

© Л.Н. Ширін<sup>1</sup>, І.В. Інюткін<sup>1</sup>, А.Л. Ширін<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## НАПРЯМИ УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ОЦІНКИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ВАНТАЖНО-ДОСТАВНИХ МАШИН ПРИ РОЗРОБЦІ УРАНОВИХ РОДОВИЩ

© L. Shyrin<sup>1</sup>, I. Iniutkin<sup>1</sup>, A. Shyrin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## DIRECTIONS OF METHODS IMPROVEMENT OF ASSESSING OPERATIONAL INDICATORS OF LOAD HAUL DUMP MACHINES IN THE DEVELOPMENT OF URANIUM DEPOSITS

**Мета.** Підвищення експлуатаційної продуктивності та ефективності вантажно-доставних машин нового покоління шляхом комплексного урахування впливу гірничотехнічних і технологічних чинників на їх адаптаційну здатність в реальних умовах шахтного середовища.

**Методика дослідження** полягає у використанні теоретично-експериментальних методів і засобів комплексних досліджень по визначенню експлуатаційних режимів роботи вантажно-доставних машин, спрямованих на вивчення особливостей взаємодії елементів транспортно-технологічної системи уранових рудників зі змінними параметрами шахтного середовища.

**Результати дослідження.** Досліджено реальні профілі підшви гірничих виробок на ділянках роботи вантажно-доставної машини та визначено основні статистичні характеристики мікропрофілю правої і лівої колії шахтної дороги без покриття на характерних ділянках транспортних виробок. Виконані дослідження взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «вантажно-доставна машина – гірнична виробка» є базою для обґрунтування параметрів ресурсо- і енергозберігаючої технології розробки уранових родовищ із застосуванням самохідного устаткування нового покоління, що забезпечують поетапне підвищення виробничої потужності підприємств галузі і збільшення об'ємів видобутку стратегічної енергосировини.

**Наукова новизна.** Виявлені напрямки удосконалення методики оцінки експлуатаційних показників вантажно-доставних машин нового покоління в специфічних умовах розробки уранових родовищ, які базуються на урахуванні характеристик обмежуючих чинників шахтного середовища, що постійно змінюються в часі і просторі.

**Практичне значення** роботи полягає у визначенні експлуатаційних параметрів вантажно-доставних машин нового покоління при транспортуванні уранової руди в підземних виробках складної конфігурації та розробці «Вихідних вимог на створення енергозберігаючої циклічно-поточної технології відкатки уранової руди з очисних блоків».

**Ключові слова:** вантажно-доставна машина, гірниче середовище, експлуатаційна продуктивність, профіль шахтної дороги.

**Вступ.** Зростаючі потреби атомних електростанцій в природному урані зумовили необхідність створення і впровадження на рудниках галузі транспортно-технологічних схем розробки родовищ, заснованих на застосуванні імпортованих вантажно-доставних машин (ВДМ) нового покоління типу EST 3.5 (фірми Atlas Copco) та LH 306E (фірми Sandvik), технічні характеристики яких дозволяють

забезпечувати високі швидкості виконання операцій і низькі витрати палива в порівнянні з машинами вітчизняного виробництва. Але в процесі експлуатації їх на вітчизняних підприємствах були виявлені парадоксальні явища – експлуатаційні показники високопродуктивних імпортних ВДМ виявилися значно нижче запроектованих і показників роботи аналогічних зразків за кордоном [1].

**Стан питання.** Головними причинами неможливості експлуатувати зарубіжні високопродуктивні ВДМ на повну потужність, на думку представників виробництва, являються існуючі в галузі методи технічного обслуговування і діагностики гірничошахтного устаткування [2]. У той же час, ряд дослідників посиляється на недосконалість діючих методик визначення експлуатаційної продуктивності ківшових ВДМ [3, 4]. Підтвердженням подібних суджень є те, що самохідне імпортне устаткування, яке поступає на підприємства галузі, переважно впроваджується у вже діючі технологічні схеми ведення гірничих робіт, які розроблялись з урахуванням експлуатаційних показників традиційного транспортного обладнання. Тобто, на практиці ВДМ нового покоління експлуатуються без методично обґрунтованого урахування реальних умов експлуатації і обмежуючих гірничо-геологічних, гірничотехнічних і організаційних чинників.

Аналіз існуючих галузевих методик визначення експлуатаційних параметрів самохідного устаткування показав відсутність комплексного урахування вказаних чинників і їх вплив на продуктивність та адаптаційну спроможність імпортних ВДМ в складних гірничо-геологічних умовах залягання рудних тіл та гірничотехнічних умовах їх розробки на діючих підприємствах галузі.

Необхідно також відзначити, що в умовах сьогодення нові конструкторські рішення, спрямовані на створення вітчизняних зразків високопродуктивних ВДМ довгострокові в своїй реалізації, тому встановлення раціональних режимів їх роботи на зарубіжних зразках, подібних створюваним, є актуальним в плані формування пріоритетів подальших наукових досліджень щодо встановлення режимів роботи самохідного обладнання нового покоління та області їх ефективного застосування в реальних умовах гірничого середовища.

**Мета роботи** – підвищення експлуатаційної продуктивності та ефективності ківшових вантажно-доставних машин нового покоління шляхом комплексного урахування впливу гірничотехнічних і технологічних чинників на їх адаптаційну здатність в реальних умовах шахтного середовища.

**Дослідження параметрів транспортно-технологічної системи.** В умовах гірничого виробництва експлуатаційна продуктивність ВДМ представляє собою досягнутий об'єм навантаження гірничої маси і доставки її до рудоспуску в одиницю часу з урахуванням технологічних і організаційних перерв, які враховуються коефіцієнтом використання машини у часі. В діючих методиках [5, 6] експлуатаційна змінна продуктивність визначається з урахуванням технічних та технологічних параметрів загально відомим виразом:

$$Q_E = 3600V_N\rho_Gk_ZT_{ZM}k_H/T_C, \text{ т/зм}$$

де  $V_N$  – номінальна ємність ковша, м<sup>3</sup>;  $\rho_G$  – щільність гірничої маси, т/м<sup>3</sup>;  $k_Z$  – коефіцієнт заповнення ковша;  $T_{ZM}$  – тривалість зміни, год.;  $k_H$  – коефіцієнт використання ВДМ у часі;  $T_C$  – тривалість робочого циклу машини, сек.

При встановленні продуктивності конкретної ВДМ переважна більшість дослідників найбільшу увагу приділяють умовам взаємодії ковша машини зі штабелем відбитої гірничої маси та процесу завантаження її у ківш. Для встановлення тривалості робочого циклу машини традиційно використовуються середні показники тривалості часу завантаження і розвантаження ковша, робочого та холостого ходу машини та маневрових її операцій.

Означені показники отримуються по результатам хронометражних досліджень часу на виконання конкретної технологічної операції без урахування особливостей зміни у просторі і часі гірничотехнічних умов експлуатації транспортного обладнання (табл.1).

Таблиця 1

## Результати досліджень експлуатаційних параметрів ВДМ

Найменування операцій	Номер та результат дослідження тривалості операції, с				Середнє арифметичне вибірки	Середньоквадратичне відхилення	Відносна похибка %	Результати вимірювань	Довірча ймовірність	Примітка
	1	2	3	4						
Навантаження гірничої маси в очисному вибої	1	42,0	6	48,0	50,9	4,2	13,2%	50,9±4,2	0,96	Маршрути: А-В, довжина L= 35 м; С-Д, L= 120 м; С-Д, L= 350м; F-K, L= 20м .Об'єм ковша 4,2 м <sup>3</sup>
	2	50,0	7	56,0						
	3	53,0	8	53,0						
	4	53,0	9	47,0						
	5	53,0	10	54,0						
Рух ВДМ з вантажем до рудоспуску	1	169,0	6	165,0	162,7	5,8	18,3%	162,7±5,8	0,96	
	2	165,0	7	160,0						
	3	168,0	8	165,0						
	4	152,0	9	154,0						
	5	167,0	10	162,0						
Вивантаження гірничої маси в рудоспуск з урахуванням маневрових операцій	1	17,0	6	20,0	24,1	7,4	23,5%	24,1±7,4	0,96	
	2	25,0	7	20,0						
	3	30,0	8	35,0						
	4	20,0	9	30,0						
	5	12,0	10	32,0						
Рух порожньої ВДМ до очисного вибою	1	113,0	6	117,0	114,4	2,3	16,5%	114,4±2,3	0,96	
	2	113,0	7	120,0						
	3	114,0	8	114,0						
	4	113,0	9	113,5						
	5	113,0	10	113,0						

Повний час обороту машини  $t_0$  від навантажувального заїзду очисного блоку до рудоспуску включає:

$$t_0 = t_N + t_G + t_V + t_P, \text{ с}; \quad (1)$$

де  $t_N$  – час навантаження руди в ківш машини, с;  $t_G$  – час руху машини з вантажем від навантажувального заїзду очисного блоку до рудоспуску, с;  $t_V$  – час вивантаження руди з ковша машини в рудоспуск з урахуванням маневрових операцій, с;  $t_P$  – час руху машини назад порожняком, с.

Слід відзначити, що існуючі технології освоєння уранових родовищ і розроблені для них схеми транспортування гірничої маси самохідним устаткуванням включають ряд специфічних дій, які не дозволяють експлуатувати транспортні

машини на повну потужність. Результати експертної оцінки експлуатаційної надійності самохідного вантажного і транспортного устаткування [7], яке застосовується на рудниках галузі, дозволили зробити висновки, що на продуктивність, впроваджуваних ВДМ високого технічного рівня, в більшій мірі впливають постійні зміни в часі і просторі технологічних процесів і параметрів шахтного середовища, таких як: гірничотехнічні умови розробки, конструктивні параметри експлуатованих підземних виробок, стан дорожнього покриття траси та ін. Встановлено також, що в умовах інтенсифікації гірничого виробництва транспортно-технологічні процеси доставки руди необхідно розглядати як події, які формуються в результаті взаємодії транспортних засобів з шахтним середовищем і негативного впливу обмежуючих факторів [8]. Тому процес транспортування руди в підземних виробках рекомендовано розглядати як взаємодіючу систему *«вантажно-доставна машина – гірниче середовище»*.

Важливість останнього обумовлена тенденцією застосування сучасних зразків закордонної техніки на рудниках галузі без відповідної ув'язки їх характеристик з конструктивними параметрами діючих підземних виробок.

Практикою доведено, що в реальних умовах шахтного середовища експлуатаційна надійність ВДМ визначається не тільки конструктивними особливостями машини і режимами її роботи, але й опорами зовнішнього середовища, які долає машина в процесі виконання технологічних операцій.

Забезпечити ефективну роботу динамічної системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище» («ВДМ – ГС») можливо шляхом створення штатних умов взаємодії елементів системи, підвищення адаптаційної здатності самохідного устаткування та впровадження оперативних методів діагностування і контролю їх стану.

Для оптимізації робочих процесів самохідного вантажно-транспортного устаткування нового покоління в реальних умовах шахтного середовища необхідно удосконалити діючі методики щодо обґрунтування експлуатаційних показників ВДМ, розробити модель робочого процесу з їх використанням та рекомендації по оптимізації експлуатаційних режимів системи «ВДМ – ГС в реальних умовах розробки уранових родовищ.

У зв'язку з цим транспортно-технологічні процеси переміщення гірничої маси і адаптаційна здатність ВДМ нового покоління розглядаються комплексно з урахуванням зміни конструктивних і технологічних параметрів підземних гірничих виробок і впливу їх на роботу самохідного устаткування. Використовувані в роботі методи і засоби комплексних досліджень спрямовані на вивчення особливостей взаємодії елементів транспортно-технологічної системи в умовах невизначеності, тобто при параметрах шахтного середовища, що постійно змінюються.

Програмою комплексних досліджень передбачено, що взаємодіюча система може включати ківшову ВДМ або вантажну і транспортну машини, а також параметри гірничої виробки (переріз виробки, профіль підошви, радіуси закруглення, властивості порід та інш.), які постійно змінюються у часі і просторі.

В процесі шахтних досліджень параметрів взаємодії елементів транспортно-технологічної системи підземна траса від пункту завантаження ковша ВДМ до пункту вивантаження руди в рудоспуск розбивалася на ділянки з характерними станами, процесами, операціями, а також з вказівкою характеристик виробки на розрахунковій схемі руху машин (рис. 1).

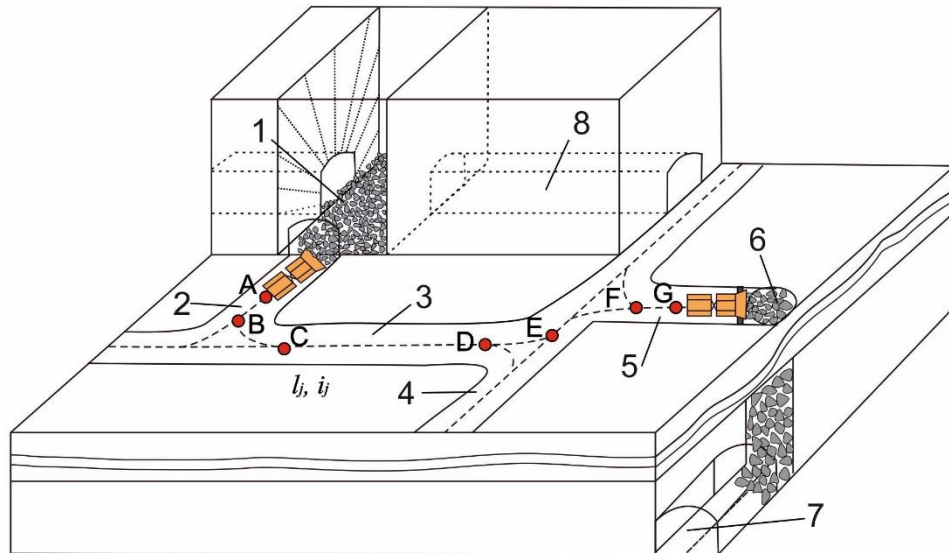


Рис. 1. Схема транспортування руди в підземних виробках при підповерховій системі розробки уранових родовищ: 1 – очисний вибій; 2 – навантажувальний заїзд; 3 і 4 – транспортні виробки; 5 – розвантажувальний заїзд; 6 – рудоспуск; 7 – концентраційний горизонт; 8 – підповерхові виробки

На рис. 1 символами А, В, С...G відмічені потенційно небезпечні ділянки траси, на яких були зафіксовані різної тяжкості недосконалість, зниження експлуатаційних показників ВДМ, а також ушкодження їх вузлів і елементів. Надалі, для характерних ділянок траси із завищеними ухілами, крутими поворотами, вигинами і станами покриття проїжджої частини були складені програми проведення шахтних досліджень по встановленню потенційних резервів підвищення продуктивності транспортно-технологічних схем доставки руди з очисного блоку до рудоспуску.

Слід зазначити, що в діючих методиках визначення експлуатаційної продуктивності вітчизняних ВДМ при постійних значеннях довжини доставки і об'ємів рудної маси, що перевозиться в ковші, в якості показника надійності транспортно-технологічного процесу приймається середня швидкість руху ВДМ. У розробленій методиці, для уточнення експлуатаційних параметрів ВДМ нового покоління сферу експериментальних досліджень показників, які впливають на їх продуктивність, розширено. Відповідно до приведеної схеми (рис.1) для характерних видів робіт і ділянок траси з відповідним типом дорожнього покриття визначалися швидкість руху, величини опору і гальмівний шлях ВДМ та обмежуючі їх чинники (табл.2).

Таблиця 2

Показники взаємодії елементів системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище» на різних ділянках траси

Ділянка траси	Вид роботи ПДМ	Характеристика траси			Сила тяги Н/кН	Гальмівний шлях, м	Середня швидкість, м/с
		Тип дорожнього покриття	Довжина ділянки, м	Ухил (-) Під'їм(+) ‰			
A – B	Вантаження гірничої маси	По розвалу породи	$l_1$	$i_1$	$F_{к1}$	$L_{T1}$	$v_1;$ $v'_1$
C – D	Доставка в межах блоку	Без дорожнього покриття	$l_2$	$i_2$	$F_{к2}$	$L_{T2}$	$v_1;$ $v'_1$
E – F	Транспорт по дільничним виробкам	Укочена проїжджа частина дороги	$l_3$	$i_3$	$F_{к3}$	$L_{T3}$	$v_3;$ $v'_3$
		Щебенеve покриття	$l_3$	$i_3$	$F_{к3}$	$L_{T3}$	$v_3;$ $v'_3$
		Бетонне покриття проїжджої частини	$l_3$	$i_3$	$F_{к3}$	$L_{T3}$	$v_3;$ $v'_3$
F – G	Вивантаження руди в рудоспуск	Бетонне покриття заїзду	$l_4$	$i_4$	$F_{к4}$	$L_{T4}$	$v_4;$ $v'_4$

Експериментально підтверджено, що при русі ВДМ під уклон швидкість її обмежується умовами гальмування і конструктивними особливостями силової передачі машини.

Відповідно до діючих до теперішнього часу норм технологічного проектування підземного транспорту гірничодобувних підприємств [9] гальмівний шлях ВДМ при русі під уклон визначається виразом:

$$L_T = t_P v / 3,6 + k_E v^2 / [254(\varphi + \omega_0 - i)], \text{ м}; \quad (2)$$

де  $t_P$  – час реакції водія і холостого ходу гальм, с;  $v$  – швидкість руху ВДМ, м/с;  $k_E = 1,5$  – коефіцієнт експлуатаційного стану гальм машини;  $\varphi$  – коефіцієнт зчеплення;  $\omega_0$  – коефіцієнт основного опору руху ВДМ;  $i$  – ухил виробки (перевищення в метрах на 1000 м шляху).

В умовах розробки уранових родовищ розрахункові показники сили тяги  $F_k$  на колі пневмоколіс ВДМ при встановленому русі визначалися для кожної ділянки з урахуванням ваги машини, питомого ходового опору руху коліс по полотну дороги і реальних характеристик транспортних виробок.

За результатами моделювання процесу транспортування руди в гірничих виробках зі знакозмінним профілем шляху [10] і теоретичних розрахунків для найбільш важкої ділянки траси встановлювався гальмівний шлях ВДМ і експериментально для конкретного типу дорожнього покриття, перевірялася відсутність буксування коліс за умови  $F_{\max} > W_{\max}$ . Тобто коли тягове зусилля на окружності коліс ( $F_k$ ) більше суми сил опору ( $W$ ).

Приведені на рис.1 і в таблиці 2 показники характеризують:

$l_1-l_4$  – довжини досліджуваних ділянок АВ-FG на маршруті А-G;

$i_1-i_4$  – ухили шляху на досліджуваних ділянках АВ-FG;

$v_1-v_4$  – середні швидкості руху ВДМ з вантажем на досліджуваних ділянках маршруту АВ-FG;

$v'_1-v'_4$  – середні швидкості руху порожньої ВДМ на досліджуваних ділянках маршруту АВ-EF.

Відповідно до [9] для вантажно-доставних машин за тяговою або динамічною їх характеристикою визначалися швидкості руху ВДМ з вантажем  $v_v$  і порожньої  $v_p$ , а також час руху по кожній ділянці шляху з вантажем  $t_G$  і порожняком  $t_P$ :

$$t_G = \frac{60Lk}{v_G}, \text{ c}; \quad t_P = \frac{60Lk}{v_P}, \text{ c}; \quad (3)$$

де  $k = 1,2- 1,3$  – коефіцієнт, що враховує додатковий час на розгін, уповільнення і зупинки ВДМ в дорозі.

Для вирішення завдань взаємодії вантажно-доставних машин з дорожнім покриттям була розроблена розрахункова схема встановлення експлуатаційних параметрів ВДМ, що забезпечують ресурс- і енергозбереження при доставці вантажів в підземних виробках складної конфігурації (рис. 2).

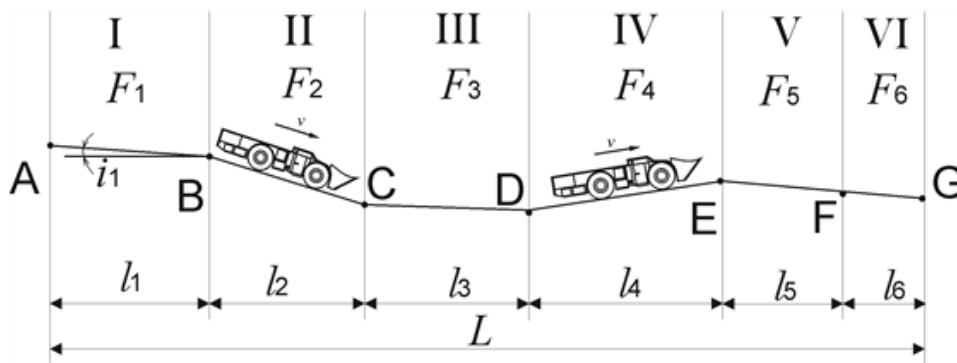


Рис. 2. Розрахункова схема встановлення експлуатаційних параметрів ВДМ в підземних виробках із знакозмінним профілем траси:  $L$  – довжина траси; А-В, В-С,...D-E – ділянки траси з відповідним профілем;  $l_1, l_1... l_6$  – довжина характерних ділянок;  $i_1$  – ухил траси на ділянці А-В;  $F_1, F_2...F_n$  – сила тяги машини на відповідних ділянках траси

Відповідно до розрахункової схеми основним параметром ВДМ в реальних умовах експлуатації є сила тяги  $F$  машини на прямолінійних і викривлених в профілі і плані ділянках траси і гальмівний шлях при русі під уклон.

Для приведених на схемі ділянок шляху показники  $F_1, F_2...F_n$  визначаються відповідно до виразу:

$$F_n = f(P, \alpha_n, \beta_n, l_n, w_n, v_n), \text{ Н}; \quad (4)$$

де  $P$  – зчипна вага ВДМ, Н;  $\alpha_n$  – кут зміни профілю траси на цій ділянці, град;  $\beta_n$  – кут повороту траси на цій ділянці, град;  $l_n$  – довжина цієї ділянки, м;  $w_n$  – коефіцієнт опору руху на цій ділянці;  $v_n$  – швидкість руху ВДМ на ділянці, м/с.

Для підтвердження негативного впливу умов експлуатації на енергетичні показники і надійність самохідного гірничотранспортного обладнання теоретично отримані показники сили тяги ВДМ в підземних виробках зі знакозмінним профілем траси необхідно перевіряти в шахтних умовах. У відповідність з програмою і методикою шахтний експеримент за визначенням раціональних параметрів ВДМ в межах заданого маршруту складається з декількох етапів.

На початковому етапі досліджень підземна траса розбивається по пікетах на характерні ділянки з відповідними подіями, тобто відстанями прямолінійних і криволінійних ділянок, ухилами, радіусами поворотів, заїздами для маневрових робіт, типами дорожнього покриття і іншими ознаками.

Для об'єктивної оцінки дії шахтного середовища на експлуатаційні параметри ківшових ВДМ був виконаний аналіз реальних профілів підосви підземних транспортних виробок, пройдених буропідривним способом.

З метою побудови моделі взаємодії ВДМ з шахтним середовищем реальний профіль траси транспортної виробки розглядався як сукупність нерівностей – посплідовно розташованих виступів і западин довільної форми (рис. 3).

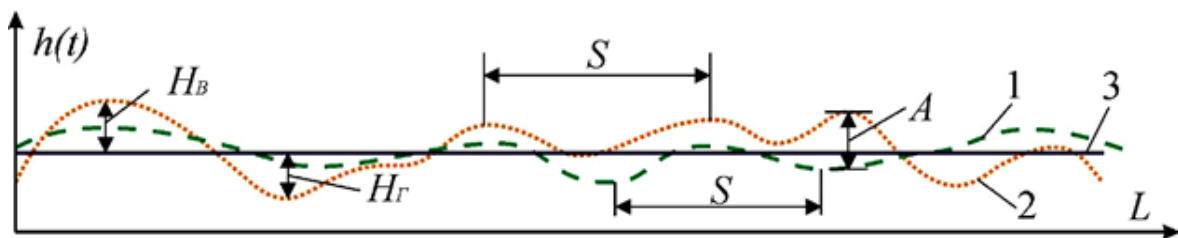


Рис. 3. Параметри нерівностей поверхні ґрунту гірничих виробок, проведених буровибуховим способом

За основні параметри профілю траси були прийняті довжина нерівностей –  $S$ , висота виступів –  $H_B$ , глибина западин –  $H_G$ ;  $A$  – відхилення між лівої та правої колією.

Шахтними дослідженнями встановлено, що в результаті дії вибуху підосва гірничих виробок в межах очисного блоку є випадковою геометричною поверхнею. В процесі взаємодії ВДМ з нерівностями шахтної дороги в конструкції машини виникають коливальні процеси у вигляді вертикальних і горизонтальних переміщень, а також деформації і прискорення.

Доцільність встановлення довжини нерівностей обумовлена тим, що саме цей показник технічного стану траси провокує інтенсивні коливання пневмоколісних машин у вертикальній площині. За результатами досліджень профілів шахтних виробок, пройдених буропідривним способом, було встановлено, що негативні поздовжні коливання машини, такі як галопування, багато в чому визначаються конструктивними параметрами ВДМ, швидкістю її руху  $v$  і довжиною нерівностей  $S$ :

$$S = h_0 \sin \frac{2\pi v}{h_L} t, \text{ м}; \quad (5)$$

де  $h_0$  – амплітудне значення нерівності профілю шахтної дороги, м;



$$h_0 = H_B + H_{Г,М}; \quad (6)$$

$h_L$  – підйом лівого колеса ВДМ на нерівностях профілю, м;  $H_B$  – висота виступів, м;  $H_{Г}$  – глибина западин, м;  $v$  – швидкість руху ВДМ, м/с;  $t$  – час руху ВДМ від відправної точки, с.

В процесі шахтних спостережень було також зафіксовано, що довжина нерівностей істотно впливає і на технологічні показники роботи пневмоколісних вантажно-постачальних машин. Експериментально доведено, що з порушенням плавності ходу руху ВДМ в транспортних виробках знижується її вантажна здатність. Обумовлено це тим, що профіль подошви транспортної виробки більшою мірою визначає вертикальні прискорення ВДМ, при яких, з кожним наступним циклом доставки руди до рудоспуску, збільшується обсяг налипання зволоженої рудної маси в тілі ковша. Встановлено також, що через пошарове налипання рудної маси до кінця зміни знижуються корисний об'єм ковша і відповідно пропускна здатність транспортних виробок, а також підвищуються питомі енерговитрати на вимушене транспортування «мертвого вантажу».

Для визначення рівня прискорень, що діють на машину в процесі її руху, і оцінки відповідності отриманих значень допустимим за технічними умовами необхідно виконувати комплекс спеціальних досліджень, таких як:

- визначити швидкість руху, при якій рівень прискорень досягає гранично допустимих значень;
- оцінити плавність ходу машини;
- визначити поздовжні відхилення ВДМ.

Слід зазначити, що із-за низьких швидкостей ВДМ першого покоління, традиційно вживана технологія підготовки гірничих виробок в межах очисного блоку і навантажувальних заїздів не передбачає створення в них штучного покриття, або спеціальної підготовки траси. Більш того, параметри навантажувальних заїздів та виробок в межах блоку визначаються без урахування максимально можливих експлуатаційних параметрів ВДМ.

В зв'язку з цим ефективно застосування вантажно-доставної техніки високого технічного рівня вимагає створення штатних (максимально сприятливих) гірничотехнічних умов експлуатації ВДМ за якими досягаються оптимальні експлуатаційні параметри машини за обраними критеріями, а саме:

- ухили виробок (до  $8 - 10^\circ$ ) з допустимими радіусами кривих для вписування машин;
- раціональні відстані доставки руди у виробках відповідного перерізу з адекватними профілем траси і дорожнім покриттям;
- створення систем оперативного діагностування і технічного обслуговування ВДМ нового покоління.

Окреслені рекомендації можуть бути вирішені тільки на базі комплексних експериментально-теоретичних досліджень експлуатаційних показників складових підсистем транспортно-технологічної системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище».

Досліджувані показники підсистем транспортно-технологічної системи і очікувані їх параметри приведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Досліджувані показники підсистем транспортно-технологічної системи  
«вантажно-доставна машина – гірниче середовище»

Об'єкт дослідження	Показники підсистем	Досліджувані параметри	Характеристика чинників
Профіль транспортних виробок з характерними нерівностями (западинами і виступами)	Поверхні ґрунту підземних транспортних виробок	Висота виступів і глибина западин	Характер розподілу нерівностей (западин і виступів) в транспортних виробках
		Амплітуда нерівностей	Величина амплітуди нерівностей
		Профіль траси транспортної виробки	Викривлення профілю траси; Характер утворення колії транспортних виробок з часом
Процес руху ВДМ по виробкам складної конфігурації	Коливання самохідного устаткування в процесі руху	Розподіл навантажень на напіврами ВДМ	Розподіл навантажень при різних швидкостях руху
		Швидкість ВДМ	Плавність ходу машини
		Координати відхилення ВДМ	Вплив швидкості на бокові відхилення ВДМ
Процеси заповнення ковша, транспортування, вивантаження руди і маневрові операції	Режими роботи ВДМ	Тимчасові параметри транспортно-технологічних операцій	Вплив швидкості переміщення на загальні тимчасові параметри в технологічному процесі при розробці уранових родовищ із застосуванням ВДМ

Основною метою означених досліджень є отримання фактичних показників зміни профілю траси і міри їх впливу на експлуатаційні показники самохідного устаткування для встановлення параметрів адаптації ВДМ при транспортуванні руди в підземних виробках складної конфігурації.

Для досягнення означеної мети розроблена методика оцінки адаптаційних здібностей ВДМ нового покоління в підземних виробках складної конфігурації, яка передбачає визначення експлуатаційних параметрів малодосліджених режимів роботи ВДМ в реальних умовах шахтного середовища, що постійно змінюються в часі і просторі, а саме:

- визначення реальних уклонів підосви гірничих виробок на ділянках роботи ВДМ;
- отримання статистичних характеристик мікропрофільів правої і лівої колії шахтної дороги без покриття на характерних ділянках транспортних виробок;
- встановлення максимальних величин відхилень корпусу ВДМ від проектної осі руху самохідного устаткування по виробці;
- виявлення реальних показників гальмівного шляху ВДМ на характерних ділянках траси та при русі під уклон;
- проведення експериментальних досліджень причин зміни швидкості переміщення ВДМ в реальних умовах шахтного середовища та інш.

Структурно-логічною схемою передбачено, що результати виконаних досліджень взаємодіючих підсистем слугуватимуть базою для обґрунтування параметрів ресурсо- і енергозбережних транспортно-технологічних систем із застосуванням самохідного устаткування нового покоління, що забезпечують поетапне підвищення виробничої потужності підприємств галузі і збільшення об'ємів видобутку стратегічної енергосировини.

**Висновки.** Шахтними спостереженнями надійності роботи сучасного імпортного самохідного обладнання в реальних умовах вітчизняних гірничих підприємств встановлено, що експлуатаційні показники високопродуктивних ВДМ нового покоління виявилися значно нижче показників їх роботи на зарубіжних підприємствах гірничодобувної галузі.

Суттєвими причинами подібних виробничих ситуацій є особливості розробки рудних родовищ жильного типу і недосконалості чинної нормативної бази.

По перше, до тепер не встановлені залежності між основними експлуатаційними показниками ВДМ нового покоління і параметрами криволінійних в плані гірничих виробок, які проводяться по рудному тілу і відповідно змінюють напрями траси.

По друге, наявні в галузі методичні напрацювання щодо обґрунтування експлуатаційних параметрів самохідного обладнання першого покоління дозволяють вирішувати подібні задачі для ВДМ високого технічного рівня за умов проведення додаткових досліджень показників взаємодії складових елементів транспортно-технологічної системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище».

Необхідність виконання додаткових досліджень обумовлена тим, що при буропідривному способі проведення підземних гірничих виробок в результаті дії вибуху підшва виробок в межах очисного блоку є випадковою геометричною поверхнею. Підповерхові і дільничні транспортні виробки традиційно споруджуються без дорожнього покриття, тому на поверхні шахтних доріг утворюються колії з характерними видами нерівностей, які чинять обурюючу дію на рух самохідного устаткування.

В процесі транспортування руди по виробкам зі знакозмінним профілем шахтної дороги маси ВДМ роблять різні лінійні, кутові і поперечні коливання. Вертикальні коливання та горизонтальні відхилення ВДМ від заданого напрямку призводять до пошарового налипання гірничої маси в ковші та зниження продуктивності обладнання за рахунок підвищення питомих енерговитрат на вимушене транспортування «мертвого вантажу», а також зменшують надійність і довговічність машини.

В умовах інтенсифікації гірничих робіт технічний стан транспортних виробок, обслуговуючих очисні блоки і їх параметри не відповідають конструктивним і експлуатаційним характеристикам ВДМ нового покоління, а галузеві методики визначення їх продуктивності не враховують дію зовнішніх опор, які долають вузли та агрегати ВДМ при транспортуванні вантажів по гірничим виробкам із знакозмінним профілем шахтної дороги.

Відсутність спеціальних досліджень окреслених умов взаємодії самохідного обладнання з шахтним середовищем і причин нерівномірної їх роботи протягом зміни не дозволяють підприємствам галузі обґрунтовано вибирати експлуатаційні показники роботи ВДМ нового покоління, а діючі методики визначення експлуатаційної продуктивності самохідних ВДМ потребують подальшого їх удосконалення.

Запропоновані рекомендації щодо програми проведення комплексних експериментально-теоретичних досліджень експлуатаційних показників складових підсистем транспортно-технологічної системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище» дозволяють оцінити закономірності зміни сил опору руху ВДМ на характерних ділянках шахтної дороги і визначити раціональну швидкість руху, при якій рівень прискорень досягає гранично допустимих значень в реальних умовах шахтного середовища.

#### Перелік посилань

1. Ширін, Л.Н., Сергієнко, М.І., Інюткін, І.В., & Ширін, А.Л. (2019). Удосконалення методів контролю та діагностики технічного стану самохідного транспортно-технологічного обладнання гірничих підприємств. *Енергетика: економіка, технології, екологія: наук. журн.*, (3), 94-103.  
<https://doi.org/10.20535/1813-5420.3.2019.196393>.
2. Алексеев, О.Н., & Дадиев, М.Н. (2014). Пути повышения надежности эксплуатации импортных подземных самоходных машин на урановых рудниках России. *Горный информационно аналитический бюллетень*. (7), 168-172.
3. Македонский, О.М. (2003). Методика определения эксплуатационной производительности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. (3), 111-112.
4. Григорьев, Е.А. (2004). Методические принципы определения ресурса элементов погрузочно-доставочных машин по их эксплуатационной нагруженности. *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (1). 109-111.
5. Посунько, Л.М. (2017). *Удосконалення транспортно-технологічних схем проведення дільничних виробок при розширенні меж вугільних шахт*. НГУ.
6. *ГОСТ 26917-2000 Машины погрузочные шахтные. Общие технические требования и методы испытаний*. (2000)
7. Ширин, А. Л., Расцветаев, В. А., & Инюткин, И. В. (2017). Оперативно-производственное управление техническим состоянием транспортно-технологических схем горнорудных предприятий. *Вісник Криворізького національного університету*, (44), 38-43.  
[http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu\\_2017\\_44\\_10](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vktu_2017_44_10)
8. Ширин, Л.Н., & Инюткин, И.В. (2009). Особенности формирования транспортно-технологических систем подземных рудников с учетом адаптационных возможностей самоходного оборудования. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. (9), 66.  
<http://www.nvngu.in.ua/index.php/ru/component/jdownloads/finish/29-2009/172-2009-9/0#page=66>
9. Біліченко, М.Я., Півняк, Г.Г., Ренгевич, О.О., Тарасов, В.І., Варшавський, А.М., Денищенко, О.В., Зражевський, Ю.М., Пригунов, О.С., Троцило, В.С., & Шендерович, Ю.М. (2005). *Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів*. НГУ.
10. Shyrin, L., & Iniutkin, I. (2018). Substantiating operational parameters of loadhaul-dumpers in the context of irregular-shaped underground mine workings. *In E3S Web of Conferences* (Vol. 60, p. 00036). EDP Sciences.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20186000036>.

## АННОТАЦИЯ

**Цель.** Повышение эксплуатационной производительности и эффективности погрузочно-доставочных машин нового поколения путем комплексного учета влияния горнотехнических и технологических факторов на их адаптационную способность в реальных условиях шахтной среды.

**Методика исследования** заключается в использовании теоретико-экспериментальных методов и средств комплексных исследований по определению эксплуатационных режимов работы ПДМ, направленных на изучение особенностей взаимодействия элементов транспортно-технологической системы урановых рудников при постоянно изменяющихся параметрах шахтной среды.

**Результаты исследования.** Исследованы реальные профили почвы горных выработок на участках работы погрузочно-доставочных машин и определены основные статистические характеристики микропрофиля правой и левой колеи шахтной дороги без покрытия на характерных участках транспортных выработок. Выполненные исследования взаимодействия составляющих элементов транспортно-технологической системы «погрузочно-доставочная машина – шахтная среда» является базой для обоснования параметров ресурсо- и энергосберегающей технологии разработки урановых залежей с применением самоходного оборудования нового поколения, обеспечивающих поэтапное повышение производственной мощности предприятий отрасли и увеличение объемов добычи стратегического энергосырья.

**Научная новизна.** Установлены направления совершенствования методики оценки эксплуатационных показателей погрузочно-доставочных машин нового поколения в специфических условиях разработки урановых месторождений, основанные на учете характеристик ограничивающих факторов шахтной среды, постоянно изменяющихся во времени и пространстве.

**Практическое значение** работы состоит в установлении эксплуатационных параметров погрузочно-доставочных машин нового поколения при транспортировании урановой руды в подземных выработках сложной конфигурации и разработке «Исходных требований на создание энергосберегающей циклично-поточной технологии откатки урановой руды из очистных блоков».

**Ключевые слова:** *погрузочно-доставочная машина, шахтная среда, эксплуатационная производительность, профиль шахтной дороги.*

## ABSTRACT

**Purpose.** Increasing the operational productivity and efficiency of new generation mining load haul dump (LHD) loaders by taking complex account of the influence of mining and technological factors on their adaptive capacity in the real conditions of the mine environment.

**The research methodology** consists in the use of theoretical and experimental methods and means of complex research to determine the operating modes of the LHD, aimed at studying the features of the interaction of elements of the transport and technological system of uranium mines with constantly changing parameters of the mine environment.

**Results.** The real profiles of the soil of mine workings in the areas of work of the LHD were investigated and the main statistical characteristics of the micro-profile of the right and left track of an unpaved mine road on characteristic sections of transport workings were determined. The performed studies of the interaction of the constituent elements of the transport and technological system "LHD - mine environment" are the basis for substantiating the parameters of resource and energy-saving

technologies for the development of uranium deposits using self-propelled equipment of a new generation, providing a gradual increase in the production capacity of enterprises in the industry and an increase in energy raw resources.

**Scientific novelty.** The directions of improving the methodology for assessing the performance of new generation loading and hauling machines in specific conditions of the development of uranium deposits, based on taking into account the characteristics of the limiting factors of the mine environment, constantly changing in time and spatial conditions, have been established.

**Practical value** significance of the work is to establish the operational parameters of new generation loading and hauling machines when transporting uranium ore in underground workings of complex configuration and the development of "Initial requirements for the creation of an energy-saving cyclical-flow technology for haulage of uranium ore from mining blocks."

**Key words:** *LHD, mine environment, operational performance, mine road profile.*