/г: навантаження і очікування розвантаження маневри при установці: під навантаження на розвантаження	16,45 16,71 21,01 74,93	17,40 17,70 22,20 97,40
Питома витрата палива при русі автосамоскидів на підйом, л/км: навантажених при $i = 0,06$ $i = 0,08$ $i = 0,10$ порожніх при $i = 0,06$ $i = 0,08$ $i = 0,10$	14,31 17,89 21,47 6,13 7,67 9,20	17,59 19,74 23,68 7,29 9,00 10,72
Питома витрата палива при русі автосамоскидів по горизонтальним постійним автошляхам л/км:		
Питома витрата палива при русі автосамоскидів по тимчасових автодорогах, л/км: навантажених порожніх	7,16 3,06	7,49 3,86
Питома витрата палива при русі автосамоскидів на спуск, л/км: порожніх при $i = 0,06$ $i = 0,08$ $i = 0,10$ навантажених при $i = 0,06$ $i = 0,08$ $i = 0,10$	0,55 0,61 0,71 0,52/0,60* 0,90/0,66 1,08/0,78	0,58 0,66 0,74 1,15/0,63 1,28/0,70 1,52/0,83

* У знаменнику - питома витрата у випадку примусового охолодження гальмівної системи.

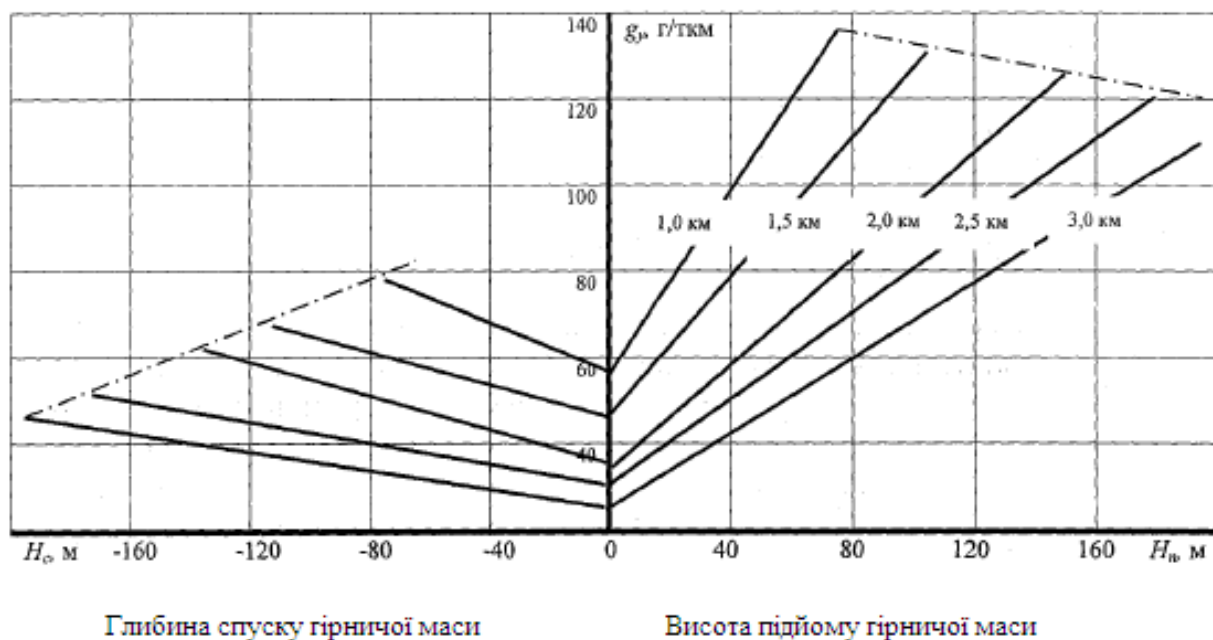


Рисунок 2.2.6 - Залежність питомої витрати дизельного палива (g_y) автосамоскидами БелАЗ-7512 від висоти підйому (H_n) (глибини спуску (H_c) гірської маси і відстані транспортування

Для найбільш об'єктивного порівняння енергетичної ефективності транспортних засобів кар'єрного автотранспорту і оцінки їх технічного рівня як додаткового критерію може бути прийнята питома дія. Цю величину можна виразити так:

Питома дія = питома витрата палива $\times$ час транспортування (1 т гірської маси на висоту 1 м), [гс/тм].

Таким чином, час (с) підйому 1 т гірської маси на висоту 1 м

$$t = \frac{L}{V}, \quad (2.2.23)$$

де L - шлях (м), пройдений кар'єрним автосамоскидом при транспортуванні 1 т гм на висоту в 1 м.

$$L = \frac{H}{i} = \frac{1}{1000i}, \quad (2.2.24)$$

V - швидкість підйому автосамоскида (км/ч), може бути визначена як

$$V = \frac{0,367 \cdot N \cdot \eta_a \cdot k_N}{(G_a + k_{\Gamma} G)(\omega_O + i)}. \quad (2.2.25)$$

Підставивши у вираження (2.2.24) значення швидкості (V) і відстані транспортування (L) при підйомі 1 т гірської маси на висоту 1 м, одержимо формулу для розрахунків часу транспортування, с.

$$t = \frac{(G_a + k_T G)(\omega_O + i)}{0,367 \cdot N_D \cdot 1000 i \cdot \eta_a}. \quad (2.2.26)$$

де N_D - повна потужність двигуна автосамоскида, кВт.

Прийmemo $k_T=1$, $k_N=1$, $\frac{G_a}{G} = k_T$ і $N_D = N_{UD} \cdot (G_a + G) = N_{UD} \cdot G_a (k_T + 1)$, то час підйому 1 т гірської маси на висоту 1 м визначиться з вираження

$$t = \frac{\frac{\omega_O}{i} + 1}{0,367 \cdot N \cdot \eta_a}. \quad (2.2.27)$$

Тоді вираження для визначення питомої дії (гс/тм) прийме вид

$$D_a = \frac{2,673 \cdot 10^{-2} g_H (K_T + 1) \left(\frac{\omega_O}{i} + 1 \right)}{N_{UD} \cdot \eta_a^2}, \quad (2.2.28)$$

де ω_{oi} - коефіцієнт опору коченню на j -ої ділянці траси; i – ухил j -ої ділянки траси; g_H - питома витрата палива при номінальному навантаженні двигуна, г/кВт-г; η_a - коефіцієнт корисної дії трансмісії автосамоскида.

Розглянемо розрахунки величини питомої дії (гс/тм) на прикладі автосамоскидів Белаз-7512:

$$D_a = \frac{2,673 \cdot 10^{-2} \cdot 208 \cdot 1,75 \cdot 1,25^2}{4,447 \cdot 0,77^2} = 5,77.$$

Результати розрахунків енергетичної ефективності білоруських і закордонних автосамоскидів за критерієм питомої дії наведено в таблиці 2.2.5.

Таблиця 2.2.5 - Теоретичні показники енергетичної ефективності різних моделей автосамоскидів Белаз, R-170, HD-1200, Cat-785

Показ- ники	Белаз												R-170	HD-1200	Cat-785
	7540	75405	75407	7548	75485	75487	75489	7549	7512	75128	75214	7530			
Питома енергоємність: г/тм г уп/тм	2,06	2,05	2,05	2,07	2,07	2,07	2,12	1,79	1,69	1,80	1,81	1,71	1,50	1,65	1,74
	3,86	3,85	3,85	3,87	3,87	3,87	3,97	3,69	3,17	3,36	3,38	3,20	2,90	3,15	3,25
Питома дія: гс/тм г уп/тм	6,35	7,34	7,29	6,72	7,18	7,18	7,34	5,46	6,21	6,45	6,02	5,98	4,99	6,12	6,86
	11,9	13,8	13,6	12,6	13,5	13,5	13,8	10,2	11,6	12,1	11,3	11,2	9,53	12,7	12,8

При цьому слід урахувати такі фактори, як технологічні перерви, нульові пробіги, очікування автосамоскида під навантаженням і розвантаженням, заправлення автосамоскидів та ін. Критеріями врахування цих факторів можуть середня експлуатаційна швидкість i ; коефіцієнт, що враховує, нульовий пробіг автосамоскидів k_o , який може бути визначений з формули

$$k_o = \frac{1-\beta}{\beta}, \quad (2.2.29)$$

де β - коефіцієнт використання пробігу.

Фактичні значення питомої дії можуть бути визначені в такий спосіб. В 1999 р. умови експлуатації автосамоскидів БелАЗ-7512 на кар'єрах чорної металургії характеризувалися наступними середньозваженими показниками: $L_{CP} = 2,54$ км, $H_n = 130$ м, $k_o = 1,1$ км. Середня витрата палива склала $q_\phi = 126,8$ г/км, а середня експлуатаційна швидкість руху $V_E = 11,6$ км/г. Виходячи з гірничотехнічних умов експлуатації автосамоскидів, визначимо фактична питома витрата палива при підйомі 1 т на висоту 1м (q) і максимально можливу висоту підйому гірської маси на 1 км автодороги (h_a).

$$h_a = \frac{H_{II}}{L_{CP}}, \quad (2.2.30)$$

де H_n , L_{cp} - відповідно, середньозважена висота підйому (м) і середня відстань транспортування гірської маси (км) у конкретних умовах експлуатації.

$$h_a = H_{II} / L = 130 / 2,54 = 51,18 \text{ м / км},$$

$$q = q_{\phi} / h_a = 126,8 / 51,18 = 2,48 \text{ г / тм}.$$

Питома дія при підйомі 1 т гірської маси на висоту 1 їм (d'_a) визначиться з вираження

$$D_a = q \cdot t_{\phi}, \text{ гс / тм} \quad (2.2.31)$$

де t_{ϕ} - фактичні витрати часу на виконання транспортного циклу, с.

У свою чергу

$$t_{\phi} = \frac{L}{V_E}, \quad (2.2.32)$$

де L - максимально можлива відстань транспортування 1 т на висоту 1 м, воно може бути визначене з формули

$$L = \frac{2 \cdot L_{cp} \cdot k_o}{H_{II}} = \frac{2 \cdot 2,54 \cdot 1,1}{130} = 0,043 \text{ км / м}. \quad (2.2.33)$$

де k_o - коефіцієнт, що враховує нульовий пробіг автосамоскидів.

$$t_{\phi} = \frac{0,043}{11,6} \cdot 3600 = 13,3 \text{ с}.$$

Звідси

$$D_a = 2,48 \cdot 13,3 = 33,10 \text{ гс / тм}$$

Згідно з формулою (2.1.10)

$$P_a = 2,48 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,04 = 4,64 \text{ г у.п / тм}.$$

$$D_a = 61,95 \text{ г у.п} \cdot \text{с / тм}.$$

Коефіцієнт корисного використання енергії

$$\eta = \frac{9,81}{4,64 \cdot 29,3} \cdot 100\% = 7,2 \text{ \%}.$$

При визначенні граничної витрати енергії висота підйому гірської маси на 1 км автодороги розраховується по формулі

$$h_{a \max} = \frac{10 i_p}{k_{p.a}}, \quad (2.2.34)$$

де i_p - керівний ухил автодороги, %; $k_{p.a}$ - коефіцієнт розвитку траси.

Приймаючи для автотранспорту $i_p = 8\%$ і $k_{p.a} = 1,2$, отримаємо $h_{a \max} = 66,7$ м/км. Питома витрата палива (г/ткм) приймається відповідно до встановленої висоти підйому і відстані транспортування по розроблених нормативах. Так, якщо в 1998 р. середня відстань транспортування автосамоскидами БелАЗ-7519; 7512 на кар'єрах Інгулецького ГЗК становило 2,43 км, то при середньозваженій висоті підйому $H_n = h_{a \max} L = 66,7 \cdot 2,43 = 162,1$ м питома витрата палива буде дорівнювати 164 г/ткм, середня швидкість руху $V_E = 11,7$ км/г.

$$q = \frac{164}{66,7} = 2,46 \text{ г / тм},$$

$$t\phi = \frac{2 \cdot 2,43 \cdot 1,1}{162,1 \cdot 11,7} \cdot 3600 = 10,1 \text{ с},$$

$$D_a = 2,46 \cdot 10,1 = 24,96 \text{ г} \cdot \text{с / тм},$$

$$Pa = 2,46 \cdot 1,2 \cdot 1,5 \cdot 1,04 = 4,61 \text{ г у.н.} \cdot \text{с / тм},$$

$$Do = 46,73 \text{ г у.н.} \cdot \text{с / тм},$$

$$\eta = \frac{9,81}{4,61 \cdot 29,3} 100\% = 7,26\%.$$

З використанням звітних даних глибоких залізородних кар'єрів аналогічні розрахунки проведені для різних моделей автосамоскидів (таблиця 2.2.6). Вони показали, що критерій енергетичної ефективності на прикладі питомої дії не підмінює раніше прийнятий - питома витрата палива автосамоскидів при підйомі 1т гірської маси на висоту 1м. Комплексна оцінка на основі двох критеріїв енергетичної ефективності дає найбільш повне і ефективне порівняння енергетичних показників кар'єрного автотранспорту.

Таблиця 2.2.6 - Показники енергетичної ефективності автотранспорту на кар'єрах чорної металургії

Показники	Вантажопідйомність, т					
	27-30	40-42	75-80	100-120	120 (HD-1200)	150 (R-170)
Середня відстань транспортування, км	2,81-3,08	2,66-2,72	1,95-2,19	2,52-2,53	2,55-2,68	1,93-1,98
Середня висота підйому, м	130-150	100-130	110-130	100-120	90-130	90-110
Середня експлуатаційна швидкість, км/г	11,8-12,1	11,5-15,0	10,4-10,6	11,2-11,3	11,6-12,0	7,8-8,4
Питомий розхід, г/т км	94,3-97,1	91,2-97,2	126,8-133,5	115,4-119,3	116,4-116,9	71,7-84,5
Питома енергоємність, г/тм	1,99-2,03	1,90-2,03	2,24-2,26	2,42-2,51	2,29-2,41	1,3-1,48
Питома дія, гс/тм	25,6-25,4	24,3-26,6	26,4-27,0	34,0-38,9	30,8-35,0	23,9-24,1

У вираженні (2.2.28) змінними величинами є коефіцієнт опору коченню ω_0 , що характеризує тип і якість дорожнього покриття, ухил i дороги і ККД електромеханічної трансмісії η_a . Підставивши у формулу (2.2.28) вираження (2.2.14), одержимо

$$D = \frac{2,673 \cdot 10^{-2} g_H (K_T + 1) \left(\frac{\omega_O}{i} + 1 \right)}{N_{yD} \cdot k_t^2 \left[A(\omega_O + i)^2 + B(\omega_O + i) + C \right]^2}. \quad (2.2.35)$$

Формула (2.2.35) виражає взаємозв'язок дії автосамоскида з ухилом i і коефіцієнтом опору коченню ω_0 . Щоб знайти значення ухилу, при якому питома витрата палива досягає мінімуму, дослідимо функцію (2.2.30) на екстремум. Позначивши $\omega_0 + i = x$ і прирівнявши похідну функції $D = f(x)$ до нуля $D' = f'(x)$, отримаємо

$$2Ax^3 - (A\omega_O^2 - B)x^2 + C\omega_O = 0. \quad (2.2.36)$$

Кубічне рівняння (2.2.36) вирішується методом Кардана після приведення до неповного виду.

$$x^3 - \left(\frac{A\omega_O^2 - B}{2A} \right) x^2 + \frac{C}{2A} \omega_O = 0. \quad (2.2.37)$$

Опускаючи проміжні вираження, запишемо оптимальне значення ухилу автодороги за енергетичним критерієм.

$$i_{OPT} = -\sqrt[3]{0,5 \frac{C}{A} \omega_O - 0,8333\omega_O - 0,1667 \frac{B}{A}}. \quad (2.2.38)$$

З урахуванням експериментальної залежності (2.2.15) для автосамоскидів БелАЗ-7512

$$i_{OPT} = 0,617\sqrt[3]{\omega_O} - 0,8333\omega_O - 0,0126. \quad (2.2.39)$$

Формула (2.2.39), отримана конкретно для БелАЗ-7512, має досить універсальний характер і може застосовуватися для інших моделей вітчизняних автосамоскидів з електромеханічною трансмісією. Це пояснюється тим, що, незважаючи на різницю абсолютних значень ККД трансмісії, який залежить від

моделі і технічного стану автосамоскида, відносини емпіричних коефіцієнтів C/A і B/A залишаються постійними: $C/A = \text{const}$, $B/A = \text{const}$

Закономірності зміни дії кар'єрних самоскидів від ухилу автодоріг і якості дорожнього покриття наведено на рисунку 2.2.7, а оптимальні значення ухилів для автосамоскидів БелАЗ-7512 - у таблиці 2.2.7. Оптимальний за енергетичним критерієм ухил зростає з погіршенням якості дорожнього покриття. Таким чином, для вітчизняних автосамоскидів з ЕМТ можна рекомендувати збільшення керівних ухилів автодоріг з найпоширенішим у кар'єрах щебеневим покриттям з 0,08 до 0,09-0,11 (рисунок 2.2.7).

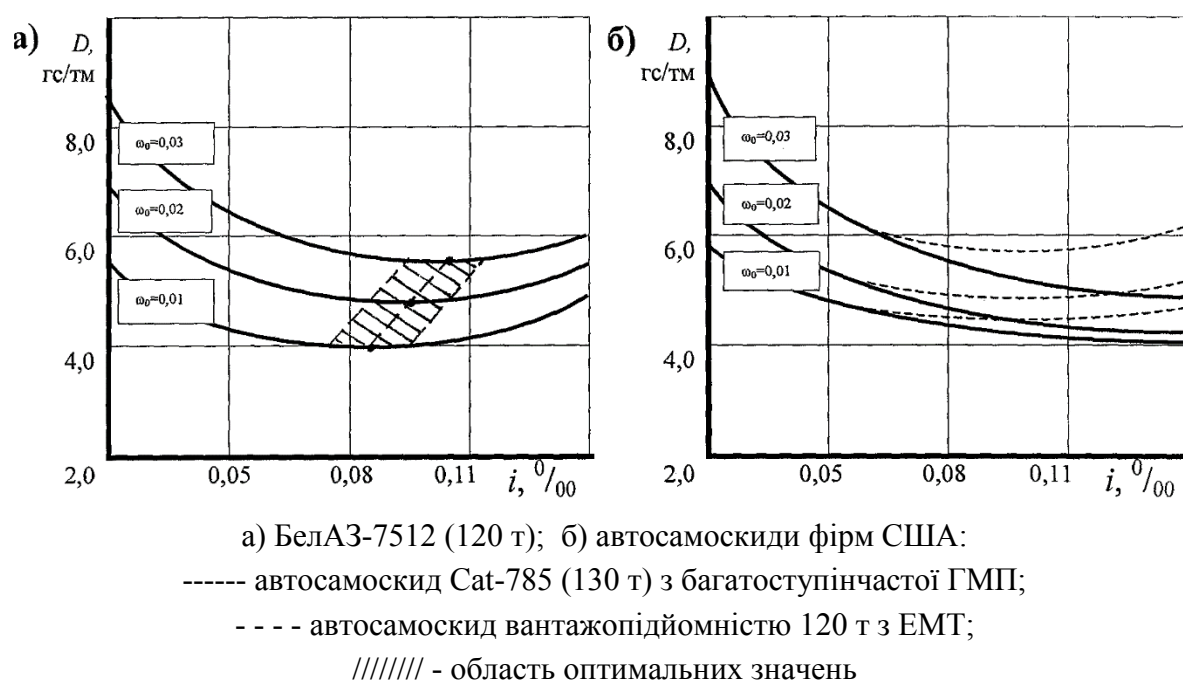


Рисунок 2.2.7 - Залежність питомої дії (D) автосамоскидів при русі на підйом від ухилу автодороги (i) і коефіцієнта опору коченню (ω_0)

Істотним обмеженням у застосуванні підвищених ухилів автодоріг для автосамоскидів з ЕМТ є перегрів тягових електродвигунів мотор-колес (рисунок 2.2.8).

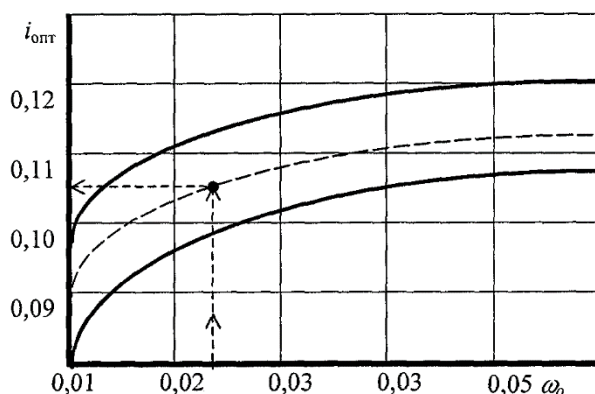
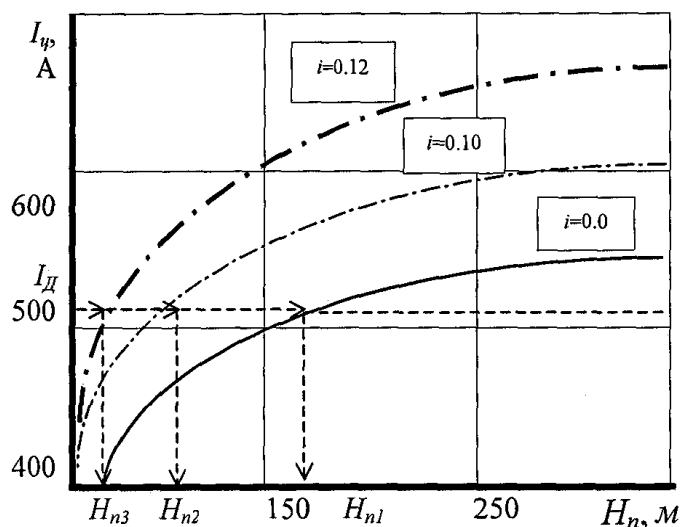


Рисунок 2.2.8 - Залежність оптимальних значень ухилу автодороги ($i_{\text{опт}}$) від коефіцієнта опору коченню (ω_0) (БелАЗ-7512)

У зв'язку із цим найбільш реальне застосування підвищених ухилів автодоріг на складальних перевезеннях при висоті підйому гірської маси до 80-100 м. Це дозволить не тільки скоротити витрату палива і величину питомої дії, але і збільшити довжину активного фронту гірських робіт у робочій зоні кар'єру.



$I_{Д}$ - допустимий (тривалий) струм тягових електродвигунів ДК-722; $H_{п}$ - гранична (допустима) висота підйому гірської маси за умовою нагрівання тягових електродвигунів, відповідно при $i = 0,08$, $i = 0,10$ і $i = 0,12$

Рисунок 2.2.9 - Залежність середньоквадратичного струму за один транспортний цикл тягових електродвигунів мотор-колес автосамоскидів БелАЗ-7512 ($I_{ц}$) від висоти підйому гірської маси ($H_{п}$) і керованого ухилу (i) (щебеневе покриття)

Автосамоскиди з багатоступінчастою автоматичною ГМП не мають оптимального ухилу за енергетичним критерієм. Питома дія (D) в автосамоскидів із ГМП знижується у всьому діапазоні реально подоланих ухилів автодоріг (рисунок 2.2.7, б). Ця перевага найбільшою мірою проявляється в глибоких кар'єрах при роботі автосамоскидів як магістрального транспорту. Так, при $i = 8 \dots 10\%$ питома дія на підйом гірської маси в автосамоскидів Cat-785 із ГМП на 3-6 % менше, чим в автосамоскидів з ЕМТ. При збільшенні ухилу до 12‰ різниця у витраті палива зростає до 9%.

Таблиця 2.2.7 Оптимальні значення ухилів автодоріг ($i_{опт}$) за енергетичним критерієм для автосамоскидів БелАЗ-7512

Тип дорожнього покриття	$i_{опт}$
Асфальтобетонне ($\omega_0 = 0,010 \dots 0,015$)	0,08-0,10
Щебеневе ($\omega_0 = 0,020 \dots 0,025$)	0,09-0,11
Автодороги без покриття на скельній основі ($\omega_0 = 0,030 \dots 0,040$)	0,10-0,12

Підвищені значення оптимальних ухилів при більших значеннях коефіцієнта опору коченню пояснюються зниженням у загальному опорі руху впливу частки опору коченню і інтенсивним зростанням частки опору на підйом.

Розрахункові показники енергетичної ефективності дизель-тролейвозного транспорту (дизель-тролейвози на базі автосамоскидів БелАЗ-7519 вантажопідйомністю 110 т) на кар'єрах чорної металургії наведено в таблиці 2.2.8 і 2.2.9. Установлено, що коефіцієнт корисного використання енергії дизель-тролейвозним транспортом змінюється в межах 6,2-7,6% при середньому значенні 6,7%.

Таблиця 2.2.8 - Умови експлуатації дизель-тролейвозного транспорту на кар'єрах чорної металургії (передпроектні розробки)

Кар'єр	Об'єм перевезень, млн. т/рік	Параметри траси			
		L , км	$Kэ$, %	$Hл$, м	$H_{дт}$, м/км
Костомукшський	22,0	4,0	52	150	37,5
Інгулецький	18,0	2,9	76	105	36,2
«Малий Кузбас»	15,3	4,7	64	174	37,0
№21 Донського ГЗК	10,2	4,0	75	180	45,0
Карагайський ВАТ «Магнезит»	8,8	3,8	68	165	43,4

Таблиця 2.2.9 - Показники енергетичної ефективності дизель-тролейвозного транспорту

Кар'єр	Параметри траси			
	L , км	$Kэ$, %	$Hл$, м	$H_{дт}$, м/км
Костомукшський	4,0	52	150	37,5
Інгулецький	2,9	76	105	36,2
«Малий Кузбас»	4,7	64	174	37,0
№21 Донського ГЗК	4,0	75	180	45,0
Карагайський ВАТ «Магнезит»	3,8	68	165	43,4

Енергетичні показники дизель-тролейвозного транспорту тільки на 3,1% вище, чим автомобільного ($\eta = 6,5\%$ для автосамоскидів БелАЗ-7519). Даний висновок може здатися парадоксальним, оскільки в технічній літературі поширена думка про високу енергетичну ефективність даного виду транспорту. Однак в останні роки

отримані результати підтверджуються і закордонними дослідженнями. Американські вчені П. Ревель і І. Ревель на прикладі автотранспорту загального користування показують, що енергетична ефективність звичайних і електрифікованих автомобілів приблизно однакова [11]. Широке впровадження дизель-електричного транспорту на кар'єрах США в 80-х роках було обумовлено не енергетичною ефективністю даного виду транспорту, а кон'юнктурою цін на дизельне паливо і електроенергію.

При електрифікації автотранспорту (рисунок 2.2.10) з'являється можливість збільшення ухилу капітальних траншів, що розкривають, з i_1 до i_2 ($i_1 > i_2$). Відповідно, при заданій глибині кар'єру H скорочується відстань транспортування на керівному ухилі з l_1 до l_2 .

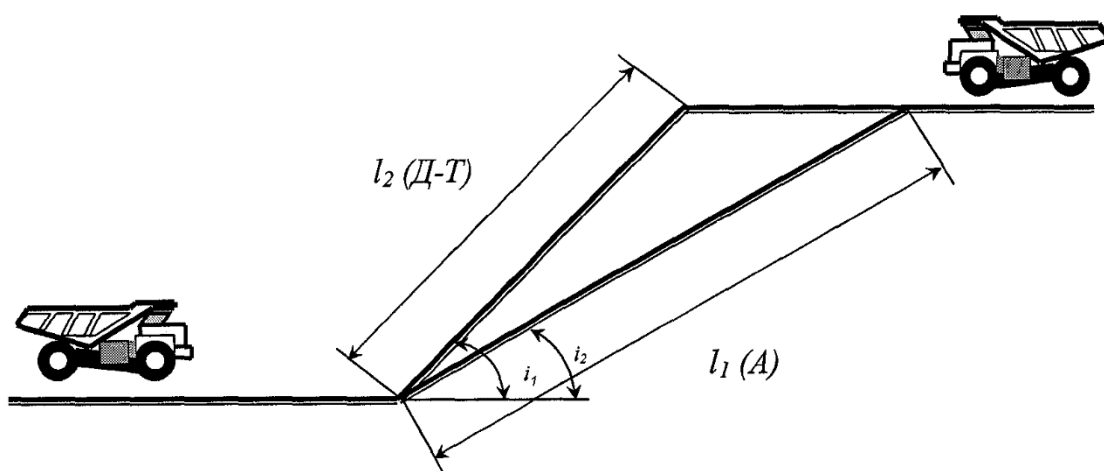


Рисунок 2.2.10 - Схема розрахунків паливної економічності автомобільного і дизель-тролейвозного транспорту

Витрата дизельного палива за транспортний цикл автосамоскидами ($Q_{ц1}$) і дизель-тролейвозами ($Q_{ц2}$) на розглянутих схемах становить

$$Q_{ц1} = Q_{пр} + Q_3 + Q_i + Q_{вд}; \quad Q_{ц2} = Q_{пр} + Q_3 + Q_2 + Q_{вд}, \quad (2.2.40)$$

де $Q_{пр}$ - витрата палива на погрузо-розвантажувальних, маневрових операціях і в період очікування навантаження, кг; Q_3 , $Q_{вд}$ - витрата палива при русі, відповідно, по забійних і відвальних автодорогах довжиною l_3 і l_0 , кг; Q_i - витрата палива автосамоскидами при русі по виїзній траншеї довжиною l_1 у вантажному і порожняковому напрямках, кг; Q_2 - витрата палива дизель-тролейвозами по електрифікованій ділянці виїзної траншеї довжиною l_2 у вантажному і порожняковому напрямках, кг.

Енергетична ефективність дизель-тролейвозів може бути збільшена шляхом скорочення втрат електроенергії в тяговій мережі, збільшення керівного ухилу траси і швидкостей руху в тролейному режимі. При збільшенні керівного ухилу

автодоріг до 10-12% коефіцієнт корисного використання енергії дизель-тролейвозним транспортом може зрости до 7,6-7,8%, тобто наблизитися до показників електрифікованого залізничного транспорту

2.2.2 Залізничний транспорт. Дослідження в галузі кар'єрного транспорту, проведені вченими СНД, і досвід багаторічної експлуатації показали, що найбільш ефективною для кар'єрних умов є електрична тяга, що має ряд тягово-експлуатаційних переваг перед іншими видами тяги. До основних відносяться: ефективність роботи на підйомах до 4%, а при застосуванні моторних думпкарів локомотивів і до 6 %, висока питома потужність і здатність витримувати значні короточасні перевантаження; порівняно висока економічність (ККД системи 14-16%, а ККД самого електролокомотива 86-88%); можливість збільшення зчеплення зчіпної маси об'єднанням декількох секцій; скорочення простоїв під екіпіруванням, яке зводиться тільки до заправлення піском; більш комфортабельні умови роботи локомотивних бригад; мала чутливість до зміни кліматичних умов; під час розвантаження і розвантаження составів практично не споживається енергія, що особливо відчутно при тривалих стоянках составів під навантаженням і розвантаженням.

У практиці найпоширеніші наступні варіанти тяги поїздів: одиночними локомотивами, здвоєними локомотивами, а також з тимчасовим використанням допоміжного локомотива (штовхача) на ділянках з максимальним ухилом. Усі ці варіанти мають певний переваги, недоліки і мають економічно доцільні області застосування.

Тяга одиночними електровозами має досить істотні недоліки, тому що негативний вплив підвищених ухилів при цьому найбільше суттєво позначається на параметрах поїздів. Так, наприклад, знижується корисна маса і зростає питома маса тари поїзда на 1т корисного вантажу, різко знижується коефіцієнт корисної маси, а відповідно, збільшується коефіцієнт тари поїздів. Усе це обумовлює практичну недоцільність використання одиночної електровозної тяги на маршрутах у випадку збільшення керівних ухилів.

Тяга поїздів одиночними локомотивами з тимчасовим використанням допоміжного (підштовхувального) локомотива може набути широкого застосування при відпрацьовуванні окремих ділянок або зон кар'єрів як тимчасовий захід. Найчастіше в цих випадках у цілому по кар'єру зберігається єдина корисна маса поїздів, а на ділянках з підвищеним до 60‰ ухилом колій вводиться підштовхувальний локомотив. Це певною мірою ускладнює організацію руху поїздів і може приводити до зниження пропускну здатності ділянки колії з ухилом 60‰ за рахунок перегону підштовхувального локомотива резервом.

Застосування подвійної тяги агрегатами в умовах невисоких ухилів дозволяє побільшити масу поїздів, інтенсифікувати роботу транспортної системи і кар'єру в цілому.

Енергетичні переваги залізничного транспорту перед автомобільним пояснюються меншими значеннями коефіцієнта опору руху навантаженого поїзда (в 8-10 раз) і коефіцієнта тари. Коефіцієнт тари сучасних думпкарів становить 0,41-0,50, а вітчизняних автосамоскидів 0,70-0,84. Однак реалізація цих переваг при роботі на підйом гірської маси обмежується порівняно невеликим ухилом залізничних трас (40-60‰) і значним коефіцієнтом їх розвитку (до 1,5-1,8). Тому метою цього розділу роботи є встановлення закономірностей впливу величини керівного ухилу з'їздів на рівень енерговитрат при підйомі гірської маси із глибоких кар'єрів.

Для підйому поїзда з кар'єру необхідно виконати роботу A_0 , рівну добутку сили F на шлях S [9].

$$A_0 = F \cdot S \quad (2.2.41)$$

де F - рівнодіюча прискорювальних і сповільнюваних сил, що діють на поїзд у процесі його підйому з кар'єру, Н.

З іншого боку, робота цієї сили дорівнює збільшенню кінетичної і потенційної енергії поїзда. Тому що

$$U_2 - U_1 = \Delta U = mg\Delta h, \quad (2.2.42)$$

де $U_2 - U_1$ - зміна потенційної енергії,

а

$$F = F_K - \omega_O \quad (2.2.43)$$

маємо

$$(F_K - \omega_O)S = (V_2^2 - V_1^2) + mg\Delta h, \quad (2.2.44)$$

де m - маса поїзда, кг; Δh - висота підйому поїзда з кар'єру, м; F_K - тягове зусилля локомотива, Н; ω_O - повний опір руху поїзда, Н.

Так як

$$F_K S = 0,5m(V_2^2 - V_1^2) + mg\Delta h + \omega_O S, \quad (2.2.45)$$

то

$$A = 0,5m(V_2^2 - V_1^2) + mg\Delta h + \omega_O S, \quad (2.2.46)$$

де m - маса поїзда, кг; g - прискорення вільного падіння, м/с; Δh - висота підйому поїзда з кар'єру, м.

Таким чином, вираз (2.2.42) являє собою рівень енергетичних витрат на підйом гірської маси з кар'єрів як величину роботи, виконуваної транспортним засобом у процесі руху з розрахункового горизонту (перевантажувального пункту) до устя капітальної траншеї. Вираження $0,5m(V_2^2 - V_1^2)$ характеризує частину роботи, виконаної локомотивом для додання поїзду кінетичної енергії в процесі розгону зі швидкості V_1 до швидкості V_2 . Відповідно, $mg\Delta h$ - збільшення потенційної енергії поїзда при переміщенні на більш високий енергетичний рівень із різницею висот Δh . А, $\omega_O S$ - робота сили тяги по подоланню повного опору руху поїзда на шляху S .

У практиці роботи кар'єрного залізничного транспорту протягом рейсу поїзд із деяких причин, у тому числі і технологічних, неодноразово зупиняється або знижує швидкість, що приводить до додаткових енергетичних витрат $A_{ДОД}$ (Дж) на розгін до середньої швидкості.

$$A_{ДОП} = 0,5m \left[V_2^2 n_{ОСТ} + n_{ЗАМ} (V_2^2 - V_{ЗАМ}^2) \right], \quad (2.2.47)$$

де $n_{ЗАМ}$, $n_{ОСТ}$ - відповідно, кількість зупинок, затримці поїзда на станціях, постах, тупиках, у світлофорів у процесі руху між пунктами навантаження і вивантаження; $V_{ЗАМ}$ - швидкість руху поїзда при затримці, м/с.

Після перетворення загальна робота в Дж:

$$A = 0,5m \left[(V_2^2 - V_1^2) + V_2^2 n_{ОСТ} + n_{ЗАМ} (V_2^2 - V_{ЗАМ}^2) \right] + mg\Delta h + \\ + \omega_O m \cdot \frac{10^3 \Delta h K_{ТР}}{i} + A_{ПР}, \quad (2.2.48)$$

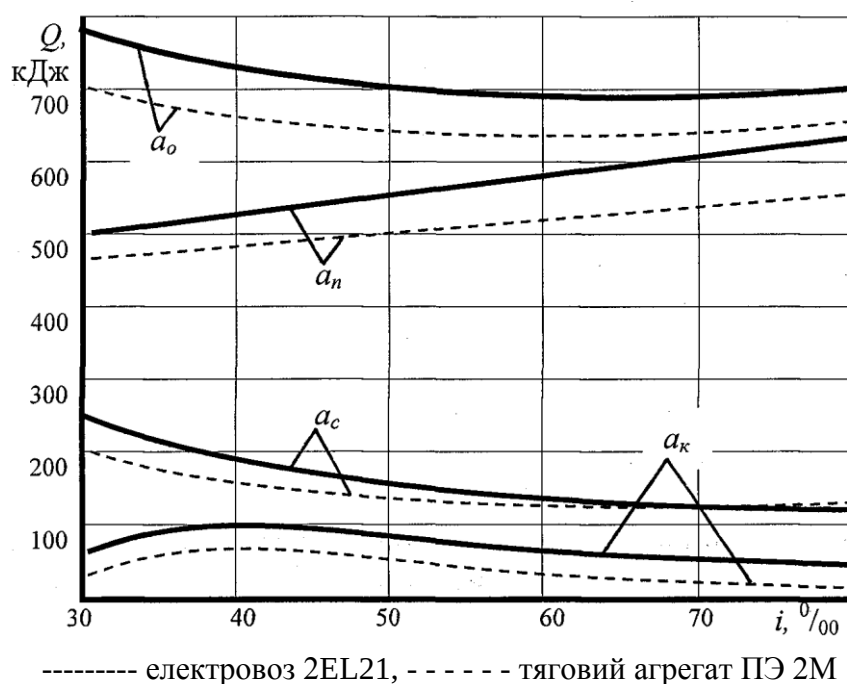
де $A_{ПР}$ - інші енергетичні витрати, пов'язані з рухом поїзда по горизонтальних і слабонахилених ділянках колії в кар'єрі, на поверхні і на відвалі, а також по керівному підйому на відвалі, Дж; i - ухил траси, ‰; $K_{ТР}$ - коефіцієнт розвитку траси.

Робота, затрачувана на переміщення поїзда в навантаженому стані від пункту навантаження в кар'єр до початку ділянки підйому з керівним ухилом, а також по поверхні до пункту навантаження і назад у кар'єр

$$\begin{aligned}
A_{ПР} = & m\omega_0(l_{ЗАБ} + l_{ПОВ} + l_{ВИД}) + mg(\Delta h_{ПОВ} + \Delta h_{ВИД}) + \\
& + m_{П}g_2\Delta h_{П.ПОВ} + m_{П}\omega_{0П}(l_{ЗАБ} + l_{ПОВ} + l_{ВИД}) + \\
& + 0,5m_{П}\left[\left(V_{2П}^2 - V_{1П}^2\right) + V_{2П}^2 n_{ОСТ.П} + n_{ЗАМ.П}\left(V_{2П}^2 - V_{ЗАМ.П}^2\right)\right] + A_{ДР},
\end{aligned}
\quad (2.2.49)$$

де $l_{ЗАБ}$, $l_{ПОВ}$, $l_{ВИД}$ - шлях, прохідний поїздом по горизонтальних ділянках у кар'єрі, на поверхні і у відвалі, м; $\Delta h_{ПОВ}$, $\Delta h_{ВИД}$ - висота підйому навантаженого поїзда при русі по поверхні на відвалі, м; $\Delta h_{П.ПОВ}$ - висота підйому порожнього поїзда при русі від пункту вивантаження до кар'єру, м; $m_{П}$ - маса порожнього поїзда, кг; $\omega_{0П}$ - питомий опір руху порожнього поїзда, Н/кг; $V_{2П}$, $V_{1П}$, $V_{ЗАМ.П}$ - швидкість руху порожнього поїзда, відповідно, середня по ділянці, початкова при русі з пункту навантаження, при затримці, м/с; $n_{ОСТ.П}$, $n_{ЗАМ.П}$ - кількість зупинок при затримці порожнього поїзда; $A_{ДР}$ - інші невраховані витрати роботи, Дж.

Найбільший інтерес представляє вираження (2.2.46), що характеризує роботу тягового зусилля локомотива на підйомі з кар'єру (рисуюнок 2.11).



a_o - сумарна робота для підйому 1 т гірської маси; a_k - робота, пов'язана з доданням поїзду кінетичної енергії; a_n - робота, пов'язана зі зміною потенційної енергії; a_c - робота, пов'язана з подоланням опору руху поїзда по трасі.

Рисуюнок 2.2.11 - Зміна питомої роботи a , виконуваної локомотивом, для підйому 1 т гірської маси з кар'єру глибиною 300 м при різних ухилах траси

Стосовно до умов кар'єру глибиною 300 м виконані розрахунки для електровозної (2EL-21) і моторної (ПЭ-2М), тяги, при змінних від 30 до 80‰ ухилах. Розрахунки свідчать: при ухилі траси 40‰ робота локомотива, що

витрачається безпосередньо на підйом поїзда (збільшення потенційної енергії), становить - 70,6 %, на створення запасу кінетичної енергії поїзда - 9,6 %, на подолання сил опору руху поїзда (без врахування ухилу) - 19,8%.

Оскільки робота, виконувана поїздом у процесі підйому гірської маси з кар'єрів, визначає рівень енерговитрат залізничного транспорту, то у якості критеріїв комплексного порівняння енергетичної ефективності різних видів електричної тяги, застосовуваної на залізничному транспорті, може бути прийнята питома витрата електроенергії і питома дія:

$$P_{ЗАЛ} = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} (k_T + 1) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)}{\eta_{ЗАЛ}}, \quad \text{кВт} \cdot \text{с} / \text{мм}; \quad (2.2.50)$$

$$D_{ЗАЛ} = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} (k_T + 1) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)^2}{N_{ПИТ} \eta_{ЗП}^2}, \quad \text{кВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} / \text{мм}; \quad (2.2.51)$$

де k_m - коефіцієнт тари поїзда; ω_0 - питомий опір руху поїзда, Н/кг; i - керівний ухил з'їзду, ‰; $N_{ПИТ}$ - питома потужність електродвигуна, кВт/т; $\eta_{ЗП}$ - ккд зубчастієї передачі локомотива. У свою чергу, коефіцієнт тари поїзда визначається з вираження

$$k_T = \frac{Q_{НЕТТО}}{Q_{ПОВН}}, \quad (2.2.52)$$

де $Q_{НЕТТО}$ - маса тари поїзда, т; $Q_{ПОВН}$ - повна маса вантажу в поїзді, т.

При електровозній тязі коефіцієнт тари поїзда визначається з вираження

$$k_T^E = \frac{m_{ЕУ} + n_B \cdot m_B}{n_B \cdot q_B}, \quad (2.2.53)$$

де $m_{ЕУ}$, m_B - маса, відповідно, електровоза керування і порожніх вагонів т; n_B - кількість вагонів у складі; q_B - вантажопідйомність вагона, т.

При мотор-вагонній тязі:

$$k_T^M = \frac{m_{ЕУ} + m_{А.ДЖ} + n_{МД} \cdot m_{МД} + n_B \cdot m_B}{n_{МД} \cdot m_{МД} + n_B \cdot q_B}, \quad (2.2.54)$$

де $m_{A,ДЖ}$ - маса автономного джерела живлення (дизельної секції), т; $m_{МД}$, $q_{МД}$ - відповідно, маса і вантажопідйомність моторних думпкарів, т; $n_{МД}$ - кількість моторних думпкарів у складі.

Вираження питомої потужності $N_{ПИТ}$, кВт/т має вигляд:

- при електровозній тязі

$$N_{ПИТ} = \frac{N_P}{m_{EУ} + n_B(m_B + q_B)}, \quad (2.2.55)$$

- при мотор-вагонній тязі

$$N_{ПИТ} = \frac{N_P}{m_{EУ} + m_{A,ДЖ} + n_{МД}(m_{МД} + q_{МД}) + n_B(m_B + q_B)}, \quad (2.2.56)$$

де N_P - розрахункова потужність тягового двигуна, що розвивається на керівному ухилі, кВт.

$$N_P = \frac{F_P V_P 10^3}{359,7 \cdot \eta_{ЗП}}, \quad (2.2.57)$$

де F_P - розрахункове тягове зусилля двигуна, кН; V_P - швидкість руху на керівному ухилі, км/год; $\eta_{ЗП}$ - ККД зубчастої передачі.

У практиці експлуатації електровозів завжди використовується теплова інерція тягового двигуна для того, щоб короткочасно формувати потужність на найбільш важких ділянках шляху при рушанні з місця. Це можливо тільки за умови, якщо температура двигуна до моменту перевантаження менше, чим це допускається нормами. Наприкінці періоду форсування потужності температура і його перегрів не повинні перевершувати значень, що допускаються для даного класу ізоляції.

Можливість короткочасного перевантаження визначається конкретними умовами роботи двигуна і перевіряється шляхом тягових розрахунків і дослідних поїздок. Для двигунів тягових агрегатів гарні результати дає метод розрахунків по середньоквадратичному і ефективному струму, (А):

$$I_E = \sqrt{\frac{I_1^2 t_1 + I_2^2 t_2 + I_3^2 t_3 + \dots I_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots t_n}}, \quad (2.2.58)$$

де I_i - середньоквадратичний струм, А; t_i - час перевантажень, с.

Розрахунок по середньоквадратичному струму дає максимально припустиме перевантаження на підйомі і є основним критерієм при визначенні коефіцієнта перевантаження

$$k_{II} = \frac{N_P}{N} = \frac{I_E}{I}, \quad (2.2.59)$$

де I_E - ефективний струм, А; I - годинний струм, А.

Результати розрахунків показують, що коефіцієнт перевантаження зі збільшенням глибини кар'єру зменшується, причому для профілів з більш крутим ухилом (за інших рівних умов) він завжди вище. При досягненні глибини 500-600 метрів коефіцієнт перевантаження прагне до одиниці. Час номінального режиму з ростом глибини збільшується, досягаючи 60 хв при глибині близько 600 м.

Зі збільшенням частки ділянок з керівним ухилом у загальній довжині вантажної траси номінальна потужність тягових двигунів наближається до розрахункової на керівному підйомі. У сучасного тягового агрегату коефіцієнт перевантаження двигуна досягає 1,1 при змінному і 1,2 при постійному струмі.

Відповідно до цього необхідна потужність (кВт)

$$P_{TA} = k_{II} \cdot n \cdot N_P, \quad (2.2.60)$$

де k_{II} - коефіцієнт перевантаження; n - кількість тягових осей

Розглянемо приклад розрахунків електровозної і мотор-вагонної тяги, застосовуваних на залізничному транспорті.

Електровозна тяга. Згідно з формулою (2.2.52), коефіцієнт тари поїзда при використанні електровоза ЕЛ-1 масою 150 т і составом з 4 вагонів-думпкарів 2ВР-105 з масою нето 48,5 т становить 0,82. Тоді показники енергетичної ефективності (питома енергоємність (кВт-г/тм) і питома дія (кВт-г-с/тм)) состава з використанням електровоза ЕЛ-1

$$P_{ЗАЛ} = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} (1 + 0,82) \left(\frac{0,0025}{0,04} + 1 \right)}{0,85} = 0,0062 \text{ кВт} \cdot \text{г} / \text{тм};$$

$$D_{ЗАЛ} = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} (1 + 0,82) \left(\frac{0,0025}{0,040} + 1 \right)^2}{4,24 \cdot 0,85^2} = 0,0276 \text{ кВт} \cdot \text{г} \cdot \text{с} / \text{тм};$$

Мотор-вагонна тяга. Коефіцієнт тари поїзда за умови експлуатації тягових агрегатів ПЕ-2М масою 368 т і складу з 9 вагонів-думпкарів 2ВР-105 рівний 0,69. Тоді

$$P_{ЗАЛ} = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} (1 + 0,69) \left(\frac{0,0025}{0,04} + 1 \right)}{0,88} = 0,0056 \text{ кВт} \cdot \text{с} / \text{тм};$$

$$D_{ЗАЛ} = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} (1 + 0,69) \left(\frac{0,0025}{0,040} + 1 \right)^2}{4,24 \cdot 0,88^2} = 0,0155 \text{ кВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} / \text{тм};$$

Теоретичні значення енергетичної ефективності різних типів електричної тяги наведено в таблиці 2.2.10

Таблиця 2.2.10 - Теоретичні показники енергетичної ефективності різних видів електричної тяги, застосовуваних на кар'єрному залізничному транспорті

Показник	Вид тяги							
					моторвагонна			
	ЕЛ-1	ЕЛ-2	21Е1	26Е2М	ЕЛ-10	ПЕ-2М	ПЕ-3Т	ОПЕ1А
Питома енергоємність кВт-г/тм г у.п./тм	0,0062 2,20	0,0058 2,06	0,0062 2,20	0,0063 2,24	0,0055 1,95	0,0055 1,95	0,0057 2,02	0,0057 2,02
Умовна дія кВт-г·с/тм г. у.п. · с /тм	0,0276 9,81	0,0362 12,85	0,0228 8,08	0,0462 16,41	0,0208 7,39	0,0155 5,71	0,0210 7,46	0,0227 8,05

Питома витрата електроенергії електрифікованою залізничним транспортом на глибоких залізрудних кар'єрах змінюється від 0,13 кВт-г/ткм (Михайлівський кар'єр) до 0,21 кВт-г/ткм (Сарбайський кар'єр) при середньозваженому значенні 0,17 кВт-г/ткм.

За аналогією з розрахунками для автотранспорту фактичні значення питомої енергоємності і питомої дії можуть бути визначені з виражень:

$$\omega_{ЗАЛ} = \omega / h_{ЗАЛ}, \text{ кВт} \cdot \text{с} / \text{тм}, \quad (2.2.61)$$

$$D_{ЗАЛ} = \omega_{ЗАЛ} \cdot t_{\phi}, \text{ кВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} / \text{тм}. \quad (2.2.62)$$

Приймаючи для кар'єрів чорної металургії $i_P = 40 \%$, $k_{P.Ж.} = 1,4$; $H_{II} = 90$ м; $L_{CP} = 10,8$ км і $V_E = 9,1$ км/год, одержимо

$$h_{3AL} = 10i_P / k_{P.3AL}, \quad (2.2.63)$$

де $k_{P.3AL}$ - коефіцієнт розвитку залізничної траси ($k_{P.3AL} = 1,4$).

$$P_{3AL} = \frac{0,17}{28,57} = 0,0059 \text{ кВт} \cdot \text{с} / \text{мм};$$

$$D_{3AL} = \frac{0,0059 \cdot 2 \cdot 10,8}{90 \cdot 9,1} \cdot 3600 = 0,56 \text{ кВт} \cdot \text{с} \cdot \text{с} / \text{мм};$$

В «умовному паливі» це складе

$$P_{\Phi,3AL} = 0,0059 \cdot 310 \cdot 1,09 \cdot 1,04 = 2,07 \text{ г.ум.п.} / \text{мм};$$

$$\eta = 16,2\%;$$

$$D_{3AL} = 196,8 \text{ г.ум.п.} \cdot \text{с} / \text{мм}.$$

У таблиці 2.2.11 представлено порівняння фактичних показників питомої енергоємності і питомої дії.

Таблиця 2.2.11 - Показники енергетичної ефективності залізничного транспорту на кар'єрах чорної металургії

Показники	Вид тяги	
	Електровозна	Тяговий агрегат
Середня відстань транспортування, км	6,87-9,51	9,0-11,87
Середня висота підйому, м	80-110	90-150
Середня експлуатаційна швидкість, км/г	8,4-9,4	9,2-11,4
Питома витрата електричної енергії, кВт-г/ткм	0,17-0,20	0,13-0,21
Питома енергоємність, кВт-г /тм	0,011-0,017	0,0078-0,016
Питома дія, кВт-г-с/тм	0,59-1,13	0,36-0,78

Аналіз цих даних показав, що найбільше енергетично ефективною за критерієм мінімуму питомої дії є мотор-вагонна тяга. Ця умова визначається, насамперед, збільшенням корисної маси, а відповідно, і зниженням коефіцієнта тари поїзда, що

робить цей вид тяги популярним для сучасних глибоких кар'єрів і перспективним при його використанні на підвищених ухилах з'їздів з мінімальними витратами електричної енергії і часом підйому.

Висока інтенсивність ведення гірських робіт, досить великий обсяг транспортування, значні енерговитратні, що витрачаються на транспортування гірської маси з кар'єру, висувають особливі вимоги до показників роботи залізничного транспорту. У першу чергу це відноситься до керівного ухилу залізничних колій, який є визначальним чинником коефіцієнта тари локомотивосоставу.

На підставі аналізу техніко-економічних показників роботи залізничного транспорту (при експлуатації тягових агрегатів ПЕ-2М) в умовах великого ряду вітчизняних кар'єрів чорної металургії отримані експериментальні значення рекомендованої корисної маси поїзда й, відповідно, кількості вагонів-думпкарів (типу 2ВР-105) у складі (таблиця 2.2.12 і рисунок 2.2.12).

Таблиця 2.2.12 - Експериментальні показники роботи тягових агрегатів ПЕ-2М на кар'єрах чорної металургії

Показники рухомого складу	Керівний ухил ‰						
	40	50	60	70	80	90	100
Рекомендована корисна маса, т	1100-1400	900-1100	700-400	600-700	500-600	400-500	350-400
Рекомендована кількість вагонів у складі, шт	10-12	8-10	6-8	5-6	4-5	3-4	3
Коефіцієнт тари	0,57-0,67	0,67-0,72	0,72-0,79	0,79-0,85	0,85-0,93	0,93-1,05	1,05

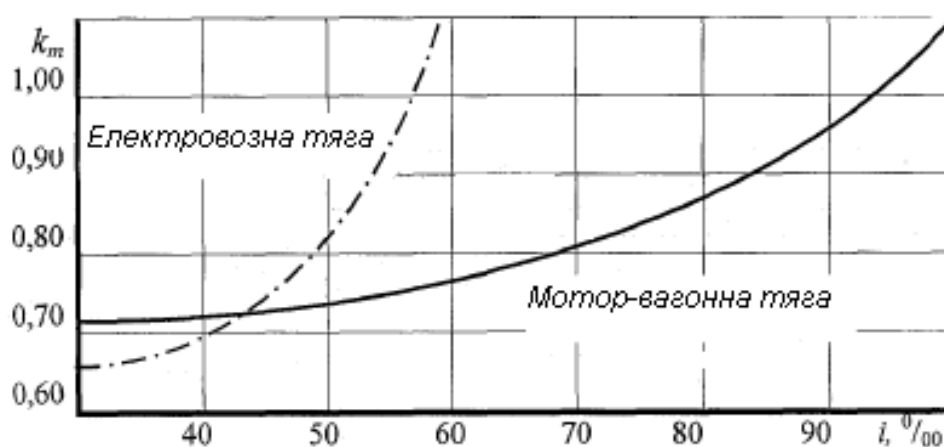


Рисунок 2.2.12 - Залежності коефіцієнта тари поїзда від керівного ухилу

Аналіз графіка і розрахунки показують, що збільшення ухилу шляхи з 40 до 60 ‰ не приводить до великого збільшення енергетичних витрат на підйом гірської

маси, тому що деяке збільшення роботи локомотива, пов'язане з ростом коефіцієнта тари поїзда, компенсується скороченням довжини траси і спрощенням схеми колійного розвитку, а для частки випадку з тяговим агрегатом ПЕ-2М спостерігається зниження енергетичних витрат на підйом гірської маси при моторвагонній тязі в межах 2-5%. Коефіцієнт тари поїзда при ухилі шляхів до 60 ‰ перебуває в межах 0,67 - 0,79, що свідчить про те, що 20-40% загальних енергетичних витрат по підйому гірської маси з кар'єру витрачається на перевезення тари поїздів.

Рівняння кривій (рисунок 2.2.12), що характеризує зміну значення коефіцієнта тари k_m від величини керівного ухилу i , має вигляд

$$k_T = 68,386667i^2 - 1,619784i + 0,626889. \quad (2.2.64)$$

Підставивши у формулу (2.2.51) вираження (2.2.64), отримаємо

$$D_{ЗАЛ} = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} (68,386667i_2 - 1,619784i + 1,626889) \left(\frac{\omega_0}{i} + 1 \right)^2}{N_{ПИГ} \cdot \eta_{3П}^2}. \quad (2.2.65)$$

Формула (2.2.65) виражає взаємозв'язок питомої дії локомотивосоставу, у цьому випадку тягового агрегату ПЕ-2М, з ухилом. Щоб знайти значення ухилу, при якому дія локомотивосоставу досягає мінімального значення, досліджуємо функцію (2.2.65) на екстремум. Дорівнявши похідну функції $D=f(i)$ до нуля $D'(i)=0$, отримаємо

$$138,773333i^3 - 1,206344i^2 - 0,0097468 = 0. \quad (2.2.66)$$

Опускаючи проміжні вираження, запишемо значення оптимального ухилу залізничної колії i за енергетичним критерієм: $i = 47 \text{ ‰}$.

При використанні електровозної тяги, а саме електровозів ЕЛ-1 і 21Е-1, залежність вагової норми локомотивосоставу і коефіцієнта його тари від керівного ухилу описана кривій, що має рівняння

$$k_T = 76593,67858i^{4,0514} + 0,59. \quad (2.2.67)$$

Зробивши ті ж перетворення, як і у випадку моторвагонної тяги, одержимо

$$1,87310553i^{4,0154} + 994,8204249i^{5,051391683} - 0,000012742 = 0. \quad (2.2.68)$$

Значення оптимального ухилу за енергетичним критерієм складе $i = 29 \text{ ‰}$.

Зміна питомої дії електровозної тяги на прикладі ЕЛ-1 і мотор-вагонної тяговими агрегатами ПЕ-2М від керівного ухилу шляху показав на рисунку 2.2.13.

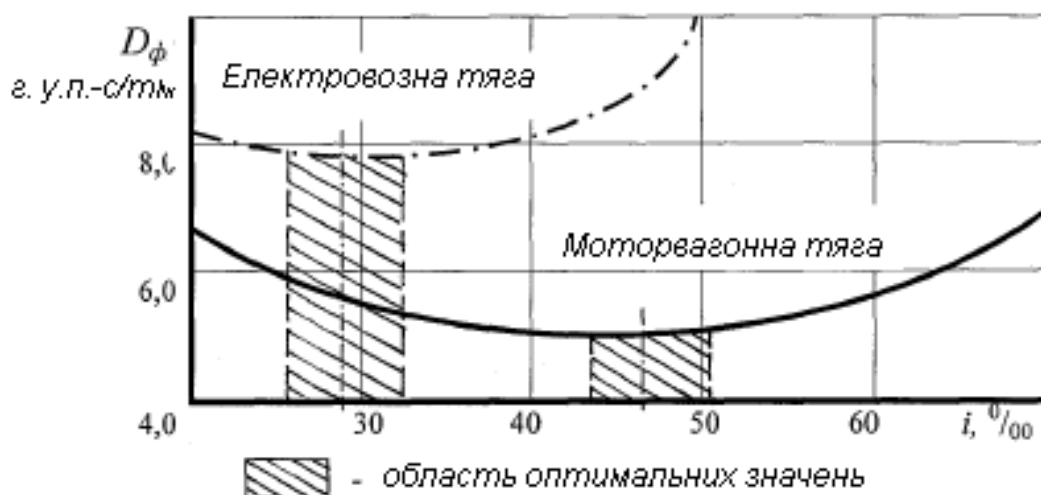


Рисунок 2.2.13 - Залежність питомої дії (D_ϕ) локомотивосоставів при русі на підйом від ухилу залізничної колії (i)

Дослідження показали, що для електрифікованого залізничного транспорту оптимальний ухил за енергетичним критерієм визначається в основному коефіцієнтом тари рухомого состава і становить: для мотор-вагонної тяги $40 - 50 \text{ ‰}$, електровозної тяги $30 - 40 \text{ ‰}$. Установлені значення енергетично оптимальних ухилів не суперечать існуючим тенденціям підвищення керівних ухилів залізничних трас до $50 - 60 \text{ ‰}$.

Підвищення ухилу за область оптимальних значень (понад $40-50 \text{ ‰}$) може бути виправдане глибоким введенням залізничного транспорту, скороченням розносу постійних кар'єру і зниженням енерговитрат на складальний автотransпорт. Таке підвищення повинне обґрунтовуватися енергетичною ефективністю всіх транспортних систем

2.2.3 Конвеєрний, скіповий транспорт. Одним з основних показників, що характеризують ефективність застосування конвеєрного транспорту, є енергоємність транспортування вантажу. Основними факторами, що впливають на рівень енергетичних витрат на підйом гірської маси конвеєрним транспортом, зокрема стрічковими конвеєрами, є основний опір руху стрічки по роликах. Це визначає, у свою чергу, необхідне значення тягового зусилля, по якому проводиться розрахунки настановної потужності привода (проектується приводна станція); кут нахилу конвеєрного ставу.

Для виявлення фізичної сутності втрат енергії при транспортуванні великих шматків були проведені експериментальні дослідження [10] їх поведінки в процесі транспортування крупнокусового вантажу (рисунок 2.2.14). При малій швидкості транспортування коливання шматка незначні, траєкторії руху шматка стрічки практично збігаються (рисунок 2.2.14, а) Центр маси шматка при цьому не зміщується щодо стрічки, тобто відбувається "перекочування" шматка по роликові, і, отже, втрат енергії немає. При збільшенні швидкості відбувається помітний відрив однієї сторони шматка від стрічки, у той час як протилежна сторона контакту зі стрічкою не втрачає і рухається разом з нею по роликові. Коливальний характер руху шматка добре видний і являє собою траєкторію - "кивомис" (рисунок 2.2.14, б). Відмінність від перекочування полягає в тому, що його центральний момент зміщується щодо стрічки і відбувається обертання шматка.

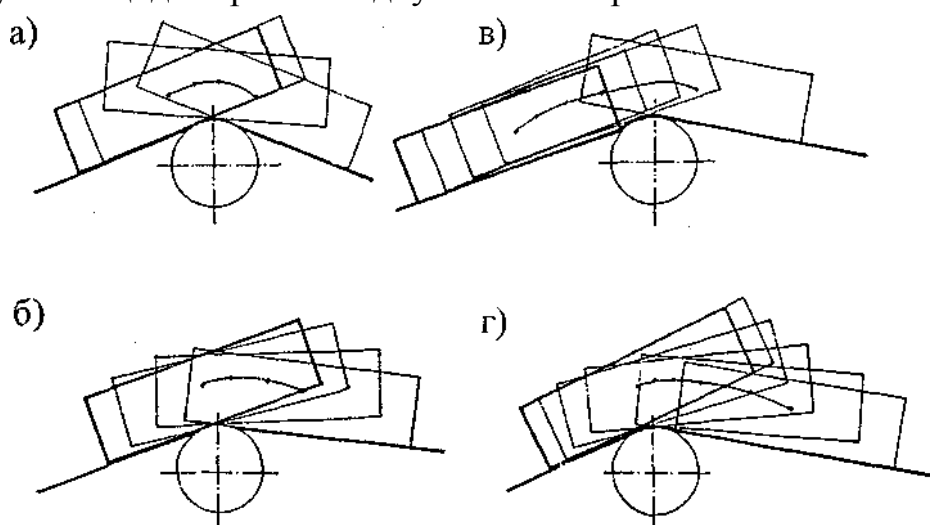


Рисунок 2.2.14 - Схема руху шматка через ролик

Зіткнення шматка з роликом змінює траєкторію руху шматка в порівнянні з безударним рухом (рис 2.2.14, в) за рахунок підворачування однієї сторони над роликоопорою, відмінність від траєкторії "перекочування" стає ще більше.

Джерелом енергії, що обумовлює рух шматка з відривом від стрічки, є привод. Уся ця енергія розсіюється за рахунок швидко загасаючих збурювань, що виникають у стрічці при її взаємодії зі шматком.

Після падіння на стрічку шматок залишається нерухомим до моменту взаємодії з наступною роликоопорою, що є експериментальним підтвердженням розсіювання енергії.

При рішенні задач по визначенню енергоємності транспортування вантажу конвеєрами слід урахувати, що весь потік гірської маси, що перебуває на конвеєрній стрічці, необхідно розглядати як складений із дрібнокусового вантажу (безперервний потік) і розміщених у ньому великих шматків (дискретний потік). Відповідно до цього основними складовими коефіцієнта опору руху є

коефіцієнт опору обертанню роликів ω_P , від переносу ролюкоопор $\omega_{ПЕР}$, вдавнення роликів у стрічку $\omega_{ВД}$, коливальних рухів великих шматків ω_K , ворухіння дрібнокусового вантажу ω_B , ударної взаємодії шматків з роликами ω_U , "вспливання" великих шматків $\omega_{ВСП}$.

$$\omega_0 = \omega_P + \omega_{ПЕР} + \omega_{ВД} + \omega_{Ш} + \omega_K + \omega_U + \omega_{ВСП} \quad (2.2.69)$$

Аналіз наявних у літературі залежностей для розрахунків складових коефіцієнта опору показав, що вони справедливі як для дрібнокусових вантажів, так і для крупнокусових, тому що причини і фізична сутність втрат енергії в обох випадках однакові.

Удосконалювання методів ведення гірських робіт, у тому числі процесу транспортування гірської маси з використанням конвеєрного транспорту, багато в чому пов'язано із впровадженням прогресивної енергозберігаючої технології, яка повинна насамперед забезпечити високий рівень продуктивності всього гірничотранспортного комплексу, його безвідмовну і безперервну роботу з мінімальними витратами електричної енергії і видаткових матеріалів. Ця важлива умова може бути виконана, у свою чергу, зменшенням довжини гірських виробіток, а отже, і відстанню транспортування гірської маси.

У наш час існує безліч технічних рішень і конструктивних пропозицій, що дозволяють шляхом різних перегородок (ринв і т.п.) на конвеєрній стрічці підвищити граничний кут нахилу (до 0,8 рад). Однак запропоновані конструкції стрічкових конвеєрів передбачають введення додаткових елементів у конструкцію стрічки, у результаті чого знижується загальна надійність роботи устаткування, збільшується його матеріалоємність і підвищується вартість.

Іншим напрямком рішення цієї проблеми є вдосконалення існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів з метою підвищення кута нахилу става до оптимального значення. При цьому основна увага повинна приділятися вибору раціональних параметрів конвеєрних установок і, зокрема, мінімального енергоспоживання, високої продуктивності; оптимального співвідношення вагових норм вантажопотоку і конвеєрних стрічок і, відповідно, граничного кута нахилу транспортування гірської маси.

Так само, як для експлуатації залізничного транспорту, енерговитрати конвеєрного підйому можна оцінити по відомих з існуючої технічної літератури формулах:

Сила опору конвеєрної стрічки

$$F_K = k_{ОПОР} (q_{Г} + q_K) L_K \omega_K + q_{Г} H, \quad (2.2.70)$$

де L_K - відстань транспортування, м

Робота (кВт) по подоланню опору руху стрічки конвеєра на трасі довжиною

$L_K = \frac{H}{\sin \alpha_K}$, що характеризує рівень енергетичних витрат на підйом гірської маси,

(де α_K - кут нахилу конвеєра, град).

$$Q_K = [k_{ОПОР}(q_{\Gamma} + q_K)L_K\omega_K + q_{\Gamma}H] \cdot \frac{H}{\sin \alpha_K}; \quad (2.2.71)$$

тоді при $H = 1$ м

$$Q_K = q_{\Gamma} \left[k_{ОПОР}(1 + k_T) \frac{\omega}{\sin \alpha_K} + 1 \right]. \quad (2.2.72)$$

Розділивши вираження (2.2.72) на $q_K \cdot \eta_K$, одержимо вираження питомої витрати електричної енергії при підйомі 1 т на висоту 1 м

$$P_K = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} \left[k_{ОПОР}(1 + k_T) \frac{\omega}{\sin \alpha_K} + 1 \right]}{\eta_K}, \quad (2.2.73)$$

де $k_{ОПОР}$ - коефіцієнт, що враховує частку опору на кінцевих станціях конвеєра; ω_K - коефіцієнт опору руху стрічки по роликах; α_K - кут нахилу конвеєра, град.

Тоді вираження питомої дії на підйом 1 т гірської маси на висоту 1 м (за аналогією з автомобільним і залізничним транспортом) має вигляд (кВт-г-с/тм)

$$D_K = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} \left[k_{ОПОР}(1 + k_T) \frac{\omega}{\sin \alpha_K} + 1 \right]^2}{N_{ПИТ} \cdot \eta_K}, \quad (2.2.74)$$

де $k_{ОПОР}$ - коефіцієнт, що враховує частку опору на кінцевих барабанах конвеєра; ω_K - коефіцієнт опору руху стрічки по роликах, Н/т; α_K - кут нахилу конвеєра, град; $N_{ПИТ}$ - питома потужність електричного привода, кВт/т; k_T - коефіцієнт тари конвеєра.

Розглянемо приклад розрахунків енергетичних показників конвеєра марки С-200200 зі стрічкою типу ТК-400 шириною 2000 мм. Паспортна продуктивність

конвеєра при швидкості руху стрічки $V = 3,15$ м/с становить $Q = 4960$ м/г. Щільність вантажу, що транспортується, $\rho = 1,7$ т/м³. Вага вантажу, що транспортується, відповідно, $Q = 8432$ т/г. Визначимо погонні навантаження, необхідні для розрахунків коефіцієнта тари конвеєра. Вага вантажу (Н/м)

$$q_{\Gamma} = \frac{9,81 \cdot Q}{3,6 \cdot V} = \frac{9,81 \cdot 8432}{3,6 \cdot 3,15} = 7294,4 \text{ Н / м.} \quad (2.2.75)$$

Вага конвеєрної стрічки (Н/м)

$$q_{\mathcal{L}} = 9,81 \cdot m_{\mathcal{L}} \cdot B_{\mathcal{L}}, \quad (2.2.76)$$

де $m_{\mathcal{L}}$ - вага 1 м² конвеєрної стрічки типу ТК-400, кг/м²; $B_{\mathcal{L}}$ - ширина стрічки, м.

Тоді $q_{\mathcal{L}} = 9,81 \cdot 20,6 \cdot 2,0 = 404,2 \text{ Н / м}.$

Вага обертових частин ролікоопор на довжині 1 м вантажної гілки конвеєра (кг/м)

$$q'_{\mathcal{P}} = \frac{9,81 \cdot m_{\mathcal{P}}}{l}, \quad (2.2.77)$$

де $m_{\mathcal{P}}$ - вага трьохролікової опори, кг; l - довжина розрахункової ділянки;

$$q'_{\mathcal{P}} = \frac{9,81 \cdot 190,0}{1,0} = 1863,9 \text{ Н / м,}$$

Коефіцієнт тари визначиться з вираження

$$k_T = \frac{q_{\Gamma}}{q_{\Gamma} + q_{\mathcal{L}} + q'_{\mathcal{P}}}. \quad (2.2.78)$$

Підставивши значення вагових навантажень у формулу визначення коефіцієнта тари, одержимо

$$k_T = \frac{7294,4}{7294,4 + 404,2 + 1863,9} = 0,76.$$

Теоретичне значення питомої витрати електричної енергії при конвеєрному підйомі 1 т на висоту 1 м складе

$$P_K = \frac{2,725 \cdot 10^{-3} \left[1,4(1+0,76) \frac{0,03}{\sin 14^0} + 1 \right]}{0,95} = 0,0031 \text{ кВт} \cdot \text{с} / \text{мм}.$$

Питому потужність визначимо з вираження

$$N_{ПИТ} = \frac{N_{II}}{q_{II} + q'_{II} + q''_{II} + 2q_{II}}, \quad (2.2.79)$$

де N_{II} - потужність електричного привода, віднесена до одиниці довжини конвеєра, кВт/м; q'_{II} - вага обертових частин роликкоопор на довжині 1 м порожнякової гілки конвеєра (кг/м).

Погонна потужність (кВт/м), у свою чергу, визначається з вираження

$$N_{II} = \left[\frac{k \cdot \omega}{367} (3,6q_{ДВ} \cdot V + Q) + \frac{Q \cdot \sin \alpha}{367} \right] k_E; \quad (2.2.80)$$

де $q_{ДВ}$ - вага частин, що рухаються, конвеєра (стрічки і роликів вантажний і порожньої гілок), $q_{ДВ} = q_{II} + q'_{II} + q''_{II} + 2q_{II}$, Н/м; $k_{ОПОР}$ - коефіцієнт, що враховує опір на кінцевих барабанах залежно від довжини установки (при збільшенні довжини від 100 до 500 м $k_{ОПОР}$ знижується з 1,5 до 1,15, при збільшенні довжини установки до 1000 м значення $k_{ОПОР}$ знижується до 1,05); ω - коефіцієнт опору руху стрічки по роликах, $\omega = 0,03$; α - кут нахилу конвеєра, $\alpha = 14^\circ$.

$$N_{ПИТ} = \left[\frac{1,4 \cdot 0,03}{367} (3,6[404,2 \cdot 2 + 1863,9 + 461,07] \cdot 3,15 + 8432,0) + \frac{8432,0 \cdot \sin 14^0}{367} \right] 1,32 = 13,978 \text{ кВт} / \text{м}$$

Тоді питома потужність $N_{ПИТ}$ (кВт/т) буде рівна

$$N_{ПИТ} = \frac{13,978}{1,03} = 13,41 \text{ кВт} / \text{м}$$

Підставивши отримані значення у формулу для визначення величини питомої дії (кВт-г-с/тм), одержимо

$$D_K = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} \left[1,4(1+0,76) \frac{0,03}{\sin 14^\circ} + 1 \right]^2}{13,41 \cdot 0,95^2} = 0,0038,$$

В «умовному паливі» це складе 1,46 г у.п./тм (таблиця 2.2.13).

Таблиця 2.2.13 - Показники енергетичної ефективності стрічкових конвеєрів С-160160, С-200200

Показник	Значення	
	С-200200	С-160160
Питома енергоємність: г/тм	0,0038	0,0037
	г у.п./тм	1,46
Питома дія: кВт-г-с/тм	0,0052	0,0038
	г у.п.с/тм	2,04

Фактичні значення енергетичної ефективності конвеєрного транспорту в схемах ЦПТ глибоких залізрудних кар'єрів наведені в таблиці 2.2.14.

Таблиця 2.2.14 - Показники енергетичної ефективності конвеєрного транспорту

Показник	Гірничозбагачувальні комбінати					
	ПівГЗК	ІнГЗК	НКГЗК	ЦГЗК	ПГЗК	Полтав-ський
Середня відстань транспортування, км	2,56	1,76	1,4	2,15	2,31	1,00
Середня висота підйому, м	172	180	260	270	174	153
Середня експлуатаційна швидкість, км/год	7,2-11,2					
Питома витрата електроенергії, кВт-ч/тм	0,534	0,646	0,921	0,665	0,485	0,814
Питома енергоємність, Вт-г/тм	0,008	0,0063	0,0047	0,0053	0,0064	0,0053
Питома дія, кВт-г-с/тм	0,038-0,059	0,020-0,031	0,081-0,013	0,014-0,021	0,027-0,043	0,011-0,016

Раніше були встановлені залежності довжини конвеєра від середнього кута підйому траси конвеєра і від погонного навантаження на стрічці (рисунок 2.2.15) [3]. Для визначення оптимального значення кута нахилу конвеєра, беручи до уваги

наведені вище графіки, а також вивід про динаміку збільшення погонного навантаження конвеєрної установки зі зміною висоти підйому транспортуємої гірської маси, отримані залежності коефіцієнта тари конвеєра від кута його нахилу (рисунок 2.2.16).

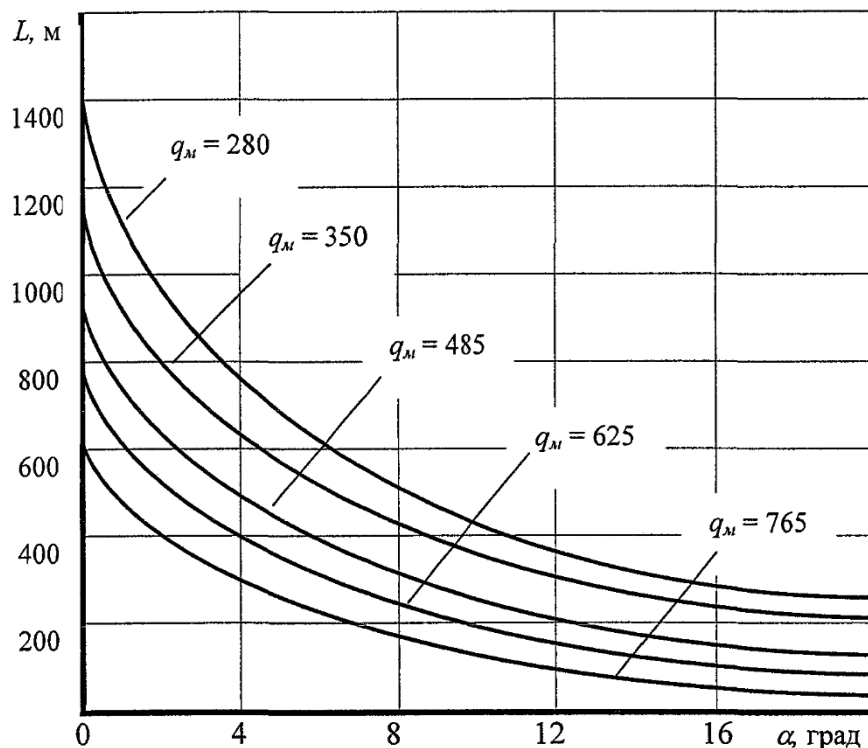


Рисунок 2.2.15 - Залежності довжини конвеєра (L) від середнього кута підйому (α) траси конвеєра і від погонного навантаження на стрічці (q_m)

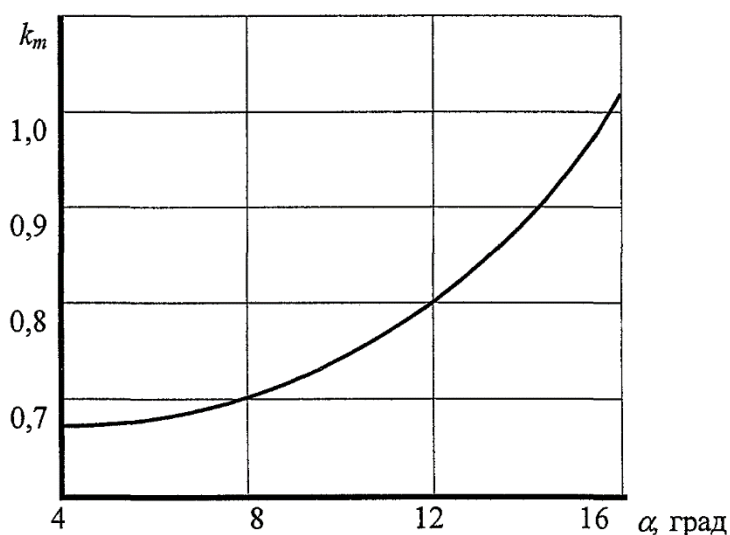


Рис.2.2.16 - Залежність коефіцієнта тари конвеєрів С-160160, С-200200 від кута нахилу ($k_T = f(\sin \alpha)$)

Рівняння кривої, що описує залежність k_T і кута нахилу траси конвеєра, має вигляд

$$k_T = 0,53992 + 1,30743 \cdot \sin \alpha. \quad (2.2.81)$$

Підставивши вираження (2.2.81) у рівняння (2.2.74), одержимо

$$D_K = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} \left[k_{ОПОР} (10,89973 + 1,30743 \sin \alpha) \frac{\omega_0}{\sin \alpha_K} + 1 \right]^2}{N_{ПИТ} \cdot \eta_{П}^2}. \quad (2.2.82)$$

Отримане вираження (2.2.82), так само як і при розрахунках залізничного транспорту, відбиває взаємозв'язок величини питомої дії конвеєра D , кВтг-с/тм (конвеєр С-200200) з кутом його нахилу. Щоб знайти оптимальне значення кута нахилу, при якому дія конвеєра досягає мінімального значення, досліджуємо функцію на екстремум. Дорівнявши похідну функції $D=f(\alpha)$ до нуля, $D'(\alpha)=0$, при цьому, прийнявши $\sin \alpha \approx x$, отримаємо

$$0,0000121x^4 + 0,000113x^3 - 0,000939x + 0,000838 = 0. \quad (2.2.83)$$

Розв'язуючи дане рівняння, запишемо значення оптимального кута нахилу конвеєра С-200200 по енергетичному критерію $x = 0,317$. Отже, $\alpha \approx 18,5^\circ$.

Зміна питомої дії від кута нахилу конвеєрного става наведена на рисунку 2.2.17.

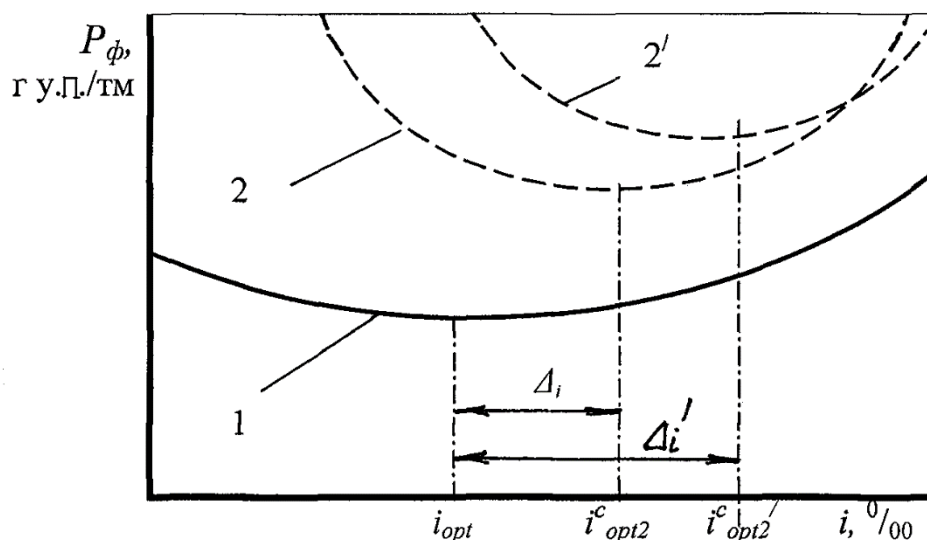


Рисунок 2.2.17 - Залежність питомої дії (D_K) стрічкових конвеєрів при русі на підйом від кута нахилу (α)

Отримане значення оптимального кута нахилу конвеєра за енергетичним критерієм $\alpha = 18,5^\circ$ має частковий характер. Практика відкритих гірських робіт показує, що робота конвеєрних комплексів залежить не тільки від фізико-технічних характеристик транспортуємих порід, але і від особливостей експлуатації конвеєрних ліній у взаємозв'язку з іншими технологічними процесами гірського виробництва, виємочним і транспортним устаткуванням. Тому один зі шляхів

підвищення продуктивності і ефективності роботи конвеєрного транспорту є спеціалізація його устаткування. Спеціалізований конвеєрний транспорт повинен мати, насамперед, резерви збільшення подоланого підйому з мінімальними витратами на метало- і матеріалоємність конвеєрних установок.

Оптимальний позовжній ухил трас за енергетичним критерієм для окремих видів транспорту і конкретних моделей транспортних засобів слід розглядати як частковий оптимум і нижню межу ухилу, яку рекомендується приймати при проектуванні транспортних систем. Він визначається паливною економічністю, конструктивними параметрами транспортних засобів, якістю дорожнього покриття і характеризується відносною сталістю для конкретних моделей транспортних засобів. Остаточне прийняття рішення по керівних ухилах трас слід приймати на основі глобального оптимуму - питомої енергоємності всієї транспортної системи (рисунок 2.2.18).



1 - питомі енерговитрати магістрального транспорту; 2, 2' - питомі енерговитрати транспортної системи при глибині кар'єру H_K і H'_K ; i_{opt} - ухил траси за енергетичним критерієм (частковий оптимум), $t_{opt} = const$; i^C_{opt1} , i^C_{opt2} - оптимальні ухили траси магістрального транспорту по енергетичному критерію транспортної системи (глобальний оптимум); i^C_{opt1} , $i^C_{opt2} = f(H_K, V_{TP})$; Δi , $\Delta i'$ - інтервали зміни оптимального ухилу зі збільшенням глибини розробок.

Рисунок 2.2.18 - Вибір області оптимальних ухилів для різних видів кар'єрного транспорту

Збільшення глибини кар'єрів сприяє підвищенню керівних ухилів трас, у першу чергу магістральних видів транспорту в комбінованих транспортних системах. У цьому випадку програє в енерговитратах магістральний транспорт, але в цьому випадку ми виграємо в енерговитратах транспортної системи в цілому за рахунок скорочення розносу бортів кар'єру, обмеження зони роботи найбільш енергоємного складального автотранспорту і ін. Різниця значень оптимальних ухилів за

енергетичним критерієм для магістрального виду транспорту і транспортної системи в цілому визначає деякий інтервал Δi , що має тенденцію до збільшення з ростом глибини кар'єрів. Даний інтервал є областю прийняття технічних і технологічних рішень при проектуванні транспортних систем глибоких кар'єрів.

Зупинимося на енергетичних характеристиках інших видів транспорту глибоких кар'єрів. Серед них найбільший практичний інтерес представляють похилі скіпові і автомобільно-клетьові підйомники. Середня питома витрата електроенергії скіповим підйомником СНК-40, що експлуатувалися на Сібайському кар'єрі, склала 0,0077 кВт-г/тм. Енергетична ефективність характеризувалася наступними показниками: $P_{\phi.СК} = 2,8$ г у.п./тм; $\eta = 12\%$. Розрахункові показники енергетичної ефективності проєктованих скіпових (СНК-75) і автомобільно-клетьових (АНК-75) підйомників становлять: $P_{\phi.СК} = 2,1 - 2,2$ г у.п./тм; $\eta - 15,2 - 15,9\%$. Енергоємність різних типів шахтних вертикальних скіпових підйомників ($P_{\phi.СК} = 1,4 - 1,9$ г у.т./тм; $\eta = 17 - 23,4\%$.) перебуває на рівні показників кар'єрного конвеєрного транспорту. Зіставлення енергетичної ефективності різних видів транспорту за фактичним даними залізрудних кар'єрів наведені в таблиця 2.2.15.

Таблиця 2.2.15 - Фактичні показники енергетичної ефективності різних видів кар'єрного транспорту глибоких кар'єрів

Вид транспорту	Показник			
	Питома енергоємність			Питома дія, г у.п.-с/тм
	г/тм	кВт-г/тм	г у.п./тм	
Автомобільний	2,3...2,8		4,4...5,2	34,6...62,4
Залізничний	-	0,010...0,012	3,6...4,4	126,7...242,4
Конвеєрний	-	0,005...0,008	1,7...2,8	11,9...29,2

Установлено, що в умовах глибоких кар'єрів енергетична ефективність конвеєрного транспорту в 1,6-2,1 рази вище, чим електрифікованого залізничного транспорту, та в 1,9-2,6 рази вище, чим автомобільного. Тому при формуванні комбінованих транспортних систем особлива увага повинна приділятися глибокому введенню конвеєрного транспорту і підтримці об'ємів складальних автоперевезень на мінімальному, технологічно необхідному рівні.

Незважаючи на те, що автомобільний транспорт залишається найбільш енергоємним, по показникові питомої дії в глибоких кар'єрах він в 3,5 - 3,8 рази ефективніше залізничного. Це в першу чергу свідчить про високу продуктивність автотранспорту і про подальші перспективи його застосування в глибоких кар'єрах, що підтверджується досвідом розробки кар'єрів США, Канади і інших країн.

Енергетичні показники різних видів транспорту при роботі на горизонтальних трасах значно відрізняються від установлених при русі на підйом:

Автотранспорт	95 - 130 г у.п./ткм
Залізничний транспорт	34 - 45 г у.п./ткм
Конвеєрний транспорт	57 - 70 г у.п./ткм

Тут повною мірою реалізуються переваги залізничного транспорту. Його енергетична ефективність у порівнянних умовах в 2,5 - 3,0 рази вище, чим автомобільного, і в 1,5 - 2 рази вище, чим конвеєрного. У зв'язку із цим залізничний транспорт на відкритих розробках США і інших країн отримав найбільше поширення як поверхневий, а не внутрішньокар'єрний транспорт.

2.3 Висновок по розділу

Згідно розробленої методики оптимізації ухилів кар'єрних трас за критерієм енерговитрат на підйом гірської маси можна визначити оптимальні керівні ухили для різних видів засобів транспортування.

Установлено: для автосамоскидів з електромеханічною трансмісією оптимальний керівний ухил визначається якістю дорожнього покриття і становить:

- для автодоріг з асфальтобетонним покриттям 8 - 10‰,
- для щебених автодоріг 9 - 11‰,
- для автодоріг без покриття на скельній основі 10 - 12‰;
- для електрифікованого залізничного і конвеєрного транспорту оптимальний ухил (кут нахилу конвеєрного підйому) становить:

при експлуатації тягових агрегатів 40-50‰

для електровозної тяги 30-40‰;

- для стрічкових конвеєрів великої продуктивності кут їх нахилу становить 17° - 19°.

3 ОСНОВНІ НАПРЯМКИ ЗНИЖЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ КАР'ЄРНИМ ТРАНСПОРТОМ

3.1 Оцінка енергоємності транспортних систем глибоких кар'єрів

Основний об'єм гірської маси на глибоких кар'єрах чорної металургії добувається по технологічних схемах із застосуванням комбінованого автомобільно-залізничного транспорту. Питома енергоємність технологічних схем з автомобільно-залізничним транспортом становить 1,47-1,89 кг у.п./т (42,8-55,5 МДж/т) (таблиця 3.1.1). При цьому енерговитрати на перевезення гірської маси транспортом займають 47,1-76,8% у загальній енергоємності технологічної схеми, складальним автотранспортом 21,8-27,3%, магістральним залізничним транспортом 42,8-53,3%. Енерговитрати на буравлення вибухових шпар складають 1,1-5,9% загальної енергоємності, на екскавацію у забої 7,7-13,6%, на екскаваторне перевантаження 7,8-10,0%, на відвалоутворення 5,4-8,6%.

Таблиця 3.1.1 - Питома енергоємність технологічних схем з комбінованим автомобільно-залізничним транспортом, кг у.п./т (МДж/т)

Технологічний процес	Кар'єр				
	Сарбайський	Південий ГЗК	Центральний ГЗК	Північний ГЗК	Інгулецький ГЗК
Буріння	0,073	0,086	0,048	0,032	0,083
Екскавація	0,149	0,167	0,223	0,200	0,136
Складальний транспорт	0,437	0,320	0,387	0,463	0,482
Перевантаження	0,106	0,147	0,127	0,154	0,113
Магістральний транспорт	0,997	0,628	0,712	0,904	0,847
Відвалоутворення	0,101	0,113	0,140	0,140	0,122
Всього кг у.п./т	1,863	1,467	1,637	1,893	4,774
МДж/т	54,520	42,81	47,97	55,46	54,900

Питома енергоємність схем циклічно-потокової технології глибоких кар'єрів становить 0,98-1,15 кг у.п./т (28,9-33,7 МДж/т), що на 50,2-64,1 % менше енергоємності технологічних схем з автомобільно-залізничним транспортом (таблиця 3.1.2). При цьому на складальний автотранспорт доводиться 37,9-55,1% загальних енерговитрат, на магістральний конвеєрний 22,6-42,6%.

Технологічні схеми із самостійним залізничним транспортом в основному представлені відпрацьовуванням верхніх і середніх горизонтів потужних

залізорудних кар'єрів. Їхня питома енергоємність складає 1,0-1,2 кг у.п./т (29,0-34,0 МДж/т) (таблиця 3.1.3).

Таблиця 3.1.2 - Питома енергоємність схем ЦПТ залізорудних кар'єрів, кг у.п./т (МДж/т)

Технологічний процес	Кар'єр			
	Південний ГЗК	Інгулецький ГЗК	Полтавський ГЗК	Новокриворизський ГЗК
Буріння	0,055	0,083	0,072	0,066
Екскавація	0,129	0,136	0,107	0,103
Складальний транспорт	0,418	0,518	0,581	0,410
Перевантаження	0,031	0,020	0,057	0,027
Магістральний транспорт	0,470	0,393	0,238	0,379
Всього кг у.п./т	1.103	1.150	1.055	0.985
МДж/т	(32,310)	(33,690)	(30,920)	(28,860)

Примітка: На кар'єрі Південного ГЗК в якості складального використовується залізничний транспорт, на інших - автомобільний.

Таблиця 3.1.3 Питома енергоємність технологічних схем з автомобільним і залізничним транспортом

Кар'єр	Питома енергоємність				
	технологічних процесів				технологічних схем, кг у.п./т (МДж/т)
	Буріння	Екскавація	Транспор- тування	Відвало- утворення	
Схеми з автотранспортом					
Центральний	0,049	0,138	1,033	0,031	1,251 (36,65)
Першотравневий кар'єр ПівнГЗК	0,066	0,107	0,817	0,028	1,018 (29,83)
Схеми з електрифікованим залізничним транспортом					
Південний ГЗК	0,061	0,158	0,660	0,109	0.988 (28,95)
Сарбайский ГЗК	0,080	0,167	0,778	0,101	1,126 (32,99)

Область застосування технологічних схем з автосамоскидами в якості самостійного виду транспорту на гірничодобувних підприємствах чорної металургії обмежена початковим періодом розробки і кар'єрами невеликої глибини (до 100-150 м) і продуктивності. Більш широку область застосування мають магістральні автоперевезення на кар'єрах по видобутку кольорових металів, що

обумовлене специфічними умовами їх розробки (обмежені розміри в плані, складне залягання корисних копалин, невелика продуктивність по гірській масі і ін.).

На кар'єрах чорної металургії, розробляємих із застосуванням автотранспорту, питома енергоємність технологічних схем становить 1,0-1,5 кг у.п./т (29,0-44,0 МДж/т). У глибоких кар'єрах кольорової металургії питома енергоємність досягає 1,8-2,0 кг у.п./т (52,8-58,6 МДж/т). При цьому частка автотранспорту в загальній енергоємності збільшується до 85-90%.

По питомій енергоємності технологічні процеси відкритих гірських робіт на глибоких кар'єрах можна розділити на дві групи:

1) Процеси, що характеризуються відносно стабільними значеннями питомої енергоємності. До таких процесів відноситься буравлення, екскавція і відвалоутворення.

2) Процеси, питома енергоємність яких зростає зі збільшенням глибини гірських робіт. У першу чергу до таких процесів відноситься транспортування гірської маси. Із впровадженням на кар'єрах багатоланкових схем комбінованого транспорту (автомобільно-конвейєрно-залізничний і ін.) слід очікувати різке збільшення енерговитрат на перевантаження гірської маси.

Слід зазначити такий факт: зміна енергоємності транспортування гірської маси автосамоскидами через скорочення обсягів виробництва має більш стабільний характер у порівнянні зі зміною енергоємності залізничних перевезень. Про це свідчить графік, представлений на рисунку 3.2.1. Вилучення гірської маси на ряді залізничних кар'єрів в 2000 р. становила 190 млн. т/рік, в 2015 р. - 55 млн. т/рік, тобто змінилася в 3, 5 рази. При цьому зміна енергоємності склала 7,6 - 8,4% для автомобільного транспорту, а при експлуатації залізничного транспорту - в межах 21,4 - 24,2%. Таким чином, автомобільний транспорт є найбільш пристосованим до технології відкритих робіт, внаслідок меншої постійної складової, необхідної, зокрема, при використанні залізничного і конвеєрного транспорту, для обслуговування підстанцій, контактних електричних мереж, утримання колії і т.п.

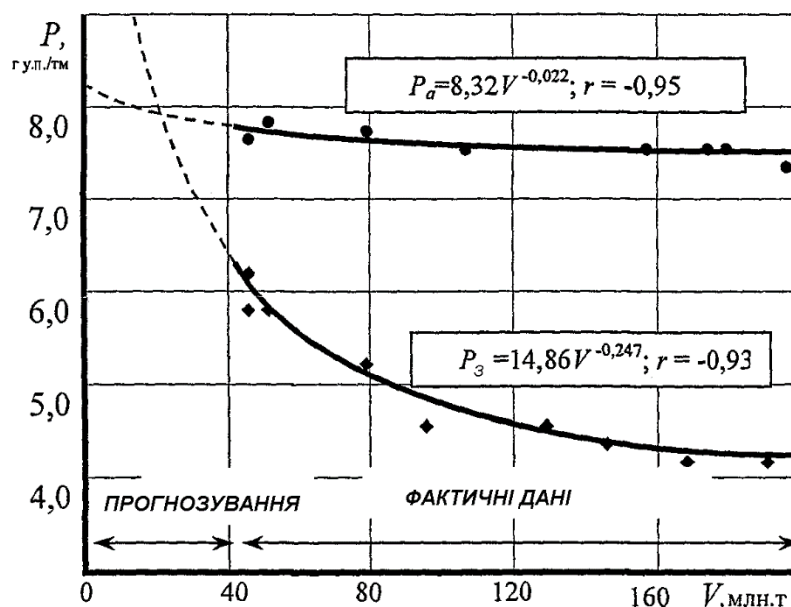


Рисунок 3.2.1 - Зміна енергоємності транспортування гірської маси в умовах залізрудних кар'єрів за 2000-2015 рр.

«Гнучкість» кар'єрного транспорту може бути визначена коефіцієнтом адаптивності:

$$k_{AD} = \frac{\Delta P \cdot V_1}{\Delta V \cdot P_1} \cdot 100\%, \quad (3.1.1)$$

де ΔP - зміна питомої енергоємності транспортування гірської маси, г у.п./тм ($\Delta P = P_1 - P_2$); ΔV - зміна обсягів перевезень гірської маси, млн.т ($\Delta V = V_1 - V_2$).

Кращої адаптивності енергетичних показників транспорту до зміни обсягів перевезень відповідає мінімальне значення коефіцієнта k_{AD} . Установлено, що коефіцієнт адаптивності енергетичних показників автотранспорту становить 0,65 - 0,86%, залізничного 8,33 - 11,0%, конвеєрного 13,51 - 18,10%.

3.2 Шляхи зниження розходу дизельного палива технологічним автотранспортом

Основні фактори зниження розходу дизельного палива на технологічних автоперевезеннях кар'єрів можна розділити на три групи: технологічні, конструктивні і організаційно-економічні. Технологічні фактори включають:

- скорочення відстаней транспортування і висоти підйому гірської маси автосамоскидами;
- повне використання вантажопідйомності автосамоскидів;
- застосування оптимальних ухилів, ширини автодоріг і параметрів маневрових майданчиків;
- удосконалювання утримування кар'єрних автодоріг;
- улаштування внутрішньокар'єрних стоянок, наближення заправних станцій

до місць роботи.

Серед технологічних факторів скорочення розходу дизельного палива в комбінованих транспортних схемах кар'єрів особлива увага приділяється підтримці об'ємів і відстаней автоперевезень на мінімальному технічно необхідному рівні, а також розподілу частини об'ємів зі складального на магістральний транспорт (залізничний, конвеєрний), які характеризуються більш високими показниками енергетичної ефективності. Однак на практиці це не завжди досягне через відставання швидкості зниження комунікацій залізничного транспорту і перевантажувальних пунктів від швидкості зниження гірських робіт у зоні автотранспорту, стаціонарності перевантажувальних пунктів ЦПТ і т.п.

При створенні і впровадженні мобільних комплексів циклічно-потокової технології розширюються можливості зниження енергоспоживання за рахунок організації перевезень складальним автотранспортом "зверху вниз" при русі навантажених автосамоскидів на спуск. Ефективність електродинамічного гальмування навантажених автосамоскидів при переміщенні на спуск обмежується потужністю, що розсіюється гальмовими резисторами. За даними гірничорудних підприємств (Інгулецький ГЗК), при переміщенні навантажених автосамоскидів на спуск більш 4% були випадки перегріву гальмових резисторів і відмови гальм. У зв'язку із цим Білоруський автозавод не рекомендує експлуатацію дизель-електричних автосамоскидів на перевезеннях гірської маси «зверху вниз» при ухилах 8-10%. Зазначене завдання вирішується шляхом впровадження примусового охолодження гальмової системи. Проходять випробування дослідні зразки автосамоскидів Белаз-75201, обладнаних гальмовими резисторами обдуваемого типу УВТР-2х600 із приводом вентиляторів від тягових мотор-колес ДК-722 і призначених для роботи на спусках.

Установлено, що середньотехнічні швидкості при роботі автосамоскидів на спуск гірської маси в 1,1 - 1,37 рази перевищують відповідні швидкості при роботі на підйом. Конкретне значення збільшення швидкості визначається співвідношенням похилих і горизонтальних ділянок у загальній довжині траси. Відповідно, при роботі на спуск гірської маси досягається на 5-20% більша продуктивність автоперевезень.

Розрахунками встановлено, що питома витрата палива при роботі автосамоскидів на підйом скорочується в 1,1-1,75 рази залежно від співвідношення похилих і горизонтальних ділянок у загальній довжині траси. Так, при середній відстані транспортуванні 2 км і висоті підйому гірської маси автосамоскидами БелАЗ-7512 100 м питома витрата дизельного палива становить 117,9 г/ткм. При відповідній відстані і глибині спуска гірської маси 100 м питома витрата дизельного палива знижується до 75,2 г/ткм.

Отримані закономірності використані при обґрунтуванні комплексу ЦПТ розробки скельного розкриву на Первомайському кар'єрі Північного ГЗК. Рациональне розташування пересувних дробильно-перевантажувальних установок ДПУ-2000 вибирали за критерієм мінімуму енерговитрат на транспортування гірської маси. Установлено, що в 2010 р. при використанні в робочій зоні однієї ДПУ-2000 оптимальним місцем розташування її є горизонт -160 м (висота зони, що обслуговується, 174 м, максимальна глибина спуска гірської маси 57 м, середньозважена відстань транспортування 1,8 км). При цьому деяке підвищення питомої енергоємності гірської маси конвеєрами повністю компенсується зниженням розходу дизельного палива на складальних автоперевезеннях. Загальна енергоємність комплексу ЦПТ знижується на 15-17% у порівнянні з енергоємністю при традиційному розміщенні перевантажувальних пунктів у верхній частині робочої зони.

Найважливішим напрямком ресурсозбереження на технологічному автотранспорті є збільшення ухилів автодоріг. У технологічному аспекті застосування підвищених ухилів дозволяє скоротити підвищений рознос бортів кар'єрів від розміщення транспортних комунікацій. Обсяг додаткового розносу бортів визначається по відомій формулі:

$$V_D = \frac{H_K^2}{2i} \cdot B \cdot k_P, \quad (3.2.1)$$

де V_D - об'єм додаткового розносу бортів, м³; H_K - глибина кар'єру, м; B - ширина автоз'їзду, м; i - керівний ухил, ‰; k_P - коефіцієнт розвитку траси.

Проведені дослідження показують, що формула (3.2.1) не враховує ряду суттєвих факторів, що визначають додатковий рознос бортів: розміри кар'єрного поля, схему розкриття, кривизну борту в плані. Об'єм розносу траси на криволінійній ділянці можна визначити по наступній наближеній формулі (м³):

$$V_{D.KP} = V_D \frac{H_K + h_i}{2h_i}, \quad (3.2.2)$$

де V_D - об'єм розносу для прямолінійної ділянки траси (м³), що визначається по формулі (3.2.1); h_i - різниця відміток дна кар'єру і горизонту, на якому розташовується з'їзд, м.

Після математичного перетворення формула (3.2.2) прийме наступний вид:

$$V_D = \sum_{h_i=h_y}^{H_Y} \frac{(H_K - h_i + 0,5h_y)}{i} \cdot B \cdot h_y \cdot k_P \frac{(H_K + h_i)}{2h_i} \quad (3.2.3)$$

або

$$V_D = \sum_{h_i=h_y}^{H_Y} \frac{(H_K - h_i^2) + 0,5h_y(H_K + h_i)}{2h_i \cdot i} \cdot B \cdot h_y \cdot k_P, \quad (3.2.4)$$

де H_Y - висота уступу, м.

Розрахунки проведені для таких умов: автосамоскиди БелАЗ-7512,5=26 м, $H_Y=15$ м, $k_P=1,1$ м. Встановлено, що значення ухилу впливає на додатковий рознос бортів, особливо на обмежених в плані кар'єрах, що мають криволінійну форму траси. Так, при спіральній формі траси ($L_D \rightarrow \min$ і $H_K = 400$ м) підвищення ухилу з 8 до 16‰ приводить до скорочення розносу борту на 48 млн.м³. На кар'єрі витягнутої форми ($L_D = 1000$ м) при аналогічних умовах скорочення об'єму додаткового розносу складе 14,3 млн. м³.

В енергетичному аспекті збільшення ухилів автодоріг у певному діапазоні дозволяє скоротити витрату дизельного палива на транспортування гірської маси. Це можна пояснити, ґрунтуючись на формулах, наведених у блок-схемі, складеної для розрахунків розходу дизельного палива (рис П 3.1). При збільшенні ухилу з i_1 до i_2 ($i_1 > i_2$) питома витрата дизпалива навантаженим автосамоскидом (л/км) збільшується в k_i раз.

$$k_i = \frac{\omega_0 + i_2}{\omega_0 + i_1}, \quad (3.2.5)$$

де ω_0 - питомий опір руху.

У той же час, загальна витрата палива у вантажному напрямку знижується в k_i раз

$$k_i = \frac{l_1}{l_2} = \frac{i_1}{i_2}, \quad (3.2.6)$$

тобто пропорційно скороченню відстаней транспортування. Таким чином, коефіцієнт зниження розходу дизельного палива навантаженими автосамоскидами при русі по похилих ділянках становить

$$k_i = \frac{k_i}{k_l}, \quad (3.2.7)$$

причому, $k_l < 0$, оскільки $k_l > k_i$.

Проведені розрахунки показують, що скорочення розходу дизельного палива за транспортний цикл залежно від глибини кар'єру буде становити 1,6-2,4% на 1% збільшення керівного ухилу траси.

Важливим напрямком зниження енергоспоживання при експлуатації автотранспорту в робочій зоні кар'єрів є оптимізація схеми розкриття тимчасовими автозїздами. Розроблений метод оптимізації заснований на поділі вантажообігу на дві складові: мінімально необхідну вертикальну частину вантажообігу по підйому гірської маси до перевантажувальних пунктів і технологічно необхідну горизонтальну частину, яка мінімізується за рахунок вибору кількості місця розташування розкривних виробіток, і порядку відпрацьовування кар'єрного поля. Це особливо актуально для складального автотранспорту залізорудних кар'єрів, де горизонтальна складова досягає 35-50% загального вантажообігу. Розрахунки показують, що оптимізація схем автотранспортних комунікацій забезпечує зниження горизонтальної складової вантажообігу на 20-40% при відповідному скороченні розходу дизельного палива на 2-6%.

На витрати палива істотно впливають конструкція, параметри і стан кар'єрних автомобільних доріг. Для забезпечення раціональних режимів руху, скорочення втрат часу чекаючи навантаження і розвантаження повинні вибиратися оптимальні схеми під'їздів для навантаження, а також маневрів на розвантажувальному майданчику. Особливо важливо забезпечити достатні радіуси повороту автосамоскидів. Для нормальної експлуатації і усунення впливу розмірів маневрових майданчиків і радіусів закруглень на роботу автосамоскидів необхідно, щоб радіуси повороту автосамоскидів були не менш ніж на 30 % більше їхніх мінімальних значень. Автомобільні дороги на багатьох кар'єрах не відповідають сучасним технічним вимогам, пропонованим конструкціями автосамоскидів. Автодороги мають невисокі транспортно-експлуатаційні показники і низьку надійність конструкцій дорожніх покриттів, що приводить до збільшення опору коченню. Збільшення опору коченню на автодорогах із щебеневим покриттям на 1кН/т супроводжується підвищенням розходу палива на 0,8-1,2%. Так, підвищена (на 15-20%) витрата дизельного палива на кар'єрі Центрального ГЗК пояснюється в основному високим значенням опору коченню (40-45 кН/т), обумовленим пружними деформаціями дорожніх покриттів, що облаштовуються на рихлій основі. Конструкції дорожніх покриттів для сучасних автосамоскидів повинні мати підвищену несучу здатність, розраховану на осьові навантаження до 2000 кН,

відповідати складу, інтенсивності руху автотранспорту і терміну служби автодоріг. Дослідженнями встановлене, що навіть для автосамоскидів особливо великої вантажопідйомності (120-180 т) цілком придатні автодороги із щобеневим покриттям, але з необхідним підбором якісних будівельних матеріалів, ретельним укоченням і обробкою в'язкими речовинами.

Зі зниженням гірських робіт на кар'єрах збільшується відстань порожнякового пробігу автосамоскидів, що приводить до зниження коефіцієнта використання пробігу, продуктивності і підвищенню розходу палива. Найбільшою мірою це проявляється на складальних перевезеннях, що характеризуються значною далекістю (до 4-10 км) зони роботи автотранспорту від пунктів технічного обслуговування і заправлення автосамоскидів. З метою зниження порожнякових пробігів рекомендується влаштовувати тимчасові стоянки для перезміни водіїв, пункти заправлення паливом і мастильними матеріалами, пости для виконання дрібних поточних ремонтів безпосередньо в кар'єрі. Позитивний досвід експлуатації таких стоянок є на кар'єрах Північного і Центрального ГЗК. Дослідження показують, що облаштування внутрішньокар'єрних стоянок економічно виправдане при глибині кар'єрів більш 200-250 м і віддаленості виробничо-технічної бази від місця роботи на відстань більш ніж 2,5-3,0 км.

Конструктивні фактори відіграють більшу, а іноді визначальну, роль у розході палива на кар'єрному автотранспорті. Серед них немаловажне значення має власна маса автосамоскида. При русі навантажених автосамоскидів 43-45% розходу палива припадає на підйом власної маси. Коефіцієнт тари автосамоскидів становить 0,76-0,92, що на 8-20% вище, чим у закордонних аналогів. Для зниження маси тари необхідно застосовувати високоякісні сталі, легені сталі, синтетичні матеріали. Кузов автосамоскида є найбільш металомістким вузлом, його маса досягає 30% власної маси машини. Є можливість на 4-5% підвищити паливну економічність за рахунок застосування для кузовів легких сплавів, а також випуску змінних кузовів для перевезення порід з різною об'ємною масою (таблиця 3.2.1).

Резерви зниження розходу палива знаходяться також у конструктивному вдосконалюванні автосамоскида і дизельного палива двигуна. Серед них застосування низькооборотних двигунів, підвищення ККД трансмісії, збільшення числа передач на автосамоскидах з гідродинамічною трансмісією. Розрахунки показують, що при переході на низькооборотні двигуни питома витрата палива при номінальному навантаженні двигуна (г/кВт-г) може бути знижена на 6-7%.

Таблиця 3.2.1 - Раціональна місткість кузовів кар'єрних автосамоскидів

Модель автосамоскида	Місткість кузова, м ³		
	$\gamma = 1,2-1,7 \text{ т/м}^3$	$\gamma = 1,7-2,5 \text{ т/м}^3$	$\gamma = 2,5-3,5 \text{ т/м}^3$
БелАЗ-75405	20	15	12
БелАЗ-7548	30	25	21
БелАЗ-7549	48	40	35
БелАЗ-7512	67	56	45
БелАЗ-7521	110	92	74

Перспективна розробка і застосування на автосамоскидах особливо великої вантажопідйомності двигунів із відключаємою секцією циліндрів на холостих оборотах, що дозволить скоротити витрату палива під час навантаження і очікування на 35-40%, а під час руху в порожняковому напрямку - на 23-28%.

У майбутньому на кар'єрному автотранспорті знайдуть застосування комбіновані енергосилові установки.

У якості вторинного джерела живлення можна використовувати електричні або інерційні акумулятори. На автосамоскидах з такими установками передбачається можливість підзарядки вторинного джерела живлення шляхом рекуперації енергії гальмування, що дозволить майже повністю компенсувати витрату палива на підйом власної маси автомобіля у вантажному напрямку.

На питому витрату палива впливає конструкція шин. Вважається можливим досягнення економії палива на 3-4% шляхом заміни діагональних шин на радіальні типу "P" і підвищення внутрішнього тиску в шинах.

У цей час на кар'єрах галузі є значні організаційні можливості зниження розходу дизельного палива, що включають:

- удосконалювання керування роботою автотранспорту, у тому числі впровадження автоматизованих систем керування з комп'ютерними пристроями;
- підвищення якості технічного обслуговування і ремонту автосамоскидів;
- удосконалювання нормування і планування розходу палива. Особлива увага повинна бути звернена на своєчасність і якість технічного обслуговування і ремонтів, при яких усуваються дефекти, що викликають підвищену витрату палива. Для встановлення дефектів необхідно використовувати сучасні засоби діагностики і настроювання параметрів двигунів і електротрансмісії автосамоскидів. Періодична діагностика і регулювання параметрів роботи дизельного двигуна і паливної апаратури дозволяють зменшити питому витрату палива по парку автосамоскидів не менш ніж на 5% у порівнянні.

Економія пально-мастильних матеріалів може бути досягнута впровадженням науковообґрунтованого нормування і планування їх розходу. Подальше вдосконалювання нормування і планування розходу палива кар'єрним автотранспортом повинно йти в напрямку повного врахування впливаючих факторів: технічного стану автосамоскидів, якості дорожнього покриття, використання вантажопідйомності і т.п. Цьому буде сприяти розробка і впровадження вбудованих комп'ютерних систем обліку роботи автосамоскидів.

У цей час офіційним документом для нормування і планування розходу дизпалива на автомобільному транспорті, у тому числі кар'єрному, є «Норми витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті», затверджені наказом Міністерства транспорту України від 10 лютого 1998 р. № 43 (із змінами і доповненнями, останні з яких внесено наказом Міністерства інфраструктури України від 24 січня 2012 року № 36) [12]. Зазначені норми не враховують специфіки умов експлуатації кар'єрних автосамоскидів, мають розбіжність із фактичними показниками до 2-3 разів.

Норми розходу дизельного палива представляються в табличній формі або у вигляді математичних залежностей від визначальних факторів - відстані транспортування (X), висоти підйому гірської маси (H_n) і глибини спуска гірської маси (H_c) (таблиця 3.2.2).

Для визначення лінійної норми на складній трасі N_a^{cl} траса руху ділиться на ділянки підйому, спуска і горизонтальні. L_n - сумарна довжина ділянок підйому, м. L_c - сумарна довжина ділянок спуска, м. L_2 - сумарна довжина горизонтальних ділянок траси, м. $L = L_n + L_c + L_2$ - відстань транспортування гірської маси. Визначаються сумарна висота підйому гірської маси H_n і сумарна глибина спуска H_c .

По формулах, представлених у таблиці 3.2.3, залежно від L_n , H_n і L_c , H_c визначаються норми розходу дизельного палива N_a^{ln} , N_a^{lc} , а залежно від L_2 , визначається норма розходу при роботі на горизонтальній ділянці N_a^{l2} . Потім розраховується норма розходу на складній трасі $N_a^{l(cl)}$.

Таблиця 3.2.2 - Залежність розходу дизельного палива автосамоскидами від визначальних факторів на кар'єрах ПАТ «Центральний ГЗК»

Модель авто-самоскиду	Схема роботи	Лінійна норма розходу дизпалива $N_n^L, \frac{л / 100 км}{г / т \cdot км}$	Норма розходу на нульовий пробіг $N_n^0, \frac{л / 100 км}{г / т \cdot км}$
БелАЗ-75405	На підйом гірської маси	$\frac{N_a^{ln} = 2,56H_n / L + 50,91 / L + 84,40}{N_a^{ln} = 1,47H_n / L + 29,32 / L + 48,61}$	$\frac{83,92}{725,07}$
	На спуск гірської маси	$\frac{N_a^{lc} = 0,63H_n / L + 50,91 / L + 84,40}{N_a^{lc} = 0,364H_n / L + 29,32 / L + 48,61}$	
БелАЗ-7512, БелАЗ-7519	На підйом гірської маси	$\frac{N_a^{ln} = 7,81H_n / L + 230,75 / L + 285,0}{N_a^{ln} = 1,42H_n / L + 41,97 / L + 51,48}$	$\frac{297,52}{2570,57}$
	На спуск гірської маси	$\frac{N_a^{lc} = 2,56H_n / L + 230,75 / L + 285,0}{N_a^{lc} = 0,46H_n / L + 41,97 / L + 51,48}$	

У випадку роботи автосамоскидів на складних трасах, лінійна норма розходу дизельного палива визначається з формул, представлених у таблиці 3.2.3.

Таблиця 3.2.3 - Лінійна норма розходу дизпалива автосамоскидами на складних трасах в умовах кар'єрів ПАТ «Центральний ГЗК»

Модель самоскиду	Лінійна норма розходу дизпалива $N_a^L, \frac{л / 100 км}{г / т \cdot км}$
БелАЗ-75405	$N_a^{L(сл)} = \frac{N_a^{L(n)}L_n + N_a^{L(c)}L_c + N_a^{L(z)}L_z - 101,60}{L_n + L_c + L_z}$
	$N_a^{L(сл)} = \frac{N_a^{L(n)}L_n + N_a^{L(c)}L_c + N_a^{L(z)}L_z - 58,52}{L_n + L_c + L_z}$
БелАЗ-7512, БелАЗ-7519	$N_a^{L(сл)} = \frac{N_a^{L(n)}L_n + N_a^{L(c)}L_c + N_a^{L(z)}L_z - 461,50}{L_n + L_c + L_z}$
	$N_a^{L(сл)} = \frac{N_a^{L(n)}L_n + N_a^{L(c)}L_c + N_a^{L(z)}L_z - 83,94}{L_n + L_c + L_z}$

3.3 Шляхи економії і раціонального використання електричної енергії на залізничному і конвеєрному транспорті

Основним споживачем електроенергії на гірничорудних підприємствах є залізничний транспорт. Він споживає до 85% загального розходу електроенергії по підприємству.

Зі зростанням глибини кар'єрів різко зростають енерговитратні, збільшується відстань транспортування, знижується продуктивність і росте трудомісткість залізничного транспорту. Збільшення висоти підйому гірничої маси на 1 т гірської маси залізничним транспортом на кожні 100 м підвищує енерговитрати на 2,5 кВт. Цей же показник для іншого наявного в кар'єрі устаткування, зайнятого в інших технологічних процесах (екскавація, буравлення, водовідлив, освітлення і т.д.), становить усього 1,03-1,05 кВт. Зростання енерговитрат із глибиною розробок негативно впливає на ефективність залізничного транспорту.

Для зменшення собівартості транспортування, скорочення трудових витрат і економії енергоресурсів при використанні технологічного залізничного транспорту в глибоких кар'єрах є наступні інженерні рішення:

- збільшення керівних ухилів залізничних колій;
- спрощення схем колійного розвитку;
- перспективне вдосконалювання тягових властивостей локомотива і підвищення надійності його роботи;
- застосування перспективних спеціалізованих, найбільш пристосованих до роботи в глибоких кар'єрах тягових агрегатів;
- удосконалювання схемно-режимних рішень.

Як і у випадку автотранспорту, важливим напрямком енергозбереження на залізничному транспорті є збільшення ухилів шляхів. Збільшення керівних ухилів залізничних колій дозволяє скоротити обсяги гірничокапітальних робіт з будівництва зовнішніх траншей і збільшити глибину їх закладення, забезпечуючи безпосередні (без тупиків) заїзди з поверхні на велику кількість горизонтів. Для досягнення кінцевої глибини кар'єру при більших величинах керівних ухилів, у порівнянні із застосовуваними в практиці проектування і експлуатації, потрібна організація меншого числа внутрішньокар'єрних роздільних пунктів, що безсумнівно спрощує загальну схему транспортних комунікацій. При скороченні довжини основних виїздів і з'єднувальних колій зменшуються об'єми колієперекладальних робіт. Крім того, зменшується відстань транспортування за рахунок подолання необхідної висоти підйому з більшим ухилом, а це, у свою чергу, приводить до скорочення числа транспортних засобів, витрат на облаштування транспортних комунікацій і т.д.

Збільшення корисної ваги поїздів при практично рівних швидкостях руху дозволяє підвищити провізну спроможність перегонів, що, у свою чергу, знижує питому вагу витрат на спорудження і утримування колійного розвитку і приводить до зниження енергоспоживання залізничним транспортом.

Скорочення розходу електроенергії на перевезення гірської маси досягається за рахунок того, що в моторних вагонах додатково перевозиться корисний вантаж, вага якого в сучасних агрегатах становить 90-110 т. При електровозній тязі зчіпна вага досягається за рахунок ваги електровозу, що є так званою «мертвою вагою поїзда». Використання моторних вагонів для перевезення вантажу дозволяє протягом року перевезти додатково 300-500 тис. т гірської маси. При середньому розході 0,18 кВт-г на 1 ткм перевезень економія витрат на електроенергію становить 9-13 тис. грн у рік розраховуючи на один тяговий агрегат зчіпною вагою 360 т. Крім того, деяка економія електроенергії буде і при русі в порожняковому напрямку, тому що вага порожнього складу, що доводиться на одиницю потужності, буде для тягових агрегатів менше, чим для електровозів.

До основних технологічних переваг мотор-вагонної тяги слід віднести також можливість збільшення ухилів шляхів виїзних траншей до 60-80‰ що дозволяє скоротити обсяги гірничокапітальних і розкривних робіт, а також розширити область ефективного застосування залізничного транспорту на глибоких кар'єрах. Безсумнівною перевагою цього виду тяги є також здатність освоєння в 2,0-2,8 рази більших об'ємів перевезень, що досить важливо для сучасних і перспективних особливо потужних кар'єрів.

Тягові агрегати при русі на ухилах споживають більші тягові струми. У більшості випадків низькі номінальні напруги в контактній мережі (1,5 кВ постійного струму) не забезпечують енергоживлення тягових агрегатів, викликають додаткові втрати в мережах. Впровадження тягових агрегатів на кар'єрах здійснюється разом з підвищенням напруги в контактній мережі до 3 кВ постійного і до 10 кВ змінного струму дозволить забезпечити надійне енергопостачання електрифікованих кар'єрних колій при глибині кар'єрів 300 м і більше.

Важливу роль у підвищенні енергетичної ефективності залізничного транспорту відіграє вдосконалювання тягових властивостей локомотива, підвищення надійності його роботи, тобто такі якості, які характеризують технічний рівень. Щодо цього тяговий агрегат, що складається з декількох (двох або трьох) тягових одиниць, має певні переваги перед електровозами, що працюють по системі багатьох одиниць, і мають загальну зчіпну вагу, яка дорівнює зчіпній ваги тягового агрегату. До таких переваг слід віднести зменшення числа силових апаратів і машин. На тяговому агрегаті змінного струму встановлюється один

потужний силовий трансформатор, два фазорозщеплювача, два мотор-компресори, загальні для всіх тягових одиниць, тоді як при електровозній тязі ці машини встановлюються на кожному електровозі.

Глибина вивезення гірської маси залізничним транспортом 300 - 350 м при ухилах виїзних шляхів 60-80‰ є граничною для локомотивної тяги (по міцності ударно-тягових приладів, стійкості залізничного полотна, нагріванню основного електрообладнання і передачі енергії по контактній мережі). Разом з тим при збереженні існуючих темпів збільшення глибини кар'єрів можна припустити, що в майбутньому глибина ряду кар'єрів сягне 600 м.

Для забезпечення ефективного застосування електричної тяги на кар'єрах глибиною 500 - 700 м необхідне створення такого типу ЕРС, який міг би надійно працювати на виїзних шляхах з кар'єру з ухилом 140-160‰ при збереженні оптимальної вагової норми поїзда для раціонального використання гірського і транспортного устаткування. Цим вимогам повною мірою буде відповідати перспективний електричний кар'єрний електропоїзд (ЕКА), що включає в себе моторні думпкари, усі осі яких мають привід від асинхронних тягових двигунів. Потужність тягових двигунів вибирають із розрахунку, щоб кожна тягова одиниця ЕКА на максимальному керівному підйомі (160‰) забезпечувала рух по траншеї зі швидкістю, що встановився, 25 км/г. Завдяки цьому на автозчепні пристрої будуть діяти тільки сили поздовжньої динаміка поїзда, а сумарна сила тяги всіх одиниць ЕКА при русі по керівному підйому не буде обмежена міцністю зчіпних пристроїв. Розосередження сили тяги на всі осі електропоїзда знімає також обмеження по зчепленню колісних пар з рейками (для забезпечення необхідної сили тяги на ухилі 160‰ досить стійко реалізувати коефіцієнт зчеплення 0,18). Застосування на всіх тягових одиницях ЕКА асинхронних тягових двигунів, які при русі по керівному підйому траншеї отримують живлення безпосередньо від трифазної контактної мережі (два контактні дроти і рейки), дозволяє значно зменшити необхідну потужність перетворювача, встановленого на локомотиві керування, завдяки чому суттєво знижується маса тари поїзда. Трифазна система енергопостачання траншейних маршрутів знімає обмеження по граничній потужності, переданої по контактній мережі при тій же номінальній напрузі (10 000 В).

Особливостями застосування ЕКА є: потужність перетворювача на локомотиві керування необхідна в 3-3,5 рази менша, ніж при використанні відомих тягових агрегатів; низькі вагогабаритні показники перетворювача, розосереджені по тягових одиницях ЕКА, дозволяють зберегти оптимальну вантажопідйомність поїзда у всьому діапазоні ухилів траншеї до максимального (160‰) При роботі ЕКА на менших ухилах виїзних траншів число моторних думпкарів може бути

зменшене, а до складу поїзда додатково включені причіпні (не моторні) думпкари. Залежно від конкретного ухилу траншеї і установленної оптимальної вантажопідйомності поїзда число моторних думпкарів у складі ЕКА може змінюватися від 1 до 12 без додаткового переобладнання ЕКА і його локомотива керування. Така простота зміни кількісного співвідношення моторних і причіпних думпкарів у складі поїзда значно розширює діапазон його ефективного застосування, завдяки чому ЕКА; може успішно працювати практично на всіх кар'єрах з будь-якими ухилами виїзних колій траншеї. На початковій стадії будівництва при розробці нових родовищ корисних копалин доцільно використовувати тільки локомотив керування. У міру розширення фронту робіт і збільшення масштабів вивезення гірської маси до нього додають певне число моторних і, відповідно, збільшують число причіпних думпкарів.

Кожна тягова одиниця електропоїзда має осьову формулу (2-2о) і при русі по виїзній траншеї з кар'єру реалізує наступні параметри при номінальній напрузі 10 кВ у трифазній контактній мережі:

Потужність, кВт	1640
Сила тяги, кН.....	235
Швидкість, км/год	25
Зчіпна вага кожної тягової одиниці, кН	1276
Вантажопідйомність моторного думпкара, т.....	70
Мінімальний радіус уписування в криві, м	60

Для забезпечення оптимальної вантажопідйомності поїзда (1000-1300 т) при роботі на кар'єрах із самими крутими підйомами виїзної траншеї (160%) число тягових одиниць у складі електропоїзда може бути збільшене до 13. У цьому випадку електропоїзд у процесі руху по виїзній траншеї зі швидкістю 25 км/год буде розвивати потужність 21 320 кВт і силу тяги 3055 кН при номінальній напрузі в трифазній контактній мережі 10 кВ. Реалізація таких параметрів на ЕРС традиційного типу, навіть на тягових агрегатах, що живляться від однофазної мережі, не представляється можливим ні по потужності системи енергопостачання, ні по вагогабаритним показникам перетворювачів енергії, встановлених на ЕРС.

Рациональним використанням електроенергії на залізничному транспорті в значній мірі визначається закладеними в тягових агрегатах схемно-режимними рішеннями. Так, досвід застосування на Качканарському і Коршуновському ГЗК тягових агрегатів EL-20 із двохзонним регулюванням швидкості руху виявив різке збільшення енерговитрат на перевезення гірської маси: питома витрата на Коршуновському ГЗК становила 2,9 кВт-г/т, у той час як при експлуатації тягових агрегатів ОПЭ-1А с чотирьохзонним регулюванням швидкості - 1,44 кВт-г/т. Таким чином, застосування тягових агрегатів ОПЭ-1А замість EL-20 забезпечує економію

електроенергії на технологічних перевезеннях Коршуновського ГЗК 8,6 млн. кВт-г у рік.

Важливу роль у зниженні енерговитрат технологічним залізничним транспортом відіграє вибір режиму транспортування гірської маси (режим тяги або режим штовхання). Робота локомотивів у режимі тяги має ряд переваг у порівнянні з роботою в режимі штовхання; наприклад, поліпшується взаємодія рухомого складу і колії, особливо на криволінійних ділянках. Дослідження роботи локомотиво-составів у режимі тяги і штовхання проводилися на модернізованому тяговому агрегаті ОПЭ-1АМ у реальних умовах експлуатації з метою порівняння енергетичних характеристик тягового агрегату в режимах штовхання і тяги при виїзді із траншеї з ухилом 40 і 50‰ з навантаженими складами з 10 і 11 вагонів 2ВР-105. Результати досліджень (таблиця 3.3.1) дозволили зробити наступні основні висновки:

1 Середня економія електроенергії тільки при виїзді по траншеї з ухилом 50‰ у режимі тяги в порівнянні з режимом штовхання для складу з 10 вагонів становить 2,58%, для складу з 11 вагонів 3,02%.

2 Витрата електроенергії при виїзді по траншеї з ухилом 50‰ у режимі тяги складу з 11 вагонів у порівнянні зі складом з 10 вагонів збільшується на 10,24%.

3 Витрата електроенергії при виїзді із внутрішньокар'єрної станції складу з 11 навантажених вагонів тільки по траншеї з ухилом 50‰ до роздільної вставки перед автомобільним мостом становить 1652,5 кВт-г. Те саме при виїзді із внутрішньокар'єрної станції по траншеї з ухилом 40‰ також до розділової вставки 1740,2 кВт-г, що на 5,3% більше.

4 Середній час виїзду від внутрішньокар'єрної станції до роздільної вставки перед автомобільним мостом з 11 навантажених вагонів у режимі штовхання по траншеї ухилом 50‰ становить 10,26 хв, по траншеї з ухилом 40‰ - 23,19 хв. Різниця в часі 12,93 хв.

5 Втрата електроенергії при зупинці тягового агрегату з навантаженими вагонами становить 16% у середньому затратуванні на ухилі.

6 Витрата електроенергії при повному циклі навантаження-розвантаження при виїзді по траншеї з ухилом 40‰ складу з 11 вагонів у режимі штовхання становить 2117 кВт-г, при виїзді із траншеї з ухилом 50‰ - 2084 кВт-г.

Таблиця 3.3.1 - Витрата електроенергії тяговим агрегатом ОПЭ-1АМ при вивозі руди з кар'єру

Кількість вагонів у складі	Ухил виїзної траншеї, %	Режим роботи тягового агрегату	Затрати електроенергії кВт-г									Повна тривалість циклу, хв.
			Загальний розхід	В тому числі на ділянках								
				Завантаження	Екскаватор - станція	Станція - ухил	Ухил	Ухил – роздільна вставка	Роздільна вставка - ДЗФ	Розвантаження	ДЗФ - екскаватор	
10	50	Тяга	2079	62,6	62,6		1459	-	325,7	27,6	204,4	84,8
10	50	Штовх.	2084	19,5	38,4	-	1681	-	191,2	36,1	117,7	80,9
11	40	Штовх.	2117	16,3	26,5	169,2	1444	46,8	184,8	29,3	227,4	72,9

Таким чином, режим витягування навантажених локомотиво-составів довів свою енергетичну ефективність (скорочення розходу електроенергії на вивозі руди становить 5-6%). Крім того, режим тяги дозволяє скоротити час транспортного циклу, знизити вплив поїздів на рейко-шпальну решітку верхньої будови колії, стабілізувати ширину колії, зменшити зношування деяких елементів колії і локомотиво-составів.

Шляхи зниження розходу електричної енергії на конвеєрному транспорті:

1 збільшення робочих кутів нахилу конвеєрних комплексів, отже, скорочення довжини транспортування конвеєрних ліній;

2 автоматизація конвеєрних ліній;

3 удосконалювання конструкцій конвеєрів;

4 створення допоміжних засобів і пристроїв забезпечення нормативної роботи установок, а саме:

- вибір оптимального приводу для конвеєрних установок з різними параметрами;

- розробка засобів і способів очищення барабанів і стрічок від налипаючого або намерзаючого матеріалу;

- удосконалювання конструкцій, навантажувальних і перевантажувальних пунктів, особливо при роботі на високих швидкостях руху.

Енергетична ефективність роботи конвеєрних комплексів залежить від структурної складності схеми транспортування. Зокрема, відмова навіть однієї машини приведе до вимушеного простою всієї системи.

У зв'язку зі зростанням глибини розробок особливе значення набуває створення і використання конвеєрних установок, здатних працювати на більших кутах нахилу конвеєрного ставу. Спеціалізований конвеєрний транспорт повинен мати, насамперед, резерви збільшення подоланого підйому з мінімальними метало- і матеріалоемністю, оптимально обрану форму жолоба, підвищену міцність стрічки, потужні багаторежимні приводні станції і ефективну організацію робочого процесу. Конкретно відносно стрічок є підстава припустити, що стрічкам на синтетичній основі буде віддана перевага (перед резинотросовими).

Істотним заходом зниження енергоспоживання комплексів ЦПТ є підвищення їх завантаження шляхом координації роботи суміжних транспортних ланок. Так, для дробарок ККД-1500/180 збільшення продуктивності з 1000 до 2000 т/г знижує витрату електроенергії з 0,14 до 0,08 кВт-г/т. Для конвеєрів таке ж підвищення продуктивності приводить до скорочення розходу електроенергії на 20-30%. При неповному завантаженні дробильно-конвеєрних комплексів зростає відносна частка потужності, що витрачається на подолання моменту холостого ходу. Суттєво знизити енерговитратні в такому випадку можна впровадженням безперервного ситуаційно-оптимального регулювання швидкості руху стрічки при зміні навантаження. Установлено, що розробка і впровадження електропривода з вентильно-каскадним регулюванням швидкості конвеєрних стрічок забезпечує зниження розходу електроенергії на 15%. У багатодвигунових електроприводах стрічкових конвеєрів, що складаються із декількох асинхронних електродвигунів однакової потужності, скорочення електроспоживання досягається послідовним відключенням при зниженні навантаження.

У таблиці 3.3.2 наведені характерні риси різних видів конвеєрів, визначені на основі енергетичного аналізу експлуатації конвеєрного транспорту і тенденцій його розвитку в умовах глибоких кар'єрів.

Конвеєрний транспорт сам по собі - безупинно автоматично діюча система. Однак автоматичне керування і регулювання окремих конвеєрів і їх комплексів разом з технічним і навантажувальним устаткуванням мають першорядне значення для подальшого підвищення енергетичної ефективності конвеєрного транспорту і усього гірського підприємства. Автоматизація із широким застосуванням засобів телемеханіки дає можливість регулювання найважливіших характеристик, технічних показників, таких як натяг стрічки в періоди пуску і усталеного руху, розподіл тягової сили між двигунами і приводами в багатопровідних конвеєрах, швидкість руху стрічки та ін.

Таблиця 3.3.2 - Фактори, що впливають на зміну енергоємності конвеєрного підйому при переміщенні крупнодробленої скельної гірської маси

Тип конвеєра	Фактори, що впливають на збільшення енергетичної ефективності	Фактори, що впливають на зниження енергетичної ефективності
Стрічковий	Швидкість транспортування гірничої маси до 3,5 м/с. Більша продуктивність. Кут нахилу конвеєрного ставу - 18°	Необхідність дроблення гірської маси перед транспортуванням
Стрічковий багатoprивідний із фрикційними приводами.	Швидкість транспортування гірської маси до 3,5 м/с. Більша продуктивність; Безперевантажувальний транспорт на більші відстані.	Збільшена метало- і матеріалоємність. Ускладнення конструкції приводу і електрочастини установки
Стрічково-канатний	Швидкість транспортування гірської маси до 3,5 м/с; Невелика металоємність; Висока довговічність і міцність конвеєрних стрічок	Більша довжина ставу
Стрічково-колісний	Можливість переміщення крупнокускової гірської маси. Кут нахилу конвеєрного става -18°	Швидкість – до 2м/с. Підвищена металоємність. Необхідність установки приводних живильників.
Пластинчастий	Можливість переміщення гірської маси, у тому числі на криволінійних ділянках траси	Збільшена метало- і матеріалоємність. Відсутність можливості крутонахиленого підйому

Матеріали, викладені вище і систематизовані в таблиці 3.3.3, свідчать про значні резерви підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів.

Таблиця 3.3.3 - Основні напрямки підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів

Напрямок	Очікуваний результат
Регулювання зони роботи технологічного кар'єрного транспорту своєчасним перенесенням перевантажувальних пунктів	Зменшення висоти підйому складальним автотранспортом на 10 м дозволяє заощадити на перевезенні 1 млн. т гірської маси 10-12 т палива; скорочення дальності транспортування на 100 м заощаджує 2,5-3,2 т палива
Впровадження мобільних комплексів ЦПТ (організація автоперевезення по схемі «згори – вниз»)	Скорочення розходу палива при русі завантажених автосамосвалів на спуск в 1.1-1.75 рази, зниження загальної енергоємності транспортних систем на 15-17%
Збільшення ухилів кар'єрних трас, у тому числі кутів конвеєрного підйому	Скорочення додаткового розносу бортів від розміщення транспортних комунікацій, зменшення розходу палива і електроенергії на 1,6-3,0% при збільшення ухилу на 1%
Облаштування внутрішньокар'єрних зупинок технологічного автотранспорту	Економія 8-15 т. дизельного палива на 1 млн. т гірської маси, перевезеної складальним автотранспортом, при $H_K \geq 200$ м
Оптимізація схеми розкриття робочих горизонтів тимчасовими автозїздами.	Зниження горизонтальної складової вантажообігу на 20-40%, скорочення розходу палива на 2-6%
Підвищення транспортно-експлуатаційної якості автошляхів і залізничних колій	Скорочення розходу палива на 0,8-1,2% при зниженні опору кочення па 1 кН/т
Поліпшення конструктивних якостей рухомого складу, розробка і впровадження рухомого складу для роботи на підвищених ухилах траси	Підвищення паливної економічності на 4-5%, підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності. Підвищення продуктивності автосамоскидів.
Удосконалювання управління роботою кар'єрного транспорту. Розробка і впровадження автоматизованих експертних систем планування, нормування і аналізу розходу дизельного палива і електроенергії	По практиці гірничорудних підприємств, досягається зниження на 6-9% простоїв рухомого складу, викликаних незабезпеченості паливом, технічними перебоями подачі електроенергії і недостатньою обґрунтованості нормативів

3.4 Нові енергетичні джерела живлення, технічні і конструктивні рішення транспортних систем кар'єрів найближчого майбутнього

Зниження металоємності, застосування оптимальних за енергетичним критерієм ухилів кар'єрних трас і нові схемно-режимні розв'язки кар'єрного транспорту, безумовно, будуть сприяти зниженню енергоспоживання однак для значного збільшення енергетичної ефективності кар'єрного транспорту і зниження вартості перевезень необхідні нові альтернативні джерела живлення, універсальні технічні і конструктивні рішення при експлуатації різних видів транспорту в глибоких кар'єрах.

Рідкий природний газ є перспективним паливом для потужних кар'єрних автомобілів, особливо в районах, що отримують дешевий природний газ. Використання рідкого газу сприятливо відіб'ється на економічних показниках застосування автомобільного транспорту і буде сприяти зменшенню забруднення повітря в глибоких кар'єрах. У США початі такі спроби з реконструкцією дизельного двигуна автомобіля, яка складається в установці спеціального бака для пального, устаткування для перетворення рідкого палива в газ, регулятора, що контролює потік природного газу, і карбюратора, де відбувається змішання газу з повітрям.

Проведене техніко-економічне порівняння показало, що при отриманому годинному розході (у літрах) рідкого газу, в 1,6 разів більшому, ніж дизельного палива, економія становить від \$0,5 до 0,85 на один автосамоскид в 1 т. При цьому загальні видатки на 1 л витрачаємого рідкого газу, склали \$ 0,0135, з них: вартість газу 52%, капітальні витрати на установку 31%, експлуатаційні видатки на установку 17%. У процесі випробувань переустаткованих автомобілів було встановлено, що у вихлопних газах майже повністю відсутні шкідливі компоненти.

Один з можливих шляхів поліпшення використання хімічної енергії палива - застосування перетворювачів енергії у вигляді так званих паливних елементів, кд яких практично досягнутий в експериментальних зразках 70 - 75%. Принципова відмінність паливних елементів від акумуляторів укладається в тому, що енергія, одержувана від акумуляторів, накопичується в них самих, а паливні елементи є її перетворювачами. До теперішнього часу найбільш розроблені низькотемпературні паливні елементи низького тиску, у яких водень використовується як паливо, а кисень як окиснювач.

Більш перспективні, очевидно, паливні елементи, що працюють на рідкому нетоксичному вуглецевому паливі, що і використовують у якості окиснювача кисень із повітря. Застосування акумуляторних електромобілів або паливних елементів буде сприяти скороченню видатків на ремонт і технічне обслуговування,

полегшить працю водіїв, зменшить забруднення атмосфери кар'єрів відпрацьованими газами, а також зменшить шум, створюваний автомобілями.

У нашій країні і за кордоном ведуться роботи зі створення автомобілів з новими типами двигунів і комбінованими силовими установками. Як показав закордонний досвід, дизель-тролейвози дають можливість знизити загазованість робочого простору, підвищити продуктивність праці, зменшити обсяги розкривних робіт завдяки збільшенню поздовжніх ухилів автодоріг до 15-18%. У нас у країні використовували спроби впровадити контактну-акумуляторні троллейвози, що дають приблизно такий же економічний ефект, що і дизель-тролейвози. Однак ці спроби наткнулися на ряд труднощів: складність монтажу, експлуатації і ремонту розгалуженої контактної мережі з підстанціями в умовах динаміки відкритих гірських робіт; значне зниження автономності і мобільності рухомого складу; необхідність у додатковому силовому агрегаті, що забезпечує питому потужність в 3,7-4,8 кВт/т.

Сьогодні можна затверджувати, що для кар'єрів найбільш перспективні електромобілі, що забезпечують економічність, бездимність, надійність, простоту обслуговування і високий ступінь автономності. Однак пропоновані для кар'єрних машин акумуляторні батареї поки не мають достатню енергоемність.

У результаті техніко-економічного порівняння встановлено, що найбільше повно вимогам відповідає турбо-акумуляторна енергосилова установка, що полягає з газотурбінного двигуна (ГТД) і акумуляторної батареї (АБ). Система комбінованого живлення з буферним джерелом енергії дозволяє використовувати переваги ГТД і АБ і значною мірою уникнути тих недоліків, які проявляються при використанні кожного з них. Основною перевагою цієї комбінованої енергосилової установки (КЕУ) є скорочення часу роботи ГТД, що дозволяє значно знизити витрата палива. На автомобілях з КЕУ можна застосовувати різні схеми комбінованого живлення.

Розроблена схема комбінованого живлення для турбо-акумуляторних автосамоскидів (ТАА). Згідно із цією схемою, привід ТАА при вивозі гірської маси із глибокого кар'єру здійснюється від ГТД, а при русі у зворотному напрямку (порожняком) і маневрових операціях - від АБ. Потужність АБ в 3-5 раз менше потужності ГТД і забезпечує запас ходу не більш 1,5-3 км. Їхня зарядка відбувається при русі автосамоскида: верхніх горизонтів у режимі електродинамічного гальмування за рахунок накопиченої потенційної енергії. Живлення допоміжного устаткування в ході всього транспортного циклу здійснюється від спеціальної секції АБ.

Важливо відзначити, що застосування АБ на автосамоскидах великої вантажопідйомності, що мають електричну трансмісію, не зажадає значних

конструктивних змін. У пропонованій конструкції основні недоліки (громіздкість і більша маса АБ) будуть компенсовані малою масою і розмірами ГТД.

Застосування АБ у якості додаткового джерела живлення на великовантажних кар'єрних автосамоскидах дозволить на 15-18% скоротити витрату палива без використання інших видів енергії, тому що АБ заряджаються рекуперируємою потенційною енергією автосамоскида.

Оскільки на ТАА газотурбінний двигун працює тільки при русі з вантажем, його питому потужність (у порівнянні з дизельним двигуном) можна підняти. У цьому випадку швидкість руху і поздовжній ухил траси будуть обмежуватися лише умовами безпеки.

Для уніфікації серійних автотранспортних засобів доцільно розробляти ТАА на основі параметричного ряду кар'єрних дизельних автосамоскидів, намічених до випуску Білоруським автомобільним заводом. Основними базовими моделями можуть служити автосамоскиди вантажопідйомністю 80, 120 і 180 т, оснащені ГТД потужністю 882-1764 кВт із застосуванням у якості додаткового джерела АБ потужністю 110-260кВт.

На відміну від дизельного двигуна, можливості вдосконалювання якого обмежені, запропонована КЕУ має значні резерви підвищення ефективності її застосування на кар'єрних автосамоскидах. Наприклад, є практична можливість знизити питому витрату палива для ГТД до 217-225 г/кВт-г, а питому енергоемність АБ підвищити до 80-100 Вт-г/кг із одночасним збільшенням терміну служби до 2000-2500 заряд-розрядних циклів.

Широке впровадження турбоаккумуляторних автосамоскидів дозволить знизити витрату палива на 15-18%; збільшити моторесурс і підвищити надійність силової установки; збільшити поздовжній ухил автодоріг до 10-15%; підняти продуктивність машин на 7-10%; зменшити обсяг горнокапітальних робіт і загазованість робочої зони кар'єрів.

При відкритій розробці родовищ корисних копалин у районах, з обмеженими енергетичними ресурсами і складними топографічними умовами високу ефективність у порівнянні з автомобільним і традиційним канатно-підвісним видами транспорту має запропонований спосіб транспортування гірської маси по аэростатно-канатним спускам (АКС). Специфічними особливостями технологічного процесу АКС є енергетична автономність, безвитратне, автоматичне обмеження максимальної швидкості, і плавність переходу від прискореного до рівномірного руху по канатній магістралі в широкому діапазоні зміни кута нахилу хорди прольоту.

При підйомі гірської маси з кар'єру аеростатно-канатні транспортні системи (АКТС) забезпечують більш високий коефіцієнт корисного використання енергії

(0,71-0,77) у порівнянні з автомобільним (0,14), дизель-тролейвозним (0,17), залізничним (0,18) і конвеєрним (0,45) видами транспорту, що визначає зниження витрат при автомобільно-аеростатному транспортуванні в порівнянні з автомобільним (в 1,75-3 рази) і автомобільно-конвеєрним (в 1,3-1,4 рази).

Застосування прив'язних аеростатів дозволяє використовувати нові способи переміщення гірської маси на кар'єрах, що відрізняються від традиційних способів доставки гірської маси відсутністю дорожніх комунікацій, меншим опором руху, малим впливом на навколишнє середовище, меншою трудомісткістю, а в порівнянні з вертолітним і дирижабельним - більшим корисним навантаженням, меншою залежністю від погодних умов і енергоємністю при можливості роботи в режимі рекуперації енергії [12].

Доцільні конструктивно-технологічні схеми кар'єрних транспортних систем з використанням прив'язних аеростатів визначаються напрямком вантажопотоків, на яких здійснюється їхня робота. На похилих вантажопотоках «зверху вниз» або «знизу нагору» раціональними є транспортні системи, при роботі яких аеростат: переміщається разом з вантажною кареткою (транспортною ємністю) від пункту навантаження до пункту розвантаження і назад, виконуючи в транспортному процесі "активну" функцію. При роботі на горизонтальних вантажопотоках доцільні конструктивно-технологічні схеми зі статичним, "пасивним" положенням аеростата, що виконують роль аероопори для елементів конструкції транспортної системи.

Багатьом країнам миру необхідно вирішувати проблему засипання виробленого простору кар'єрів глибиною 300-600 м і більших у природоохоронних і технологічних цілях. Аеростатні технології на основі АКС і їх модифікацій, завдяки більшим радіусам розвантаження, високим траєкторіям переміщення гірських порід над земною поверхнею, ефективному використанню гравітаційних і аеростатичних сил і іншим особливостям, здатні забезпечити інтенсивне засипання кар'єру на повну глибину на великому фронті, створюють умови для вибору способу укладання породи у відвал і забезпечують інші технологічні можливості, недосяжні при традиційному відвалоутворенні. Відкриваються нові підходи до проектування гірських робіт, розміщенню тимчасових відвалів, формуванню агроландшафтів, раціональному землекористуванню.

АКТС можуть стати основою надійних комплексів провітрювання глибоких горизонтів кар'єрів з обмеженим технологічним простором при використанні газовмісних великих оболонок для примусового циклічного виносу забруднених повітряних мас із критичної нижньої зони кар'єру на земну поверхню (крізь інверсійну "пробку") при одночасній доставці цими ж оболонками чистого повітря з поверхні на нижні горизонти. Витрати енергії на переміщення за допомогою

АКТС легких оболочек из системой легких штучных канатів у порівнянні з аналогічними витратами на провітрювання каскадною вентиляторною системою скорочуються більш ніж в 100 раз.

Таким чином, нові АКТС мають багатоцільове призначення. Вони дозволяють створити екологічно чисті і енергозберігаючі технології в гірській і інших галузях промисловості. Вартість проектування і виготовлення АКТС не буде великий, тому що основна частина - аеростатний блок може мати типове модульне рішення, а інші елементи АКТС у достатній кількості випускаються промисловістю.

ВИСНОВКИ

1 Енергетична ефективність відкритих гірських робіт у значній мірі (50 - 90%) визначається енерговитратами на транспортування гірської маси, що мають тенденцію до збільшення з ростом глибини розробки.

2 Найбільш енергоємним по енергоспоживанню є транспортування гірської маси залізничним транспортом (34,5 - 79,3% загального розходу електроенергії по кар'єрах). Витрата електроенергії на екскавацію становить 15,0 - 25,2%, на буровибухові роботи 1,8 - 17,6%, на допоміжні процеси 2,2 - 15,2% загального розходу. Питома витрата електроенергії на технологічних процесах характеризується наступними показниками: залізничний транспорт 1,17 - 2,5 кВт-г/т, конвеєрний 0,30 - 0,62 кВт-г/т, буравлення 0,15-0,41 кВт-г/т, дроблення гірської маси в кар'єрі 0,06 -0,20 кВт-г/т, перевантаження гірської маси 0,30 - 0,40 кВт-г/т.

3 Витрата енергії на технологічні автоперевезення в глибоких кар'єрах становить від 21,8-55,1% (складальні перевезення) до 85-90% (магістральні автоперевезення) у загальних енерговитратах на видобуток гірської маси.

4 Автомобільний транспорт характеризується кращою адаптивністю енергетичних показників до зміни (скороченню) обсягів перевезень у порівнянні із залізничним і конвеєрним, що має важливе значення в умовах переходу до ринкової економіки. Коефіцієнт адаптивності автотранспорту становить 0,65 - 0,86%, залізничного 8,33 - 11,0%, конвеєрного 13,51 - 18,10%.

5 Підвищення енергетичної ефективності транспортних систем кар'єрів (на 17 - 20%) забезпечується шляхом глибокого введення магістральних видів транспорту (залізничні тунелі, мобільні комплекси ЦПТ) і організацією перевезень за схемою «зверху вниз». Основними напрямками підвищення енергетичної ефективності роботи автосамоскидів на магістральних перевезеннях є впровадження автосамоскидів з автоматичною гідромеханічною трансмісією і застосування підвищених (10 - 12%) ухилів автодоріг; на складальних - оптимізація схем розкриття тимчасовими з'їздами.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Закон України «Про енергозбереження». Документ 74/94-вр, чинний, поточна редакція – Редакція від 23.07.2017, підстава 2095-19 – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>

2 Новожилов М.Г., Бондарь С.А., Дриженко А.Ю. Область применения перспективных видов транспорта на глубоких карьерах// Изв. вузов. Горн, журнал-1972. - № 12. -с. 34-37.

3 Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. - М.: Недра, 1983. - 295 с.

4 Яковлев В.Л. Теория и практика выбора транспорта глубоких карьеров. - Новосибирск: Наука, 1989. - 240 с.

5 Евдокимов Б.А., Забелин Г.Д., А.П. Захаренко. Железнодорожный транспорт открытых разработок - М.: Недра, 1984. - 181 с.

6 Спиваковский А.О. Потапов М.Г. Транспортные машины и комплексы открытых горных разработок: Учебник для вузов. - 4-е издание . - М.: Недра, 1983. - 383 с.

7 Тангаев И.А. Энергоемкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. - М.: Недра, 1986. - 231 с.

8 Анистратов Ю.И. Технологические процессы открытых горных работ: Учеб. для вузов. - М.: Недра, 1995. - 351 с.

9 Шадрин Н.М. Электрическая тяга на открытых горных разработках -. - М.: Недра, 1987.-256 с.

10 Солодовник Л.М., Палей Б.З., В.Б. Хазанов и др. Состояния и перспективы применения конвейерного транспорта для перемещения скальных пород. - М.: Недра, 1986.

11 Поточная технология горных работ с комплексом машин непрерывного действия для железорудных карьеров Кривбасса - Киев: Наука думка, 1977. - 260 с.

12 Наказ Міністерства транспорту України від 10.02.1998 № 43 Про затвердження норм витрат палива і мастильних матеріалів на автомобільному транспорті. Режим доступу: <https://www.zakon-i-normativ.info/index.php/43>

13 Потапов М.Г. Карьерный транспорт. - - М.: Недра, 1980. - 264 с.

ДОДАТКИ

Додаток А - Перелік мультимедійних демонстраційних матеріалів

1 Розподіл обсягів видобутку гірської маси по глибині залізорудних кар'єрів за 2000-2015 рр

2 Кількість гірської маси, добутої по роках, млн.т.

3 Порівняння різних видів кар'єрного транспорту за вартістю 1 т перевезень

4 Питома енергоємність технологічної схеми гірських робіт

5 Показники енергетичної ефективності

6 Залежність питомої дії автосамоскидів, локомотивосоставів і ухилу стрічкових конвеєрів при русі на підйом

7 Основні напрямки підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів

8 Висновки



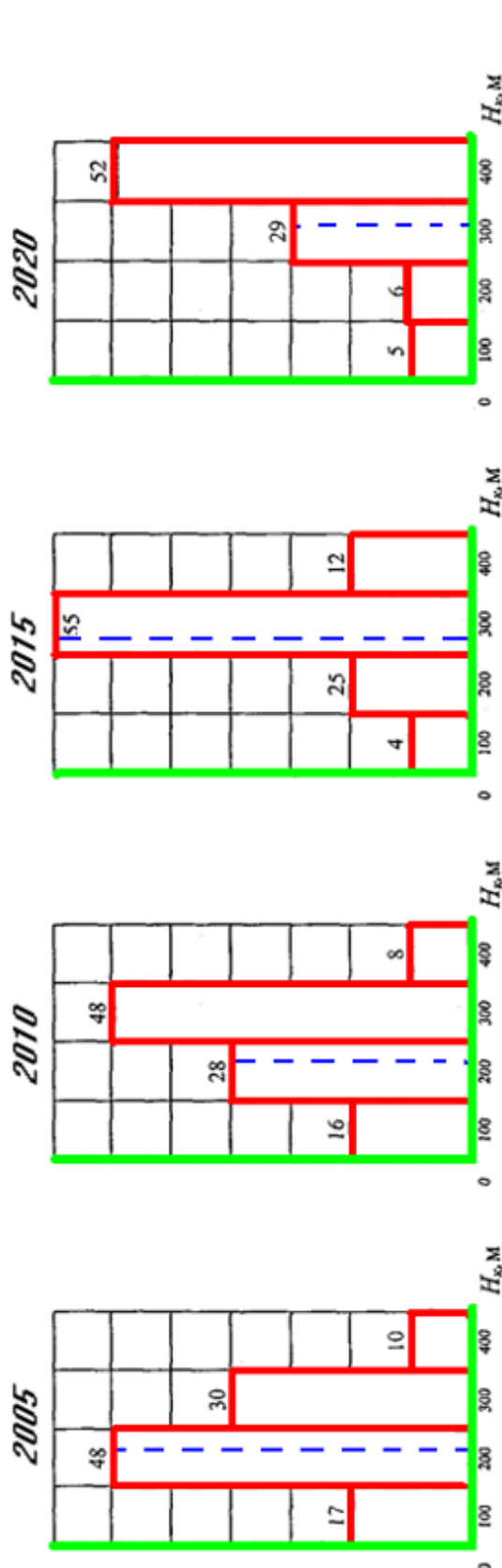
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний університет науки і технологій

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗАЛІЗНИЧНОГО КАР'ЄРНОГО ТРАНСПОРТУ

Виконав: Котляр Є.С., гр. ЕТ20160
Керівник: Васильєв В.Є.

Розподіл обсягів видобутку гірської маси по глибині залізорудних кар'єрів за 2015-2020 рр

Глибина кар'єрів, м	Рік					
	2015			2020		
	Кількість кар'єрів		Гірнича маса, %	Кількість кар'єрів		Гірнича маса, %
	Одиниць	%		Одиниць	%	
Нагорні	2	3,8	1,2	3	6,0	10,6
До 50	5	9,4	3,2	3	6,0	5,3
51-100	7	13,2	4,7	5	10,0	1,3
101-200	16	30,2	14,8	10	20,0	7,2
201-300	18	34,0	55,1	14	28,0	28,7
Понад 300	5	9,4	21,0	15	30,0	46,9
Всього	53	100,0	100,0	50	100,0	100,0
						52,3



Виконав Котляр Є.С.

Керівник Васильєв В.Є.

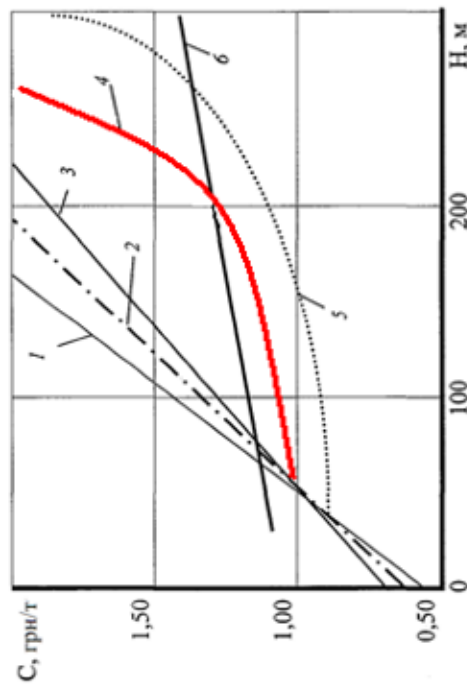
Кількість гірської маси, добутої по роках, млн.т.

Гірничо-збагачувальний комбінат	Роки						
	1989-1994	1995-1999	2000-2004	2005-2009	2009-2014	2015-2018	2020
УКРАЇНА							
Інгулецький	21,7	90,4	108,1	27,7	33,0	32,4	20,42
Південний	-	11,7	97,6	22,46	24,6	24,0	14,2
Новокриворізький	17,7	20,6	11,1	10,1	28,1	17,9	16,0
Центральний	-	-	20,3	16,21	17,05	19,0	6,49
Полтавський	-	-	9,3	9,8	12,7	13,2	5,77
Разом	39,4	150,0	331,0	104,7	138,55	128,5	53,77
Росія							
Стойленський	-	-	16,5	11,9	15,9	12,0	10,37
Ковдорський	-	-	-	-	14,2	10,9	8,8
Оленегіський	-	-	37,0	8,8	9,1	9,2	4,6
Разом		-	53,5	20,7	39,-2	32,1	27,7

Виконав Котляр Є.С.

Керівник Васильєв В.Є.

Порівняння різних видів кар'єрного транспорту за вартістю 1 т*км



1, 2, 3 – автотранспорт, відповідно
вантажопідйомністю 30, 80, 120 т;
4 – електровозний транспорт;
5 – моторвагонний транспорт;
6 – конвеєрний

Структура електроспоживання на глибоких залізрудних кар'єрах

Технологічний процес	Питома витрата електроенергії	
	кВт·г/т	%
Буравлення	0,15-0,41	1,8-17,6
Екスカвація	0,30-0,62	15,0-25,2
Залізничний транспорт	1,17-2,50	34,5-70,3
Конвеєрний транспорт у схемах ЦПТ	0,80-1,30	15,5-50,0
Перевантаження гірської маси	0,30-0,40	8,5-20,0
Дроблення в кар'єрі	0,06-0,20	1,6-4,5
Допоміжні процеси	0,05-0,35	2,2-15,2
Усього по кар'єру	2,0-4,0	100

Виконав Котляр Є.С.

Керівник Васильєв В.Є.

Питома енергоємність технологічної схеми гірських робіт

$$\omega_{mc} = \sum_{i=1}^n \omega_i = \omega_{\sigma} + \omega_e + \omega_m + \omega_n + \omega_{eid},$$

$\omega_{\sigma}, \omega_e, \omega_m, \omega_n, \omega_{eid}$ –
 питома енергоємність, відповідно,
 процесів буровлення, підривання,
 екскавації, транспортування,
 перевантаження і відвалоутворення, кДж/т.

Питома дія = питома витрата палива * час транспортування

Автомобільний транспорт: $D_a = \frac{2,673 \cdot 10^{-2} g_H (K_T + 1) \left(\frac{\omega_{\sigma}}{i} + 1 \right)}{N_{уд} \cdot \eta_a^2},$

Залізничний транспорт: $D_{з\Delta Л} = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} (k_T + 1) \left(\frac{\omega_{\sigma}}{i} + 1 \right)^2}{N_{ПИТ} \eta_{ЗП}^2}, \quad \kappa Вт \cdot г \cdot с / тм,$

Конвеєрний транспорт: $D_K = \frac{2,673 \cdot 10^{-3} \left[k_{ОПОР} (1 + k_T) \frac{\omega}{\sin \alpha_K} + 1 \right]^2}{N_{ПИТ} \cdot \eta_K},$

Виконав	Котляр Є.С.
Керівник	Васильєв В.Є.

Показники енергетичної ефективності автотранспорту

Показники	Вантажопідйомність автосамоскида , т					
	27-30	40-42	75-80	100-120	120	150
					(HD-1200)	(R-170)
Середня відстань транспортування, км	2,81-3,08	2,66-2,72	1,95-2,19	2,52-2,53	2,55-2,68	1,93-1,98
Середня висота підйому, м	130-150	100-130	110-130	100-120	90-130	90-110
Середня експлуатаційна швидкість, км/г	11,8-12,1	11,5-15,0	10,4-10,6	11,2-11,3	11,6-12,0	7,8-8,4
Питомий розхід, г/т км	94,3-97,1	91,2-97,2	126,8-133,5	115,4-119,3	116,4-116,9	71,7-84,5
Питома енергоємність, г/тм	1,99-2,03	1,90-2,03	2,24-2,26	2,42-2,51	2,29-2,41	1,3-1,48
Питома дія, гс/тм	25,6-25,4	24,3-26,6	26,4-27,0	34,0-38,9	30,8-35,0	23,9-24,1

Показники енергетичної ефективності залізничного транспорту

Показники	Вид тяги	
	Електровозна	Тяговий агрегат
Середня відстань транспортування, км	6,87-9,51	9,0-11,87
Середня висота підйому, м	80-110	90-150
Середня експлуатаційна швидкість, км/г	8,4-9,4	9,2-11,4
Питома витрата електричної енергії, кВт-г/ткм	0,17-0,20	0,13-0,21
Питома енергоємність, кВт-г /тм	0,011-0,017	0,0078-0,016
Питома дія, кВт-г-с/тм	0,59-1,13	0,36-0,78

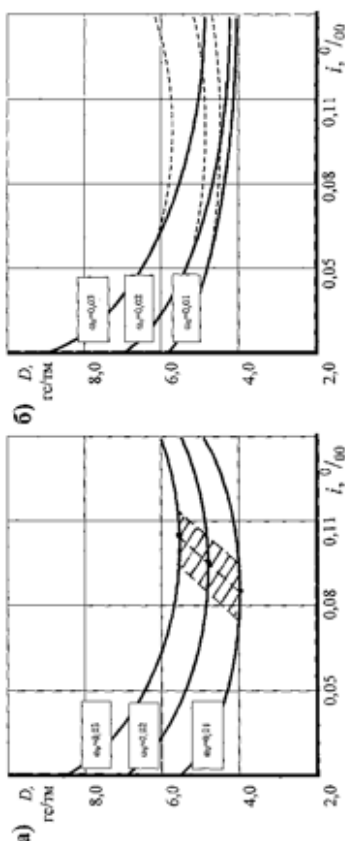
Показники енергетичної ефективності конвеєрного транспорту

Показники	Гірничобазачувальні комбінати					
	ПівГЗК	ІнГЗК	НКГЗК	ЦГЗК	ПГЗК	Полтавський
Середня відстань транспортування, км	2,56	1,76	1,4	2,15	2,31	1,00
Середня висота підйому, м	172	180	260	270	174	153
Середня експлуатаційна швидкість, км/год			7,2-11,2			
Питома витрата електроенергії, кВт-ч/тм	0,534	0,646	0,921	0,665	0,485	0,814
Питома енергоємність, Вт-г/тм	0,008	0,0063	0,0047	0,0053	0,0064	0,0053
Питома дія, кВт-г-с/тм	0,038-0,059	0,020-0,031	0,081-0,013	0,014-0,021	0,027-0,043	0,011-0,016

Виконав	Котляр Є.С.
Керівник	Васильєв В.Є.

Залежність питомої дії (D) автосамоскидів при русі на підйом від ухилу автодороги (i) і коефіцієнта опору коченню (ω_0)

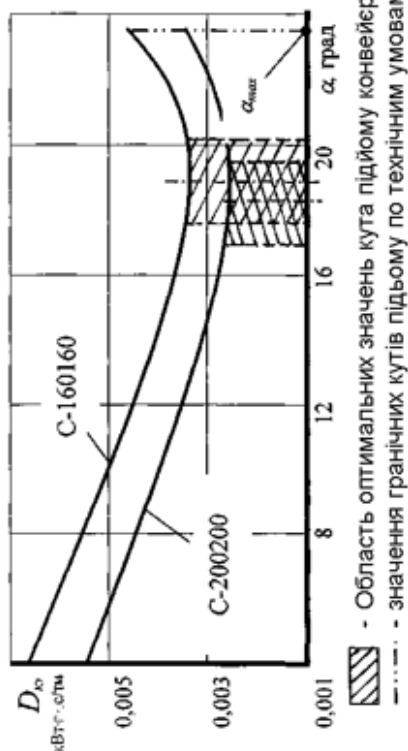
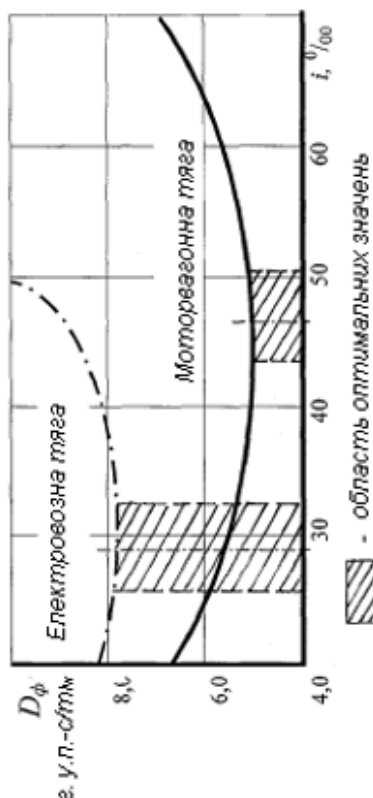
6



а) БелАЗ-7512 (120 т);
 б) автосамоскиди фірм США:
 суцільна - автосамоскид Cat-785 (130 т) з багатоступінчастою ГМП;
 штрихова - автосамоскид вантажопідйомністю 120 т з ЕМТ;
 // - область оптимальних значень

Залежність питомої дії (D) локомотивосоставів від ухилу залізничної колії (i)

Залежність питомої дії (D_K) стрічкових конвеєрів при русі на підйом від кута нахилу (α)



■ - Область оптимальних значень кута підйому конвеєра;
 - - - - - значення граничних кутів підйому по технічним умовам

Виконав Котляр Є.С.

Керівник Васильєв В.Є.

Основні напрямки підвищення енергетичної ефективності транспортних систем глибоких кар'єрів

7

Напрямок	Очікуваний результат				
Регулювання зони роботи технологічного кар'єрного транспорту своєчасним перенесенням перевантажувальних пунктів	Зменшення висоти підйому складальним автотранспортом на 10 м дозволяє заощадити на перевезенні 1 млн. т гірської маси 10-12 т палива; скорочення дальності транспортування на 100 м заощаджує 2,5-3,2 т палива				
Впровадження мобільних комплексів ЦПТ (організація автоперевезення по схемі «згори – вниз»)	Скорочення розходу топлива при русі завантажених автосамосвалів на спуск в 1.1-1.75 раза, зниження загальної енергоемності транспортних систем на 15-17%				
Збільшення ухилів кар'єрних трас, у тому числі кутів конвеєрного підйому	Скорочення додаткового розносу бортів від розміщення транспортних комунікацій, зменшення розходу палива і електроенергії на 1,6-3,0% при збільшенні ухилу на 1%				
Облаштування внутрішньокар'єрних зупинок технологічного автотранспорту	Економія 8-15 т дизельного палива на 1 млн. т гірської маси, перевезеної складальним автотранспортом, при $H_k \geq 200$ м				
Оптимізація схеми розкриття робочих горизонтів тимчасовими автоз'їздами.	Зниження горизонтальної складової вантажообігу на 20-40%, скорочення розходу палива на 2-6%				
Підвищення транспортно-експлуатаційної якості автошляхів і залізничних колій	Скорочення розходу палива на 0,8-1,2% при зниженні опору кочення па 1 кН/т				
Поліпшення конструктивних якостей рухомого складу, розробка і впровадження рухомого складу для роботи на підвищених ухилах траси	Підвищення паливної економічності на 4-5%, підвищення коефіцієнта використання вантажопідйомності. Підвищення продуктивності автосамоскидів.				
Розробка і впровадження автоматизованих експертних систем планування, нормування і аналізу розходу дизельного палива і електроенергії	По практиці гірничорудних підприємств, досягається зниження на 6-9% простовів рухомого складу, викликаних незабезпеченістю паливом, технічними перебоями подачі електроенергії і недостатньою обґрунтованістю нормативів				
<table> <tr> <td>Виконав</td><td>Котляр Є.С.</td></tr> <tr> <td>Керівник</td><td>Васильєв В.Є.</td></tr> </table>		Виконав	Котляр Є.С.	Керівник	Васильєв В.Є.
Виконав	Котляр Є.С.				
Керівник	Васильєв В.Є.				

ВИСНОВКИ

8

1 На основі аналізу структури і динаміки енергоспоживання на глибоких кар'єрах установлено:

- Енергетична ефективність відкритих гірських робіт у значній мірі (50-90%) визначається енерговитратами на транспортування гірської маси, що мають тенденцію до збільшення з ростом глибини розробки.
- Найбільш енергоємним по електроспоживанню є транспортування гірської маси залізничним транспортом (34,5-79,3% загальної витрати електроенергії по кар'єрах).
- Питома витрата електроенергії залізничним транспортом складає 1,17-2,5 кВт-г/т, конвеєрним 0,30-0,62 кВт-г/т, буравлення 0,15-0,41 кВт-г/т, дроблення гірської маси в кар'єрі 0,06-0,20 кВт-г/т, перевантаження гірської маси 0,30-0,40 кВт-г/т.

2 Автомобільний транспорт характеризується кращою адаптивністю енергетичних показників до зміни (скорочення) об'ємів перевезень у порівнянні із залізничним і конвеєрним.

- Коефіцієнт адаптивності автоотранспорту становить 0,65-0,86%, залізничного 8,33-11,0%, конвеєрного 13,51-18,10%.

3 Енергетична ефективність конвеєрного транспорту ($P_{\text{к}}$) в 2,0 рази вище, чим електрифікованого залізничного, і в 2,0-2,5 рази вище, чим автомобільного.

4 Для автосамоскидів з електромеханічною трансмісією оптимальний керівний ухил визначається якістю дорожнього покриття і становить:

- для автодоріг з асфальтобетонним покриттям 80-100 ‰,
- для щебеневих автодоріг 90-110 ‰,
- для автодоріг без покриття на скельній основі 100-120 ‰.

Для електрифікованого залізничного транспорту керівний ухил становить:

- при експлуатації тягових агрегатів 40-50 ‰,
- при електровозній тязі 30-40 ‰.

Оптимальний ухил (кут нахилу конвеєрного підйому) стрічкових конвеєрів великої продуктивності становить 17°-19°.

5 Підвищення енергетичної ефективності транспортних систем кар'єрів (на 17-20%) може забезпечуватися шляхом глибокого введення магістральних видів транспорту (залізничні тунелі, мобільні комплекси ЦПТ) і організацією перевезень за схемою «зверху - вниз».

Виконав	Котляр Є.С.
Керівник	Васильєв В.Є.