ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1981

Seria: GÓRNICTWO z. 113 Nr kol. 698

Lech BUKOWSKI

ZAGADNIENIE ZAPEWNIENIA OPTYMALNEJ EFEKTYWNOŚCI REMONTÓW ZAPOBIEGAWCZYCH W HUTNICTWIE

Streszczenie. W referacie zaproponowano opis ilościowy efektywności remontów w przemyśle hutniczym, ze szczególnym uwzględnieniem niezawodności remontowanych systemów, kosztów eksploatacji oraz organizacji remontów.

1. Wstęp

Maszyny i urządzenia hutnicze w celu realizacji założonej technologii metalurgicznej połączone są wzajemnie w agregaty,ciągi i linie produkcyjne,instalacje itp. Z punktu widzenia teorii systemów są to złożone systemy techniczne, których jakość funkcjonowania ocenia się za pomocą wskaźników efektywności. Przez wskaźnik efektywności systemu rozumiana będzie liczbowa charakterystyka, która opisuje stopień przystosowania systemu do spełnienia postawionych przed nim zadań [6]. Konkretnie, jest to funkcjonał opisany na zbiorze procesów działania systemu.

Jednym z najważniejszych sposobów zapewnienia wysokiej efektywności systemów hutniczych jest odpowiednie prowadzenie remontów zapobiegawczych. Przeprowadzone analizy [2, 3, 4, 5] pozwalają stwierdzić, że efektywność procesów produkcyjnych w hutnictwie zależy w decydującym stopniu od efektywności prowadzonych remontów. Dlatego w niniejszym opracowaniu zajęto się problemem zapewnienia optymalnej efektywności remontów zapobiegawczych.

2. Wskaźniki efektywności remontów

Efektywność remontów zapobiegawczych jest funkcją charakterystyk procesów zmian wektorów losowych, opisujących zasadnicze trzy grupy wielkości opisujących:

a) techniczne wykorzystanie systemu,
b) ekonomikę eksploatacji,
c) organizacyjną stronę remontów.

Jako wskaźnik efektywności remontów proponuje się przyjęcie wyrażenia typu

$$\varphi = \frac{\Phi^o - \Phi^x}{\Phi^o}, \tag{1}$$

gdzie:

Φ^o - wartość wskaźnika efektywności przy założeniu pełnego wykorzystania możliwości systemu,

Φ^x - wartość wskaźnika efektywności w rzeczywistych warunkach eksploatacji.

Korzystając ze wzoru (1) można zbudować wskaźniki efektywności odpowiednio dla każdej z ww. grup wielkości, a mianowicie:

ad a) przyjmując jako reprezentatywną dla tej grupy niezawodność funkcjonowania systemu oraz Φ_1^x dla rzeczywistych realizacji niezawodności funkcjonowania systemu; wskaźnik efektywności ze względu na niezawodność wyrazi się wzorem:

$$\varphi_1 = \frac{\Phi_1^o - \Phi_1^x}{\Phi_1^o} \tag{2}$$

ad b) odpowiednio dla kosztów eksploatacyjnych wskaźnik φ_2 będzie funkcją: Φ_2^o - dla eksploatacji przy minimalnych kosztach oraz Φ_2^x - w rzeczywistych warunkach eksploatacji,

ad c) organizacyjne aspekty remontów obrazować będzie wskaźnik φ_3 zależny od: Φ_3^o - w idealnych warunkach organizacyjnych (bez ograniczeń odnośnie do sprzętu, obsługi itp.) oraz Φ_3^x - w rzeczywistych warunkach remontowych.

Wyznaczenie ww. wskaźników napotyka jednak na dość duże trudności, a jeszcze więcej kłopotu sprawia znalezienie parametrów remontów zapewniających optymalną ich efektywność. Dlatego w następnych punktach omówione zostaną kolejno niezawodnościowe, ekonomiczne i organizacyjne aspekty optymalizacji remontów zapobiegawczych w hutnictwie, a w zakończeniu zaproponowana zostanie wyznaczona metodyka postępowania, realna do realizacji w warunkach przemysłowych.

3. Optymalna cykliczność remontów według kryterium niezawodnościowego

Przyjmijmy, że znamy podstawową charakterystykę dla systemu oraz że uszkodzenia poszczególnych obiektów wchodzących w jego skład mogą być typu

nagłego (tzw. katastroficzne) o intensywności $\lambda(t)$ i stopniowego[1] (tzw. parametryczne) o intensywności uszkodzeń przepowiadających [7] (odpowiadających przejściu obiektu do stanu zdatności pośredniej - ε /t).W przypadku większości urządzeń hutniczych należy również uwzględnić uszkodzenia tzw. "poremontowe" o intensywności $\lambda_{pr}(t)$, które mogą wynikać z przyczyn obiektywnych, subiektywnych lub kombinowanych. Badania G.G. Mańszyna [7] wykazały, że funkcja $\lambda_{pr}(t)$ jest monotonicznie malejącą i można ją na ogół aproksymować funkcją wykładniczą lub prostą.

Przy takich założeniach należy przeprowadzić optymalizację,co przeważnie sprowadza się do znalezienia takiej wielkości okresu międzyremontowego, przy którym parametr strumienia uszkodzeń będzie minimalny. Jeżeli przyjmiemy do rozważań stosunkowo niewielki horyzont czasowy,w którym można przyjąć, że intensywności uszkodzeń nie zależą od czasu, wówczas prawdopodobieństwo przebywania systemu w stanie zdatności można opisać równaniami Kołmogorowa:

$$\begin{aligned} P_o'(t) &= -[\lambda_o + \lambda_{pr}(t) + \varepsilon_o] \cdot P_o(t), \\ P_1'(t) &= \varepsilon_o P_o(t) - (\varepsilon_1 + \lambda_1) P_1(t), \end{aligned} \tag{3}$$

gdzie:

$P_o(t)$, $P_1(t)$ - prawdopodobieństwo przebywania w stanie pełnej zdatności względnie zdatności pośredniej.

Przyjmując:

$$\lambda_{pr}(t) = \lambda_r \exp(-\xi_r t), \tag{4}$$

gdzie:

ξ_r - parametr funkcji wykładniczej,

po stosunkowo prostych przekształceniach otrzymuje się wzory na pełną intensywność uszkodzeń:

$$\Lambda(t) = P(t) \cdot P^{-1}(t) \quad \text{dla:} \quad t \in [o, t_r] \tag{5}$$

[1] Analiza powstawania uszkodzeń stopniowych i niektórych nagłych pozwoliło stwierdzić, że uszkodzenie obiektu poprzedzone jest z reguły pojawieniem się uszkodzenia przeprowadzającego, nazywanego przez niektórych autorów usterką. Fakt ten ma szczególne znaczenie przy diagnozowaniu stanu obiektu technicznego podczas eksploatacji.

oraz wartość średnią intensywności

$$\Lambda_{śr}(t) = \frac{1}{t_r}\int_0^{t_r}\Lambda(t)dt = -t_n^{-1}\ln P(t) \tag{6}$$

Różniczkując równanie (6) po t_r i przyrównując pochodną do zera, otrzymamy równanie, z którego można wyznaczyć $t_{r\ opt}$

$$\Lambda(t_{r\ opt}) - \Lambda_{śr}(t_{r\ opt}) = 0 \quad \text{dla: } (t_{r\ opt} \neq \infty). \tag{7}$$

Oznacza to, że remont zapobiegawczy urządzenia należy przeprowadzać w chwili, dla której średnia wartość intensywności uszkodzeń zrówna się z jej wartością chwilową. Warunkiem istnienia rozwiązania optymalnego jest:

$$\Lambda_{śr}(t) < \lim_{t\to\infty}(t). \tag{8}$$

Należy zwrócić uwagę na fakt, że na ogół przy wyznaczaniu wskaźników niezawodności przyjmuje się szereg założeń upraszczających, które przeważnie w warunkach hutniczych nie są spełnione. Są to następujące założenia:

- strumienie uszkodzeń poszczególnych części systemu są wzajemnie niezależne,
- doprowadzony zostaje system do pełnej sprawności przed włączeniem go do eksploatacji,
- intensywności uszkodzeń i odnów systemu w przeciągu całego okresu użytkowania są stałe,
- system w wyniku przeprowadzonego remontu doprowadzony zostaje do stanu początkowego (całkowite odnowienie),
- czas odnowy systemu jest znikomo mały w porównaniu z czasem poprawnej pracy,
- stan techniczny systemu znany jest tylko w momencie kontroli (co oznacza przyjęcie czasu dyskretnego),
- uszkodzenia nie powstają (ani nie są spowodowane) podczas kontroli i odnowy,
- kontrola stanu jest w pełni wiarygodna,
- kontrola niezdatnego obiektu (względnie podsystemu) dokonywana jest natychmiast po zaistnieniu uszkodzenia,
- system pracuje bez przerw spowowanych innymi przyczynami niż uszkodzenie.

4. Ekonomiczne kryterium optymalizacji remontów - zagadnienia korekcji cykli remontowych

Stosunkowo liczna jest literatura dotycząca aspektu ekonomicznego optymalizacji remontowej [1, 2, 3, 4] - toteż zagadnienie to zostanie potraktowane bardzo skrótowo.

Oznaczając przez:

$F(t) = 1 - P(t)$ - dystrybuanta czasu poprawnej pracy,

K_A, K_Z - średni sumaryczny koszt remontu awaryjnego i zapobiegawczego,

t_r - cykliczność remontu (długość okresu międzyremontowego),

wartość oczekiwana jednostkowych strat względnie kosztów eksploatacyjnych wynosić będzie:

$$E(K/t_r) = \frac{K_a \cdot F(t_r) + K_Z[1 - F(t_r)]}{[1 - F(t_r)]dt}. \tag{9}$$

Wtedy wartość optymalną cykliczności remotnu ($t_{r\ opt}$) wyznaczyć można z równania

$$\Lambda(t_r) = \int_0^{t_r} P(t)dt + P(t_r) = \frac{K_A}{K_A - K_Z}, \tag{10}$$

gdzie:

$$\Lambda(t_r) = \frac{dF(t_r)}{[1 - F(t_r)]dt}. \tag{11}$$

Istotnym problemem z punktu widzenia ekonomicznej efektywności remonrów w hutnictwie jest uwzględnienie intensyfikacji procesów produkcyjnych, która zwłaszcza w wydziałach surowcowych (np. wielkopiecowniczych) objawia się znacznym wzrostem awaryjności urządzeń. Wynika stąd oczywisty wniosek o niesłuszności utrzymywania przez długi okres niezmienionych cykli remontowych i usuwa się pytanie, co jaki czas powinno się je korygować.

Należałoby w tym celu wyznaczyć taki czas użytkowania obiektów,po którym nastąpi wyraźne pogorszenie ich ekonomicznych wskaźników (np. koszty eksploatacyjne, rentowność, straty produkcyjne itp.). Jeśli przyjmiemy maksimum rentowności wykorzystania systemu, wówczas tok obliczeń będzie następujący: wyznaczamy jednostkowy koszt własny dla okresu równego n cykli remontowych wg wzoru:

$$K_{j\ wł} = \frac{K_N + \sum_{i=1}^{n} K_{Ei} + \sum_{i=2}^{n-1} K_{r(i-1)}}{\sum_{i=1}^{n} \tau_i}, \qquad (12)$$

gdzie:

K_N - cena nabycia systemu (bez uwzględnienia wartości likwidacyjnej),

K_E - straty eksploatacyjne w systemie w ciągu i-tego cyklu,

$K_{r(i-1)}$ - straty na (i-1)-ty remont,

τ_i - czas trwania i-tego cyklu remontowego w jednostkach produkcji.

5. Organizacja remontów zapobiegawczych - ogólny schemat metodyki optymalizacji

Problem organizacji remontów jest niezmiernie obszernym zagadnieniem, silnie związanym z układami typu człowiek - środowisko, kolektyw ludzki - system techniczny oraz planowaniem i sterowaniem procesami roboczymi. Dlatego, w niniejszym opracowaniu, ograniczę się do zwężonego przedstawienia tego problemu, stawiając sobie za główny cel wskazanie metody pozwalającej na kompleksowe ujęcie technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych kryteriów optymalizacji remontów.

Etap I - wybór parametrów określających w sposób adekwatny system oraz kryterium efektywności remontów.
Buduje się model eksploatowanego systemu, który analizuje się sposobami wskazanymi w punkcie 2 i 3.

Etap II - wyznacza się optymalną cykliczność remontów ($t'_{r\ opt}$) wg wybranego kryterium niezawodnościowego. Można w tym celu stosować monogramy załączone do [7].

Etap III - wyznacza się optymalną cykliczność remontów ($t_{r''\ opt}$) wg wybranego kryterium ekonomicznego.

Etap IV - dokonuje się wyboru $t_{r\ opt}$ z uwzględnieniem kryteriów niezawodnościowych i ekonomicznych. Dokonuje się to na ogół trzema metodami:

a) dyrektywną (subiektywne wyznaczenie),

b) heurystyczną (przy określaniu stopnia niezawodności na drodze oceny ekspertów),

c) programowaną (planowanie).

Etap V - wykonanie planu - harmonogramu remontów dla całego systemu. Plan ten jest podstawą do opracowania szeregu instrukcji i warunków technicznych użytkowania, obsługiwania i remontowania poszczególnych maszyn i urządzeń. Również stanowi punkt wyjścia dla wszelkich prac związanych z organizacją samych remontów z uwzględnieniem potencjału ludzkiego, sprzętowego i części zamiennych.

6. Wnioski

1. Osiągnięcie wysokiej efektywności prowadzenia remontów zapobiegawczych w hutnictwie wymaga kompleksowego ujęcia technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych kryteriów ich optymalizacji.
2. Wybór kryteriów reprezentujących poszczególne aspekty optymalności remontów powinien być poparty szczegółową analizą systemową konkretnego układu eksploatacyjnego.

LITERATURA

[1] Beichelt F.: Problemy niezawodności i odnowy urządzeń technicznych. WNT, Warszawa 1974.

[2] Boda A., Bukowski L., Warszyński M.: Problemy niezawodności maszyn i urządzeń hutniczych. ZN AGH nr 639.

[3] Bukowski L.: Badanie trwałości i niezawodności wielkopiecowych zasuw gorącego dmuchu w aspekcie optymalizacji ich użytkowania. Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 1976.

[4] Bukowski L.: Problemy optymalizacji strategii odnawiania systemów hutniczych. Biuletyn Inf. HiL nr 11, 1977.

[5] Bukowski L.: Optymalizacja polityki remontowej systemów technicznych. Materiały Szkoły Zimowej - 80, OPT, Katowice 1980.

[6] Buslienko N.P.: Modielirowanie złożnych sistiem, Moskwa, "Nauka" 1978.

[7] Mańszyn G.G.: Uprawlenie reżimami profiłaktik złożnych sistiem. Mińsk, Izdatielstwo "Nauka i tiechnika", 1976.

Wpłynęło do Redakcji w kwietniu 1981 r.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jerzy Antoniak

Проблема обеспечения оптимальной эффективности профилактических ремонтов в металлургической промышленности

Р е з ю м е

В докладе предложена количественная характеристика эффективности ремонтов в металлургической промышленности, обращая особое внимание на недежность ремонтируемых систем, эксплуатационные расходы, а также организацию ремонтов.

How to ensure optimum efficiency of prophylactic repairs in metalurgy

S u m m a r y

In this paper the author suggests a quantitative description of efficiency of repairs in metallurgy with special emphasis on reliability of systems under repair, running costs and organization of repairs.