

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
КАФЕДРА “АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ”

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

“ ВИЗНАЧЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА ПАЛИВА КАР’ЄРНИХ
АВТОСАМОСКІДІВ ПРИ ПОГІРШЕННІ ГІРНИЧИХ ДОРІГ ЗА
ДОПОМОГОЮ МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ ПОДІЙ ”

ВИКОНАВ: ЯЛОВИЙ ЄВГЕНІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

КЕРІВНИК: МОНАСТИРСЬКИЙ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

Допущений до захисту

Зав. кафедрою АТ

« _____ » листопада 2024 р.

Ю.А.Монастирський

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ
Кафедра “ Автомобільний транспорт ”
Освітня програма – Автомобільний транспорт

Затверджую:

Зав. кафедрою АТ

Ю.А.Монастирський

« » вересня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Яловому Євгенію Володимировичу

1. Тема роботи “ Визначення продуктивності та палива кар’єрних автосамоскидів при погіршенні гірничих доріг за допомогою моделювання дискретних подій ” затверджена наказом по університету від «16» вересня 2024 р. № 838с
2. Термін здачі закінченої роботи «30» листопада 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: *наукові статті за темою роботи.*
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: *Вступ, Вихідні дані та методи дослідження, Узагальнення результатів дослідження, Висновки, Список використаних джерел*
5. Перелік графічного матеріалу *Графіки та діаграми по результатах досліджень.*
6. Дата видачі завдання - 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор.№	Назва етапів випускної роботи	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	<i>Аналіз стану питання</i>	<i>10.09.24 – 01.10.24</i>	
2	<i>Методичні засади</i>	<i>02.10.24 – 20.10.24</i>	
3	<i>Дослідження та аналіз результатів</i>	<i>21.10.24 – 21.11.24</i>	
4	<i>Формулювання висновків</i>	<i>22.11.24 – 24.11.24</i>	
5	<i>Оформлення презентаційної частини</i>	<i>25.11.24 – 30.11.24</i>	

Завдання видав керівник

МОНАСТИРСЬКИЙ ЮРІЙ АНАТОЛІЙОВИЧ

Завдання прийняв

ЯЛОВИЙ ЄВГЕНІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Зміст

АНОТАЦІЯ	4
1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	5
2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ	8
3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ВІРТУАЛЬНОМУ КАРЄРІ	16
4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ГНІВАНЬСЬКОГО КАР'ЄРУ ПАТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ».....	29
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

АНОТАЦІЯ

Розробка корисних копалин відкритим способом заснована на динамічних роботах у відкритому кар'єрі, причому транспортна операція є найбільш вирішальною з точки зору вартості та загальної продуктивності операції. Життєво важливим аспектом успіху вантажних перевезень є умови доріг, які з часом змінюються через знос. Ця робота спрямована на моделювання та оцінку ефекту тимчасового погіршення стану кар'єрних автодоріг, що впливає на гірничі шляхи під час гірничих робіт відкритим способом через опір коченню, використовуючи інструмент моделювання дискретних подій (SED) для оцінки двох ключових аспектів операції: продуктивності та споживання палива. Крім того, щоб усунути погіршення стану доріг, призначення грейдера зі змінною частотою використання буде змодельовано за допомогою паралельної моделі. Приведені результати досліджень в умовах Гніваньського вапнякового кар'єру.

1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

Підвищення ефективності відкритих гірничих робіт є постійним викликом, який включає різні чинники оцінюваної діяльності, такі як економічні, екологічні та соціальні аспекти. У цьому контексті одним із найважливіших етапів у шахтних роботах є транспортування, на яке зосереджено 50% загальних витрат на видобуток [1], і продуктивність якого визначається, серед інших причин, якістю транспортної дороги, на якій подорожі вантажівок. На жаль, дороги погіршуються через проїзд вантажівок та дію атмосферних агентів, таких як дощ, вітер та погану експлуатаційну практику [1] ; всі ці елементи впливають на швидкість вантажівок, що є критичним для досягнення мети виробництва.

Для моделювання тимчасового зносу дороги його можна представити через опір коченню (RR) [1 , 2], де він встановлює, що швидкість зносу не є рівномірною вздовж дороги [3], як показано на Рисунку 1, і це залежить від часу операції. Крім того, RR має добре встановлену поведінкову стадію в часі. RR можна виразити в одиницях ступеня нахилу, і його можна додати до ухилу рампи; це може призвести до значного збільшення загального нахилу дороги, що зрештою призведе до зниження швидкості вантажівки.

Виробники вантажівок розробили кілька методів визначення швидкості вантажівки [2 , 4], і цей параметр є вирішальним, оскільки дозволяє виконати план шахти, створюючи високий ступінь продуктивності. Однак, якщо швидкість вантажівок нижча за очікувану, це призведе до збільшення часу циклу вантажівок, що вплине на низьку продуктивність. З іншого боку, швидкість вантажівки залежить від погіршення стану дороги; Крім того, це один із найпоширеніших факторів, які пов'язані з техніко-економічними показниками, такими як: споживання палива, підвищене забруднення твердими частинками, більші викиди парникових газів, знос шин, запасних частин та ремонт транспортного обладнання [1 , 5].

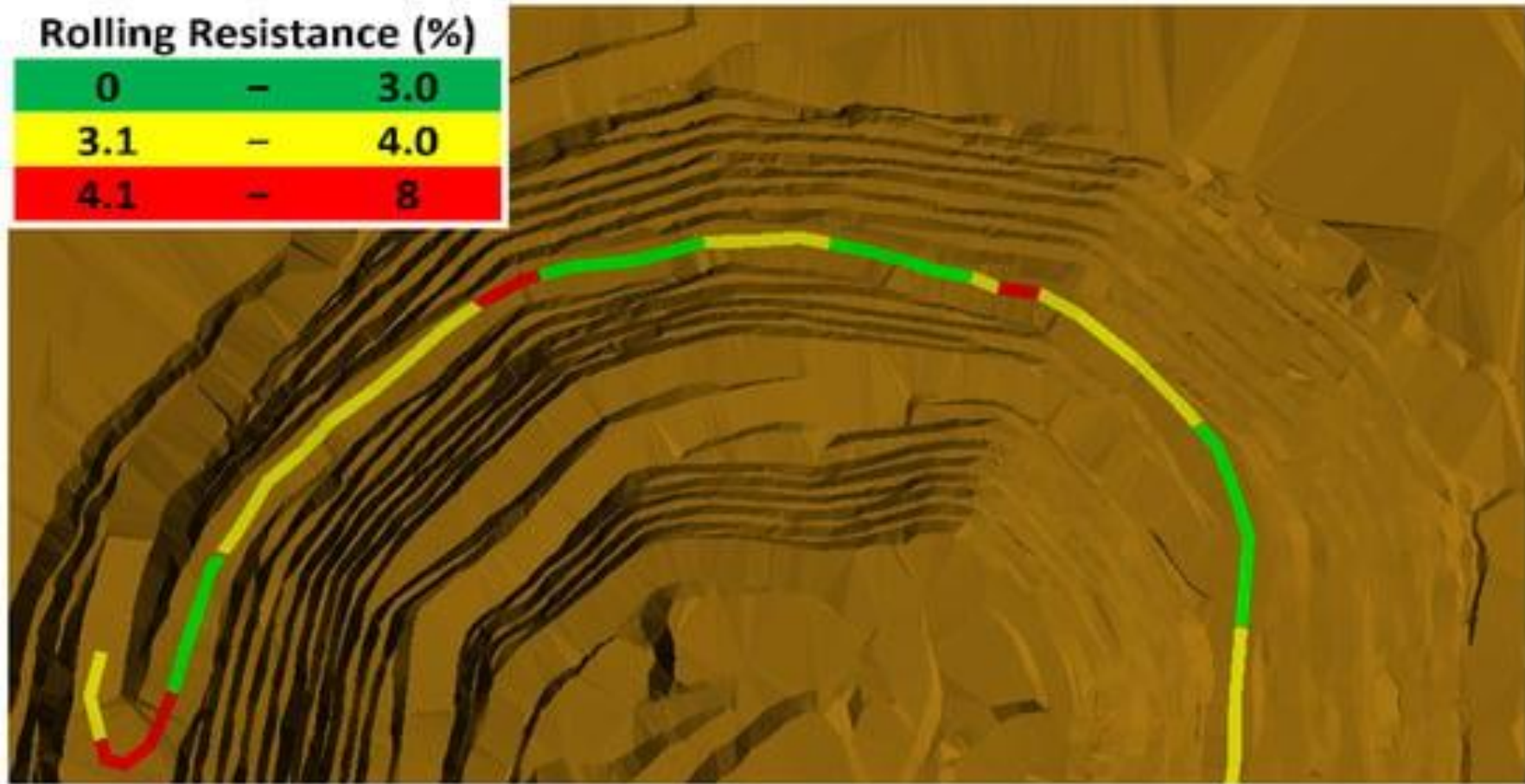


Рисунок 1. Концептуальне представлення диференційованого погіршення між сегментами дороги у кар'єрі.

Незважаючи на те, що управління утриманням шахтних доріг досить детально вивчається в літературі [1 , 6 , 7] і часто в контексті гірничих робіт, воно розглядається як фактор другого порядку, але при цьому ігнорується, що багато прогалин у досягнення цілей можна досягти, якщо включити краще управління утриманням доріг.

Щоб зробити внесок у вивчення/вирішення цих проблем, використовуються різні методи моделювання, які застосовувалися в різних областях з метою моделювання, розуміння та експериментів із системою в контрольованих умовах. У разі погіршення стану доріг використовувалося моделювання Монте-Карло (SM) [8] з деякими обмеженнями щодо гнучкості моделювання та неможливості відобразити динамізм більш складних гірничих робіт. Іншим типом техніки моделювання є моделювання дискретних елементів (SED), де ця техніка дозволяє розвивати моделювання в подіях, які відбуваються в певний час протягом певного періоду часу, і де змінні стану системи можуть змінюватися [9]; отже, це більш складна та універсальна техніка, ніж SM, і вона може відображати складність гірничих робіт, широко застосовуючись у різних областях техніки [9] та гірничої справи [10 , 11]. Ця методика була успішно застосована для визначення споживання палива кар'єрними самоскидами, враховуючи RR без тимчасових змін [12].

Ця робота сприяє вивченню управління технічним обслуговуванням доріг, враховуючи два відповідні елементи: перший – це еволюція тимчасового погіршення стану дороги, а другий – секторизація шляху вантажівки, де вона представляє різні умови. Щоб вирішити ці дві умови, SED дозволяє зрозуміти взаємозв'язок між ефектом погіршення стану транспортної дороги шахти та деякими з найважливіших ключових показників ефективності, продуктивністю парку вантажівок і споживанням палива. Нарешті, симуляція може виміряти ефективність технічного обслуговування через частоту руху автогрейдера на шахтній дорозі.

2. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ТЕОРЕТИЧНИХ РОЗРАХУНКІВ

Для моделювання та імітації процесу, пов'язаного з транспортуванням матеріалу, визначено чотири фази моделювання, які є:

- Визначення та характеристика вихідного матеріалу; в даному випадку він асоціюється з лопатами.
- Процес транспортування матеріалів за допомогою вантажівок, які взаємодіють з дорогами.
- Визначення та характеристика точки призначення, яка закриває перший шлях.
- Транспортний процес без матеріалу за допомогою вантажівок, які взаємодіють з дорогою.

У його розробці використовується єдиний контур або маршрут, уздовж якого парк вантажівок завершить цикл, який проходить від екскаватора на фронті виробництва до дробарки, через рампу з фіксованим ухилом, а потім назад до екскаватора, як показано на рисунку 2 .

Для обчислювальної реалізації моделі буде використано програмне забезпечення моделювання для загального використання SIMIO [13], і лопата, і дробарка будуть змодельовані як СЕРВЕРИ [11 , 12], оскільки вони є статичними елементами моделювання, маючи обидва в загальний час уваги до вантажівок і здатність створювати чергу. Вантажівки будуть змодельовані як сутності [14], оскільки вони є динамічними елементами системи; їхня особливість полягає в тому, що їхня маса бруто (T_t) і корисне навантаження (w) змінюється, коли вантажівка завантажується породою. Дробарка має змінну, яка зберігає тоннаж (T_T), і коли вантажівка прибуває до дробарки, ця змінна збільшує своє значення до $T = T + w$; це означає тоннаж, де вантажівка розвантажується в дробарці. Після того, як вантажівка покине дробарку $w = 0$, це означає, що вантажівка повертається порожньою до екскаватора.

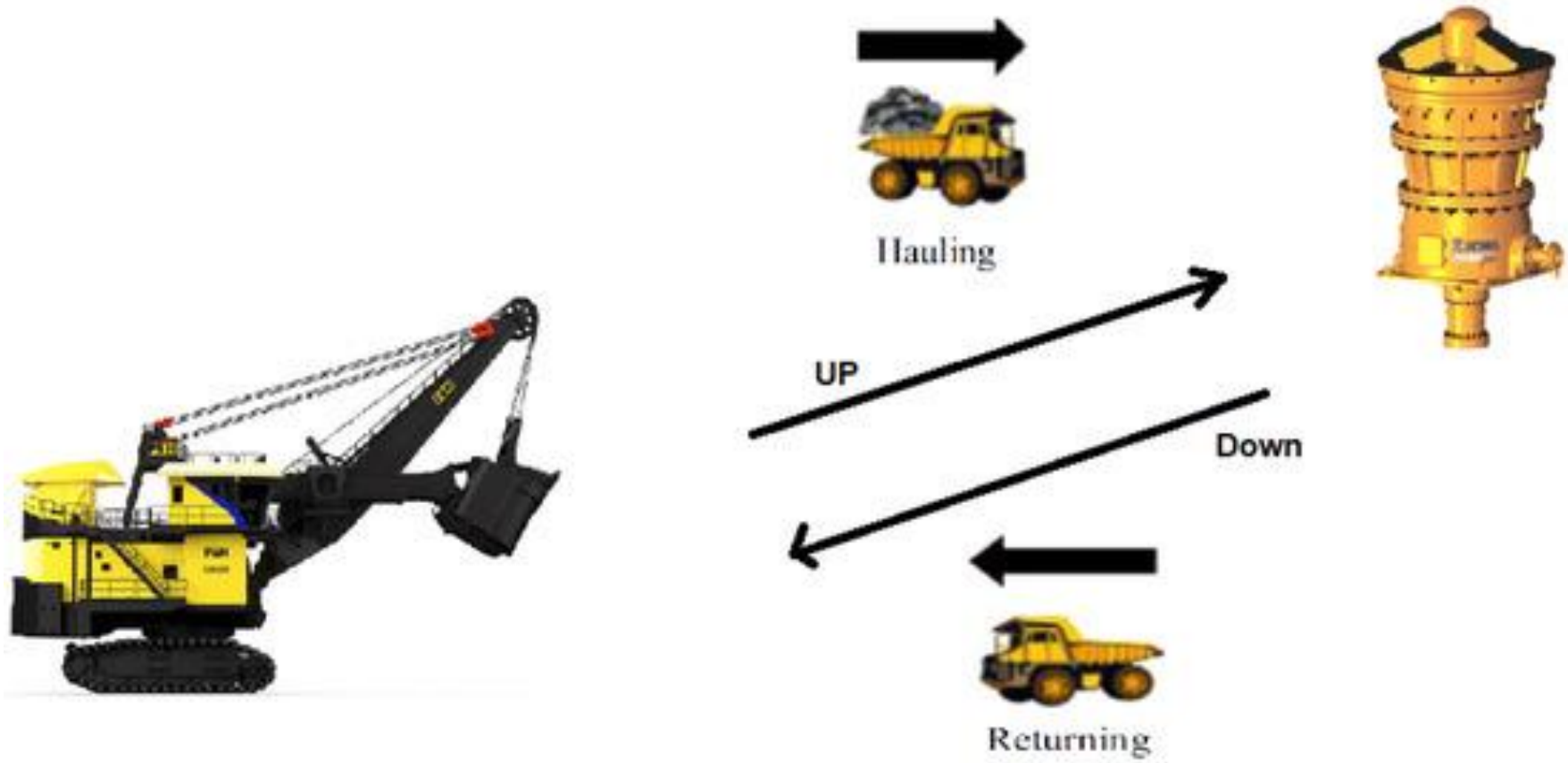
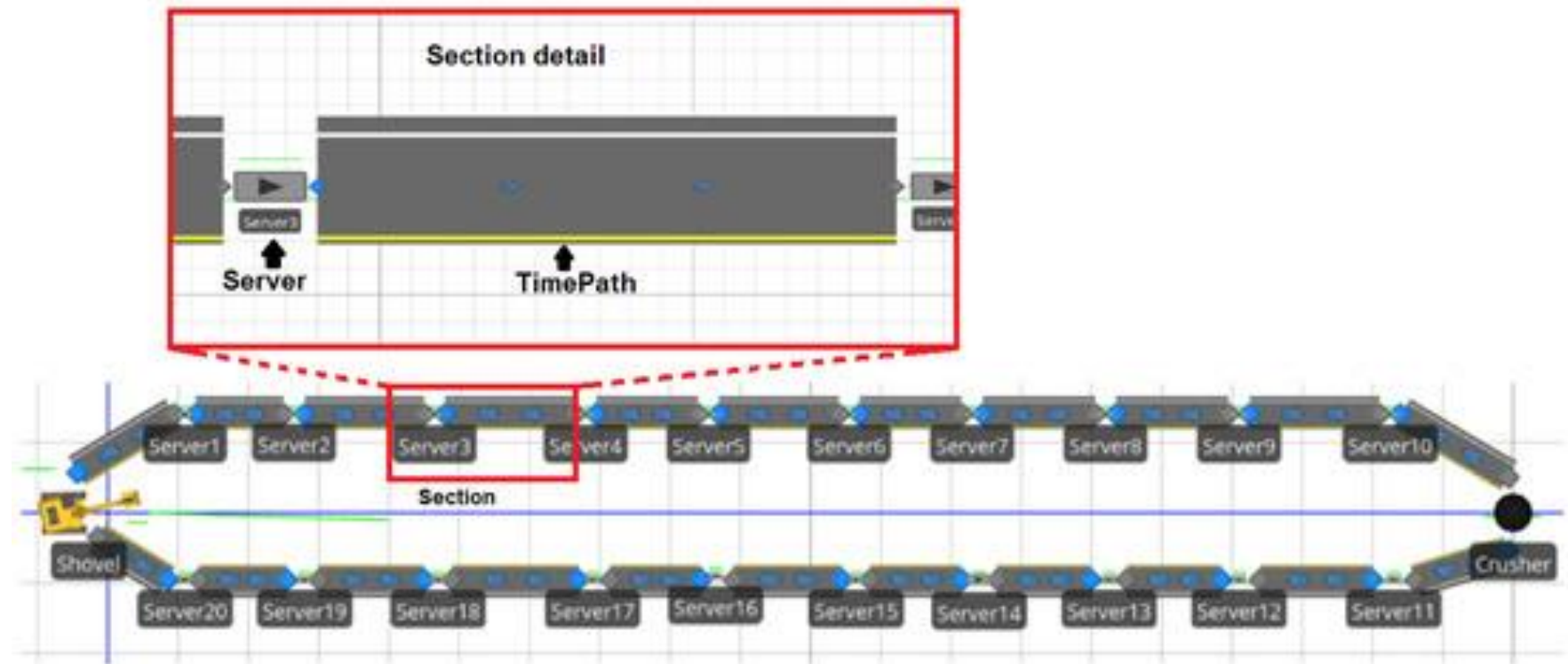


Рисунок 2. Схема маршруту вантажівки.

Моделювання дороги буде однаково важливим порівняно з моделюванням системи видобутку корисних копалин, оскільки воно представлятиме тимчасове погіршення стану дороги та всі характеристики, які з цього випливають [1]. Для цього дорога буде розділена на дві незалежні колії відповідно до напрямку вантажівки, і кожна колія буде розділена на ділянки постійної довжини. Розділ буде представлено в імітаційній моделі за допомогою двох елементів: «Сервер» і «Часу шляху». Елемент «Сервер» кожного розділу допоможе нам представити процеси, пов'язані з декомпозицією якості доріг і ремонтом доріг, коли їх відвідує автогрейдер. Крім того, елемент «Часу шляху» представляє час, потрібний вантажівці, щоб перетнути певну ділянку дороги. Отже, це допоможе нам оцінити вплив погіршення стану доріг на швидкість вантажівок, головним чином, коли вони піднімаються по пандусу до дробарки. На рисунку 3, ми можемо побачити загальну схему імітаційної моделі, де можна оцінити основні елементи.

Для представлення погіршення шляху в рамках моделювання, процес або алгоритм буде встановлено для кожної ділянки шляху. Кожен процес, пов'язаний із розділом, є ідентичним і незалежним від процесів інших розділів, а його роботу детально показано на рисунку 4 . Процес складається з таймера та рекурсивного елемента виконання, де кожна хвилина додає одну одиницю до змінної N_H ; ця змінна показує, як час збільшується щохвилини; тобто підраховує хвилини в процесі. Процес передбачає, що погіршення розвивається поетапно; на рисунку 4 встановлено три стадії псування: ранню, проміжну та пізню. Щоб розрізнити, яка стадія використовується, існують умови, які визначають ступінь зносу секції; наприклад, якщо N_H менше ніж t_1 , то процес знаходиться на ранній стадії погіршення. Кожен етап обчислює три змінні: RR , швидкість і час



Рисунок

3.

Ілюстрація

концептуальної

пропозиції.

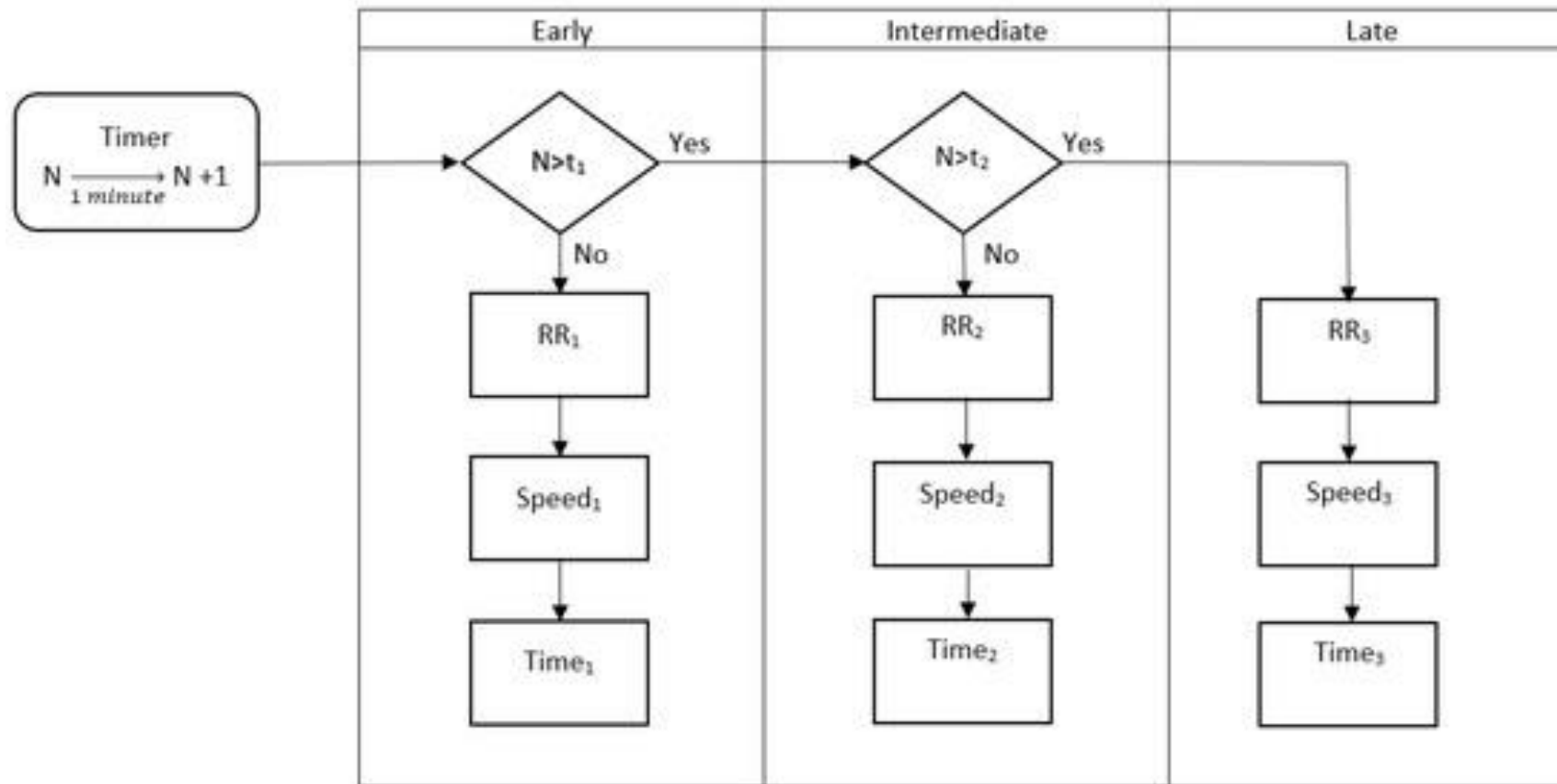


Рисунок 4. Ілюстрація послідовності випадків, досліджених для моделювання дискретних подій.

Як контрольний параметр, коливання споживання палива оцінюється на основі роботи [15], який встановлює коефіцієнт споживання палива (CF), який залежить від ухилу дороги та ваги (T_t) і швидкості (виражена у використаному часу t) вантажівки з таким математичним виразом:

$$Consumption[Its] = CF \left[\frac{Its}{ton\ hr} \right] * T_t[ton] * t[hr] \quad (1)$$

Крім того, імітаційна модель використовуватиме змінну, яка фіксує CF на кожній ділянці дороги, (i), коли вантажівка проїжджає через цю ділянку в одному з циклів руху (N_H), він повинен виконати, як визначено за допомогою такої змінної, яка може бути представлена у виразі (2):

$$CF_{i,j,N} = CF \text{ у секції } i \text{ для вантажівки } j \text{ у циклі } N \quad (2)$$

Щоб зберегти дорогу та зупинити погіршення дорожніх умов, автогрейдер проїжджає кожну ділянку дороги, змінюючи погіршення дороги, повертаючи змінну, яка підраховує хвилини, до нуля ($N = 0$), у процесі, зображеному на рисунку 3, для кожного з розділів. Для цього будується паралельний процес або алгоритм, який представляє дію автогрейдера, який детально описано в Алгоритмі 1.

Автогрейдер закріплюється за дорогою з періодичністю (F_{rec}), що має бути більше, ніж час циклу руху вантажівки (T_{cl}) по всій дорозі, і це менше, ніж загальний час моделювання (T_t), так що $T_{cl} < F_{rec} < T_t$. Для того, щоб автогрейдер почав свій шлях, має бути таймер, який виконується відповідно до частоти призначення та запускає процес грейдера; це означає, що таймер запускається в часовій послідовності, що належить до початкового набору (стартових умов), які становлять: $\{ 0, 1 * F_{rec}, 2 * F_{rec}, \dots \}$

Алгоритм 1: Псевдокод.

Motor grader process

```
1:      If  $T_{cl} < Frec < T_t$  then:
2:          For i in Starting set:
3:              Execute Timer(Starting Set[i]):
4:                  For j in Sections:
5:                       $N_j = 0$ 
6:                      Wait  $t_{mov}$ 
7:                  End For
8:          End For
9:      End if
```

Процес автогрейдера складається з ітеративної роботи, що проходить кожен ділянку дороги; для цієї мети секції визначаються як набір усіх ділянок дороги від 1 до n у послідовності, яку може проїхати автогрейдер. $Sections = \{section1, section2, \dots, section n\}$; автогрейдер повинен витратити час t_{mov} переміщуючись від однієї ділянки до іншої, доки не завершить проходження всієї дороги, як представлено в Алгоритмі 1.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА ВІРТУАЛЬНОМУ КАР'ЄРІ

Наведене нижче дослідження базується на умовній дорозі з відкритим кар'єром (рисунок 5), довжиною 5 км і нахилом 9,5%, яка розділена на 12 ділянок, що відповідає 6 секціям у кожному напрямку відповідно.

Використовується парк із 10 вантажівок, де кожна вантажівка має вагу 150 тонн і вантажопідйомність 150 тонн, так що загальна маса бруто завантаженої вантажівки становить 300 тонн. З цими характеристиками модель тимчасового зносу, виражена в опорі коченню протягом 24 годин (1440 хвилин), показана на рисунку 6, і ця функція використовується в цьому моделюванні.

Швидкість вантажівок (v_c) буде встановлено відповідно до напрямку, яким слідує відповідні вантажівки. Коли вантажівка їде до дробарки, вона завантажується, а коли вантажівка спускається до лопати, вона розвантажується; отже, математично швидкість вантажівки можна представити за допомогою рівняння (3):

$$v_c[\text{Km/Hr}] = \begin{cases} 0.0348 * RR^2 - 1.3239 * RR + 17.696; & \text{when the truck is going up} \\ 40; & \text{when the truck coming down} \end{cases} \quad (3)$$

Усі ці елементи оцінюватимуться за допомогою моделювання через втрату продуктивності, яка врешті-решт буде спричинена неконтрольованим псуванням рудника.

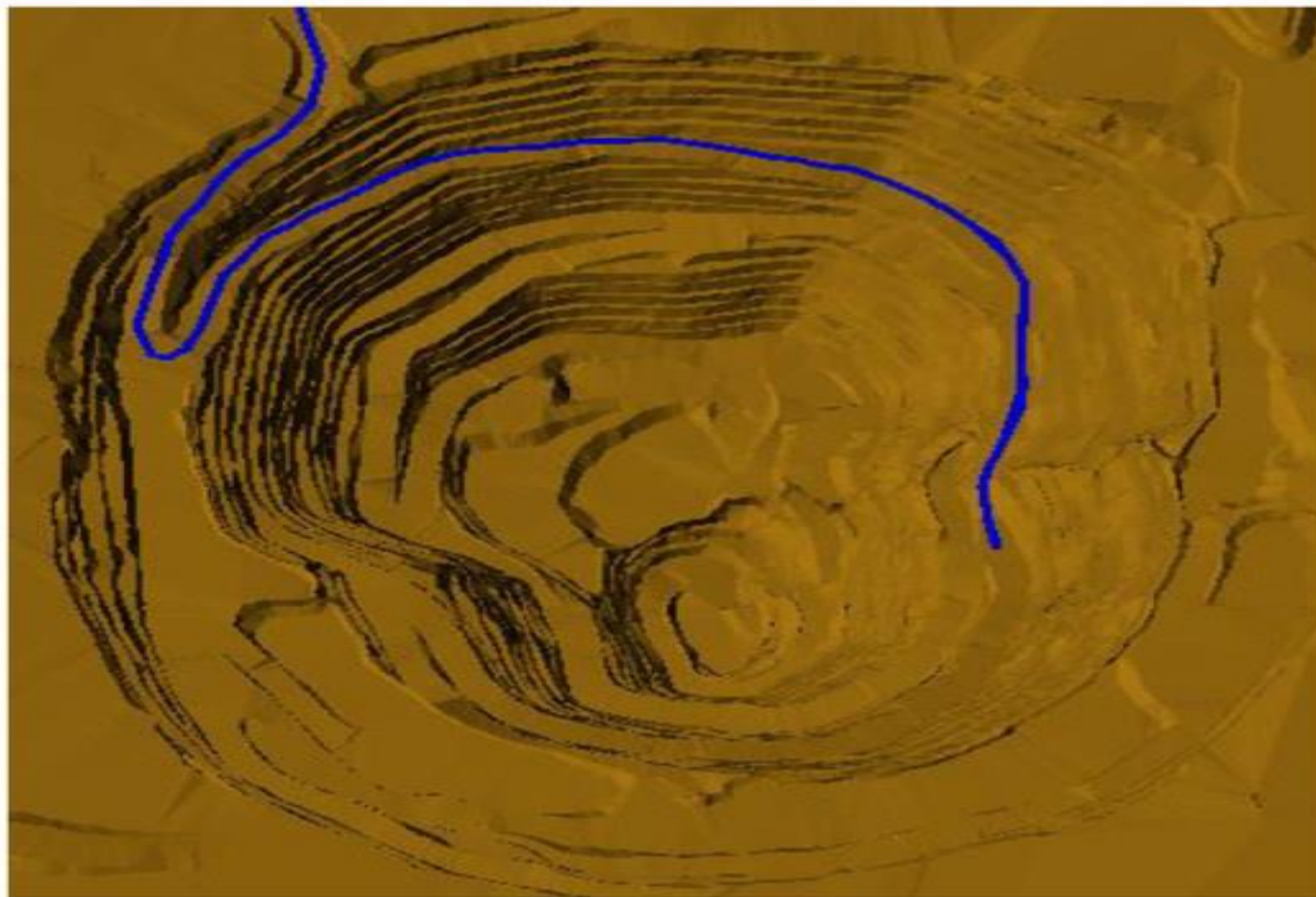


Рисунок 5. Вигляд дороги всередині кар'єру.

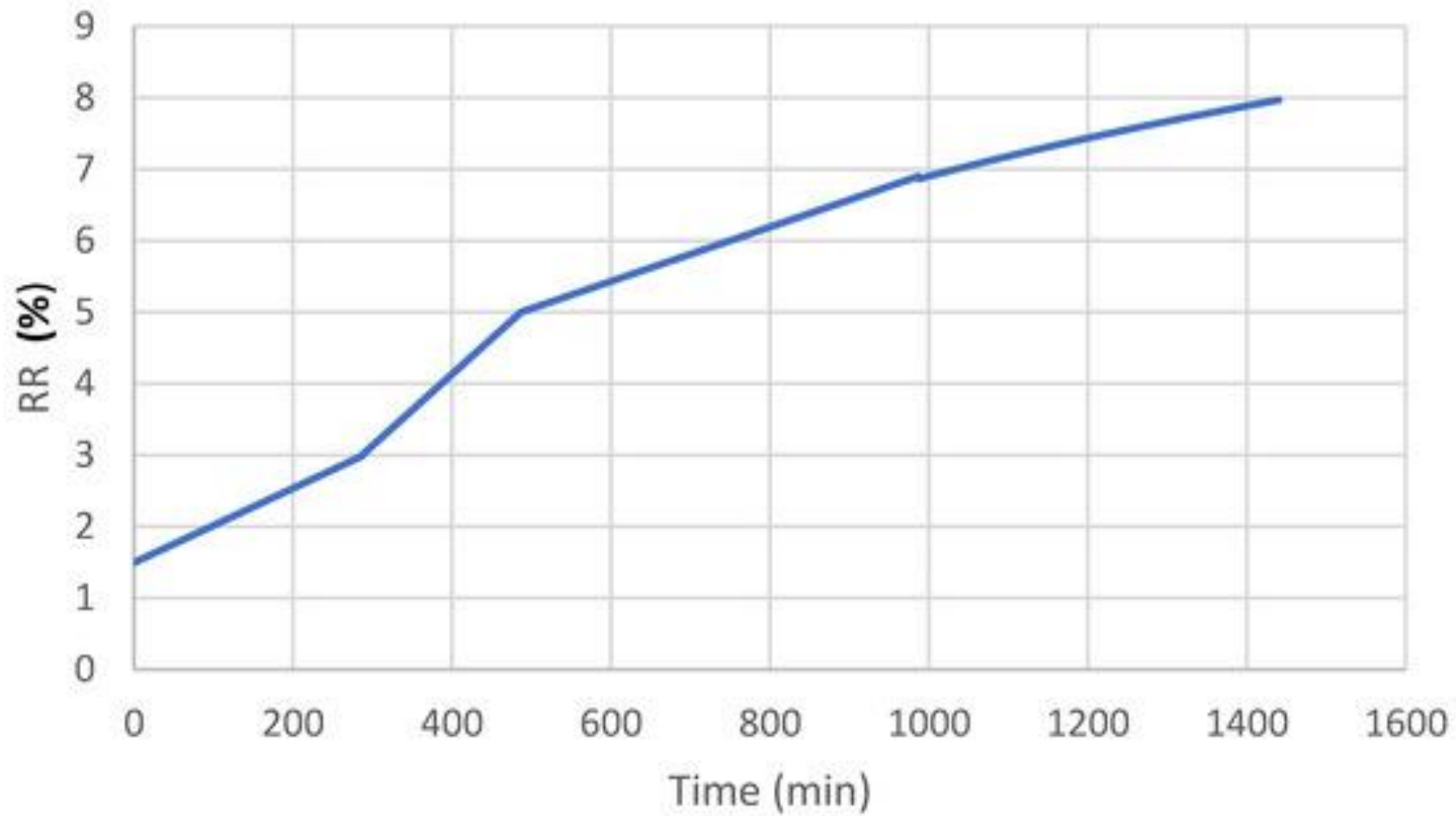


Рисунок 6. Модель зносу дороги з часом, виражена через RR.



Рисунок 7. Виробництво, виражене в тоннах/год між моделлю, яка не враховує RR дороги з часом (постійний RR), моделлю, яка враховує це явище (змінна RR).

Перший приклад (рис. 7), стосується порівняння продуктивності вантажівок протягом години протягом 24 годин моделювання між симуляцією моделі з постійним значенням RR 1,5% і симуляцією другої моделі, де RR представляє часове погіршення (змінна RR); в обох випадках ухил кар'єрної дороги становить 9,5%. Їхні результати показують відмінності між обома моделями з точки зору продуктивності тонн/год, де чітко видно, що якщо ми не беремо до уваги тимчасове погіршення дороги через RR, ми переоцінюємо продуктивність системи видобутку

Для моделювання споживання палива використовується модель CF, яка представлена в рівнянні (4):

$$CF \left[\frac{lt}{ton\ hr} \right] = 0.04375 * slope - 0.00201 * T_t + 0.007 * v_c + 1.43 \quad (4)$$

На рисунку 8 показано результат для конкретної ділянки дороги. Зі збільшенням CF вантажівка завершує цикли перевезення по маршруту, враховуючи, що дорога тимчасово погіршується, тобто, оскільки RR збільшується як функція часу, і цей ефект часу спостерігається, коли вантажівка завершує свої відповідні транспортні цикли протягом час моделювання.

Тепер 24-годинне споживання палива вантажівками відрізняється, коли вони завантажуються вгору по рампі під постійним нахилом, у порівнянні зі споживанням тих самих вантажівок, що тимчасово погіршилися на дорозі, тому ми можемо спостерігати цей ефект як перевитрату на 87%. , як показано на рисунку 9 .

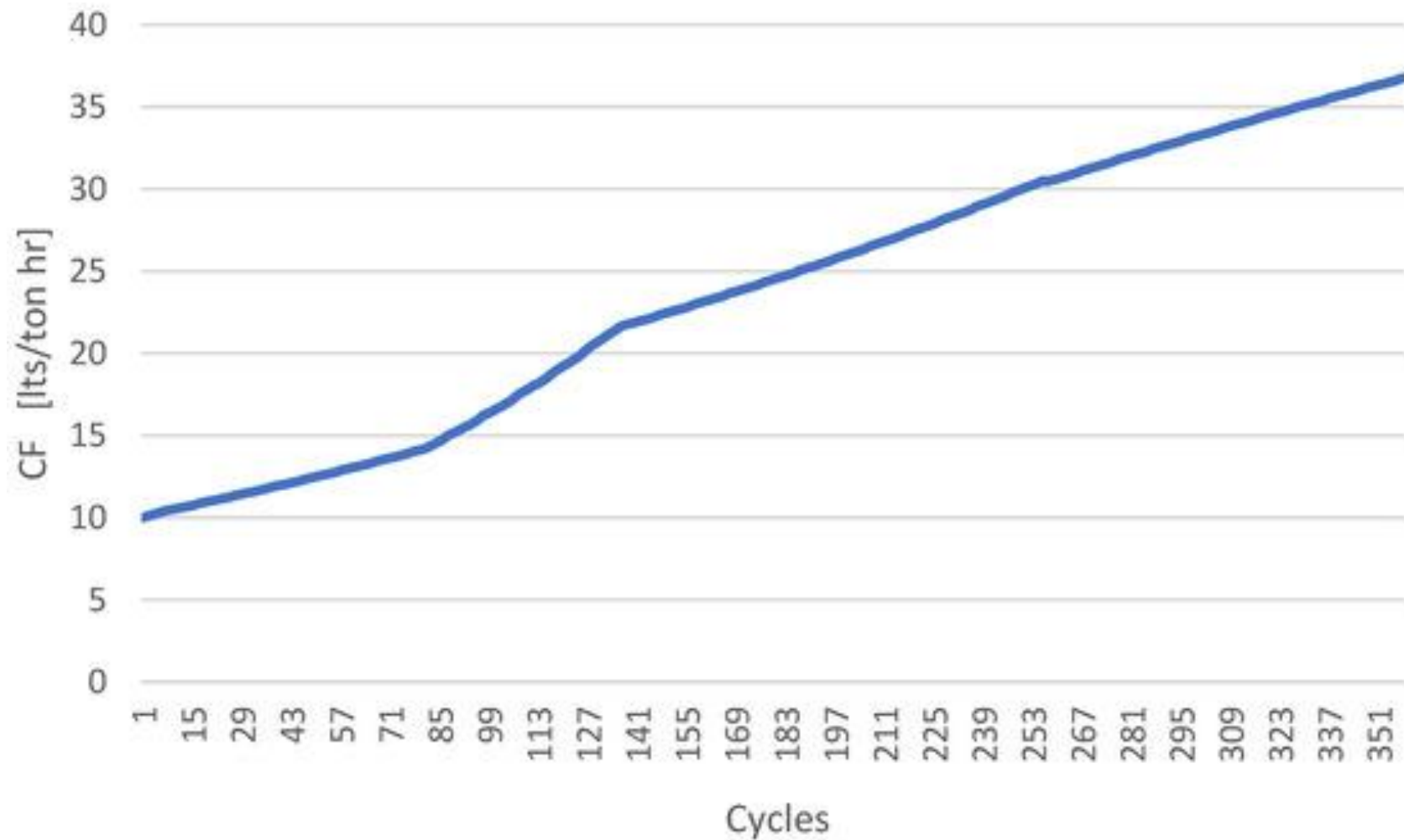


Рисунок 8. Еволюція CF палива в секції під час циклу вантажівки.

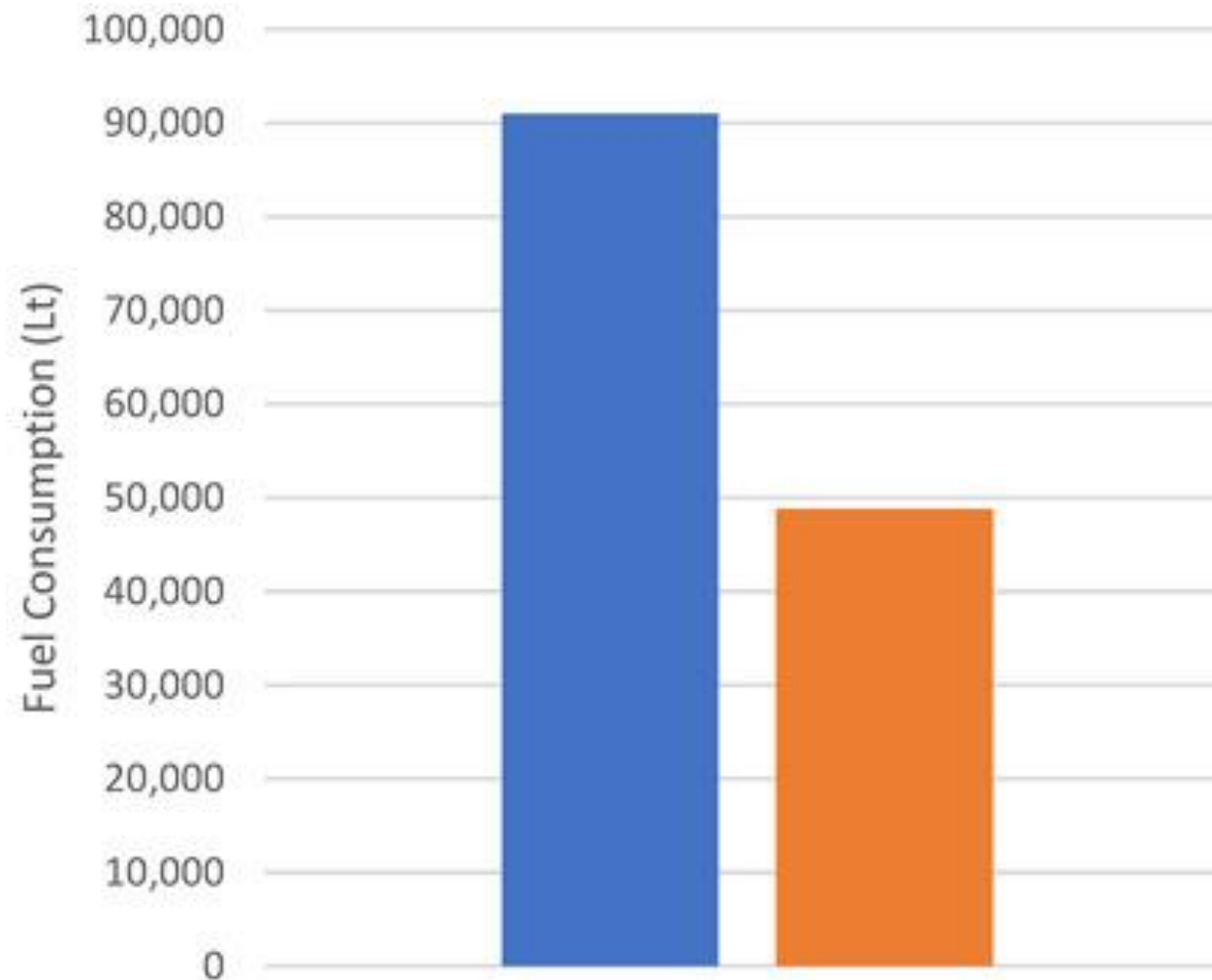


Рисунок 9. Порівняння рівня споживання палива між імітаційною моделлю, яка не враховує знос дороги (постійний RR), і моделлю, яка враховує знос дороги (змінний RR).

Застосування автогрейдера для утримання кар'єрної дороги, призначена постійна швидкість руху 40 км/год; тому час кожного циклу становить 15 хв. Крім того, різні частоти, що означає різні інтервали часу між циклами автогрейдера, були проаналізовані в діапазоні від 1 години до 15 годин, порівнюючи за двома аспектами: виробництво та споживання палива для кожної частоти.

Отримані результати показують, що продуктивність вантажівок, враховуючи горизонт 24 години, встановила прямо пропорційну залежність між продуктивністю (т/год) і частотою автогрейдера. По-перше, висока частота технічного обслуговування вантажної дороги на Рисунку 10 показала продуктивність, близьку до продуктивності з константою RR (див. рисунок б), яка приблизно еквівалентна 3000 т/год. З іншого боку, середня частота на рисунку 11 має продуктивність від 2500 до 3000 т/год, і, нарешті, низька частота на рисунку 12 створює більш змінну продуктивність, навіть нижче 2500 т/год за кілька годин моделювання.

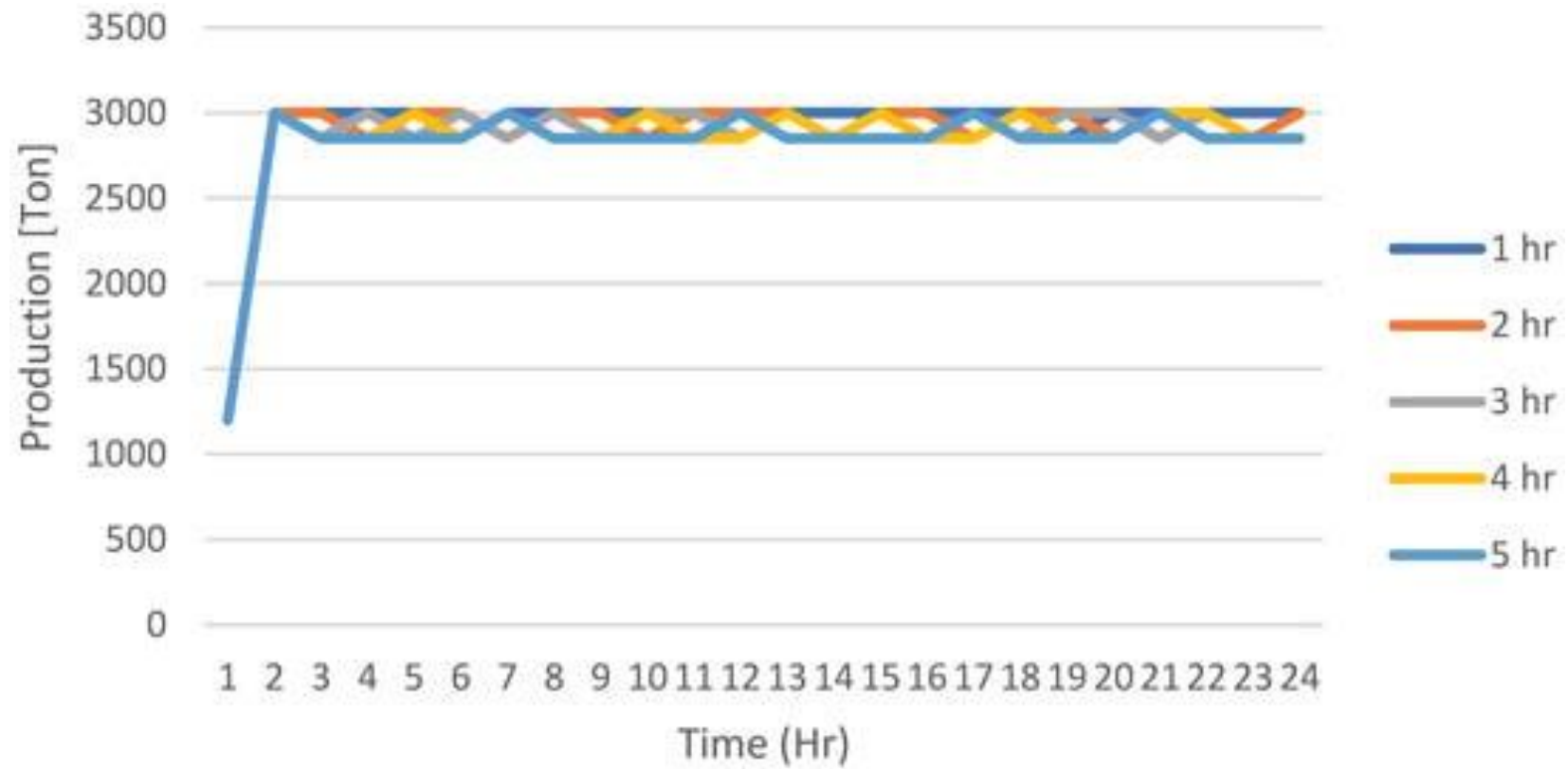


Рисунок 10. Кейсове дослідження оцінюється з високою частотою.

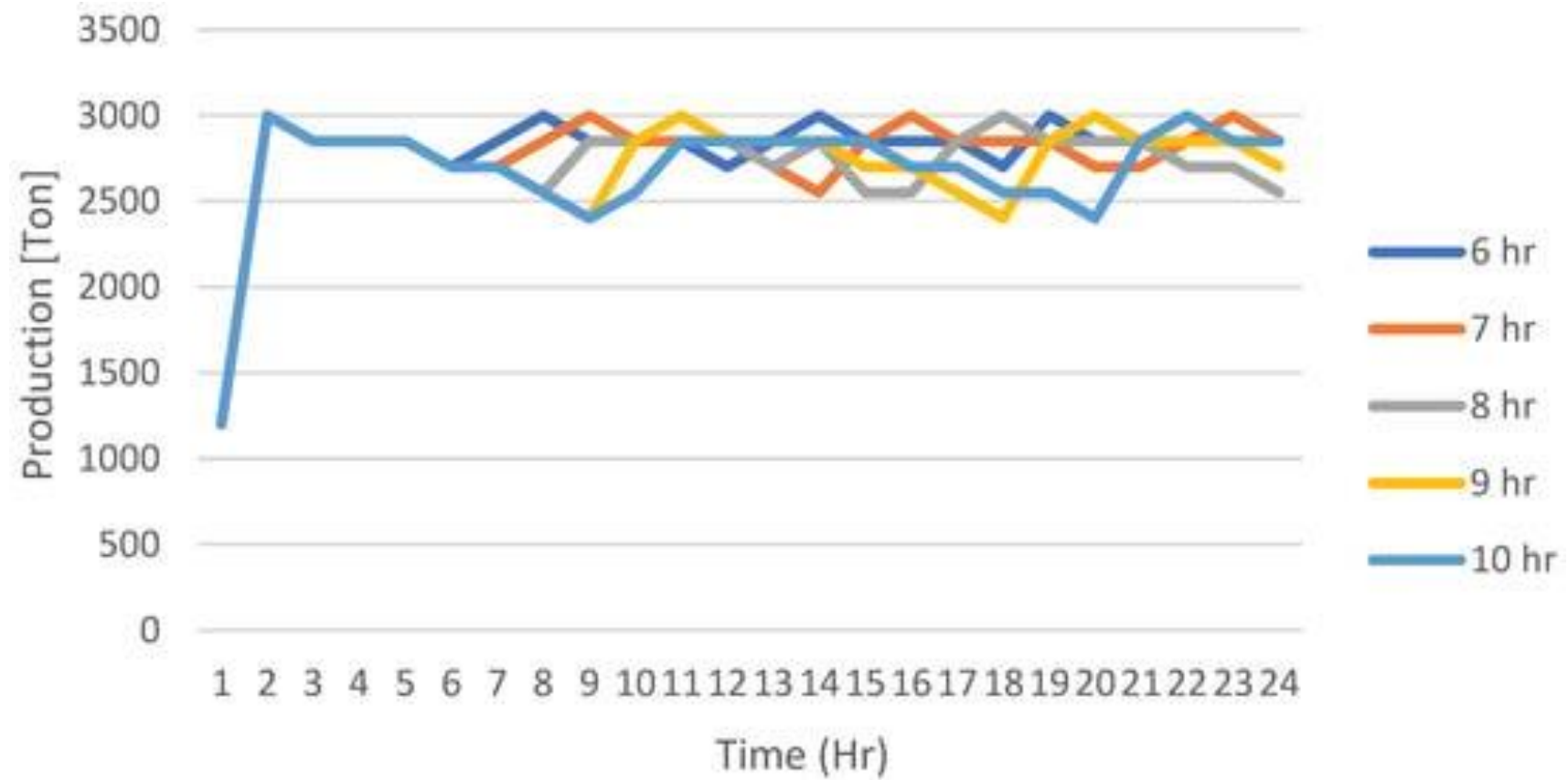


Рисунок 11. Кейсове дослідження оцінюється із середньою частотою.

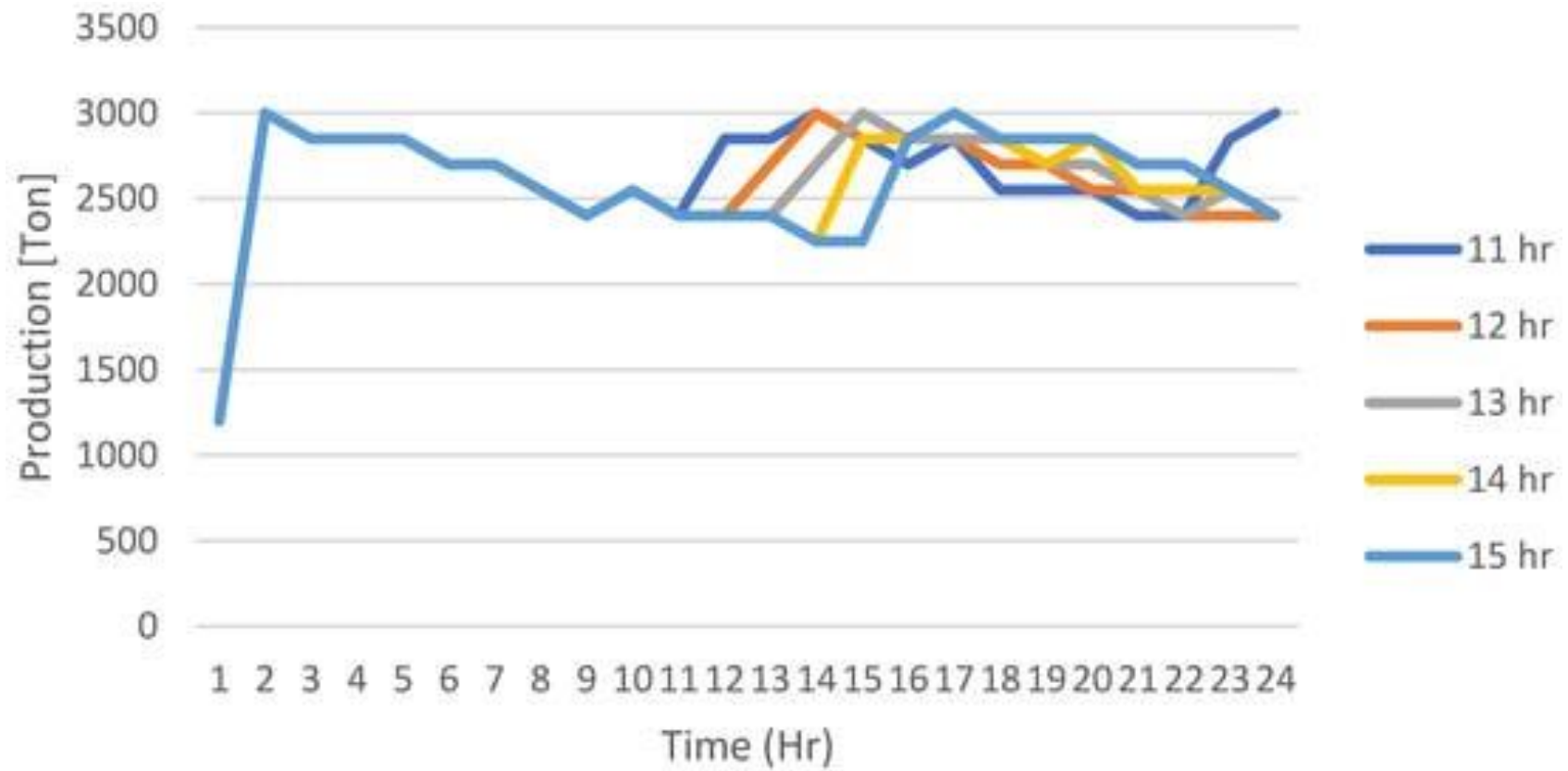


Рисунок 12. Приклад оцінюється з низькою частотою.

Було виявлено цікавий зв'язок між продуктивністю та споживанням палива за інтервали часу технічного обслуговування вантажної дороги, як показано на рисунку 13. Хоча частота та продуктивність безпосередньо пов'язані, споживання палива та частота мають протилежну залежність, і це означає, що в той час як ми зменшуємо частоту застосування автогрейдера, виробництво зменшується з майже 70 тисячу тонн/добу, якщо ми застосовуємо грейдер, до 62 тис. т/добу, якщо використовувати грейдер кожні 15 год; з іншого боку, споживання палива збільшується, якщо ми не застосовуємо грейдер регулярно, збільшуючись приблизно з 50 тисяч літрів палива в день, коли грейдери застосовуються на дорозі кожні 1 годину до 72 тисяч літрів палива в день якщо ми застосовуємо грейдер кожні 15 годин. Крім того, аналіз рівня продуктивності та споживання палива показує, що за кожну годину, коли автогрейдер не обслуговує дороги.

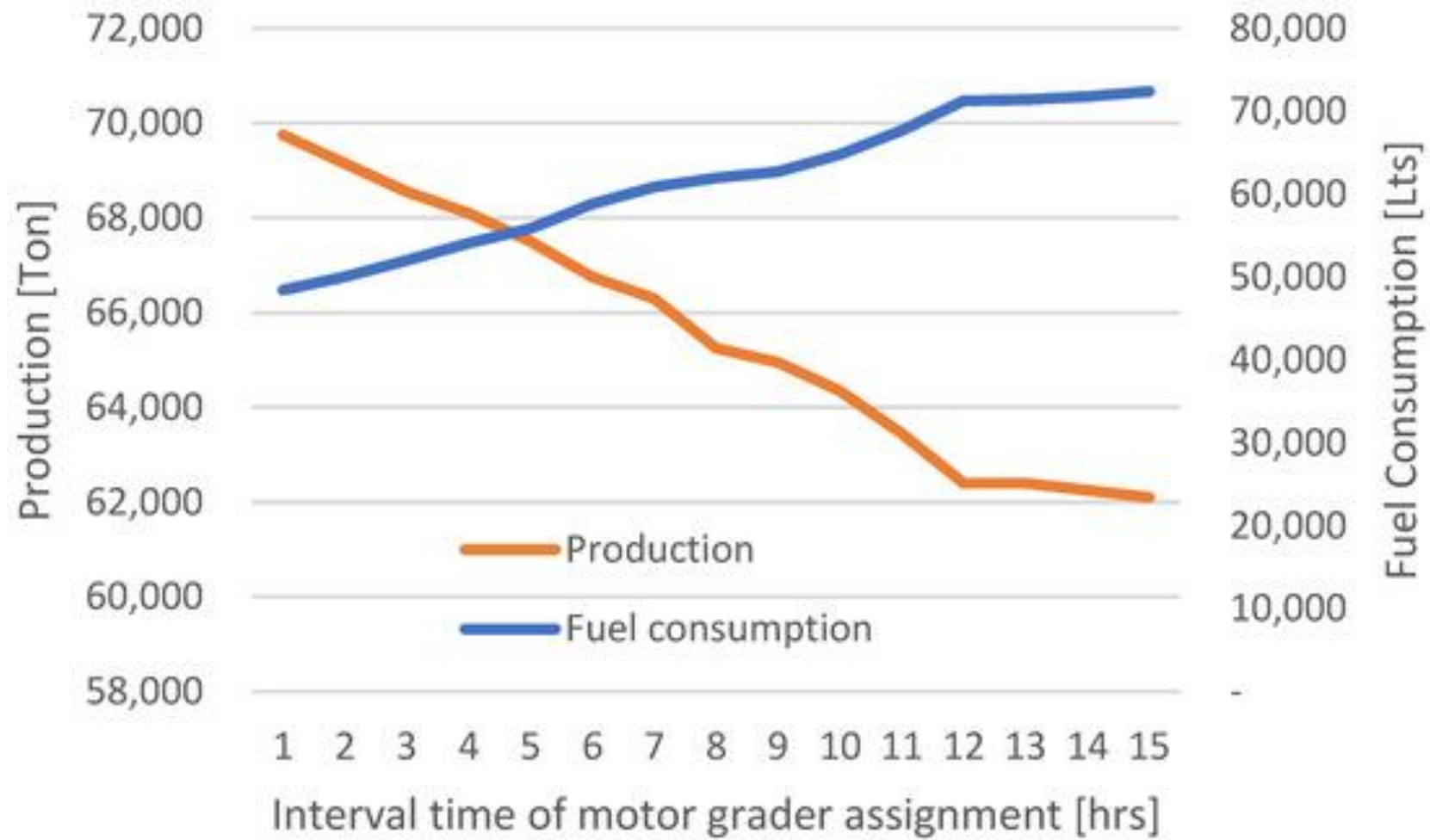


Рисунок 13. Загальне виробництво за 24 години роботи.

4. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ В УМОВАХ ГНІВАНЬСЬКОГО КАР'ЄРУ ПАТ «ПОДІЛЬСЬКИЙ ЦЕМЕНТ»

На основі наданих показників роботи кар'єрних автосамоскидів ТОВ «Промтехтранс» вантажопідйомністю 27-30 т та 40-45 т та порівняння їх з показниками заводів-виробників шин та автосамоскидів встановлено наступне:

- норма ходимості шин виробництва ВАТ «Белшина» розмірністю 18.00-25 та 21.00-33 складає 12 000 км, що на 9 000 км менше гарантійного пробігу у середніх умовах експлуатації шин (21 000 км);

- середня швидкість руху складає 12,5 км/год (за 8 годин роботи 100 км), але в даних умовах експлуатації вона (згідно розрахунку за методикою заводу-виробника) повинна бути з вантажем 14-16 км/год та без вантажу до 2025 км/год і середня 16 км/год;

- норма витрат палива для кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 27-30 т складає 160 л/100 км, що на 25 л/100 км вище за базову лінійну норму (135 л/100 км), для кар'єрних автосамоскидів вантажопідйомністю 40-45 т норма складає 180 л/100 км, що на 20 л/100 км вище за базову лінійну норму (160 л/100 км), які встановлені ВАТ «БелАЗ».

Аналіз показує, що фактичні значення ходимості шин на 43-52% нижчі, швидкість руху – на 30% нижча, а витрати палива на 13-19% вищі за нормативні. Таке становище потребує негайного визначення причин низької ходимості шин та швидкості руху, а також наднормативних витрат палива.

На фото (рис. 14 та 15) представлені шляхи руху автосамоскидів в кар'єрі та екскаваторний вибій з великою кількістю скельних уламків гірничої маси на траєкторіях руху автосамоскидів, які призводить до зменшення швидкості руху, руйнування шин та підвищеної витрати палива. Нерівний профіль кар'єрних доріг обумовлює розгойдування машини та

випадання уламків гірничої маси на шляхи руху з платформ кар'єрних автосамоскидів при їх русі.

На фото (рис. 16, 17) видний знос у центральній частині бігової доріжки практично всіх шин, а також (рис.17) видний вириг протекторної резини правої задньої внутрішньої шини та пошкодження бокової частини лівої задньої зовнішньої шини. На фото (рис.18) видно також знос у центральній частині бігової доріжки лівої передньої, лівої задньої зовнішньої та правої задньої внутрішньої шин та наявність на шляху руху і біля нього скельних уламків гірничої маси.

Знос центральній частині бігової доріжки спостерігається на різних машинах, що означає його системний характер, обумовлений у першу чергу надвисоким тиском у шинах і потребує проведення робіт з персоналом щодо контролю та забезпечення відповідного тиску повітря в шинах. Нормативний тиск в шинах, за даними виробників шин, може забезпечити підвищення ресурсу шин на 20-25% проти збільшеного тиску.

Таким чином доведено, що існують чинники, які обумовлюють підвищений знос шин, підвищені витрати палива та зменшення швидкості руху, але для більш достовірного доведення означеного необхідно виконати спеціальні дослідження стану шин всіх кар'єрних автосамоскидів підприємства, параметрів рівності шляхів руху автосамоскидів в кар'єрі та розробити заходи щодо підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів на основі забезпечення відповідних правил експлуатації автомобільних шин та забезпечення належного стану кар'єрних автодоріг.



Рис. 14. Фото площі кар'єру по якій рухаються кар'єрні автосамоскиди



Рис.15. Фото экскаваторного вибою .



Рис.16. Фото зносу шин у центральній частині бігової доріжки задніх лівих коліс.



Рис.17. . Фото зносу шин у центральній частині бігової доріжки, вириви та пошкодження бокової частини шин задніх коліс.



Рис.18. . Фото зносу шин у центральній частині бігової доріжки переднього лівого та задніх лівого зовнішнього та правого внутрішнього.

Економічний ефект від підвищення ходимості шин, представлений в таблиці 1, показує, що при збільшенні ходимості на 10% (до 13200 км) на одній 27-30 т машині можна заощадити близько 215 тис.грн/рік, на одній 40-45 т машині – близько 340 тис.грн/рік. Якщо в середньому на зміну виходить 14 машин вантажопідйомністю 27-30 т, то річний ефект становитиме близько 3000 тис.грн., при виході на лінію 7 машин вантажопідйомністю 40-45 т річний ефект становитиме близько 2400 тис.грн.

Підвищення на 20% ходимості шин дозволить отримати економічний ефект по машині вантажопідйомністю 27-30 т – близько 400 тис.грн, по машині вантажопідйомністю 40-45 т – близько 620 тис.грн. При забезпеченні нормативного пробігу шин у 21 тис.км річний економічний ефект по кожній машині вантажопідйомністю 27-30 т становитиме близько 1000 тис.грн, по одній машині вантажопідйомністю 40-45 т – близько 1600 тис.грн. Це є найбільший ефект з усіх визначених.

Економічний ефект від зменшення витрат палива, представлений в таблиці 2, показує, що при зменшенні витрат палива на 5 % на одній 27-30 т машині можна заощадити близько 22 тис.грн/рік, на одній 40-45 т машині – близько 25 тис.грн/рік., подальше зменшення витрат палива на 10 % від початкового та до нормативного, забезпечує економічний ефект на рівні 44-50 тис.грн. та 68-55 тис. грн. відповідно, що значно менше ніж при збільшенні ходимості шин до нормативного значення.

Економічний ефект від підвищення швидкості руху кар'єрних автосамоскидів (продуктивності праці водіїв), представлений в таблиці 3, показує, що при збільшенні змінного пробігу на 10% (до 110 км) на одній машині незалежно від вантажопідйомності (при однаковій оплаті праці на машинах вантажопідйомністю 27-30 та 40-45 т) можна заощадити близько 36,6 тис.грн/рік, при збільшенню на 20 та 30 % економія становитиме 73-110 тис.грн. Навіть якщо врахувати оподаткування зарплатні на рівні 80 % ефективність від підвищення швидкості руху буде меншою за попередні заходи.

Таблиця 1

Економічний ефект від підвищення ходимості шин на 1 машину

Показник	27-30 т				40-45 т			
	Факт		Прогноз		Факт		Прогноз	
Норма ходимості шин, км	12000	13200	14400	21000	12000	13200	14400	21000
Добовий пробіг, км	100	100	100	100	100	100	100	100
Кількість шин на машині	6	6	6	6	6	6	6	6
Кількість робочих днів	305	305	305	305	305	305	305	305
Кількість шин на машині на рік	15,25	13,86	12,71	8,71	15,25	13,86	12,71	8,71
Ціна шини, грн	155000	155000	155000	155000	245000	245000	245000	245000
Витрати на шини, грн/рік	2363750	2148860	1969790	1350710	3736250	3396590	3113540	2135000
Річний економічний ефект на 1 машину, грн/рік		214890	393960	1013040		339660	622710	1601250
Річний економічний ефект по парку, тис.грн/рік		3008	5515	14182		2377	4359	11209

Таблиця 2

Економічний ефект від зменшення витрат палива на 1 машину

Показник	27-30 т				40-45 т			
	Факт		Прогноз		Факт		Прогноз	
Витрати палива, л/100 км	160	152	144	135	180	171	162	160
Добовий пробіг, км	100	100	100	100	100	100	100	100
Кількість робочих днів	305	305	305	305	305	305	305	305
Сумарні витрати палива за рік, л	48800	46360	43920	41175	54900	52155	49410	48800
Економія палива за рік, л		2440	4880	7625		2745	5490	6100
Економічний ефект, грн/рік при вартості палива 50 грн/л		122000	244000	381250		137250	274500	305000

Таблиця 3

Економічний ефект від підвищення продуктивності праці на 1 машину

Показник	27-30 т				40-45 т			
	Факт		Прогноз		Факт		Прогноз	
Змінний пробіг, км	100	110	120	130	100	110	120	130
Економія по зарплатні в зміну, грн, при змінній зарплатні 1200 грн/зміну		120	240	360		120	240	360
Річна економія зарплатні, грн/рік		36600	73200	109800		36600	73200	109800
Теж саме з врахуванням податків		65880	131760	197640		65880	131760	197640

ВИСНОВКИ

Дана робота продемонструвала, що погіршення стану доріг має серйозні негативні наслідки для продуктивності гірничих робіт, результати цієї роботи підтверджують дві змінні: виробництво та споживання палива. Одним із найцікавіших аспектів цієї роботи є ступінь точності, якого можна досягти в представленні як явища погіршення умов, так і наслідків для виробництва та споживання палива. Варто також відзначити гнучкість DES у можливості змінювати не лише моделі параметрів, які живлять симуляцію, але й саму симуляцію, маючи можливість модифікувати навіть процес або алгоритми, які присутні в імітаційній моделі.

Безсумнівно, DES може допомогти нам краще зрозуміти складність систем видобутку корисних копалин і знайти нові шляхи покращення продуктивності, враховуючи такі обмеження, як зношеність доріг, що було метою цієї роботи.

Приклад – дорога протяжністю 5 км з ухилом 9,5%, парк із 10 вантажівок, і їх місткість 300 т, завантажених у 24-годинну імітаційну модель. Результати показують, що неврахування зносу доріг може означати переоцінку продуктивності до 600 т/год і перевищення споживання на 78%. Застосування автогрейдера могло б зменшити негативні наслідки зносу доріг, що залежить від частоти його призначення. Результати показують, що для рівня продуктивності та споживання палива на кожну годину частоти, коли автогрейдер не виконує обслуговування доріг, втрати виробництва становлять 600 тонн, а споживання палива збільшується приблизно на 1800 л на день. Застосування автогрейдера могло б зменшити негативні наслідки зносу доріг, що залежить від частоти його призначення. Результати показують, що для рівня продуктивності та споживання палива на кожну годину частоти, коли автогрейдер не виконує обслуговування доріг, втрати виробництва становлять 600 тонн, а споживання палива збільшується приблизно на 1800 л на день. Застосування автогрейдера могло б зменшити

негативні наслідки зносу доріг, що залежить від частоти його призначення. Результати показують, що для рівня продуктивності та споживання палива на кожну годину частоти, коли автогрейдер не виконує обслуговування доріг, втрати виробництва становлять 600 тонн, а споживання палива збільшується приблизно на 1800 л на день.

Доведена можливість підвищення ефективності експлуатації кар'єрних автосамоскидів в умовах Гніваньського кар'єру ПАТ «Подільський цемент» в першу чергу за рахунок підвищення ходимості шин на основі забезпечення відповідних правил їх експлуатації, зменшення витрат пального та підвищення швидкості руху автосамоскидів на основі забезпечення належного стану кар'єрних автодоріг. Підвищення на 20% ходимості шин за рахунок покращення якості стану доріг дозволить отримати фактичний річний економічний ефект по машині вантажопідйомністю 27-30 т – близько 400 тис.грн, по машині вантажопідйомністю 40-45 т – близько 620 тис.грн. При забезпеченні збільшення нормативного пробігу шин до 21 тис.км річний економічний ефект по кожній машині вантажопідйомністю 27-30 т становитиме близько 1000 тис.грн, по одній машині вантажопідйомністю 40-45 т – близько 1600 тис.грн.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Томпсон, Р; Віссер, А. Системи управління обслуговуванням шахтних доріг. *JS Afr. ін-т Хв. метал.* 2003 , 103 , 303-312.
2. Таннант, Д.; Регенсбург, Б. Рекомендації щодо проектування шахтних доріг ; Бібліотека Університету Британської Колумбії: Ванкувер, Британська Колумбія, Канада, 2001; С. 23–73.
3. Алегре, Д.; Пероні, РА. Метод оцінки опору коченню транспортних доріг за допомогою даних диспетчерської системи. *Хв. технол.* 2021 , 130 , 176–187.
4. Хустралід, В.; Кухта, М. Проектування відкритих шахт , 3-є вид.; CRC Press: Бока Ратон, Флорида, США, 2013; С. 902–928.
5. Суфостаи, А. Інтелектуальний прогнозний аналіз для зниження витрат виробництва. *Aust. ресурс. Інвестувати.* 2017 , 11 , 24–25.
6. Томпсон, Р. Дж. Проектування та управління шахтними дорогами в автономних транспортних операціях: Дорожня карта дослідження. У матеріалах конференції Future Mining Conference, Сідней, Новий Південний Уельс, Австралія, 22–23 листопада 2011 р.
7. Маре, В.; Томпсон, Р; Віссер, А.Т. Використання бортових даних кар'єрної вантажівки як інструменту прийняття рішень для управління утриманням шахтних доріг. У матеріалах 7-ї міжнародної конференції з питань управління помічниками, Калгарі, штат Альберта, Канада, 23–28 червня 2008 р.
8. Інс, М. Імітаційне моделювання програми зношення та обслуговування ґрунтових доріг у важких будівельних і гірничих галузях. Магістерська робота, Лейкхедський університет, Тандер-Бей, Онтаріо, Канада, 2019 р.
9. Закон, А.; Кельто, В. Моделювання та аналіз , 2-є вид.; McGraw-Hill: Нью-Йорк, Нью-Йорк, США, 1991; С. 2–130.

10. Вагенас, Н. Застосування моделювання дискретних подій у канадській гірничодобувній діяльності в дев'яності роки. Міжн. Дж. Серф. Хв. Reclam. Навколишнє середовище. 1999 , 13 , 77–78.

11. Манрікес, Ф.; Моралес, Н. Симуляція дискретних подій для розробки політики виробництва відкритих шахт у разі снігопаду. Міжн. J. Мін. Reclam. Навколишнє середовище. 2019 , 33 , 572–588.

12. Суфостаи, А.; Аміносадаті, С. Моделювання впливу варіації корисного навантаження на групування вантажівок для мінімізації споживання енергії та викидів парникових газів. У матеріалах конференції операторів вугільної промисловості, Вуллонгонг, Новий Південний Уельс, Австралія, 18–20 лютого 2019 р.

13. Вступ до Simio для початківців. Доступно в Інтернеті: <https://www.simio.com/resources/white-papers/Introduction-to-Simio/>

14. Шрібер, Т.Дж.; Бруннер, Д. Т. Внутрішнє програмне забезпечення моделювання дискретних подій: як працює і чому це важливо. У матеріалах зимової конференції з моделювання 2004 р., Вашингтон, округ Колумбія, США, 5–8 грудня 2004 р.

15. Суфостаи, А.; Аміносадаті, С. Зменшення споживання палива кар'єрними вантажівками в відкритих шахтах за допомогою моделей штучного інтелекту. У матеріалах конференції операторів вугільної промисловості, Вуллонгонг, Новий Південний Уельс, Австралія, 10–12 лютого 2016 р.

16. Хольман, Р. Caterpillar проектування та управління транспортними дорогами. Проектування магістральних доріг ; Limon, С., Ed.; Big Iron University: Сент-Чарльз, Іллінойс, США, 2006; С. 84–95.

17. Хейнс, Т.; Хейнс, П. Метод моніторингу стану транспортних доріг у реальному часі на основі оцінки байєсівських параметрів. Дж. Террамеч. 2011 , 49 , 103–113.

18. Менесес, Д.; Сепульведа, Ф. Д. Моделювання зниження продуктивності та споживання палива в кар'єрних вантажівках шляхом

урахування тимчасового зносу шахтних доріг за допомогою моделювання дискретних подій. Гірнича справа 2023, 3, 96-105.
<https://doi.org/10.3390/mining3010006>

19. <https://cemark.ua/pro-kompaniy>

20. https://www.google.com/maps/@48.7705623,26.6388914,1838m/data=!3m1!1e3?authuser=0&entry=tту&g_ep=EgoyMDI0MDkwOS4wIKXMDSоASAFQAw%3D%3D

21. Товариство з обмеженою відповідальністю "Промтехнтранс"
https://clarity-project.info/edr/05461177#google_vignette

22. https://belshina.ua/ua/supervantazhivky?sf_params=ecdcee6edd18b7b929861c41b351ac32&mid=165&id=4&sf_orderby=price&sf_order=asc&sf_start=0&category_id=1&manufacturer_id=0

23. https://belshina.ua/ua/spetstekhnika?sf_params=507ac096228b104ea717d8c4e94944f4&mid=165&id=4&sf_orderby=price&sf_order=asc&sf_start=0&category_id=4&manufacturer_id=0