

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

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної роботи бакалавра

на тему: *Дослідження ефективності кар'єрних самоскидів на основі даних систем контролю їх робочих параметрів*

Виконав:

студент 4 курсу, групи АТ-20 _____ А.Р.Пініч

(шифр групи)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доцент _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

В.О.Сістук

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри:

д.т.н., професор _____

(науковий ступінь, вчене звання)

(підпис)

Ю.А. Монастирський

(прізвище та ініціали)

Кривий Ріг – 2024 р.

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

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 – «Транспорт»

Спеціальність: 274 – «Автомобільний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автомобільного транспорту

_____/_____
” _____ 2024 р

./

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ РОБОТУ СТУДЕНТА

Дослідження ефективності кар’єрних самоскидів на основі даних систем контролю їх робочих параметрів

Пінічу Артуру Руслановичу

1. Тема: Дослідження ефективності кар’єрних самоскидів на основі даних систем контролю їх робочих параметрів

керівник проекту Сістук В.О., к.т.н., доцент

Затверджені наказом університету №263с від 12.04.2024.

2. Строк подання студентом роботи для перевірки на плагіат до 16.06.2024.

3. Вихідні дані до роботи: Дані СКЗіП для кар’єрних самоскидів вантажопідйомністю 130 – 136 т, екскаваторів з об’ємом ковша 8м³.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Загальна частина роботи. Розрахунково-дослідницька частина. Охорона праці на кар’єрному автотранспорті.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

Графіки та діаграми по результатах досліджень у вигляді презентації в програмі Microsoft Office Power Point, на компакт диску з шістьма екземплярами роздруківки презентації для членів ДЕКу.

6. Дата видачі завдання 12.04.2024.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1	Загальна частина роботи	15.04-19.04	
2	Розрахунково-дослідницька частина	22.04 – 03.05	
3	Охорона праці на кар'єрному автотранспорті	06.05 – 10.05	
4	Пояснювальна записка	12.05 – 14.05	

Студент

(підпис)

А.Р. Пініч

Керівник роботи

(підпис)

В.О. Сістук

РЕФЕРАТ

У рамках роботи було проведено аналіз ефективності функціонування кар'єрних самоскидів вантажопідйомністю від 130 до 136 тон на одному з рудничних кар'єрів у місті Кривий Ріг. Для цього використовувалися дані щодо роботи самоскидів та екскаваторів.

При аналізі транспортного циклу враховані: час їздки з вантажем, час їздки без вантажу, час навантаження, час маневрування, час розвантаження. Також проведений аналіз швидкості руху завантаженого самоскида та обсягів перевезеної гірничої маси.

Середнє значення показника часу їздки з вантажем становило 13,3 хв., стандартна похибка – 0,37, медіана – 11 хв., мода – 8 хв., стандартне відхилення – 6,2, мінімальне значення показника – 6 хв., максимальне значення – 41 хв.

Встановлено, що середній час, який витрачається самоскидом на маневрування під екскаватор, знаходиться на рівні 4,0 хв., а на завантаження – 3,2 хв. Максимальний час, який було зафіксовано для часу маневрування, – 24,9 хв., для часу навантаження – 11,57 хв.

Середня тривалість обороту кар'єрного самоскида становила 37,5 хв. Більша частина циклу (65%) представлена маневруванням під навантаження-розвантаження, навантаженням, розвантаженням, їздкою без вантажу. На рух із вантажем приходить 35% від загального часу транспортного циклу.

Середнє значення показника швидкості кар'єрного самоскида із вантажем на одному із горизонтів завантаження становив 17,4 км/год., стандартна похибка – 0,12, медіана – 17,2 км/год., мода – 16,7 км/год., стандартне відхилення – 2,2, мінімальне значення показника – 12,3 км/год., максимальне значення – 23,8 км/год.

Найбільший вплив на продуктивність самоскида має його швидкість руху з вантажем (коефіцієнт кореляції – 0,92), у той час як маса перевезеного вантажу демонструє менший, але все ще помітний вплив з коефіцієнтом кореляції 0,44.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ.....	9
1.1. Виробничі фактори	9
1.2. Вантажопідйомність	10
1.3. Тривалість циклу.....	11
1.4. Моделі розрахунку часу циклу	12
РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.	19
2.1. Вихідні умови для розрахунку.....	19
2.2. Аналіз транспортного циклу	21
2.2.1. Час маневрування та навантаження	21
2.2.2. Час їздки із вантажем.....	25
2.3. Середня швидкість завантаженого самоскида	27
2.4. Кореляція та регресійний аналіз показників роботи самоскида	29
2.5. Висновки до розділу 2	32
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ НА КАР'ЄРНОМУ АВТОТРАНСПОРТІ.....	33
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Актуальність теми. Беззаперечною тенденцією розвитку світової гірничодобувної промисловості в досяжному майбутньому вважається стійка орієнтація на відкритий спосіб видобутку корисних копалин, як такий, що забезпечує найкращі економічні показники. На нього припадає до 73 % загального обсягу видобутку корисних копалин у світі [1]. За останні 40 років спостерігається стійке зростання видобутку практично всіх видів твердих корисних копалин відкритим способом [1]. На залізорудних кар'єрах Криворізького басейну у поточному стані глибина розробки вже перевищує 500 м. Якщо врахувати, що зі збільшенням глибини кар'єрів частка витрат на кар'єрний транспорт досягає 55 – 60 % від загальної собівартості видобутку корисних копалин, то цілком очевидно, що питання розвитку та вдосконалення технології перевезення гірничої маси при відкритому видобутку корисних копалин є одними з найактуальніших.

Основними факторами, що визначають розвиток кар'єрного транспорту, є систематичне погіршення гірничо-геологічних і гірничо-технічних умов виробництва. Відомо, що розвиток відкритого способу розробки супроводжується підвищенням концентрації виробництва, збільшенням глибини і просторових розмірів кар'єрів, дальності і складності транспортування гірничої маси. Визначальним фактором є глибина кар'єрів. Автомобільний транспорт, як транспорт робочої зони кар'єру, найбільш схильний до впливу гірничо-геологічних умов, які ускладнюються з глибиною. Основним обмеженням використання автомобільного транспорту в глибоких кар'єрах залишається висока собівартість транспортування гірничої маси. Крім того, кар'єрний автомобільний транспорт є основним джерелом негативного антропогенного впливу на навколишнє середовище при видобутку корисних копалин відкритим способом.

З метою розширення сфери застосування автомобільного транспорту на глибоких кар'єрах, підвищення його ефективності триває пошук нових технологічних схем, а також шляхів його розвитку та вдосконалення. Одним із основних факторів впровадження нових технологічних схем є вивчення

ефективності кар'єрних самоскидів, яка визначається елементами транспортного циклу. При цьому сучасні системи моніторингу кар'єрної техніки дозволяють проводити якісний аналіз показників роботи самоскида, та, відповідно, ефективності його роботи. За допомогою аналізу фактичних показників роботи комплексу «екскаватор-автосамоскид» можна виявити причини зростання непродуктивних операцій кар'єрних самоскидів.

У зв'язку з цим, дослідження ефективності кар'єрних самоскидів на основі даних систем контролю їх робочих параметрів є актуальною науково-практичною задачею.

Мета і задачі дослідження. Дослідження ефективності кар'єрних самоскидів на основі даних систем контролю та витрат палива на одному із кар'єрів Криворізького басейну.

Об'єкт дослідження – кар'єрні самоскиди великої вантажопідйомності (120-136 т).

Предмет дослідження – показники ефективності роботи кар'єрних самоскидів у глибоких залізородних кар'єрах.

Методи дослідження. Огляд джерел, аналіз, синтез, кореляція, регресійний аналіз, статистична обробка вибірки (середнє, мода, медіана, середнє відхилення, мінімальне та максимальне значення показника), побудова гістограми розподілу показника.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати статистичної обробки вибірки великої розмірності дозволяють якісно оцінити розподіл показників роботи екскаваторно-автомобільних комплексів в умовах глибоких кар'єрів та виявити причини зростання непродуктивних операцій кар'єрних самоскидів на конкретному гірничо-видобувному підприємстві.

Структура і обсяг роботи: складається з реферату, вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 20 найменувань. Загальний обсяг роботи – 42 с, у тому числі 12 рисунків та 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА РОБОТИ

1.1. Виробничі фактори

Технологічні операції автосамоскида із одноковшевим екскаватором, як правило, є окремими процесами, оскільки гірнича маса доставляється до пункту призначення із дещо змінними інтервалами. Незалежно від того, який метод видобутку з одноковшевим екскаватором та автосамоскидом буде використовуватись, усі вони мають однакові змінні циклу навантаження та транспортування, а саме: автосамоскид, що помічає екскаватор чи навантажувач, час завантаження, повний час у дорозі, час у дорозі, поява у пункті призначення, час розвантаження, очікування біля екскаватора (або колісного навантажувача) та очікування в пункті призначення [2-5].

Існує безліч змінних, які впливають на процес завантаження, транспортування та розвантаження. Три основні виробничі фактори – корисне навантаження автосамоскида, тривалість циклу та ефективність роботи.

Для системи навантаження та транспортування виробництво включає завантаження, транспортування та скидання. Видобуток корисних копалин, як правило, зосереджується лише на зоні завантаження, але транспортування та відвантаження однаково важливі для реалізації ефективності циклу та, що найважливіше, грошового потоку. Для цих основних змінних властива концепція часу очікування. Фактично час очікування є природним явищем протягом усього процесу навантаження та транспортування з основними етапами циклу навантаження та транспортування, як показано нижче [6]:

- Очікування біля екскаватора (або навантажувача);
- Поява автосамоскида біля екскаватора або навантажувача (навантажувальна одиниця);
- Час завантаження;

- Поїздка повний робочий день;
- Очікування в пункті призначення;
- Виявлення в пункті;
- Час скидання;
- Порожній час у дорозі.

Актуальність і складна взаємодія цих змінних з виробництвом вантажно-транспортного парку, по відношенню до трьох факторів виробництва, обговорюється в наступних пунктах.

1.2. Вантажопідйомність

Обсяг, який транспортується автосамоскидом, фіксується для конкретної одиниці обладнання.

Розрахунок кількості самоскидів, щоб задовольнити потребу у виробництві, в основному залежатиме від профілю кар'єру, маршруту транспортування, швидкості самоскида (тягове зусилля та продуктивність уповільнення) і, таким чином, часу циклу.

Вплив цих змінних можна звести до мінімуму, зосередившись на навчанні та прийнятті надійних стандартів і практик технічного обслуговування. Існує технологія, така як VIMS Caterpillar (система управління життєво важливою інформацією) і її політика корисного навантаження CAT 20-10-10, яка відстежує продуктивність машини під навантаженням і безпосередньо покращує доступність машини. Політика корисного навантаження CAT 20-10-10, Caterpillar стверджується, що: «Середнє значення розподілу корисного навантаження не повинно перевищувати цільове корисне навантаження, і не більше 10% корисних навантажень можуть перевищувати в 1,1 рази цільове корисне навантаження самоскида, і жодне окреме корисне навантаження ніколи не повинно перевищувати цільове корисне навантаження в 1,2 рази» [7].

Зв'язок між корисним навантаженням і часом очікування пов'язаний зі змінними часу циклу системи перевезення. Для конкретної транспортної мережі вибирається певний розмір самоскида та навантажувач. Кількість самоскидів у межах вибору переважно визначатиме час очікування в системі. У міру того, як видобуток просувається далі або глибше від початкової точки (рампи, дробарки або конвеєра), відстані транспортування в такій системі будуть збільшуватися з часом, виправдовуючи збільшення кількості самоскидів.

Спроба зберегти початковий рівень виробництва з пов'язаним збільшенням кількості самоскидів призведе до збільшення часу очікування. Стимування ефективної втрати продуктивності окремого самоскида в автопарку може змусити початкову конструкцію системи перейти до більшої вантажопідйомності самоскида. Таким чином, збільшується час очікування та вимоги до корисного навантаження самоскида [8].

1.3. Тривалість циклу

Тривалість циклу є функцією компонентів обслуговування, характеристик машини (наприклад, розмір ковша навантажувача, здатність самоскида рухатися по ухилу), ефективності комплексу (тривалість циклу екскаватора, час розвантаження самоскида), характеристик матеріалу (наприклад, щільність матеріалу, коефіцієнт наповнення ковша екскаватора та час простою) і характеристики системи, які включають такі проблеми, як кількість серверів і довжина черги. Вищезазначені змінні та їх мінливість можна легко визначити, але час очікування є системно залежною змінною, і її визначити складніше.

Існує кілька методів розрахунку тривалості циклу, і вибір методу для використання в першу чергу залежить від часу, доступного для налаштування системи, що відображає реальність і рівень точності, який необхідний для результатів.

Загалом процес моделювання за методом Монте-Карло забезпечить більш високі рівні точності порівняно з моделлю масового обслуговування з використанням ітераційних обчислень у тому, що більше змінних можна включити та підібрати їх розподіли ймовірностей у рамках моделювання.

Таким чином можна змоделювати більш високі рівні деталізації, наприклад, доступність окремої машини та цикли ремонту машини.

Схеми прибуття (самоскида) і схеми обслуговування (навантажувач) дотримуються певної форми розподілу. У видобутку корисних копалин обслуговування рідко є постійним і, як очікується, буде слідувати шаблону розподілу. Причинами цього можуть бути: зміни фрагментації матеріалу зі зміною геології та технології вибуху та/або ефективності, зміни життєвого циклу машини та відхилення від стандартів виробників оригінального обладнання (ОЕМ), техніка оператора (багатозмінна робота) та фактори навколишнього середовища (ніч час, видимість, клімат).

Таким чином, самоскиди представляють кінцеву сукупність джерел і можуть мати модель обслуговування (час завантаження), яка відповідає експоненціальному розподілу з їх швидкістю прибуття (самоскиди, що прибувають за одиницю часу) відповідно до розподілу Пуассона. Насправді розподіли ймовірностей, що представляють час обслуговування та швидкість між надходженнями, можуть відповідати будь-якому розподілу ймовірностей, такому як нормальний розподіл, трикутний розподіл або логарифмічний нормальний розподіл [9].

1.4. Моделі розрахунку часу циклу

Кендалл розробив нотацію, за допомогою якої будь-яку систему черги можна описати за допомогою 6 символів, наведених у таблиці 1.1 [10].

Позначення Кендалла для систем черг

Номер позначення	1	2	3	4	5	6
Компонент	Час ообслуговування між прибуттями	Час обслуговування	Кількість паралельних сервісів	Черга	Споживачі у сервісі та очікуванні	Розмір популяції
Варіація або описання	Незалежний	Незалежний	Кількість пунктів завантаження	FCFS: перший прийшов, перший обслужив	На окремому пункті обслугов.	Популяція, з якої залучаються клієнти нескінченна
	Часи між прибуттями є постійним та детермінованим	Часи між прибуттями є постійним та детермінованим		LCLS: останній прийшов, останній обслужений		
	Час між надходженнями за формулою Ерланга	Час між надходженнями за формулою Ерланга		SIRO: Сервіс у довільному порядку		
	Час між надходженнями регулюється загальними розподілами	Час між надходженнями регулюється загальними розподілами		GD: сервіс у порядку загальної черги		

Незалежний час прибуття – попередня норма між прибуттями або час обслуговування не дає вказівок щодо наступних норм між прибуттями або часу обслуговування. Час, що залишився, що веде до наступної норми між прибуттями та/або часу обслуговування, не залежить від поточного часу чи минулих значень, але регулюється деяким загальним розподілом.

Модель черги Ельбронда.

Ельбронд [11] розробив систему рівнянь масового обслуговування, яка поєднує роботу, виконану трьома іншими особами в системах масового обслуговування, на основі трьох умов системи:

- Середній час обслуговування, який має випадкову тривалість і дорівнює стандартному відхиленню часу обслуговування, з часом повернення (середнім), який є випадковим і дорівнює стандартному відхиленню.

- Час обслуговування є постійним (детермінованим), а час повернення є випадковим.

- Час обслуговування та час повернення є постійними (тривіальний випадок).

Найпростіша система завантаження та транспортування має два пункта обслуговування, екскаватор та перекидний бункер або дробарку.

Для опису системи використовуються такі позначення: TS: час обслуговування; STS: стандартне відхилення часу обслуговування; RT: Час повернення; SRT: стандартне відхилення часу повернення; N:

Кількість клієнтів

$$k = TS / RT$$

ρ_P : коефіцієнт використання; STE: Стандартне відхилення часу повернення; ρ_A : коефіцієнт використання Ашкрофта; WP: час очікування; WA: час очікування Ешкрофта; WB: Час очікування у постійному відмінку; WS: скоригований час очікування; TF: час у дорозі повний; TE: час порожній подорожі; STF: стандартне відхилення повного часу в дорозі.

Систему черги можна графічно проілюструвати, як показано на рис.1.1.

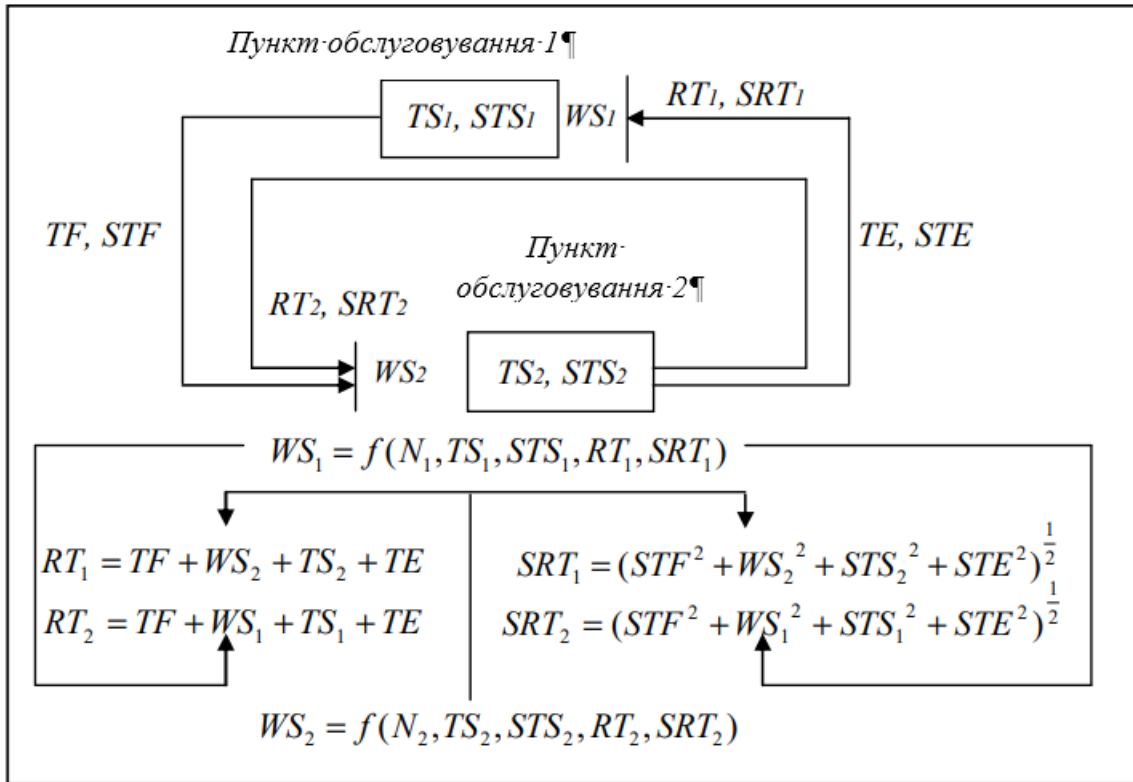


Рис.1.1. Система рівнянь черги Ельбронда

Для цієї процедури час очікування (WS) = f (WP, TS, STS, WA, SRT, WB, RT) із такими формулами:

$$WS = WP * \frac{STS}{TS} + 2 * WA * \left(\frac{1 - STS}{TS}\right) * \frac{SRT}{RT} + WB * \left(\frac{1 - STS}{TS}\right) * \left(1 - \frac{2 * SRT}{RT}\right)$$

$$\rho P = 1 - \left[1 + \sum_{n=1}^N \prod_{i=1}^n \{(N - i + 1) * k\}\right]^{-1}$$

$$\rho A = 1 - \left[1 + \{N * k * (1 + \sum_{n=1}^{n-1} \prod_{i=1}^n \frac{(N - i) * (e^{k*i} - 1)}{i})\}^{-1}\right]^{-1}$$

$$WP = N * \frac{TS}{\rho P} - (TS + RT)$$

$$WA = N * \frac{TS}{\rho A} - (TS + RT)$$

$$WB = N * TS - (TS + RT)$$

Метод Ельбронда, ґрунтувався на емпіричних спостереженнях обчислення співвідношення WP у термінах двох співвідношень WA , WB STS / TS і SRT / RT . За його спостереженнями, обидва ці співвідношення були приблизно 0,3, що вказувало на те, що різні системи мали різний ступінь випадковості, причому нульова випадковість представляла детермінований випадок [12].

Кількість самоскидів (N) у системі, помножена на час обслуговування (TS), зменшується на суму часу обслуговування та часу повернення (за винятком часу очікування у вибої кареру, який потрібно обчислити). Метод дозволяє ефективно розрахувати різницю між часом руху із вантажем, і часом зупинки під навантаженням. Якщо час, проведений далеко від екскаватору, буде великим, екскаватор буде використовуватися недостатньо. З цього випливає, що при високій чистій сумі (коротка відстань) коригування буде високим для різних типів випадковості, яка має специфічний взаємозв'язок, розрахований Елброндом [12].

Основні спостереження, зроблені на основі цієї моделі, такі:

- У будь-якій системі черги існує певний ступінь випадковості, і це пояснюється розбіжністю в компонентах циклу.
- Співвідношення TS / RT є важливим, оскільки воно безпосередньо залежить від очікуваного розміру черги.
- Розрахунок чистого часу циклу передбачає обчислення часу очікування, який є ітераційним процесом, у якому задіяні обидва кінцеві пункти обслуговування, які є одиницею завантаження та пунктом призначення.

Fleet Production and Costing.

Fleet Production and Costing (FPC) — це програмне забезпечення для ПК, призначене для оцінки продуктивності, вартості та часу, необхідного для різноманітних машин, що займаються землерийними роботами чи транспортуванням інших матеріалів, для переміщення матеріалу з одного місця в інше.

FPC широко використовується як перший метод для встановлення вимог до парку потенційних клієнтів [13].

FPC далі використовується як вхідні дані для Equipment Investment Analysis (EIA), програмного забезпечення Caterpillar для розрахунку фінансових наслідків вибраного парку в FPC. Основними факторами EIA є змінні перевезення. Ці змінні, як рух з вантажем, холостий хід, час завантаження, час розвантаження, час місця або обміну та час очікування розраховуються FPC.

Основні спостереження, зроблені на основі цієї моделі, такі:

- Розрахунок часу циклу передбачає обчислення часу очікування.
- Кількість самоскидів, пунктів обслуговування та утворення черги (шлях транспортування) у системі дуже важливі для розрахунку часу циклу.
- Співвідношення TS / RT , яке стосується відповідності екскаватору включено в цю модель і фактично підкреслює важливість правильного збігу ковша екскаватору та вантажопідйомності самоскида.
- Підкреслюється важливість точного розрахунку часу в дорозі. Він включає в себе специфічні характеристики машини, такі як здатність долати підйом і відставання.
- З найважливіші фактори виробництва: корисне навантаження, тривалість циклу та кваліфікація оператора.

Talpac.

Talpac подібний до FPC тим, що використовує той самий тип самоскидів, дорожніх умов для моделювання. Основна відмінність цих пакетів полягає в тому при розрахунку часу очікування Talpac використовує моделювання типу Монте-Карло на основі розподілів, які підігнані до корисного навантаження ковша навантажувача, часу циклу навантажувача, корисного навантаження самоскида, часу у дорозі самоскида та доступності технічного обслуговування (корисне навантаження, час циклу та кваліфікація оператора). На відміну від FPC, яка має в основі модель черги типу моделі ремонту машини, Talpac керується визначеними

користувачем дистрибутивами. Таїрас відповідно до позначень Кендалла (1951) можна описати як модель черги GI/G/R/GD/K/K із частотою між надходженнями та часом обслуговування.

Моделювання Монте-Карло.

Моделювання Монте-Карло [14] відноситься до методу, за якого розподіл можливих результатів генерується, дозволяючи комп'ютеру повторно обчислювати робочий аркуш, щоразу використовуючи різні випадково вибрані набори значень для розподілу ймовірностей у значеннях клітинок і формулах. Комп'ютерна програма ефективно пробує всі дійсні комбінації значень вхідних змінних для моделювання всіх можливих результатів.

Методи вибірки за методом Монте-Карло є абсолютно випадковими, тобто будь-яка дана вибірка може потрапити в будь-який діапазон вхідного розподілу. Зразки, швидше за все, будуть відібрані в областях поширення, які мають більшу ймовірність появи. Для кумулятивного розподілу, кожна вибірка Монте-Карло використовує нове випадкове число від 0 до 1. З достатньою кількістю ітерацій вибірка Монте-Карло «відтворює» вхідні розподіли.

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКА ЧАСТИНА.

2.1. Вихідні умови для розрахунку

Час транспортного циклу екскаваторно-автомобільного комплексу залежить від конкретних умов кар'єру, що представляють собою набір факторів зі стохастичною природою [15]. Тому експериментально-статистичні методи дослідження процесу транспортування забезпечують більш достовірні результати, ніж аналітичні. Аналіз даних систем моніторингу контролю завантаження та витрат палива (рис.2.1, рис.2.2) може частково замінити хронометражні спостереження, спрямовані на визначення часових параметрів роботи екскаваторно-автомобільного комплексу. Висока точність даних – перевага цього методу, однак його недоліком є неможливість оцінки реальної обстановки на місці, як це можливо під час проведення хронометражу.

Для аналізу були використані дані рапортів кар'єрних самоскидів, які працюють на кар'єрі одного з залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів у місті Кривий Ріг.

Ці дані включають такі показники:

- номер самоскида, номер екскаватора,
- час прибуття під завантаження,
- час початку завантаження,
- час закінчення завантаження,
- час прибуття до пункту розвантаження,
- час початку розвантаження,
- час закінчення розвантаження,
- номер пункту завантаження та його горизонт,
- номер пункту розвантаження,
- перевезена маса,

- вид перевезеного вантажу (залізна руда або пуста порода),
- пройдена відстань,
- середня швидкість руху з вантажем.

У першу зміну на кар'єрі працювало 16 екскаваторів на 18 горизонтах. Генеральна сукупність склала 3134 навантажень кар'єрних самоскидів вантажопідйомності 136 т. Парк екскаваторів та кар'єрних самоскидів за віком однаковий. Дані системи контролю завантаження та витрати палива були подальшим чином відсортовані за номером екскаватора та горизонтом навантаження.

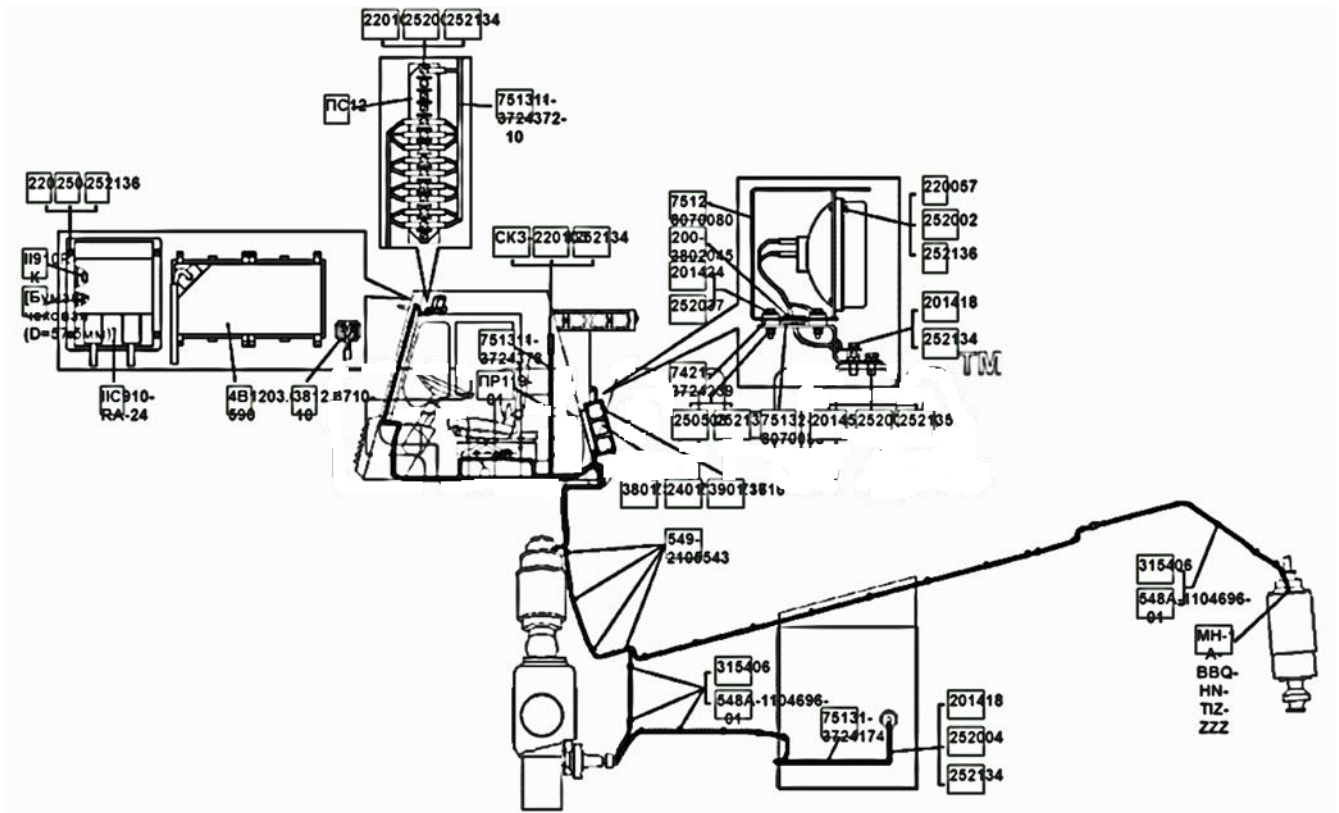


Рис.2.1. Система контролю завантаження та витрати палива кар'єрного самоскида вантажопідйомністю 136 т.



Рис.2.2. Екран оператора кар'єрного самоскида із системою контролю завантаження та витрати палива

2.2. Аналіз транспортного циклу

2.2.1. Час маневрування та навантаження

Обробка статистичних даних системи контролю завантаження та витрат палива дозволили встановити відповідні залежності часових параметрів елементів транспортного циклу кар'єрного самоскиду.

Коливання часу маневрування та навантаження показані на рис.2.3. Для часу маневрування під навантаження в екскаваторному забої визначені гістограми розподілу даних показників (рис.2.4, рис.2.5). Статистичні показники часових параметрів також представлені у табл.2.1.

Середній час, який витрачається самоскидом на маневрування під екскаватор, знаходиться на рівні 4,0 хв. (табл.2.1), а на завантаження – 3,2 хв. Максимальний час, який було зафіксовано для часу маневрування, – 24,9 хв., для часу навантаження – 11,57 хв. Стандартне відхилення часу маневрування – 4,54, а часу навантаження – 1,09. Для маневрування також характерна значно більша дисперсія вибірки, ніж для часу навантаження (табл.2.1).

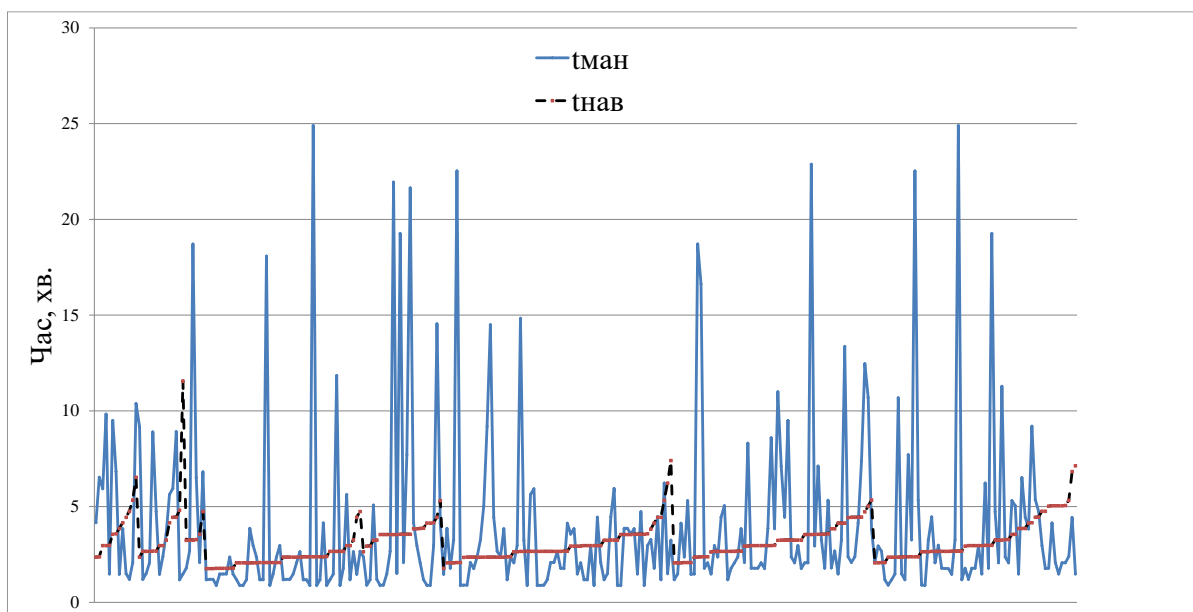


Рис.2.3. Коливання часу маневрування та навантаження кар'єрного самоскида

Табл.2.1

Показники часу маневрування та навантаження на одному із горизонтів кар'єру

Показник	Маневрування	Навантаження
Середнє	3,99	3,16
Стандартна похибка	0,27	0,06
Медіана	2,37	2,97
Мода	1,78	2,37
Стандартне відхилення	4,54	1,09
Дисперсія вибірки	20,65	1,18
Екссес	7,57	12,83
Асиметричність	2,70	2,49
Інтервал	24,02	9,80
Мінімум	0,88	1,77
Максимум	24,90	11,57
Сума	1171,90	928,65
Рахунок	294,00	294,00
Рівень 95% надійності	0,52	0,12

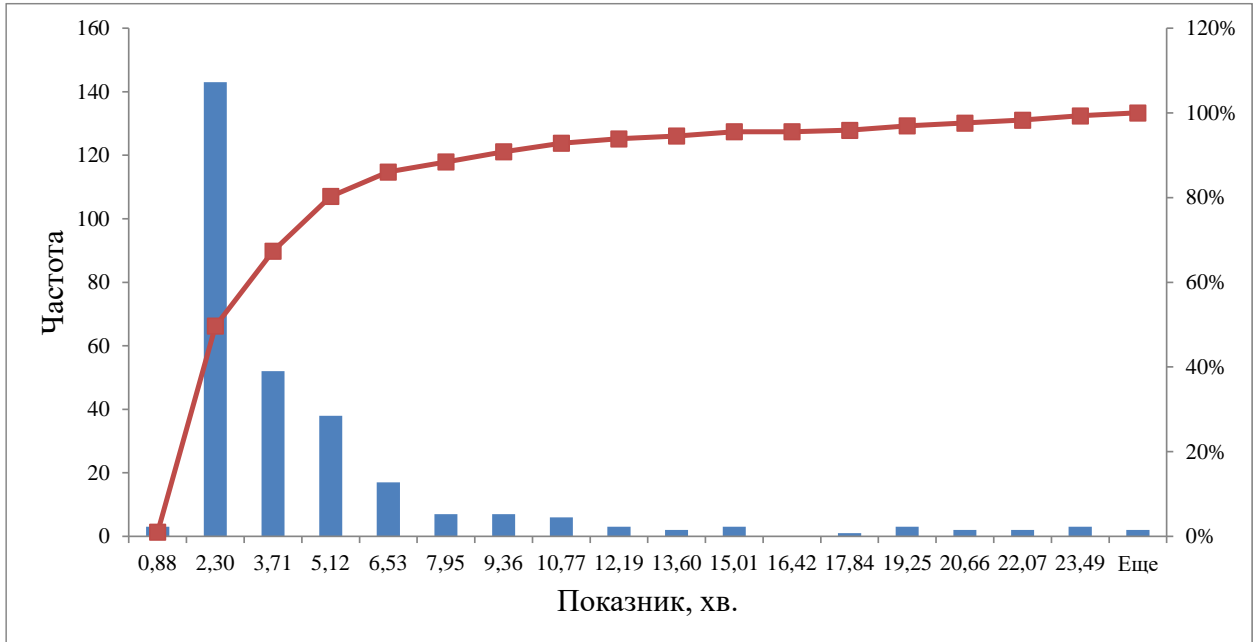


Рис.2.4. Гістограма розподілу часу маневрування кар'єрного самоскида під навантаження на одному із горизонтів кар'єру.

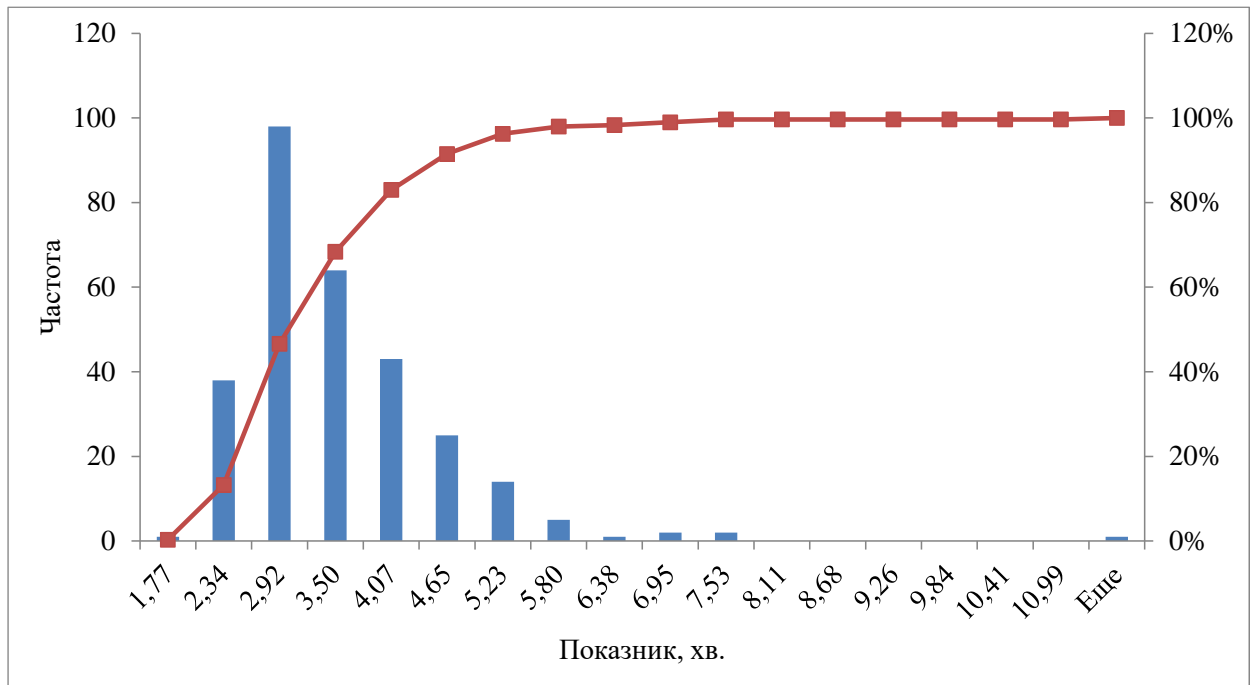


Рис.2.5. Гістограма розподілу часу навантаження кар'єрного самоскида на одному із горизонтів кар'єру.

На кожному горизонті кар'єру працює від одного до чотирьох екскаваторів. На основі обробки даних систем контролю завантаження та витрати палива були визначені середні значення часу маневрування самоскидів та навантаження екскаватором для кожного горизонту кар'єру (табл.2.2). Мінімальне значення показника часу маневрування спостерігається на горизонті № 210, а максимальне значення – на горизонті №150 – 8,1 хв. Середнє значення часу маневрування по кар'єру – 5,5 хв., а часу навантаження – 5,0 хв.

Табл.2.2.

Середні показники часу маневрування та навантаження в залежності від горизонту кар'єру

№ горизонту кар'єру	№ Екскаватору	Середній час маневрування	Середній час навантаження
30	86	3,99	3,16
45	69, 71	6,49	6,51
75	69, 73	5,86	4,41
105	68	7,37	6,32
120	68	5,42	5,05
135	69, 73	6,90	5,38
150	66, 71	8,10	5,01
165	66, 73	5,80	5,95
180	27-88	5,63	5,78
195	88,92	6,05	5,60
210	92	1,91	3,89
240	25, 98,99	6,70	4,54
255	25, 27, 91, 99	5,16	4,26
270	25, 27, 91	4,32	3,57
285	98, 99	4,40	5,87
315	99	4,09	4,71
Середнє значення		5,5	5,0

2.2.2. Час їздки із вантажем

Показник часу їздки з вантажем кар'єрного самоскида на одному із горизонтів кар'єру показаний на рис.2.6. Середнє значення показника – 13,3 хв., стандартна похибка – 0,37, медіана – 11 хв., мода – 8 хв., стандартне відхилення – 6,2, мінімальне значення показника – 6 хв., максимальне значення – 41 хв.

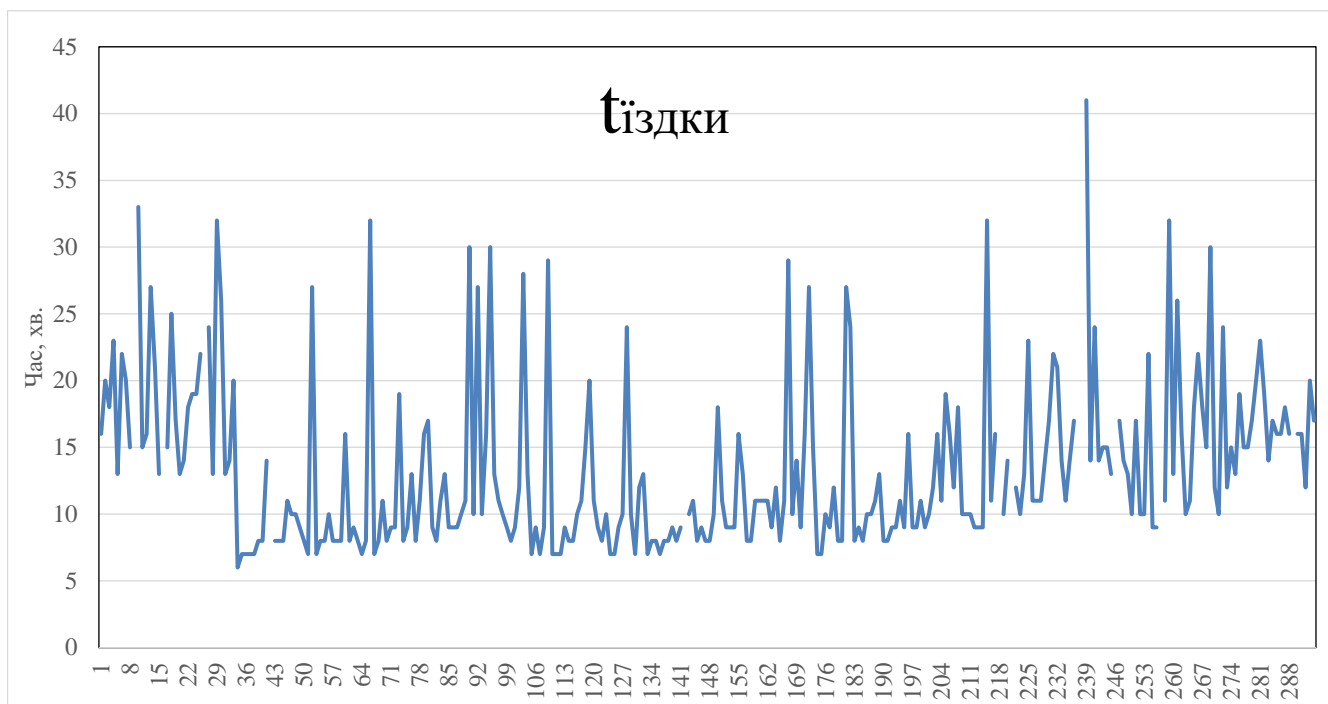


Рис.2.6. Час їздки із вантажем самоскида.

Статистичні показники часу їздки із вантажем у вигляді гістограми розподілу показника представлені на рис. 2.7.

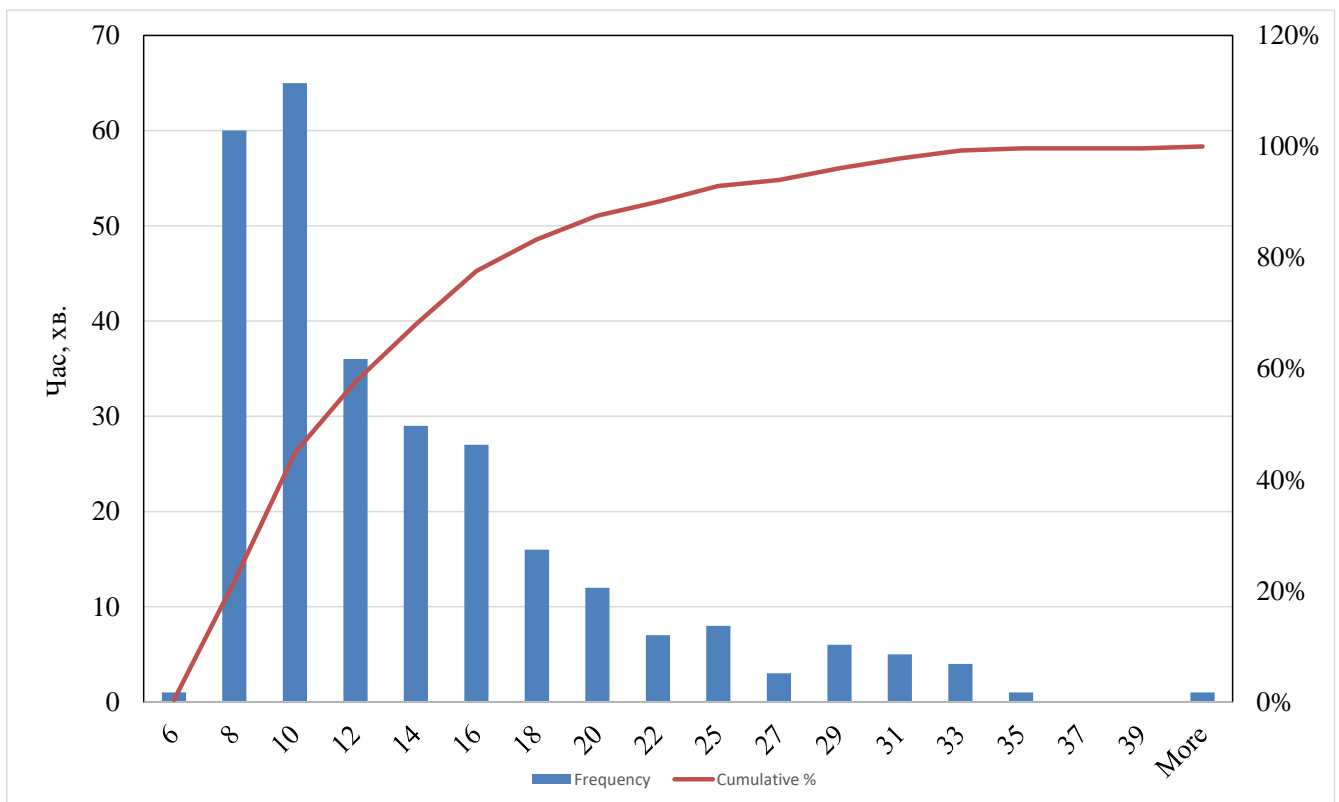


Рис.2.7. Гістограма розподілу часу їздки з вантажем кар'єрного самоскида на одному із горизонтів кар'єру.

Структура транспортного циклу кар'єрного самоскида показана на рис.2.8. Середня тривалість обороту кар'єрного самоскида, визначена обробкою статистичних показників, становила 37,5 хв. Більша частина циклу (65%) представлена непродуктивними операціями: маневруванням під навантаження-розвантаження, навантаженням, розвантаженням, їзdkою без вантажу. На рух із вантажем приходитьcя 35% від загального часу транспортного циклу. Таким чином, для підвищення продуктивності кар'єрної техніки потрібно розглянути заходи із скорочення часу очікування та маневрування самоскида під навантаження, розвантаження. Розрахункові значення часу маневрування під навантаження знаходяться на рівні 2 хв., що в 2,75 разів менше, ніж отримані фактичні значення показника.



Рис.2.8. Структура транспортного циклу кар'єрного самоскида, хв.

2.3. Середня швидкість завантаженого самоскида

Середнє значення показника швидкості кар'єрного самоскида із вантажем на одному із горизонтів завантаження становив 17,4 км/год., стандартна похибка – 0,12, медіана – 17,2 км/год., мода – 16,7 км/год., стандартне відхилення – 2,2, мінімальне значення показника – 12,3 км/год., максимальне значення – 23,8 км/год. Рис.2.9 показує розподіл показника середньої швидкості руху кар'єрного самоскида на одному із горизонтів кар'єру.

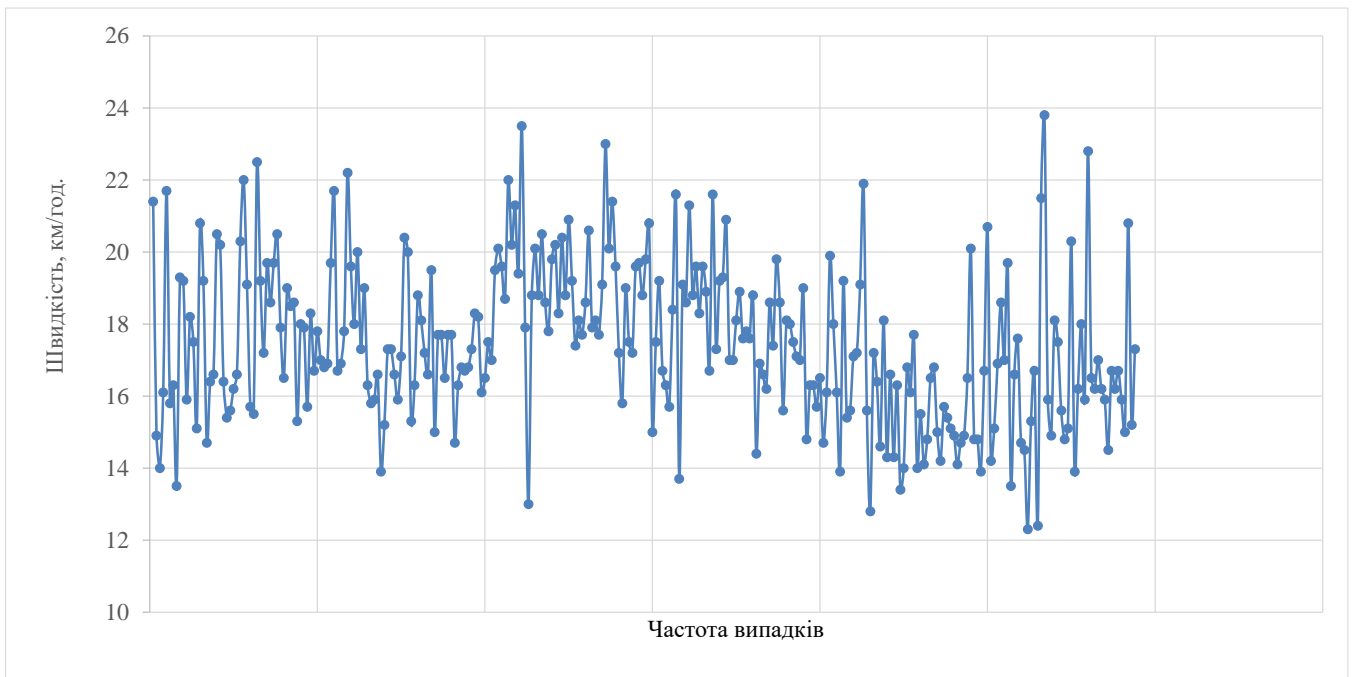


Рис.2.9. Швидкість завантаженого самоскида на одному з горизонтів кар'єру

Регресійній аналіз дозволив порівняти прогнозовані значення швидкості руху самоскида із даними обстежень (рис.2.10).

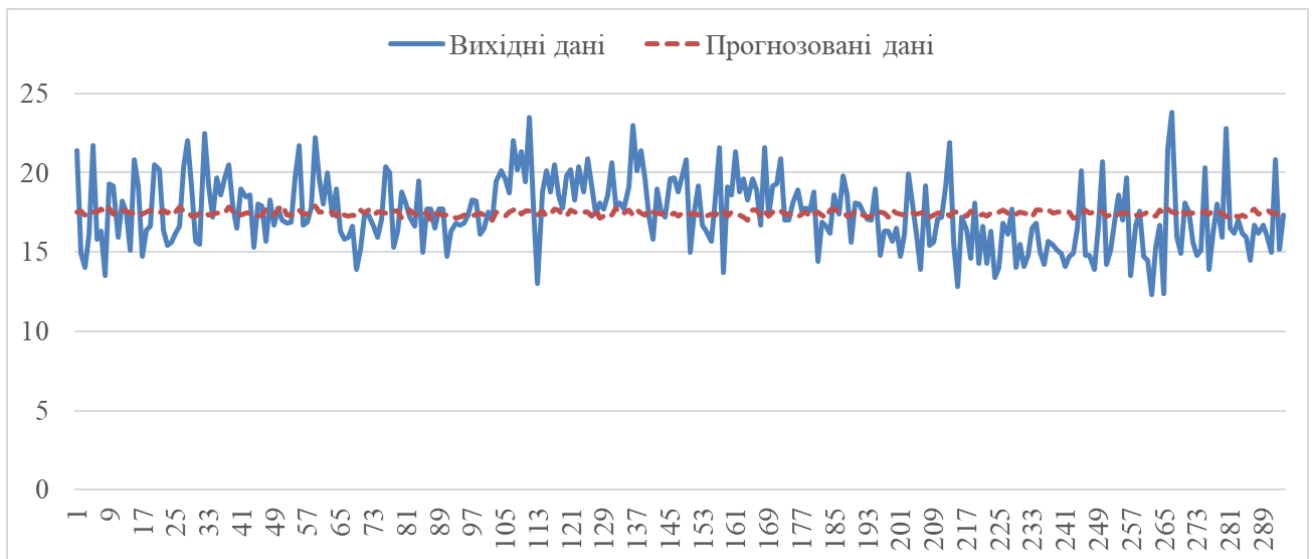


Рис.2.10. Вихідні та прогнозовані значення швидкості руху завантаженого самоскида.

Середня похибка апроксимації даного показника становила 12%.

2.4. Кореляція та регресійний аналіз показників роботи самоскида

Для визначення впливу конкретних показників роботи самоскидів на їх продуктивність виконаний аналіз множинної регресії. Залежною змінною виступила продуктивність самоскида (т/год.) (1), а в якості незалежних змінних – швидкість руху із вантажем (км/год.) (2), маса вантажу (т) (3), довжина їздки із вантажем (км) (4), час маневрування (хв.) (5), час навантаження (хв.) (6), час навантаження (хв.), час їздки із вантажем (хв.) (7).

Побудована матриця парних коефіцієнтів кореляції показників представлена у табл. 2.3.

Табл.2.3

Матриця парних коефіцієнтів кореляції показників роботи самоскида

№ n/n	1	2	3	4	5	6	7
1	1						
2	0,923496	1					
3	0,448184	0,073528	1				
4	0,020797	-0,08056	0,241445	1			
5	-0,12155	-0,17069	0,078603	-0,04263	1		
6	-0,03922	-0,07389	0,063014	0,270924	0,039953	1	
7	-0,15446	-0,25548	0,189205	0,481813	0,71864	0,333604	1

Як видно з матриці парних коефіцієнтів кореляції, найбільший вплив на продуктивність самоскида має швидкість руху із вантажем – коефіцієнт кореляції – 0,92 та маса перевезеного вантажу із коефіцієнтом кореляції 0,44. Також слід відмітити залежність між часом їздки із вантажем та часом маневрування під навантаження (0,71), довжиною їздки із вантажем та часом їздки із вантажем (0,48).

Регресійна статистика при рівні значимості 0,5 та надійності достовірності апроксимації 95% для змінних 1 та 2 показана у табл.2.4 – табл.2.6.

Табл.2.4

Регресійна статистика для показника продуктивності самоскида (Y)

Множинний R	0,9991135
R квадрат	0,998227786
Нормований R квадрат	0,998215564
Стандартна похибка	12,74450516
Кількість обстежень	293

Табл.2.5

Регресійна статистика для показника продуктивності самоскида (Y)

	Коефіцієнти	Стандартна похибка	t - статистика	P-значення	Нижні 95%	Верхні 95%	Нижні 95,0%	Верхні 95,0%
Перетин Y	-2169,08425	14,6611177	-147,948	3,6E-275	-	2140,23	-	2140,2
Швидкість	123,2715431	0,34146159	361,0114	0	122,59	123,94	122,59	123,94
Маса вантажу	17,6066629	0,11359277	154,9981	5,9E-281	17,383	17,830	17,383	17,830

Табл.2.6

Результати дисперсійного аналізу

	df	SS	MS	F	Значимість F
Регресія	2	26531241,11	13265621	81673,58	0
Залишки	290	47102,49943	162,4224		
Всього	292	26578343,61			

Похибка апроксимації регресійної моделі становила 0,42%. Це означає, що продуктивність самоскида прогнозована із дуже високою точністю. На графік виведено модельовані та фактичні значення продуктивності самоскида (рис.2.11).



Рис.2.11. Вихідні та прогнозовані значення продуктивності кар’єрного самоскида

Перевірку відсутності мультиколеніарності для змінних 1 та 2 (швидкість руху та маса перевезеного вантажу) виконаємо на основі кореляційного аналізу за матрицею парних порівнянь відповідних коефіцієнтів. Результати аналізу – у табл. 2.7.

Табл.2.7

Кореляція між масою перевезеного вантажу (2) та швидкістю руху самоскида (1)

	1	2
1	1	
2	0,073528	1

Як видно з табл.2.7, показник перевезеної маси та швидкості руху не зв’язані один від одного, оскільки коефіцієнт кореляції незначний – 0,073. Це означає, що мультиколеніарність відсутня, а створена модель відповідає гіпотезі

про відсутність мультиколеніарності між масою вантажу та швидкістю руху самоскида.

2.5. Висновки до розділу 2

За допомогою аналізу фактичних показників роботи екскаваторно-автомобільних комплексів можна виявити причини зростання непродуктивних операцій кар'єрних самоскидів.

Для аналізу використовувалися змінні рапорти кар'єрних самоскидів номінальною вантажопідйомністю 130 – 136 т, які працюють на залізорудному кар'єрі Кривого Рогу.

Статистичні дані системи контролю завантаження та витрат палива були відсортовані за номером кар'єрного екскаватора та горизонтом завантаження самоскида.

Визначено, що основна частина транспортного циклу кар'єрних самоскидів представлена непродуктивними операціями (65% від часу обороту самоскида). Підвищення продуктивності самоскида можливе за рахунок зменшення часу очікування та маневрування самоскида під навантаження та розвантаження. Наприклад, фактичний час маневрування становив 5,5 хв, хоча розрахункове значення – 2 хв.

Проведено кореляційний та регресійний аналіз (множинна регресія) між залежною величиною – продуктивністю самоскида та незалежними змінними – швидкістю руху із вантажем (км/год.), масою вантажу (т), довжиною їздки із вантажем (км), часом маневрування (хв.), часом навантаження (хв.), часом навантаження (хв.), часом їздки із вантажем (хв.).

З визначеної матриці парних коефіцієнтів кореляції визначено, що на продуктивність самоскида найбільше впливають швидкість руху із вантажем та маса перевезеного вантажу, між якими відсутня мультиколеніарність.

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ НА КАР'ЄРНОМУ АВТОТРАНСПОРТІ

Відкриті кар'єри часто характеризуються поєднанням транспортних засобів - від легкових автомобілів, які можуть користуватися дорогами загального користування, до важкого спеціалізованого транспорту, наприклад, самоскидів великої вантажопідйомності. Без ефективного контролю і нагляду існує потенціал для зіткнень між легковими і важкими транспортними засобами. Крім того, дороги та інша інфраструктура в таких місцях можуть мати специфічні ризики, оскільки вони можуть відрізнятися від стандартів загальної мережі доріг [19].

Небезпеки для безпеки руху можуть виникати через взаємодію транспортних засобів між собою, а також з іншими об'єктами та персоналом, або через випадання вантажів з транспортних засобів. Одним з особливо критичних, але ймовірних сценаріїв аварій є зіткнення великого вантажного транспорту з транспортним засобом, призначеним для перевезення персоналу або пасажирського автобуса.

Оцінка ризику, пов'язаного з рухом транспорту на відкритій розробці корисних копалин може включати наступні аспекти [20]:

(a) Технічна характеристика транспортних засобів, яка враховує їхні потреби на конкретному підприємстві, такі як радіус розвороту.

(b) Стан і здатність доріг та інших об'єктів задовольняти потреби транспорту, включаючи ухили, ширину доріг, стан дорожнього покриття та конструкція перехресть.

(c) Необхідність розділення у просторі або часі руху важкого і легкого транспорту, транспорту персоналу та інших транспортних засобів, а також пішохідного руху.

(d) Придатність використання засобів керування дорожнім рухом, таких як дорожні знаки.

(e) Ефективність заходів контролю за пилом.

(f) Контроль за водою та, де необхідно, за льодом.

(g) Ефективність процедур контролю за дорожнім рухом.

(h) Використання та ефективність захисних пристроїв для операторів і пасажирів, наприклад, ременів безпеки.

(i) Вплив обмеженої видимості транспортних засобів і заходи для поліпшення видимості, такі як пробліскові маячки або спеціальні кольори.

(j) Необхідність та підтримання забороненої або виключної зони навколо працюючих машин.

(k) Адекватність зв'язку між транспортними засобами або екскаваторами-навантажувачами, щоб забезпечити ефективну комунікацію та координацію між ними.

Усе самохідне пересувне обладнання, у тому числі, кар'єрні самоскиди, повинно бути обладнане відповідними гальмівними системами, здатними ефективно зупинити та утримати транспортний засіб у нерухомому стані при повному завантаженні за будь-яких умов експлуатації за умови правильного водіння.

Жоден транспортний засіб не повинен залишатися без нагляду, за винятком випадків, коли

- органи керування знаходяться в нейтральному положенні, а стоянкове гальмо повністю затягнуте;
- якщо це колісний транспортний засіб, припаркований на ухилі, то він розвернутий на узбіччя;
- головний вимикач пересувного обладнання з електричним приводом знаходиться у вимкненому положенні, всі робочі органи управління знаходяться в нейтральному положенні, встановлено гальма або вжито інших еквівалентних запобіжних заходів проти відкочування.

Під час руху транспортного засобу між робочими зонами рухомі частини обладнання повинні бути зафіксовані в положенні руху.

Стратегії контролю для доріг у рамках шахтного господарства включають наступні заходи.

Усі кар'єрні дороги повинні бути спроектовані і мати таку ширину, щоб адекватно утримувати транспортні засоби, які ними користуються. Вони повинні бути обладнані узбіччям (бермою) ефективного розміру для руху транспорту, що використовує дорогу (наприклад, не менше половини висоти найбільшого колеса).

Наскільки це практично можливо, легкі транспортні засоби і, зокрема, транспорт персоналу, слід відокремлювати від важких або вантажних транспортних засобів.

Вантажні дороги повинні мати достатню ширину, щоб уможливити безпечну експлуатацію найбільших транспортних засобів, які регулярно ними користуються, і забезпечити доступ для аварійних транспортних засобів, якщо це необхідно. Для двостороннього руху слід передбачати ширину, яка щонайменше в 3,5 рази перевищує ширину найбільшого транспортного засобу; а для одностороннього руху - щонайменше 1,5 ширини найбільшого транспортного засобу (під шириною мається на увазі ширина використовуваної робочої поверхні, вільної від напрямних стовпчиків, грейдерних колій та захисних бERM). Якщо вищезазначені заходи контролю не можуть бути повністю виконані, слід застосовувати альтернативні заходи зі зниження ризику.

Там, де це доречно, на односмугових дорогах слід передбачити місця для переходу, які повинні бути добре видимими з обох напрямків. Ухил і радіус будь-якої частини дороги повинні бути такими, щоб транспортні засоби могли безпечно роз'їжджатися по дорозі.

На дорогах повинні бути встановлені такі знаки, які можуть знадобитися для регулювання швидкості і руху всіх транспортних засобів, що користуються дорогами.

Кар'єрні дороги повинні бути належним чином дренажовані, щоб контролювати накопичення стоячої води. Там, де це необхідно для догляду за

поверхнею або боротьби з пилом, дороги слід поливати водою, але не до такої міри, щоб це ставило під загрозу безпеку. Дороги в умовах замерзання повинні систематично очищатися від снігу та льоду і посипатися піском, гравієм, шлаком або іншим матеріалом.

Вантажні дороги з крутими ухилами, визначеними за результатами оцінки ризику, повинні бути обладнані аварійними виходами і з'їздами, мати шляхи для екстреної евакуації [20]

(a) бути рознесені по всій довжині відкатної дороги

(b) гарантувати безпеку транспортного засобу, який з'їжджає на аварійну евакуаційну дорогу,

(b) забезпечувати безпечну зупинку транспортного засобу, що в'їжджає на аварійну евакуаційну дорогу; і

(c) транспортні засоби не повинні перевищувати ухил, визначений виробником.

Перехрестя вантажних доріг повинні

(a) бути сформовані так, щоб мати якомога більшу площу

(b) використовувати центральні бордюри для спрямування руху транспортних засобів, що повертають

(c) мати зменшену висоту дорожніх берма на під'їзді до перехрестя для покращення видимості;

(d) мати відповідні знаки, такі як знаки «Стоп» або «Дати дорогу», що контролюють другорядні дороги;

(e) тримати ліві або праві знаки на центральних узбіччях, залежно від обставин залежно від обставин; попереджувальні знаки на бічних дорогах та перехрестях; та розміщення попереджувальних знаків.

Робоча швидкість транспортних засобів повинна відповідати умовам дорожнього покриття, ухилу, відстані, видимості, інтенсивності руху та типу транспортного засобу. Оператори мають повністю контролювати транспортні

засоби під час руху. Самоскиди мають завжди експлуатуватися під контролем потужності. Повинна бути визначена для даного кар'єру максимально допустима швидкість руху транспортних засобів.

Транспортні засоби повинні знаходитися на безпечній відстані один від одного (наприклад, 50 м на під'їзних шляхах і 30 м поблизу місць завантаження та перевантажувальних пунктів), а інші транспортні засоби мають бути відокремлені, щоб запобігти можливому розливу нафтопродуктів.

Транспортні засоби повинні рухатися в одному ряду (не обганяти), за винятком випадків, коли інший транспортний засіб зупинився (наприклад, зламався або тимчасово припаркований). Забороняється обгін, якщо немає позитивної комунікації з іншим транспортним засобом.

Наскільки це практично можливо, всі кар'єрні самоскиди мають бути обладнані двосторонніми радіостанціями для забезпечення зв'язку між ними та машинами, що працюють у вибої. Використання мобільних телефонів, у тому числі за допомогою пристроїв гучного зв'язку, має бути заборонено під час руху транспортних засобів.

На всіх транспортних засобах повинні бути вогнегасники відповідного номіналу та згідно з прийнятими стандартами. Усі оператори кар'єрних самоскидів мають бути обладнані триточковими ременями безпеки.

На всіх кар'єрних самоскидах мають бути використані прапори, пробліскові маячки та розпізнавальне маркування для покращення видимості, за необхідності. Транспортні засоби не слід залишати без нагляду, поки працює двигун.

Коли рух по дорогах припиняється, плани руху повинні бути змінені і доведені до відома працівників.

Дорожні знаки повинні, наскільки це можливо, бути ідентичними з тими, що використовуються в мережі доріг загального користування за межами ділянки видобутку.

Дорожні знаки слід встановлювати в критичних точках, наприклад [20]

- (a) перехрестя
- (b) там, де змінюються обмеження швидкості
- (c) при значних змінах у класі дороги
- (d) при зміні нормального транспортного потоку; і
- (e) для позначення особливих дорожніх небезпек, за необхідності.

Дорожні знаки повинні бути частиною регулярних перевірок кар'єру, а також ремонтуватися або замінюватися за необхідності.

Місця для паркування повинні бути позначені знаками з забезпечення стабільного паркування.

Місця для паркування також повинні включати:

- (a) захист пішоходів (наприклад, окремі пішохідні доріжки, односторонній рух, пішохідні доріжки, що не перетинають транспортні шляхи);
- (b) захищені майданчики для технічного обслуговування, за необхідності
- (c) достатнє безпечне розмежування для важких транспортних засобів (наприклад, щонайменше 5 м);
- (d) окремі стоянки для легкових та важких транспортних засобів; та
- (e) належне освітлення.

Слід дотримуватися достатньої безпечної відстані між транспортними засобами та робочими машинами, особливо в зоні вибою з використанням електронних систем попередження про наближення.

Перед тим, як транспортний засіб потрапляє в зону дії машини, має бути налагоджена позитивна комунікація між водієм та оператором машини [20].

ВИСНОВКИ

У роботі проведено аналіз ефективності роботи кар'єрних самоскидів з номінальною вантажопідйомністю 130 – 136 т, які функціонують на одному із залізорудних кар'єрів Кривого Рогу. Для цього використовувалися змінні рапорти кар'єрних самоскидів та екскаваторів.

1. Статистичні дані системи контролю завантаження та витрат палива були відсортовані за номером екскаватора та рівнем завантаження самоскида. Встановлено, що основна частина транспортного циклу кар'єрних самоскидів складається з непродуктивних операцій (65% часу обороту самоскида). Середній час маневрування становив 5,5 хвилин, в той час як розрахункове значення з врахуванням особливостей умов експлуатації – 2 хвилини. Підвищення продуктивності самоскида можливе шляхом зменшення часу очікування та маневрування самоскида під час завантаження та розвантаження.

2. Проведений кореляційний та регресійний аналіз, використовуючи множинну регресію, між залежною змінною – продуктивністю самоскида, та незалежними змінними – швидкістю руху з вантажем (у км/год), масою вантажу (у тоннах), довжиною їздки з вантажем (у кілометрах), часом маневрування (у хвилинах), часом навантаження (у хвилинах) та часом їздки з вантажем (у хвилинах).

За матрицею парних коефіцієнтів кореляції встановлено, що найбільший вплив на продуктивність самоскида має його швидкість руху з вантажем (коефіцієнт кореляції – 0,92), у той час як маса перевезеного вантажу демонструє менший, але все ще помітний вплив з коефіцієнтом кореляції 0,44. Варто також зауважити, що існує зв'язок між часом їздки з вантажем та часом маневрування під навантаженням (0,71), а також між довжиною їздки з вантажем та часом їздки з вантажем (0,48).

3. Показник обсягу перевезеної гірничої маси та швидкості руху не мають значного зв'язку один з одним, оскільки коефіцієнт кореляції невеликий – 0,073, що свідчить про відсутність мультиколінеарності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Математичні моделі функціонування підприємств технічного сервісу кар'єрних автосамоскидів / Монастирський Ю.А., Бондар І.В., Сістук В.О. // Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. Науковий журнал.- Луцьк: Луцький НТУ, 2019.- № 2 (13). – с. 124 – 130

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

3. Y. Monastyrskiy, V. Sistuk, I. Maksymenko. Prospects for using truck trolley-assisted haulage systems in deep iron ore open pit mines. Vytautas Ostaševičius (pirmininkas). (2023). Transport Means 2023. Part II. Proceedings of the 27th International Scientific Conference. P.705 – 709. <https://ebooks.ktu.edu/pdfreader/transport-means-2023.-part-ii.-proceedings-27th-international-scientific-conference>.

4. A. J. Krause. Shovel-truck cycle simulation methods in surface mining. 2006.

5. Caterpillar introduces trolley assist system for CAT electric drive mining trucks [online cit.: 2020-02-12]. Available from: https://www.cat.com/en_IN/news/machine-press-releases/caterpillar-introduces-trolley-assist-system-for-cat-electric-drive-mining-trucks.html

6. Optimization of the process of efficiency management of the primary kaolin excavation on the curved face of the conditioned area / V.Korobiichuk, R.Sobolevskiy, V.Levytskyi and other // Rudarsko Geolosko Naftni Zbornik. – 2020. – Vol. 35, Issue 1. – P. 123–137.

7. Аналіз моделі технологічних станів кар'єрних самоскидів БелАЗ / В. В. Потапенко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Автомобіле- та тракторобудування, 2013. – № 29 (1002). – С. 126–132.
8. Дриженко, А.Ю. (2014). Відкриті гірничі роботи. Дніпропетровськ: НГУ, 590 с.
9. Визначення техніко-економічних показників роботи кар'єрного автотранспорту на щебених кар'єрах // Якимчук Ю.С., Остафійчук Н.М., Державний університет «Житомирська політехніка».
10. Ковалевич Л. А. Обґрунтування параметрів роботи технологічного транспорту в умовах щебених кар'єрів: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.15.03. – Житомир, 2023
11. Собко Б. Ю. Комплекси гірничого обладнання "драглайн-автосамоскид" : [монографія]. – Дніпро: Журфонд, 2023.
12. Пахомов В. І. Дослідження характеристик ефективності екскаваторно-автомобільних комплексів на кар'єрах Кривбасу // Вісн. Криворіз. нац. ун-ту : зб. наук. пр. – 2018. – Вип. 47.
13. Пахомов В. І. Обґрунтування раціональної організації експлуатації кар'єрних автосамоскидів // Вісн. Криворіз. нац. ун-ту : зб. наук. пр. - 2021. - Вип. 52.
14. Вінівітін Д. В. Складання графіка черговості розвантаження автосамоскидів на пункті розвантаження при транспортуванні гірської маси на залізорудному кар'єрі // Металлург. и горноруд. пром-сть. – 2017. – № 3.
15. Бондаренко Л. А. Економічне оцінювання та обґрунтування шляхів підвищення конкурентоспроможності вітчизняних кар'єрних автосамоскидів: автореф. дис. ... канд. екон. наук : 08.00.04. – Дніпропетровськ, 2016.
16. Sladkowski A. Improving the efficiency of using dump trucks under conditions of career at open mining works // Наук. вісн. Нац. гірн. ун-ту. – 2019. – № 2.

17. Методика оптимізації екскаваторно-автомобільного комплексу при використанні тимчасових відвалів / Р.В. Слободянюк, М.М. Пижик // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. праць. — Дніпропетровск: ІГТМ НАНУ, 2016. — Вип. 130. — С. 159-167. — Бібліогр.: 13 назв. — укр.

18. Давідіч Ю. О. Конспект лекцій з дисципліни «Ефективність транспорту» (для магістрів усіх форм навчання спеціальності 275 – Транспортні технології) / Ю. О. Давідіч, Г. І. Фалецька, М. В. Ольхова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. – 74 с

19. Степанов О. В. Безпека автосамоскидів на породних відвалах: монографія. — Харків: Водний Спектр Джі-Ем-Пі, 2016.

20. ILO code of practice: Safety and health in opencast mines. International Labour Office, Geneva, 2018