

Л.Н. Ширін, д-р. техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-1778-904X

І.В. Інюткін, асист., ORCID 0000-0002-6543-9909

А.Л. Ширін, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0003-0026-2767

Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

М.І. Сергієнко, ORCID 0000-0001-8284-9072

Національний технічний університет України

«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ САМОХІДНОГО ТРАНСПОРТНО- ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ ГІРНИЧИХ ПІДПРИЄМСТВ

В даній статті дається експертна оцінка діючих методів контролю технічного стану самохідного вантажно-доставного обладнання імпортного виробництва, що експлуатується в реальних умовах гірничодобувної галузі. Визначення складових показника загальної ефективності самохідного обладнання. На підставі автоматизованого збору і обробки інформації про технічний стан колісних вантажно-доставних машин та експертної оцінки ресурсних показників вузлів і деталей по частоті виходу їх із ладу встановлено, що на даний час діагностування технічного стану самохідних гірничотранспортних машин імпортного виробництва є складним комплексним завданням, яке потребує розробки відповідних сучасних методів та вимірального обладнання з додатковим програмним забезпеченням.

Ключові слова: самохідне обладнання, технічний стан, експертна оцінка, діагностування, методи контролю, міра відмови, самохідна машина – гірниче середовище, технологічні параметри.

Вступ. В умовах сьогодення енергоємні промислові підприємства та потужні приватні компанії для виконання транспортно-технологічних процесів використовують сучасне самохідне вантажно-доставне і навантажувальне обладнання імпортного виробництва з дизельним приводом.

Область ефективного використання означених видів промислового транспорту найбільш поширена на гірничих та металургійних підприємствах де виконується великий обсяг основних та допоміжних транспортно-технологічних процесів. Дослідженнями потреб самохідного обладнання імпортного виробництва підприємствами гірничодобувних галузей показало, що найбільш затребуваними транспортно-технологічними машинами є вантажно-доставні машини (ВДМ) на пневмоколісному ході, а також кар'єрні екскаватор-навантажувачі.

До переваг, найбільш поширених в Україні видів імпортного гірничотранспортного обладнання, фахівці відносять, перш за все їх високу мобільність, яка досягається завдяки застосування в конструкція машин надійних вузлів та агрегатів, таких як: двигуни – фірм Perkins, Deutz, Cummins; гідравлічні насоси – Parker, Danfos, Rexroth або Kawasaki; насоси високого тиску – Bosch або Delfi; трансмісії та мости – ZF, Saargo, Dana та ін. За рахунок такого компонування імпортне самохідне обладнання, порівняно з машинами вітчизняного виробництва, відзначається високою швидкістю виконання операцій та низькими витратами палива. В той же час, не зважаючи на високі адаптаційні здібності і продуктивність ВДМ та екскаватор-навантажувальних машин зарубіжного виробництва, у підприємств-споживачів імпортного самохідного обладнання постійно виникають проблеми з необхідністю заміни дефіцитних вузлів і агрегатів, що виходять з ладу в процесі експлуатації. Обумовлено це перш за все тим, що вагомий відсоток, придбаного фірмами імпортного гірничотранспортного обладнання, певний період часу експлуатувалось за кордоном в інших гірничо-геологічних умовах, з відповідною до тих умов комплектацію і має невизначений ресурс.

Аналіз досліджень і публікацій. Результати аналізу надійності вузлів і агрегатів імпортного самохідного обладнання в реальних умовах вітчизняних гірничих підприємств показали, що до основних причин виникнення аварійних ситуацій, перш за все, слід віднести: відсутність кваліфікаційного контролю і діагностики машин і механізмів; не дотримання експлуатаційних вимог і рекомендацій фірм виробників, а також несвочасні регулювання і змащування вузлів тертя та заміна фільтруючих елементів і мастил. Із-за подовжених термінів постачання та високих цін на запчастини і технічне обслуговування транспортного обладнання виробничі підприємства з великим парком однотипних машин вимушені утри-

© Л.Н. Ширін, І.В. Інюткін, А.Л. Ширін, М.І. Сергієнко, 2019

мувати на балансі більшу кількість самохідного імпортного обладнання для використання їх дефіцитних вузлів і агрегатів в якості запчастин.

Слід відзначити, що при експлуатації імпортного самохідного обладнання особливе значення приймає діагностичне забезпечення його технічного стану, яке включає в себе комплекс взаємопов'язаних правил, методів, алгоритмів і засобів, необхідних для безперебійного функціонування промислового об'єкта на всіх етапах життєвого циклу.

На даний час діагностування технічного стану самохідних гірничотранспортних машин імпортного виробництва є складним комплексним завданням, яке потребує розробки відповідних сучасних методів та вимірювального обладнання з додатковим програмним забезпеченням та використання нових конструктивних рішень.

Проведений аналіз досвіду експлуатації і діагностики самохідного обладнання на потужних гірничодобувних підприємствах зарубіжжя висвітив ідентичні проблеми. Так, в роботі [1] наведені висновки про стан парку гірничого обладнання на вугільних розрізах, де відзначається, що 4% екскаваторів, які використовуються при видобувних і розкривних роботах, знаходяться в доброму стані, 26% - в задовільному, 36% - в допустимому і 34% - в недопустимому стані. В методичних вказівках по проведенню експертизи промислової безпеки екскаваторів визначаються терміни, порядок, програма і методика проведення експертизи, а також наведені вимоги щодо норм і порядку проведення технічної діагностики з використанням методів контролю. Рекомендовані авторами програма і методика моніторингу дозволяють вести постійний контроль стану екскаватор-навантажувачів і забезпечує своєчасне виявлення дефектів, що зароджуються в процесі експлуатації обладнання та оцінювати ступень їх небезпеки. Але подібні заходи діагностики мають перспективу для потужних гірничих підприємств з великим парком самохідного обладнання де технічне обслуговування і ремонт виконують спеціалізовані автотранспортні підприємства, а заміна вузлів і деталей виконується за примусовим принципом, тобто відповідно з установленим графіком. В структурі ж підприємств з обмеженою кількістю самохідних ВДМ імпортного виробництва, відсутні спеціалізовані дільниці, оснащені сучасними комплектами обладнання для виконання діагностики, тому гірничотранспортне обладнання експлуатується до відказу, а його ремонт переважно проводиться самотужки на місцях. [2].

Мета роботи. Розробка програми і методики оперативного контролю технічного стану дизельних вантажно-доставних та навантажувальних машин для підвищення показників їх надійності і безаварійної роботи в складних умовах експлуатації. З метою покращення сервісу з технічного обслуговування і якості ремонту імпортного самохідного гірничотранспортного обладнання та зниження термінів і витрат на ліквідацію відказів було створено, в партнерстві з науково-виробничою компанією «Рінопарт», програму оперативного контролю та діагностування технічного стану дизельної вантажно-доставної машини.

Ідея роботи. В основу програми було покладено ідею автоматизованого збору і обробки інформації про технічний стан колісних вантажно-доставних машин імпортного виробництва для експертної оцінки ресурсних показників вузлів і деталей по частоті виходу їх із ладу. Згідно з програмою частота відказів вузлів і агрегатів самохідного обладнання встановлювалась по результатам обробки термінових заяв підприємств на поставку запчастин для їх ремонту.

Виклад матеріалу і результати досліджень. На етапі попередніх досліджень екскаватор-навантажувальна машина розглядалася виключно як технічна система, умовно розділена по функціональному призначенню на взаємодіючі підсистеми (вузли, агрегати). Для виявлення частоти

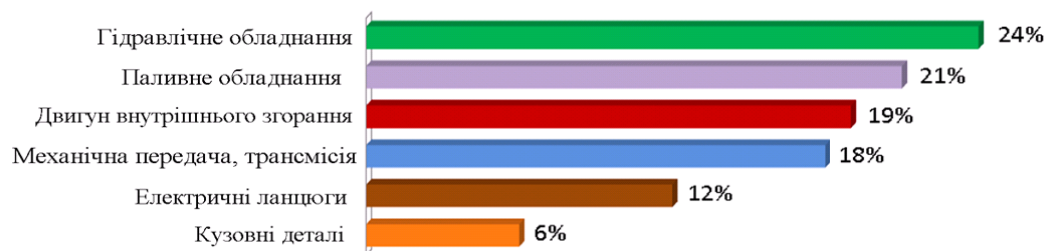


Рисунок 1 - Розподіл термінових заяв на запасні частини до самохідного обладнання

відказів вузли і агрегати самохідного ВДМ були згруповані по функціональному призначенню на кузовні частини, елементи механічної передачі, електричні мережі і апарати, системи обслуговування двигуна та вузли гідравлічної і паливної систем (рис. 1).

По результатам оцінки показників надійності вузлів і агрегатів самохідного гірничотранспортного обладнання встановлено, що найменше напрацювання на відказ у дизельного двигуна, механічної передачі та гідравлічної системи. Структура оцінки їх технічного стану і трудомісткість усунення відказів представлена в таблиці 1.

Таблиця 1 – Структура оцінки технічного стану вузлів і агрегатів дизельного самохідного обладнання

Обл-ня	Система	Устаткування, агрегати, вузли	Види і категорії відмов	Головні причини виходу зі строю системи	Категорія та трудомісткість усунення відказу	
					Рівень	Чол/год
Двигун внутрішнього згорання	Кривошипно-пальний механізм	Блок циліндрів	Тріщина блоку	Перегрів двигуна, вібрація двигуна, невідповідне затягування болтів ГБЦ	V	16,0-24,0
		Гільзо-поршнева група	Немає компресії двигуна	Нерегулярне подання палива, попадання сторонніх часток	V	16,0-24,0
		Колінчастий вал	Відмови підшипників колінчатого валу	Зношування поверхонь тертя, порушення правил експлуатації двигуна, гідроудар	V	16,0-24,0
		Розподільний вал	Тріснув розподільний вал	Вироблення одного з ліжок, підвищена вібрація	V	16,0-24,0
	Охолодження та змащення	Водяна помпа	Витоки рідини, надмірна вібрація	Забруднення системи, ерозія крильчатки або корпусу помпи	L, M	3,0-8,0
		Термостат	Перегрівання двигуна	Перегрів, заклинювання,	L	1,0-2,0
		Радіатор	Протікання охолоджувальної рідини	Пошкодження радіатора, відключення датчика вентилятора, неякісна рідина	M	5,0-8,0
		Масляний насос	Зниження тиску в системі мастила	Знос або ушкодження корпусу вузла і його шестернями	M, V	8,0-14,0
	Живлення повітря та газопозапліч	Масляний радіатор	Порушена герметичність	Забруднення системи, механічне ушкодження	M, V	8,0-14,0
		Колектори, глушник	Зниження потужності, поганий запуск двигуна	Механічні ушкодження, корозія, прогорання складових частин, погане з'єднання елементів	M	8,0-10,0
		Повітряний фільтр	Перевитрати палива, зниження потужності	Неякісний фільтр, не вчасно проведене технічне обслуговування	L	0,5-1,0
	Паливне обладнання	Турбокомпресор	Ушкодження крильчаток, підшипник	Попадання в турбокомпресор сторонніх предметів, масляне голодування	M, V	8,0-14,0
		Живлення паливом	Насос підкачки палива	Порушення герметичності	Перегрівання, знос діафрагми, ущільнень	L
Паливний насос високого тиску			Заклинювання плунжера	Механічне ушкодження, попадання сторонніх часток	M, V	8,0-24,0
Форсунки			Вібрація при холостому ході, шум	Знос, некоректна установка, перегрівши	M	8,0-14,0
Паливний фільтр	Не запускається двигун, зупинка роботи		Неякісний фільтр, не вчасно проведене ТО	L	0,5-1,0	
Гідравлічне обладнання	Живлення гідравлічним мастилом	Гідравлічний радіатор	Протікання гідравлічної рідини	Неякісна охолоджувальна рідина, механічне ушкодження	M	8,0-14,0
		Розподільники	Заклинювання золотників, дефект корпусу	Попадання механічних часток, гідроудар, неякісна гідравлічна олія	V	16,0-24,0
		Гідравлічний насос	Заклинювання валу, знос плунжерів	Попадання механічних часток, вступ повітря, неякісна гідравлічна олія	V	16,0-24,0
		РВД	Протікання, порив рукавів	Механічна дія, гідравлічний удар	L, M	3,0-14,0
	Керування	Гідропідсилювач керма	Заклинювання золотників, протікання	Попадання в систему сторонніх часток, механічні ушкодження	M	8,0-14,0
		Гідроциліндр повороту	Не тримає тиску, течі олії, задираки штока	Попадання сторонніх часток в систему, механічні ушкодження	M	8,0-14,0

В процесі експертної оцінки термінових заяв на запасні частини встановлювались причини виходу із ладу основних вузлів, створювався банк даних про умови експлуатації самохідного обладнання та види і категорії відказів, описувались показники справного стану і нормального функціонування його вузлів і агрегатів, вивчалась історія виникнення і розвитку відказів

Встановлені таким чином типи і характеристики несправностей та трудомісткість їх усунення враховувались в подальшому при виборі раціональних методів і засобів технічної діагностики колісних видів кар'єрного і шахтного автотранспорту. Для підвищення ефективності запропонованої системи технічного обслуговування та діагностування самохідного вантажно-доставного обладнання характерні відкази вузлів і агрегатів екскаватор-навантажувальної машини були класифіковані по категоріям

складності їх усунення на легкі (L), середні (M) і важкі (V). В якості критеріїв оцінки складності було прийнято час усунення відказів і кількість працівників, що залучалась для їх відновлення. По результатам експертної оцінки режимів роботи вантажно-ого обладнання в реальних умовах експлуатації до категорії важких відказів були віднесені тривалі (більше 1 години) зупинки транспортно-технологічної системи, які потребують залучення допоміжних ресурсів і висококваліфікованих фахівців або більше двох робітників для їх ліквідації.

Накопичений банк даних про види і категорії відказів та їх кількісні показники надали змогу в подальшому визначати на якому саме рівні експлуатації самохідного вантажно-ого обладнання доцільно проводити профілактику вузла чи агрегату для попередження появ відказів їх складових елементів.

Для прогнозування поведінки заміненних вузлів і агрегатів програмою технічного обслуговування і діагностування діючого обладнання передбачається також отримання у замовника запасних частин додаткової інформації про нетипові умови експлуатації, які за висновками представників виробництва послужили причинами виникнення відказів.

Таким чином, використовуючи накопичений банк даних, принципи інженерної логістики, вживані в системі сервісного обслуговування, і галузеві методики вибору діагностичних параметрів для безперервних об'єктів, що представляються логічними моделями, можливо в процентному відношенні визначити міру відмови k_o ВДМ, який дорівнює:

$$k_o = \frac{\sum n_i}{N} 100\%; \quad (1)$$

де n_i - кількість відмов цього виду устаткування; N - кількість відмов усіх видів устаткування.

Відсоток відмов, отриманий по результатам оцінки статистичних даних, дозволив виявити найбільш ненадійні агрегати і системи обслуговуваного устаткування. До них відносяться системи живлення паливом ($k_o = 3,21$) і охолодження ($k_o = 5,25$); гідравлічна система ($k_o = 8,08$); механічна передача ($k_o = 6,68$).

Для самохідних ВДМ трудомісткість усунення відмов гідравлічного устаткування і механічної системи складає близько 30%, а кузовних частин і металоконструкцій більше 12%. Результати обробки статистичних даних дозволили сформувані для кожного агрегату і вузла ВДМ алгоритми пошуку характерних несправностей.

Одним із показників, що оцінюють надійність ВДМ нового покоління, слід рахувати коефіцієнти технічного використання k_{tv} , який дорівнює відношенню робочого часу самохідного обладнання до сумарного часу перебування його на об'єкті в працездатному стані з урахуванням часу на ремонт та проведення технічного обслуговування:

$$k_{tv} = \frac{t_r}{t_r + t_{sp} + t_{to}}; \quad (2)$$

де t_r – сумарне напрацювання ВДМ, хв;

t_{sp} – сумарний час простоїв через планові і позапланові ремонти, хв;

t_{to} – сумарний час планового технічного обслуговування, хв.

Також технологічне обладнання прийнято оцінювати показником загальної ефективності обладнання ОЕЕ (Overall Equipment Effectiveness) k_{oee} , який оцінюють в залежності від доступності, ефективності та рівня якості роботи ВДМ:

$$k_{oee} = k_d * k_e * k_q \quad (3)$$

де k_d – доступність ВДМ, визначається як відношення різниці загального часу роботи ВДМ від простоїв та маневрових операції до загального часу роботи ВДМ;

k_e – ефективна робота ВДМ, визначається об'ємом перевезеної гірничої маси;

k_q – рівень якості роботи ВДМ, визначається відношенням різниці об'єму ковшу та об'ємом перевезеної гірничої маси за один цикл до об'єму ковшу.

В таблиці 2 наведені формули визначення складових показника загальної ефективності обладнання, які визначаються наступним чином:

Таблиця 2 – Складові показника загальної ефективності ВДМ

Доступність ВДМ	Ефективна робота ВДМ	Рівень якості роботи ВДМ
$k_d = \frac{t_r - t_k}{t_r} \quad (4)$	$k_e = \frac{t_c * V_{gm}}{t_r} \quad (5)$	$k_q = \frac{V_b - V_{gm}}{V_b} \quad (6)$

де t_k – сумарний час простоїв ВДМ, хв;

t_c – час циклу роботи ВДМ, хв;

V_{gm} – об'єм перевезеної гірничої маси за цикл, m^3 ;

V_b – об'єм ковша ВДМ, m^3 .

Порівняльна оцінка експлуатаційних параметрів зарубіжного самохідного устаткування, вживаного на вітчизняних підприємствах, з показниками роботи аналогічних зразків за кордоном дозволила виявити ряд проблем, характерних для підприємств, які використовують високотехнологічне устаткування нового покоління. В процесі вивчення причин нестабільної роботи техніки нового покоління (ТНП), чинники, що визначають ті або інші проблеми, були систематизовані на технічні, технологічні і організаційні.

До основних організаційних чинників, що впливають на показники роботи гірничотранспортного устаткування зарубіжного виробництва, відносяться помилки з вини керівного персоналу. Наприклад, відсутність в учбових центрах гірничих підприємств і в системі професійно-технічної освіти програм спеціальної підготовки фахівців для вивчення сучасних методів діагностування і обслуговування техніки нового покоління, оснащеної автоматизованими системами управління транспортно-технологічними процесами.

Технічні чинники проявляються в результаті недотримання або порушення сучасних принципів діагностування і оперативного аналізу технічного стану гірничотранспортного устаткування високого технічного рівня в процесі інтенсивної його експлуатації. Приклад - технічні погрішності обслуговуючого персоналу, обумовлені експлуатацією гірничотранспортного устаткування в режимах, що не відповідають дійсним умовам шахтного середовища.

Технологічні чинники, визначаються особливостями експлуатації транспортного обладнання в гірничо-геологічних умовах конкретного підприємства, що постійно змінюються і корегуються за результатами кількісної оцінки адаптаційної здатності вживаного устаткування в типових, нетипових і екстремальних ситуаціях гірничого виробництва [3].

Слід відзначити, що сучасні ВДМ імпортних виробників мають програмні модулі або бортові комп'ютери на які поступає інформація та виводиться на монітор у вигляді коду-помилки. Крім того, заводом-виробником передбаченні прилади для діагностування технічного стану обладнання такі як: датчик тиску масла в двигуні; датчик температури масла в двигуні; датчик температури охолоджуючої рідини; датчик тиску коробки перемикачів передач; датчик рівня палива. Дані прилади виключають ймовірність поломки, наприклад в результаті перегріву двигуна, або виходу зі строю трансмісії за рахунок низького тиску масла під час роботи, що в свою чергу може привести до зносу фрикційних дисків зчеплення та гідротрансформатора.

Але при експлуатації самохідного вантажно-доставного обладнання в нетипових або екстремальних умовах діагностичні показники, які характеризують відкази вузлів або відхилення в штатних режимах роботи, необхідно підтверджувати експериментальними дослідженнями з використанням візуальних засобів діагностування, теоретичними розрахунками або результатами моделювання робітничих процесів. Обумовлено це тим, що деякі специфічні види і категорії відказів виражають тільки технічну складову і не віддзеркалюють вплив оточуючого середовища на ресурсні показники основних вузлів і деталей ВДМ машин та їх продуктивність.

Наприклад, згідно з діючими інструкціями, зчеплення коліс ВДМ з полотном шахтної дороги і стійкість машини при транспортуванні породи в підземних виробках досягають максимуму на дільницях траси з дорожнім покриттям при підтримці відповідного тиску в шинах. В складних гірничо-геологічних умовах, за відсутності дорожнього покриття, стійкість та швидкість машини, а відповідно і її продуктивність зменшуються при зниженні тиску в шинах. Експериментально встановлено, що в подібних умовах значно швидше зношуються задні колеса і боковини шин. Якщо ж тиск в шинах підвищений відзначається жорсткий хід машини, знижуються амортизаційна здатність конструкції, площа контакту шини з дорожнім полотном і як наслідок тягове зусилля. Останнє було підтверджено теоретичними розрахунками і послужило приводом для удосконалення традиційних методів технічного обслуговування та діагностики колісних ВДМ.

Шляхом використання сучасних засобів діагностування та методів моделювання умов взаємодії самохідного гірничотранспортного обладнання з дорожнім полотном були встановлені причини переважного зносу задніх коліс ВДМ при виконанні технологічних процесів завантаження ковша гірничою масою та переміщення машини порожняком і з вантажем. За результатами комплексного дослідження встановлено, що при переміщеннях порожньої ВДМ в виробках без покриття найбільші динамічні навантаження переважно приходяться на задню вісь, а при повному завантаженні ковша розподіляються рівномірно між осями. Відповідно, що за таких умов експлуатаційні показники зарубіжного самохідного устаткування, вживаного на вітчизняних підприємствах, не відповідають паспортним характеристикам.

Неоднозначний вплив гірничо-геологічних умов і рівня технічного їх обслуговування на експлуатаційні показники ВДМ визначив необхідність удосконалення діючої методики діагностування та прогнозування технічного стану самохідного імпортного обладнання. Згідно з цією методикою продуктивну роботу дизельних ВДМ в реальних умовах гірничого виробництва рекомендовано розглядати як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «самохідна машина - гірниче середовище». Доцільність такого підходу обумовлено передусім функціональним призначенням самохідного гірничотранспортного

устаткування. На рис.2, на прикладі роботи вантажно-доставної машини, приведена структурна схема дослідження умов взаємодії базових вузлів між собою та з гірничим середовищем.

Згідно з комплексною методикою діагностування технічного стану ВДМ умови взаємодії транспортно-технологічної системи «самохідна машина - гірниче середовище» можна виразити через її продуктивність. Продуктивна робота дизельної вантажно-доставної машини розпочинається з зрушування

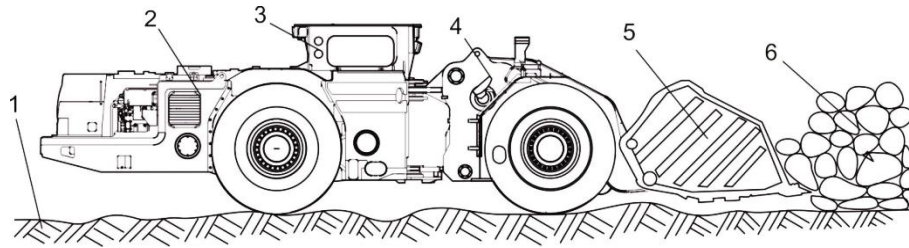


Рисунок 2 - Схема взаємодії транспортно-технологічної системи «вантажно-доставна машина – гірниче середовище»
1 – підшва виробки; 2 – задня напіврама ВДМ; 3 – кабіна ВДМ; 4 – передня напіврама ВДМ; 5 – ківш ВДМ; 6 – гірничі маси

машини з місця і її руху по дорожньому полотну. Гідромеханічна трансмісія імпортованих машин з автоматичним блокуванням дозволяє виконати швидкий перехід із стану спокою в стан руху, але на режим роботи її і двигуна впливатиме комплекс технічних і технологічних чинників, таких як: параметри маршруту переміщення, стан дорожнього полотна, метеорологічні умови та ін. Технічні чинники характеризують зміни енергії двигуна, яка через трансмісію передається провідним колесам. У свою чергу умови взаємодії коліс екскаватора-навантажувача з дорожнім полотном характеризуються фізико-механічними властивостями покриття і його станом, а також технологічними параметрами траси, такими як: продольні і поперечні ухили, радіуси кривих, ширина дороги та ін. Приведені технічні і технологічні характеристики взаємодії шахтного самохідного устаткування з дорожнім полотном визначають опір руху машини, її продуктивність і витрати енергії на транспортування гірничої маси.

По результатам експериментальних досліджень встановлено, що в реальних умовах гірничого середовища ефективна робота самохідного обладнання в режимах завантаження і транспортування руди та при рухах на підйом або гальмуванні на схилах забезпечується стійкою роботою двигуна, яка витрачається на подолання сил опору руху машини і на досягнення розрахункових показників швидкості v і часу руху завантаженої t_r та порожньої t_n машини на кожній ділянці маршруту. При цьому тягове зусилля на окружності коліс (F_k) в кожен момент дорівнює сумі сил опору (W):

$$F_k = W_o \pm W_i + W_b \pm W_j = W \quad (7)$$

де W_o – сили опору руху коліс по полотну дороги, $H/\kappa H$;

W_i – сили опору руху від ухилу дороги $H/\kappa H$;

W_b – сили опору повітря (за або проти вентиляційного потоку) $H/\kappa H$;

W_j – сили опору при зміні швидкості машини (розгін, уповільнення) $H/\kappa H$.

Відповідно до рекомендацій [4] рівняння руху може бути переписано як:

$$F_k - W_b = W_o \pm W_i + W_j = G(w \pm i \pm j) \quad (8)$$

або

$$\frac{F_k - W_b}{G} = w \pm i \pm j = D \quad (9)$$

де w – питомі ходові опори ВДМ $H/\kappa H$;

i – ухил транспортних виробок %;

j – прискорення (+) або уповільнення (-) руху машини, m/c^2 ;

D – динамічний чинник виражений питомими опором руху, %.

Слід відзначити, що процеси транспортування гірничої маси в технологічних схемах видобутку руди підземним способом складають близько 30%, а на відкритих роботах досягають 60%. З урахуванням діючих в галузі рекомендацій витрати на транспортування гірничої маси та експлуатаційні розрахунки швидкості і часу руху навантаженої ВДМ виконувалися послідовно для усіх ділянок траси від вибою до рудоспуску і порожняком у зворотному напрямі [5].

Експериментально доведено, що понизити транспортні витрати можливо шляхом покращення умов взаємодії транспортно-технологічної системи «самохідна машина – гірниче середовище», тобто за рахунок

створення умов експлуатації транспортного обладнання, які максимально відповідають раціональним параметрам машини, або шляхом підвищення довговічності та безвідмовності машин в реальних умовах гірничого середовища.

Аналізуючи данні термінових заяв на поставку запасних частин (рис. 1) та результати експертної оцінки експлуатаційних показників ВДМ [6] встановлено, що в складних гірничо-геологічних умовах до вузлів і агрегатів з найбільш низькою надійністю відносяться гідравлічна та паливна система (понад 45%). Слід відзначити, що в інструкціях по експлуатації ВДМ додається регламент проведення технічного обслуговування, згідно якого через кожні 200-250 мотогодин потрібно проводити заміну паливних фільтруючих елементів, а фільтри гідросистеми через 500-1000 мотогодин. У зв'язку з цим діагностування технічного стану паливної системи ВДМ проводилося методом заміру тиску.

Відповідно до інструкцій щодо проведення планового технічного обслуговування та ремонту ВДМ, експериментально отримані заміри тиску перевірялися на спеціальному стенді сервісного спеціалізованого центру з використанням витратоміру потоку (рис. 3).



Рисунок 3 – Стенд для експериментальних досліджень експлуатаційних параметрів паливного насоса високого тиску

До основних несправностей, які були спричинені недоброякісним паливом були віднесені - заклинювання плунжера паливного насоса високого тиску та вкраплення прецизійного шару плунжерної шайби (рис. 4).



Рисунок 4 – Характерні пошкодження плунжерної шайби паливного насоса високого тиску

По результатам експертної оцінки ресурсних показників вузлів і агрегатів імпортованих ВДМ, вживаних на вітчизняних підприємствах, можна констатувати, що в складних умовах гірничого виробництва для визначення їх технічного стану, необхідно розглядати їх функціонування як взаємодіючу транспортно-технологічну систему «самохідна машина - гірниче середовище». При цьому, характеристики технічного стану ВДМ, отримані традиційними засобами діагностики, бажано підтверджувати результатами експериментальних досліджень та теоретичними розрахунками. Експериментально доведено, що використання результатів експертної оцінки та комплексних досліджень забезпечує оперативне виявлення критеріїв оцінки граничного стану вузлів і агрегатів ВДМ з урахуванням впливу гірничого середовища і відповідно формує базу для удосконалення діючих в галузі методик діагностування та прогнозування технічного стану гірничотранспортного самохідного обладнання.

Висновки. Результати експериментальних і теоретичних досліджень параметрів взаємодії транспортно-технологічної системи «самохідна машина - гірниче середовище» та стендових випробувань вузлів вантажно-доставних машин і екскаватор-навантажувачів дозволили констатувати, що переважна більшість простоїв самохідного обладнання із-за відмов обладнання можливо попередити шляхом

удосконалення системи технічного його обслуговування та діагностування. Багаточисельні відмови вузлів і агрегатів перш за все обумовлені відсутністю на гірничих підприємствах схем моніторингу, які б дозволяли вести оперативний контроль стану самохідного імпортного обладнання. У цьому зв'язку, отриманий банк даних про причини відмов вузлів і агрегатів, можна вважати основою для розробки методичних вказівок по проведенню контролю і експертизи технічного стану ВДМ в реальних умовах гірничого виробництва.

Для забезпечення своєчасного виявлення дефектів, які зароджуються на рівні елемента, вузла чи агрегату в методичних вказівках повинні бути чітко прописані:

- вимоги щодо норм і порядку проведення контролю експлуатаційних параметрів ВДМ з використанням сучасних засобів технічного діагностування;
- приклади вірогідних дефектів при експлуатації в нетипових умовах;
- критерії оцінки граничного стану та залишкового ресурсу базових вузлів ВДМ.

Передбачено також, що сформований банк даних про характерні відмови та методика оперативного виявлення дефектів і категорій складності їх усунення послужить в подальшому основою для формування нормативно-методичної бази щодо розробки експертної системи діагностування технічного стану вантажно-доставних машин імпортного виробництва.

Список використаної літератури

1. Герике П.Б. Новое в методике проведения испытаний энерго-механического оборудования горной техники / Вестник Кузбасского государственного технического университета. Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2017. № 3. С. 126-133.

2. К.Р.Монсини Фирма «Катерпиллар» – концепция технического обслуживания горных машин// Горный журнал, – 1998. – № 11-12, С. 66-69.

3. Ширін Л.Н, Інюткін І.В. «Особенности формирования транспортно- технологических систем подземных рудников с учетом адаптационных возможностей самоходного оборудования// Науковий вісник – 2009. – №9. –С. 66 –68.

4. Транспорт на гірничих підприємствах: Підручник для вузів. – 3-є вид./ Авт. доповнень, змін та корегування: М.Я. Біліченко, Г.Г. Півняк, О.О. Ренгевич, О.В. Денищенко та ін. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 636 с.

5. Ширин А.Л. Транспортные проблемы производительной работы подготовительных забоев и перспективы их решения / А.Л. Ширин, Л.Н. Посулько, В.А. Расцветаев // Materiały Krakowskiej konferencji młodych uczonych. – Kraków: PATRIA, 2011. – P. 505 – 512.

6. Artem Shyrin. Informatywne wskaźniki niezawodności pracy schematów technologicznych transportu wspomagającego podczas drażenia wyrobisk przygotowawczych// Conference proceedings Krakow conference of young scientists, September 26–28, 2013, Grupa Naukowa Pro Futuro, Krakow: PATRIA. P. 83–87.

УДК 622.063.88

Л.Н. Ширин, д-р. техн. наук, проф., **ORCID 0000-0002-1778-904X**

И.В. Инюткин, асист., **ORCID 0000-0002-6543-9909**

А.Л. Ширин, канд. техн. наук, доц., **ORCID 0000-0003-0026-2767**

Национальный технический университет

«Днепропетровская политехника»

М.И. Сергиенко, **ORCID 0000-0001-8284-9072**

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САМОХОДНОГО ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

В данной статье дается оценка действующих методов контроля технического состояния самоходного погрузочно-доставочного оборудования импортного производства, которое эксплуатируется в реальных условиях горнодобывающей промышленности. Определены составляющие показателя общей эффективности самоходного оборудования. На основании автоматизированного сбора и обработки информации о техническом состоянии колесных погрузочно-доставочных машин и экспертной оценки ресурсных показателей узлов и деталей по частоте их выхода из строя установлено, что в настоящее время диагностирование технического состояния самоходного горнотранспортного оборудования импортного производства является сложной комплексной задачей, требующей разработку

соответствующих современных методов и измерительного оборудования с дополнительным программным обеспечением.

Ключевые слова: самоходное оборудование, техническое состояние, экспертная оценка, методы контроля, диагностика, степень отказа, самоходная машина - горная среда, технологические параметры.

L. Shyrin, д-р. техн. наук, проф., **ORCID 0000-0002-1778-904X**

I. Inyutkin, асист., **ORCID 0000-0002-6543-9909**

A. Shyrin, канд. техн. наук, доц., **ORCID 0000-0003-0026-2767**

Dnipro University of Technology

M. Sergiienko, **ORCID 0000-0001-8284-9072**

**National technical university of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»**

IMPROVING METHODS FOR MONITORING AND DIAGNOSING THE TECHNICAL CONDITION OF SELF-PROPELLED TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT OF MINING ENTERPRISES

This article evaluates the current methods for monitoring the technical condition of imported self-propelled loading and delivery equipment, which is operated in real conditions of the mining industry. Comparative assessment of the performance of foreign self-propelled equipment should be evaluated by the indicator of Overall Equipment Effectiveness (OEE), which is evaluated depending on the availability, efficiency and quality of work of the LHD.

The results of experimental and theoretical studies of the parameters of the interaction of the transport-technological system "self-propelled machine - mining environment" and bench tests of LHD parts allowed to state that the vast majority of downtime of self-propelled equipment due to equipment failures can be prevented by improving its system of maintenance and diagnosis. The components of the indicator of the overall effectiveness of self-propelled equipment are determined.

Numerous failures of systems and parts are primarily due to the absence of monitoring schemes at mining enterprises that would allow operational control of the condition of self-propelled imported equipment. In this regard, it is necessary to obtain a database of the causes of failures of systems and parts, which can be considered as the basis for the development of methodological guidelines for the control and testing of the technical conditions of the LHD in real mining conditions.

Based on the automated collection and processing of information about the technical condition of LHD and expert assessment of the resource indicators of units and parts according to the frequency of their failure, it has been established that currently diagnosing the technical condition of foreign-made self-propelled mining transport equipment is a complex integrated task requiring the development of relevant modern methods and measuring equipment with additional software.

Keywords: *self-propelled equipment, technical condition, overall equipment effectiveness (OEE), expert evaluation, diagnostics, control methods, failure rate, self-propelled machine - mining environment, technological parameters.*

References

1. Gerike P.B. New in the test methodology for energy-mechanical equipment of mining equipment / Bulletin of the Kuzbass State Technical University. Kemerovo: Publishing house of KuzGTU, 2017. No. 3. P. 126-133.
2. K.R. Monsini Firm "Caterpillar" - the concept of maintenance of mining machines // Mining Journal, - 1998. - No. 11-12, S. 66-69.
3. Shirin L.N., Inyutkin I.V. "Features of the formation of transport and technological systems of underground mines, taking into account the adaptive capabilities of self-propelled equipment // Naukovy visnik - 2009. - No. 9. - FROM. 66-68.
4. Transport at mining enterprises: Textbook for universities. - 3rd edition / Ed. additions, changes and adjustments: M.Y. Bilichenko, G.G. Pivnyak, O.O. Rengevich, O.V. Denischenko and others. - Dnepropetrovsk: National Mining University, 2005. - 636 p.
5. Shirin A.L. Transport problems of the productive work of preparatory faces and prospects for their solution / A.L. Shirin, L.N. Posunko, V.A. Rasvetsaev // Materiały Krakowskiej konferencji młodych uczonych. - Kraków: PATRIA, 2011.-- P. 505 - 512.

6. Artem Shyrin. Informatywne wskaźniki niezawodności pracy schematów technologicznych transportu wspomagającego podczas drażenia wyrobisk przygotowawczych // Conference proceedings Krakow conference of young scientists, September 26–28, 2013, Grupa Naukowa Pro Futuro, Krakow PAT. P. 83–87.

Надійшла 22.10.2019
Received 22.10.2019