

GRAŻYNA JASICA, MAŁGORZATA HEINRICH*

OCENA JAKOŚCI EKSPLOATACYJNEJ KOPAREK I ŁADOWAREK W PRZEMYSŁE WYDOBYWCZYM

QUALITY ASSESSMENT OF STRIPPERS AND MUCKERS

Streszczenie

W artykule omówiono zagadnienie oceny jakości eksploatacyjnej złożonych obiektów technicznych, należących do klasy obiektów naprawialnych o zdeterminowanych zadaniowo cyklach pracy. Przedmiotem analizy są koparki i ładowarki eksploatowane w przemyśle wydobywczym, pracujące przy oddziaływaniu wielu czynników wymuszających, w warunkach określanych jako ciężkie. Jako nadrzędne kryterium ocenowe przyjęto jakość eksploatacyjną. Ocena jakości powinna być dokonywana poprzez wskaźnik niezawodności z uwzględnieniem nakładów eksploatacyjnych związanych z prowadzonymi naprawami oraz kontrolą zdolności. Przeprowadzone rozważania oraz zaproponowany sposób oceny mogą stanowić podstawę doskonalenia obiektu i jego procesu eksploatacji realizowanego w trakcie prowadzonych badań eksploatacyjnych.

Słowa kluczowe: jakość, niezawodność, koparki, ładowarki

Abstract

The paper presents the problem of quality assessment of strippers and muckers working in open-cut mines. These kind of complex, repairable technical objects belong to the group operated in task cycles and difficult conditions. The model of quality assessment considered in the paper let to estimate objects reliability as the main criterion with calculations of renewal and serviceable costs. Level of reliability and maintenance costs constituted during designing and production can be verified during exploitation searching.

Keywords: quality, reliability, strippers, muckers

* Dr inż. Grażyna Jasica, dr inż. Małgorzata Heinrich, Katedra Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn, Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie.

1. Wstęp

Przedmiotem rozważań są koparki i ładowarki eksploatowane w przemyśle wydobywczym. Należą one do obiektów naprawialnych o zdeterminowanych zadaniowo cyklach pracy. Warunki eksploatacji tych obiektów należą do ciężkich (system 3-zmianowy, duże zanieczyszczenie pyłem skalnym itp.). Problemy eksploatacyjne wynikają też ze względów ekologicznych, takich jak: znaczne zanieczyszczenie środowiska, wycieki olejów i smarów, konieczność odprowadzania zanieczyszczonej wody z wyrobisk oraz oddziaływanie sejsmiczne na zabudowania w bezpośrednim otoczeniu kopalń.

Nadrzędnym kryterium ocenowym w odniesieniu do badanych obiektów jest jakość eksploatacyjna, będąca zespołem cech tworzonych w całym cyklu istnienia obiektu. Obejmuje ona działania od rozpoznania marketingowego i wstępnego projektu poprzez fazy wytwarzania i eksploatacji obiektu.

Kształtowanie jakości w całym cyklu istnienia obiektu wymaga uwzględnienia specyfiki eksploatacji. W analizowanym przypadku do istotnych cech jakości można zaliczyć przede wszystkim niezawodność, a ponadto zwartą konstrukcję, wydajność, estetykę, ergonomię oraz łatwość dostępu do węzłów będących słabymi ogniwami. O jakości eksploatacyjnej decyduje zarówno jakość obiektu (projektowa, wykonania), jak i jakość obsługi. Ze względu na dużą awaryjność analizowanych obiektów i równoczesny wymóg dużej wydajności, zaproponowano – jako miarę jakości eksploatacyjnej – wskaźniki jakości z uwzględnieniem kosztów eksploatacji [1, 7]. Daje to możliwość oceny jakości obiektu w konkretnych warunkach eksploatacji, czyli tzw. efektywności będącej miarą przydatności obiektu do wyznaczonych zadań. Jest to zgodne z klasycznym podejściem przedstawionym w [5], według którego wskaźniki jakości eksploatacyjnej należy konstituować z elementów będących składnikami równania użyteczności eksploatacyjnej. Istotnymi elementami są tu uzyskiwane efekty (gwarantowane przez niezawodność) oraz ponoszone nakłady (koszty eksploatacyjne).

2. Identyfikacja obiektu badań

Analiza obejmuje koparki i ładowarki eksploatowane w Kieleckich Kopalniach Surowców Mineralnych (tabela 1).

Proces użytkowania charakteryzuje się sezonowością oraz pracą rozpatrywanych obiektów w systemie 3-zmianowym. Wynika stąd potrzeba „obsadzania” koparkami i ładowarkami wszystkich zmian. Średni, nominalny czas pracy na jednej zmianie wynosi około 7 godzin.

Urabiane skały to dolomit dewoński, wcześniej rozdrabniany za pomocą materiałów wybuchowych. Gabaryty skał w przypadku koparek nie przekraczają 800 mm, lecz w większości są to bryły o mniejszych rozmiarach.

Ładowarki wykorzystywane są do załadunku produktów gotowych i półproduktów o różnych granulacjach, najczęściej do 200 mm. Stosowane bywają też do załadunku surowca w wyrobisku (zwłaszcza ładowarka CAT 966G).

Z procesem użytkowania związane są również zagadnienia bezpieczeństwa i ergonomii.

**Zestawienie koparek i ładowarek eksploatowanych w Kieleckich
Kopalniach Surowców Mineralnych**

Dane techniczne Nazwa pojazdu	Rok produkcji, producent	Pojemność łyżki [m ³]	Moc silnika [kW]	Masa koparki [T]	Moc gł. silnika elektr. [kW]	Moc silnika obrotu [kW]	Moc silnika naporu [kW]
Koparki Brawall 1611	1993 1995 Polska	2	132	32	–	–	–
Koparki elektryczne E-302,E303	1977 1981 Polska	3	130	115	130	60	57
Ładowarki Ł-34	1975–1979 1987–1988 1990–1995 1996 Polska	3,4	162	18,5	–	–	–
Ładowarki CAT 966G	1996 USA	3,5	174	22	–	–	–

Wymienić tu należy certyfikaty ROPS/FOPS, które oznaczają kolejno:

- ROPS – konstrukcja ochronna kabiny w przypadku wywrócenia,
- FOPS – konstrukcja ochronna kabiny przed spadającymi przedmiotami.

Operator koparki Brawall 1611 pracuje w standardowej kabinie, która jest przeszklona, zamykana oraz ocieplana. Nie posiada klimatyzacji ani zabezpieczeń ROPS.

Koparki elektryczne E-302 oraz E-303 mają kabiny wyposażone dodatkowo w kratę, zabezpieczającą przed spadającą kopaliną.

Maszyniści ładowarek Ł-33 pracują w standardowej kabinie, która wykonana jest z rur o przekroju kwadratowym, zamykana oraz wyłożona materiałem fonoizolacyjnym, przeszklona, ogrzewana nagrzewnicą elektryczną. Jest pozbawiona klimatyzacji i dodatkowych zabezpieczeń ROPS.

Z kolei ładowarki CAT 966G mają kabinę wykonaną zgodnie z certyfikatem ROPS/FOPS, zamykaną, przeszkloną, ogrzewaną i wygłuszoną.

W procesie obsługiwaniania (P_o) wyróżniono następujące zespoły działań:

$$P_o = \{P, CO, NBW, NBZ, NPZ, NGZ\}$$

gdzie:

- P – przeglądy wg dokumentacji techniczno-ruchowej (DTR),
- CO – czynności obsługowe wg DTR urządzenia,
- NBW – naprawy bieżące systemem własnym,
- NBZ – naprawy bieżące systemem zleconym,
- NPZ – naprawy poszerzone zespołów pojazdów systemem zleconym,
- NGZ – naprawy główne systemem zleconym.

Szczegółowy opis obsługi i przeglądów wykonywanych przez operatorów i maszynistów zawarty jest w DTR rozpatrywanych urządzeń. DTR zawiera również wytyczne dotyczące użytkowania urządzeń w okresie docierania, instrukcje transportu i przechowywania, przepisy BHP, instrukcje smarowania, tablice paliw, olejów, smarów i płynów eksploatacyjnych.

Ze względu na ciągłą eksploatację w sezonie wydobywczym, analizowane obiekty charakteryzują się dużą awaryjnością, powodującą niejednokrotnie przerwy w pracy spowodowane brakiem urządzeń rezerwowych. Wiąże się to ze znacznymi stratami ekonomicznymi oraz zagrożeniem w zakresie bezpieczeństwa i ekologii (przecieki olejów, smarów i płynów eksploatacyjnych do gruntu, powodują skażenie środowiska naturalnego oraz mają negatywny wpływ na infrastrukturę). Opierając się na danych eksploatacyjnych, sporządzono zestawienie słabych ogniw oraz odpowiadających im węzłów tribologicznych, będących bezpośrednim powodem uszkodzeń i awarii koparek i ładowarek (tabela 2).

Systematycznie prowadzone badania, pozwalające na ocenę i utrzymanie wymaganego poziomu jakości – wraz z realizowanymi zmianami doskonalącymi obiekt i proces jego eksploatacji – powinny umożliwić spełnienie wymagań sformułowanych w DTR. Powinny one odpowiadać wymogom norm Unii Europejskiej oraz przepisom prawa górnictwa określonym przez odpowiednie jednostki branżowe. W analizowanym przypadku okresowa ocena jakości eksploatacyjnej powinna być dokonywana poprzez wskaźnik niezawodności z uwzględnieniem nakładów eksploatacyjnych.

3. Ocena jakości eksploatacyjnej

Zgodnie z wcześniejszymi założeniami jako podstawową miarę jakości eksploatacyjnej obiektu w rozważanym przypadku przyjęto niezawodność z uwzględnieniem kosztów.

Zakładając, że niezawodność obiektu będzie charakteryzowana prawdopodobieństwem stanu zdatności elementów oraz kosztem eksploatacji C można przyjąć zgodnie z [2, 7], iż uśredniony wskaźnik niezawodności P dany jest zależnością (1):

Słabe ogniwa badanych obiektów i odpowiadające im węzły tribologiczne

Nazwa obiektu (pojazdu)	Słabe ogniwa	Węzły tribologiczne
Koparki Brawall 1611	otwarty system smarowania belki mechanizmu wysuwu	wózki, ślizgi
	układ jazdy (np. reduktory jazdy)	koła zębate, sprzęgła Cardana, łożyska
Koparki elektryczne E-302, E303	gąsienice jezdne	sworznie, człony gąsienicy
	układ pneumatyczny (siłowniki pneumatyczne)	tłok, cylinder, tłoczysko, dławnica
	sprzęgła główne, sprzęgła napędu	wkładki, tarcza sprzęgła
	tuleje ramienia łyżki	tuleje, sworznie
	przekładnie obrotu	koła zębate
	taśmy sprzęgłowe podnoszenia łyżki	taśma, bęben
	taśmy hamulcowe opuszczania łyżki	
taśmy hamulcowe blokady jazdy		
Ładowarki L-34	pompy hydrauliczne, rozdzielacze, siłowniki i przewody elastyczne w układzie roboczym	tłoczki, korpus, tłok, cylinder, tłoczysko, dławnica
	elementy układu wywrotu łyżki, zwłaszcza sworznie siłowników podnoszenia łyżki i wysięgnik	sworznie, tuleje
	układ przeniesienia napędu, zwłaszcza łożyska przednie wału napędzającego most przedni i śruby mocowania mostów	koła zębate przekładni różnicowych i planetarnych, elementy sprzęgieł Cardana
Ładowarki CAT 966G	układ wywrotu łyżki (wysięgnik, tuleje łyżki, łyżka)	tuleje, sworznie

$$P = \frac{1}{T_0} \left[\sum_{i=1}^n \int_{(i-1)\Theta}^{i\Theta - T_k} R(t) dt + \int_{n\Theta}^{T_0} R(t) dt \right], \quad (1)$$

gdzie:

- T_0 – czas eksploatacji obiektu,
- Θ – czas między kontrolami,
- T_k – czas trwania pojedynczej kontroli obiektu,
- n – liczba okresowych kontroli,
- $R(t)$ – wskaźnik niezawodności.

Koszt eksploatacji C może być szacowany zgodnie z [2, 7], według wzoru:

$$C = n \left(C_k + \sum_{j=1}^N S_j m_j \right) + C_s, \quad (2)$$

gdzie:

- C_k – nakłady na kontrolę zdatności wszystkich elementów obiektu w czasie pojedynczej kontroli,
- S_j – nakłady na odnowę j -tego elementu,
- m_j – średnia liczba uszkodzeń j -tego elementu w jednym międzykontrolnym okresie,
- C_s – nakłady za cały okres eksploatacji, niezależny od kontroli obiektu i odnowy elementów.

Relacja parametryczna pomiędzy kosztami eksploatacji i niezawodności podana w [2, 7] umożliwia oszacowanie niezawodności w funkcji kosztów przy założeniu wykładniczego rozkładu czasu między uszkodzeniami.

Prezentowany model daje możliwość oceny czasów kontroli i obsługi profilaktycznej wg następującego wzoru [7]:

$$T_k = PT_{ks} + (1-P)T_n, \quad (3)$$

gdzie:

- T_{ks} – czas kontroli stanu zdatnego obiektu,
- T_n – czas naprawy uszkodzenia.

Kontrola stanu zdatnego obiektu z założenia modelu polega na sprawdzaniu zdatności poszczególnych zespołów. Oznacza to, że kontrola stanu realizowana jest przez system działania o strukturze $S(k, m, N / k = N, m = 1)$.

$$T_{ks} = \sum_{i=1}^N \tau_i, \quad (4)$$

gdzie:

- τ_i – zmienna losowa czasu trwania kontroli i -tego zespołu obiektu.

Znajomość tych wielkości daje możliwość prognozowania produkcji i zysków.

W celu wyznaczania czasu naprawy można skorzystać z zależności podanej w [7]:

$$T_n = \sum_{i=1}^N Q_i T_{ni} + \sum_{i>j}^N Q_{ij} (T_{ni} + T_{nj}) + \dots, \quad (5)$$

gdzie:

- Q_i – prawdopodobieństwo, że i -ty zespół jest niezdatny,
- T_{ni} – czas naprawy i -tego elementu,
- Q_{ij} – prawdopodobieństwo, że j -ty element i -tego zespołu jest niezdatny.

W ramach dokonywanych ocen celowym wydaje się również wyznaczenie grupy wskaźników [2, 3, 5] podanych w tabeli 3.

Do zasadniczych kryteriów oceny uwzględnionych w tabeli 3 należą: 1 – trwałość, 2 – poprawność działania, 3 – ekonomiczność, 4 – naprawialność.

Wskaźniki niezawodnościowo-eksploatacyjne

Lp.	Nazwa wskaźnika	Kryteria oceny			
		1	2	3	4
1	Średni koszt jednej naprawy	–	–	+	–
2	Średni czas postoju na jedną naprawę	–	–	–	+
3	Liczba uszkodzeń ogółem	+	+	+	–
4	Koszt napraw ogółem	–	–	+	–
5	Czas postojów w stanie niezdatnym	+	+	–	–

Ekonomiczność oceniana jest poprzez średnie wartości kosztów napraw [5]. Podstawowym wskaźnikiem oceny naprawialności jest średni czas usunięcia uszkodzenia. Należy ponadto uwzględnić czas postoju w stanie niezdatności wynikający niejednokrotnie z braku części zamiennych.

Analiza i ocena jakości eksploatacyjnej rozważanych obiektów z punktu widzenia niezawodności z uwzględnieniem kosztów eksploatacji, w oparciu o zaproponowany model wymaga prowadzenia badań eksploatacyjnych oraz zorganizowania bazy danych eksploatacyjnych zgodnie z założeniami podanymi w [4].

4. Wnioski

Kształtowanie jakości złożonych obiektów technicznych, jakimi są analizowane koparki i ładowarki pracujące przy oddziaływaniu czynników wymuszających, powinno być prowadzone zarówno w procesie projektowania, wytwarzania, jak i eksploatacji. Ocena jakości eksploatacyjnej powinna być dokonywana na podstawie zaproponowanych wskaźników, z uwzględnieniem kosztów realizowanych napraw i remontów, co umożliwi weryfikację procesu obsługi pod względem jakościowym i ilościowym. Racjonalizacja procesów użytkowania i obsługi – z uwagi na uzyskiwane efekty oraz ponoszone nakłady – jest zagadnieniem istotnym dla analizowanej klasy obiektów.

Zaproponowany sposób oceny, uwzględniający rzeczywiste koszty wynikające z przyjętej strategii odnawiania, powinien pozwolić na poprawę jakości i niezawodności obiektów.

Literatura

- [1] Hormal A., Mantura W., *Zarządzanie jakością – teoria i praktyka*, Warszawa 2004.
- [2] Heinrich M., Jasica G., *Koncepcja wyznaczania wskaźnika jakości eksploatacyjnej wybranych obiektów pracujących cyklicznie*, ZEM, 2005, z. 3(143), Vol. 40.
- [3] Jaźwiński J., Kamiński M., Migdałski J., Wieremiejczyk W., Żurek J., *Strukturalna metoda badania usług*, ZEM, z. 3, 1973.
- [4] Karsznia W., Mazurkiewicz A., *Nowe kierunki w projektowaniu baz danych dla zastosowań w budowie i eksploatacji maszyn*, Problemy Eksploatacji, 4/2000 (39), Radom.

- [5] Konieczny J., *Sterowanie eksploatacją urządzeń technicznych*, PWN, Warszawa 1980.
- [6] Sitkowska R., *Miejsce kosztów eksploatacji w systemie rachunku kosztów*, Problemy Eksploatacji 4/2000 (39), Radom.
- [7] Żurek J., *Analiza systemu eksploatacji z punktu widzenia kosztów*, ZEM, 2004, z. 4 (140), Vol. 39.