ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1979

Seria: GÓRNICTWO z. 92 Nr kol. 589

LECH BUKOWSKI
AKADEMIA GÓRNICZO - HUTNICZA
KRAKÓW

DYNAMICZNA METODA WYZNACZANIA OPTYMALNEGO CZASU PRACY ZŁOŻONYCH OBIEKTÓW DWUSTANOWYCH O DUŻEJ NIEZAWODNOŚCI

W referacie dokonano analizy niezawodnościowej licznej klasy obiektów technicznych występujących przede wszystkim w przemyśle górniczym i hutniczym /np. układy transportowe/. Zakwalifikowano je do złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności i opisano ich niezawodność odpowiednimi modelami matematycznymi. Zaproponowano dynamiczną metodę wyznaczenia optymalnego czasu pracy tych obiektów w rzeczywistych warunkach eksploatacyjnych oraz wykazano korzyści ekonomiczne, możliwe do osiągnięcia w wyniku sterowania odnową maszyn i urządzeń za pomocą zaproponowanej metody.

1. Wprowadzenie

Spośród wielu różnorodnych maszyn i urządzeń wchodzących w skład systemów technicznych można wyróżnić liczną klasę obiektów, które z punktu widzenia teorii niezawodności charakteryzują się następującymi cechami:

- podczas użytkowania dowolny obiekt może znaleźć się w stanie zdatności lub jednym ze stanów niezdatności,
- czas przebywania obiektu w stanach niezdatności jest znikomo mały w porównaniu z czasem przebywania w stanie zdatności.

Typowymi przedstawicielami tej klasy są maszyny i urządzenia wchodzące w skład maszynowych systemów górniczych i hutniczych, takich jak np. układy transportowe. Przyjmując za [2] niezawodnościową klasyfikację obiektów technicznych można je zaliczyć do złożonych, dwustanowych obiektów o odwracalnych i nieodwracalnych stanach niezdatności, przy czym druga z cech wskazuje na wysoki poziom niezawodności obiektów tej klasy, toteż przyjęto dla niej określenie [1] złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności.

Rzeczywiste obiekty techniczne tej klasy są często newralgicznymi ogniwami systemów maszynowych, toteż sterowanie ich odnową ma ogromny wpływ na niezawodność eksploatacyjną systemu. Wiadomo, że optymalizacja

odnawiania obiektów nie jest możliwa bez znajomości odpowiednich wskaźników ich niezawodności, toteż w pierwszej kolejności należy zbudować matematyczny model niezawodności dla omawianej klasy obiektów.

2. Model niezawodności złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności

Budowa modelu matematycznego niezawodności obiektów technicznych wymaga precyzyjnego określenia ich stanów zdatności. Przyjmując szeregową strukturę niezawodnościową badanych obiektów można założyć, że są one złożonymi obiektami dwustanowymi z jednym stanem zdatności oraz wieloma stanami niezdatności. Poszczególne stany niezdatności odpowiadają uszkodzeniom pojedynczych elementów oraz ich kombinacji, przy czym w przypadku gdy odnowa sprowadza się do naprawy obiektu mamy do czynienia ze stanami odwracalnymi, natomiast jeśli konsekwencją uszkodzenia jest wymiana całego obiektu na nowy - nieodwracalnymi. Wszystkie stany, w których obiekty mogą znaleźć się w czasie eksploatacji można oznaczyć przez E_i /dla i = 0, 1, 2 ..., n/ oraz interpretować jako realizacje procesu stochastycznego o zmiennej losowej typu skokowego [3].

Proces eksploatacji obiektów technicznych jest procesem losowym, toteż obiekt w czasie użytkowania może znaleźć się w danej chwili w dowolnym stanie E_i, a w chwili następnej w stanie E_j, przy czym zdarzeniu takiemu przypisuje się prawdopodobieństwo przejścia - p_{ij} /dla i, j = = 0,1,2 ..., n/.

W przypadku rozpatrywanych obiektów technicznych nie wszystkie z przejść są możliwe, natomiast niektóre z nich są zdarzeniami pewnymi. I tak wskutek tego, że czas naprawy obiektu jest znikomo mały w porównaniu z czasem poprawnego działania można przyjąć, że z odwracalnego stanu niezdatności możliwe jest przejście jedynie do stanu zdatności. Natomiast nieodwracalne stany niezdatności wiążą się z koniecznością wymiany obiektu na nowy, więc również z tych stanów możliwe są tylko przejścia do stanu zdatności.

W związku z powyższym można przyjąć:

$$p_{ij} = 0, \qquad p_{io} = 1, \qquad \text{dla } i, j = 1, 2 \ldots, n;$$

w wyniku czego macierz prawdopodobieństw przejść przyjmie następującą postać:

$$P = \begin{bmatrix} p_{oo} & p_{o1} & \cdots & p_{on} \\ 1 & 0 & \ldots & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & 0 & \ldots & 0 \end{bmatrix} \qquad /1/$$

Uwzględniając dynamiczny charakter eksploatacji rzeczywistych obiektów technicznych macierz /1/ przyjmie postać następującą:

$$P/t/ = \begin{bmatrix} p_{oo}/t/, & p_{o1}/t/ & \dots & p_{on}/t/ \\ 1 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}. \qquad /2/$$

Macierz /2/ jest kwadratowa o "n + 1" kolumnach i tylu wierszach, gdzie "n" jest ilością wszystkich możliwych stanów niezdatności danego obiektu.

3. Metodyka wyznaczania optymalnego czasu pracy złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności

Ponieważ procesy eksploatacji i odnowy są procesami dynamicznymi, przeto optymalny czas użytkowania obiektu T_o będzie zmienny w czasie i dlatego przy każdorazowym wyznaczaniu jego wartości w chwili t_o należy przyjmować pewien horyzont czasowy ϑ , równy w przybliżeniu wartości oczekiwanej czasu poprawnego działania obiektu.

Do wyznaczenia optymalnego czasu pracy złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności niezbędna jest znajomość macierzy prawdopodobieństw przejść /2/, wartości średnich kosztów przejścia do każdego z możliwych stanów niezdatności - $K_i /t_o, \vartheta /$ oraz wartości średniego kosztu wymiany zapobiegawczej - $K_Z /t_o, \vartheta /$. Można założyć, że przewidywane koszty, jakie poniesie użytkownik w przeciągu czasu T - pracy obiektu, jedynie z tytułu możliwości przejścia obiektu do i-tego stanu niezdatności wynoszą:

$$K_i /t_o, T/ = \int_0^T p_{oi}/t/ \cdot K_i/t_o, \vartheta / \, dt , \quad \text{dla } i = 1,2...n \qquad /3/$$

Natomiast uwzględniając możliwości przejścia do wszystkich stanów niezdatności, koszty te można przedstawić następująco:

$$K /t_o, T/ = \sum_{i=1}^{n} \int_0^T p_{oi}/t/ \cdot K_i/t_o, \vartheta / \, dt , \quad \text{dla } i = 1,2...n \qquad /4/$$

Jeśli przyjmiemy, że optymalny czas pracy obiektu T_o jest czasem, dla którego przewidywane koszty $K /t_o, T/$ osiągną wartość kosztu wymiany zapobiegawczej, wówczas będzie on spełniał równanie:

$$K_Z /t_o, \vartheta / = \sum_{i=1}^{n} \int_0^{T_o} p_{oi}/t/ \cdot K_i/t_o, \vartheta / \, dt, \quad \text{dla } i = 1,2...n \qquad /5/$$

Powyższe równanie można uzupełnić dodatkowo kosztami konserwacji, ewentualnie uwzględnić w nim stopę dyskontową i otrzymamy w ten sposób bardzo dokładne narzędzie do wyznaczania optymalnego czasu użytkowania złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności.

Jednakże często zbyt mała ilość będących do dyspozycji w praktyce wyników obserwacji uniemożliwia wyznaczenie ciągłych funkcji $p_{oi} /t/$. W tych przypadkach należy zmienną losową ciągłą zastąpić zmienną typu

skokowego, czyli udyskretnić czas.
Proces użytkowania obiektów w takim ujęciu jest łańcuchem stochastycznym, określonym na zbiorze całkowitych liczb nieujemnych, $k = 0,1,2...$, spełniających rolę kolejnych wielokrotności przyjętej jednostki czasu.

Sposób postępowania przy wyznaczaniu optymalnego czasu pracy obiektów można wówczas sprowadzić do następujących operacji:

a/ wyznaczenie wartości prawdopodobieństw przejścia $p_{oi}/k/$ w kolejnych chwilach: $k = 0,1,2 ...m$, dla $i = 0,1 ... n$,

b/ oszacowanie średnich kosztów związanych z przejściem obiektu ze stanu zdatności do każdego ze stanów niezdatności w przedziale czasu: $/k_o, k_o+\vartheta/ - K_i/k_o, \vartheta/$,

c/ obliczenie przewidywanych kosztów związanych z możliwością przejścia obiektu do stanów niezdatności - dla kolejnych chwil k:

$$k - \sum_{i=1}^{n} p_{oi}/k/ \cdot K_i/k_o, \vartheta/ \qquad /6/$$

d/ wyznaczenie dystrybuanty przewidywanych kosztów w chwilach, $k = 1,2 ..., l ..., m$

$$\sum_{k=1}^{r} \sum_{i=1}^{n} p_{oi}/k/ \cdot K_i/k_o, \vartheta/ \qquad /7/$$

kolejno dla $r = 1,2 ..., m$

e/ znalezienie przedziału czasu $/l, l+1/$, dla którego spełniona jest nierówność:

$$\sum_{k=1}^{l} \sum_{i=1}^{n} p_{oi}/k/ \cdot K_i/k_o, \vartheta/ < K_Z/k_o, \vartheta/ \leq \sum_{k=1}^{l+1} \sum_{i=1}^{n} p_{oi}/k/ \cdot K_i/k_o, \vartheta/ \qquad /8/$$

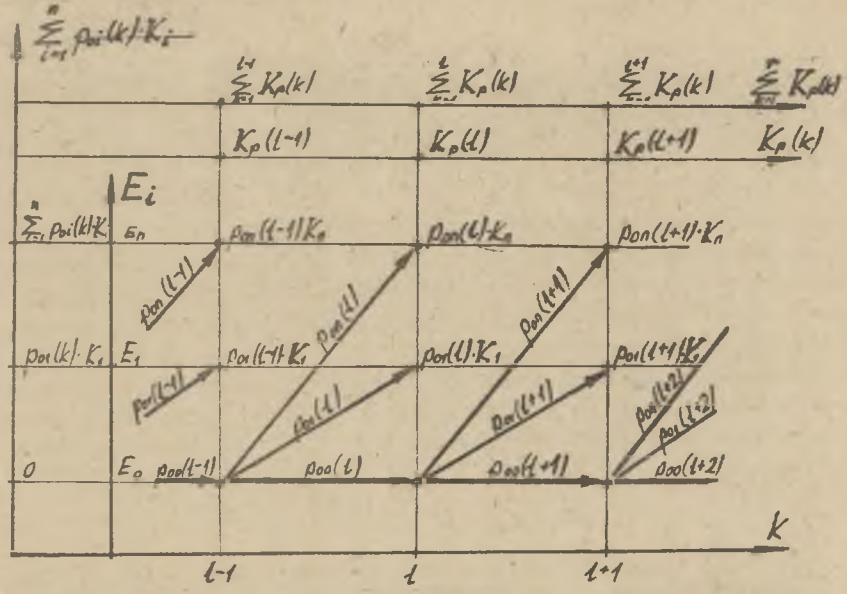
Metodę tę można przedstawić wykreślnie za pomocą sekwencyjnego grafu - co pokazano na rys. 1. Celem poprawienia czytelności rysunku przyjęto następujące oznaczenie skrótowe:

$$K_i \equiv K_i/k_o, \vartheta/$$

$$K_p/k/ \equiv \sum_{i=1}^{n} p_{oi}/k/ \cdot K_i/t_o, \vartheta/.$$

Każdemu łukowi grafu przypisano prawdopodobieństwo realizacji przejścia, natomiast wierzchołkom łuków przyporządkowano wartości przewidywanych kosztów /iloczyny prawdopodobieństw przejść i odpowiednich kosztów/.

Zaproponowana metoda daje wprawdzie wyniki przybliżone, niemniej ze względu na to, że możliwości wymiany zapobiegawczej występują na ogół w stosunkowo dużych odstępach czasu, określenie optymalnego przedziału dla czasu wymiany jest w praktyce w zupełności wystarczające. Szczególnie przydatną jest ona dla obiektów, dla których przewidywane



Rys. 1. Graf dynamicznej metody wyznaczania optymalnego czasu pracy złożonych obiektów dwustanowych o dużej niezawodności

koszty przejścia do poszczególnych stanów niezdatności są wielkościami tego samego rzędu.

5. Podsumowanie

Zaproponowana metoda została zweryfikowana techniką symulacyjną w jednej z największych hut polskich dla kilku maszyn i urządzeń. Badania wykazały, że zastosowanie jej pozwoliłoby na obniżenie kosztów eksploatacyjnych /w tym także strat produkcyjnych/ o około 30 % w stosunku do stanu dotychczasowego [1]. Uniwersalność przedstawionej metody pozwala mieć nadzieję, że znajdzie ona zastosowanie również w innych gałęziach przemysłu, a zwłaszcza w górnictwie, w którym niezawodność eksploatacyjna systemów maszynowych w wysokim stopniu zależy od jakości metody sterowania odnawianiem poszczególnych obiektów wchodzących w skład systemów.

LITERATURA

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

[2]. Jaźwiński J.: Studium nad metodami oceny niezawodności pewnej klasy obiektów technicznych. Warszawa 1973, Informator ITWL.

[3]. Kopociński B.: Zarys teorii odnowy i niezawodności. Warszawa 1973, PWN.

ДИНАМИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОГО СРОКА СЛУЖБЫ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ БОЛЬШОЙ НАДЕЖНОСТИ

Резюме.

В докладе рассуждается надежностный анализ некоторого класса технических объектов выступающих прежде всего в горной и металлургической промышленности. Квалифицируются этие объекты как сложные технические объекты большой надежности и представляются их надежность при помощи соответствующих математических модели.

Предлогаются динамический метод определения оптимального срока службы объектов этого класса в действительных условиях эксплуатации, а также доказнваются экономическую пользу, какую может принести применяние этого метода.

A Dynamical Method For Calculation of Optimum Service Life A Complex Two-State With High Reliability Objects

Summary

The paper presents an analysis of reliability of wide class of technical systems which occur in the mining, iron and steel industries. These objects have been considered as a complex two-state oobjects high reliability for destription their reliability was made use of mathematical models. This method gives a possibility to calculate a service life objects in a real service conditions.