

Gerard KOSMAN, Andrzej RUSIN

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej

## KONCEPCJA SYSTEMU WSPOMAGANIA DECYZJI EKSPLOATACYJNYCH I REMONTOWYCH W ZAKRESIE TRWAŁOŚCI TURBIN

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono założenia i strukturę systemu wspomaganie decyzji eksploatacyjnych, remontowych i modernizacyjnych turbin parowych. Wymienione zadania rozwiązano z uwzględnieniem oceny stanu technicznego, aktualnego stopnia zużycia i planowanego czasu dalszej pracy. Najważniejszą częścią pracy są przykładowe reguły diagnostyczne, stanowiące podstawę komputerowej procedury wspomaganie decyzji. Podane w pracy przykłady ilustrują możliwości praktycznego wykorzystania opracowanych reguł diagnostycznych.

## CONCEPTION OF THE SYSTEM FOR SUPPORTING OPERATING AND REPAIR DECISIONS FOR THE TURBINE DURABILITY

**Summary.** Assumptions and structure of the system for supporting operating, repair and modernisation decisions for the steam turbines are presented in the paper. Mentioned above tasks were solved considering the assessment of the technical state, current rate of consumption and planned operating time. Example diagnostic rules – being the basis of the computational procedure for supporting decisions – are the most important part of this paper. Examples given in the paper illustrate possibilities of the practical use of the diagnostic rules.

### 1. Wprowadzenie

Celem eksploatacji dowolnego środka technicznego jest efektywne jego wykorzystanie, zgodnie z przeznaczeniem. W tej definicji należy zwrócić uwagę na dwa elementy składowe: skuteczność i ekonomikę pracy. Skuteczność działania oznacza zdolność do realizacji zadań, określonych przez systemy zewnętrzne. W przypadku elektrowni takim systemem nadrzęd-

nym jest system elektroenergetyczny. Główne zadania tego systemu w pracy [1] formułuje się następująco:

1. Dostosowanie podaży energii elektrycznej (i ciepłej) do zmieniającego się popytu, pod względem ilościowym i jakościowym.
2. Produkcja i dostawa energii do odbiorców przy minimum sumarycznych kosztów systemu w dłuższych okresach.

Z podanych zadań systemu elektroenergetycznego wynikają zasadnicze cele eksploatacji elektrowni i kryteria oceny warunków pracy podstawowych maszyn i urządzeń energetycznych.

W opisanych niżej badaniach przedmiotem szerszej analizy były warunki pracy turbin parowych. Eksploatacja turbin powinna być optymalna w danych warunkach ze względu na przyjęte kryterium (kryteria) optymalizacji. Dobór kryteriów jest tutaj sprawą najważniejszą. Warto zwrócić uwagę na prostą zależność: różne kryteria mogą prowadzić do różnych wyników. Zadanie optymalizacji warunków eksploatacji turbin parowych można formułować następująco:

- osiągnięcie pożądanego efektu przy minimum nakładu lub
- osiągnięcie maksimum efektu przy wykorzystaniu dozwolonych nakładów.

W prowadzonych badaniach jako podstawowe kryterium optymalizacji przyjęto trwałość głównych elementów turbiny i efektywność pracy.

Trwałość, w sensie opisowym, jest to właściwość maszyny pozostawania w stanie zdolności do poprawnej pracy z koniecznymi przerwami na obsługę techniczną i naprawy aż do stanu granicznego. Taki stan graniczny może być związany z pojawieniem się:

- niedopuszczalnie dużych odkształceń,
- mikropęknięć,
- pogorszenia własności,
- zmian w strukturze materiału,
- wyraźnych oznak zużycia,
- makropęknięć.

Trwałość mierzy się najczęściej w godzinach pracy lub w liczbie zadziałań. W przypadku turbin będzie to liczba godzin pracy i liczba uruchomień z różnych początkowych stanów cieplnych.

Na podstawie własnych doświadczeń, przeprowadzonych badań i danych literaturowych zakres metod i środków umożliwiających (ułatwiających) dobór optymalnych warunków eksploatacji turbin można usystematyzować w postaci 6 grup zadań:

- 1) Modernizacja i rozszerzenie istniejących BAZ DANYCH eksploatacyjnych i remontowych turbin.
- 2) Diagnostyka turbin
  - w trybie on-line lub off-line
- w 3 głównych kierunkach, obejmujących diagnostykę
  - wibroakustyczną,
  - ciepłno - energetyczną,
  - wytrzymałościową (trwałościową, wyczerpaniową).
- 3) Uruchomienie systemów sterowania eksploatacją.
- 4) Wdrożenie systemu wspomaganie decyzji eksploatacyjnych, remontowych i modernizacyjnych.
- 5) Okresowa modernizacja warunków eksploatacji.
- 6) Modernizacja turbin.

Każde z wymienionych wyżej zadań stanowi oddzielne zagadnienie badawcze, przy czym każde zadanie następane można rozwiązać po wdrożeniu wyników badań zadania poprzedniego.

## 2. Założenia i zakres pracy

Z przedstawionych wyżej zagadnień badawczych przedmiotem niniejszej pracy są założenia systemu wspomaganie decyzji eksploatacyjnych, remontowych i modernizacyjnych turbin parowych. Zakres prowadzonych badań obejmuje opracowanie metod i algorytmów:

- ♦ okresowej modernizacji warunków eksploatacji turbiny (doboru nowych warunków eksploatacji),
- ♦ modernizacji i remontów wybranych elementów lub węzłów konstrukcyjnych,
- ♦ kwalifikowania elementów lub maszyny do wymiany.

Rozwiązanie podano w postaci reguł diagnostycznych. Reguły te stanowią podstawę komputerowej procedury wspomaganie decyzji.

Jako wiodące kryterium w podejmowaniu decyzji przyjęto trwałość głównych elementów. Z tego względu zasadniczą część niniejszej pracy stanowi procedura wspomaganie decyzji eksploatacyjnych i remontowych w zakresie trwałości.

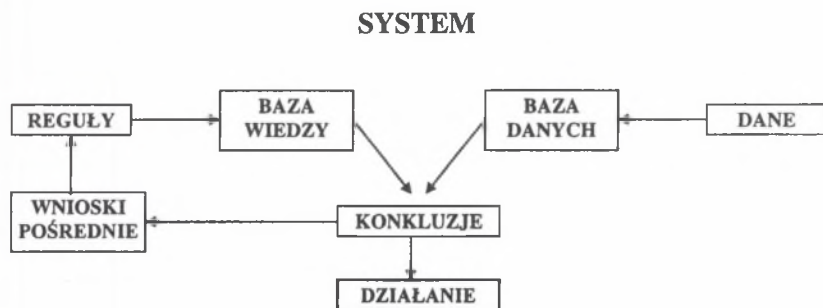
W opracowanej procedurze wspomagania decyzji wykorzystano dwie wielkości charakteryzujące trwałość elementów turbiny:

- **Czas pracy** –  $t$  – liczba godzin pracy bloku,
- **Warunki pracy** – **WP** – charakter pracy bloku, tzn. częstotliwość uruchamiania, częstotliwość zmiany mocy w zakresie minimum – maksimum, wahania parametrów pary (temperatura, ciśnienie), a także inne warunki pracy, które zwiększą tempo procesów zużycia.

Podstawową przesłanką wykorzystywaną w procesie podejmowania decyzji eksploatacyjnych lub remontowych jest aktualny stan techniczny turbiny, opisywany najczęściej poprzez podanie stopnia zużycia głównych elementów. W związku z tym przed podjęciem jakiegokolwiek decyzji związanej z przyszłą eksploatacją należy przeanalizować dotychczasowe warunki pracy turbiny i przeprowadzić kompleksową ocenę stanu technicznego jej elementów. Jest to warunek konieczny.

### 3. Ogólny schemat procedury wspomagania decyzji

Proponowana procedura wspomagania decyzji eksploatacyjno-remontowych stanowi uproszczoną postać doradczego systemu ekspertowego. Jego zadaniem jest prezentowanie rozwiązań i zaleceń użytkownikowi, który może na ich podstawie podejmować ostateczne decyzje. Głównym problemem przy tworzeniu takiego systemu jest pozyskiwanie wiedzy, która może być wyrażana poprzez zbiór reguł tworzących tzw. **BAZĘ WIEDZY**. Drugim ważnym elementem takiego systemu jest **BAZA DANYCH** zawierająca zarówno dane stałe, jak i dane zmienne pozyskiwane każdorazowo od użytkownika przy rozwiązywaniu konkretnego problemu. Ogólny schemat systemu pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Schemat systemu wspomagania decyzji  
Fig. 1. Scheme of the system for supporting decisions

W przypadku omawianego systemu wspomagania decyzji eksploatacyjnych podstawowymi danymi są:

- oczekiwania użytkownika,
- aktualny stan turbiny.

Dane te uszczegółowione i przedstawione w postaci ilościowej stanowią przesłanki reguł, na podstawie których podejmowana jest decyzja.

Ogólna postać reguł jest następująca:

**JEŚLI - przesłanka - TO - konkluzja**

co możemy zapisać również jako relację implikacji (przesłanka -  $p$ , konkluzja -  $k$ )

$$p \Rightarrow k$$

Przesłanka może zawierać pewną liczbę warunków połączonych funktorami logicznymi, np.:

**JEŚLI - warunek 1 - I - warunek 2 - I - ... TO - konkluzja**

co możemy również zapisać

$$p \wedge q \Rightarrow k$$

W miejsce funktora koniunkcji może wystąpić funktor alternatywy. Reguła może wówczas mieć postać:

**JEŚLI - warunek 1 - LUB - warunek 2 - TO - konkluzja**

$$p \vee q \Rightarrow k$$

Reguły zawierające funktor alternatywy mogą być zastąpione kilkoma regułami z funktorami koniunkcji. Przykładowo, dla powyższej reguły możemy zapisać:

$$p \Rightarrow k$$

$$q \Rightarrow k$$

Pojedyncza reguła może również zawierać więcej konkluzji. Przykładowo

**JEŚLI - przesłanka - TO - konkluzja 1 - LUB - konkluzja 2**

co zapiszemy:

$$p \Rightarrow k_1 \vee k_2$$

Ze względu na sposób uzyskiwania ostatecznych decyzji w procesie wnioskowania wyróżnić możemy dwa rodzaje reguł:

- reguły pośrednie (proste) mające postać wniosków pośrednich i wymagające stosowania innych reguł przed uzyskaniem ostatecznej decyzji. Ciąg reguł pośrednich tworzy łańcuch wnioskowania,

- reguły ostateczne (złożone) umożliwiające podejmowanie ostatecznych decyzji, ponieważ każda z takich reguł zawiera wniosek końcowy będący propozycją działania.  
Zazwyczaj reguły złożone posiadają bardziej skomplikowaną postać.

#### 4. Podstawowe przesłanki reguł diagnostycznych

Zasadniczymi elementami reguł, na podstawie których podejmowane są decyzje o możliwościach i zasadach dalszej eksploatacji, są *przesłanki*.

*Przesłankę* stanowi zbiór *warunków* powstałych przez porównanie *wskaźników* charakteryzujących istotne cechy procesu eksploatacyjno–remontowego. Wskaźniki te tworzone są na podstawie danych wejściowych.

##### 4.1. Dane wejściowe

Dane wejściowe dzielą się na dwie zasadnicze grupy:

- dane opisujące oczekiwania użytkownika,
- dane opisujące aktualny stan obiektu.

Do pierwszej grupy danych zaliczamy:

- Warunki pracy (WP) - określenie charakteru przyszłej pracy bloku
  - WPI - intensywne* – charakteryzują się większą częstotliwością uruchamiania, częstszymi zmianami mocy w zakresie minimum – maksimum, zwiększonymi parametrami pary (temperatura, ciśnienie) - a takie warunki pracy zwiększą tempo procesów zużycia.
  - WPE – extensywne* – charakteryzują się mniejszą częstotliwością uruchamiania, rzadkimi zmianami mocy, obniżonymi parametrami pary – takie warunki pracy obniżą tempo procesów zużycia.
  - WPC – constans* – charakter pracy bloku nie zmienia się.
- Oczekiwany czas przyszłej eksploatacji –  $t_0$  – planowana (wymagana) liczba godzin dalszej eksploatacji bloku.

Drugą grupę danych tworzą następujące wielkości:

- Zużycie –  $Z$  – stopień degradacji materiału elementu turbiny wywołany różnymi procesami zużycia podawany w procentach

$Z_t$  – *zużycie pełzaniowe* – ubytek trwałości elementu wywołany procesami zużycia zachodzącymi przy stałym obciążeniu w wysokich temperaturach.

$Z_N$  – *zużycie zmęczeniowe* – ubytek trwałości elementu wywołany procesami zmęczenia niskocyklicznego na skutek zmiany obciążenia (rozruchy, odstawienia, zmiany mocy).

$Z_g$  – *zużycie graniczne* – dopuszczalna ze względów bezpieczeństwa wartość zużycia elementu.

- Ceny –  $c$  – ceny energii, elementów, ceny napraw itp. Przykładowo do tej grupy danych należą:

$c_{el}$  – *cena elementu* – aktualna cena zakupu elementu turbiny wraz z kosztami dodatkowymi (transport, wyposażenie dodatkowe, koszt wymiany itd.).

$c_{ek}$  – *cena energii kontraktowanej* – wartość energii produkowanej i sprzedawanej przez elektrownie w ramach kontraktu.

$c_{er}$  – *cena energii rezerwowej* – wartość potencjalnej energii bloku w rezerwie.

$c_{pa}$  – *koszt postoju awaryjnego* – umowna cena płacona przez elektrownię w ramach kary za nie dostarczoną energię zakontraktowaną.

W przypadku konkretnej elektrowni ceny te uzależnione są m.in. od kontraktów zawartych z odbiorcami energii.

- Uszkodzenia elementu -  $U$  - lokalny stan materiału wywołany zintensyfikowanymi procesami zużycia wskutek koncentracji naprężeń

$O$  - *brak uszkodzeń*

$UT$  - *naprawialne* – lokalne uszkodzenia materiału zazwyczaj w postaci mikro- lub niewielkiej ilości makropęknięć, dla których istnieją realne technologie naprawy (np. poprzez szlifowanie, frezowanie, napawania, spawanie itd.).

$UN$  - *nienaprawialne* – lokalne uszkodzenia materiału zazwyczaj w postaci dużej ilości makropęknięć lub nieodwracalnych zmian własności materiałowych (kruchość), dla których nie istnieją sprawdzone technologie naprawy.

- Czas pracy bloku –  $t$  – liczba godzin pracy bloku

$t_d$  – *dotychczasowy* – aktualna liczba godzin pracy bloku.

$t_{ek}$  – *średnia liczba godzin pracy kontraktowanej w roku.*

$t_{er}$  – średnia liczba godzin postoiu bloku w rezerwie w roku.

$t_{pa}$  – średnia liczba godzin postoiu awaryjnego w roku.

- Koszt naprawy –  $c_n$  – wartość wszystkich kosztów naprawy elementu zawierająca m.in. badanie elementu, przygotowanie naprawy, wykonanie naprawy, koszty zużytych materiałów itp. wyrażona w złotych.

#### 4.2. Podstawowe wskaźniki

- Wskaźnik czasu eksploatacji – PT – procentowy wskaźnik udziału czasu dotychczasowej eksploatacji w stosunku do sumy czasu dotychczasowego i oczekiwanego

$$PT = \frac{t_d}{t_d + t_o} \quad (1)$$

- Wskaźnik zużycia elementu –  $Z_L$  – procentowy wskaźnik zużycia elementu
- Wskaźnik czasu oczekiwanej eksploatacji – TE – procentowy wskaźnik udziału czasu oczekiwanej eksploatacji w stosunku do sumy czasu dotychczasowego i oczekiwanego

$$TE = \frac{t_o}{t_d + t_o} \quad (2)$$

- Średni jednostkowy zysk bloku – ZB – uśredniona wartość zysku uzyskiwana za 1 godzinę eksploatacji w roku

$$ZB = \frac{C_{ek}t_{ek} + C_{er}t_{er} - C_{pa}t_{pa}}{7860} \quad (3)$$

- Czasowy równoważnik ceny elementu –  $t_{el}$  – średnia liczba umownych godzin eksploatacji bloku dająca zysk równoważny cenie elementu

$$t_{el} = \frac{C_{el}}{ZE} \quad (4)$$

- Czasowy równoważnik naprawy elementu –  $t_{kn}$  – średnia liczba umownych godzin eksploatacji bloku dająca zysk równoważny kosztom naprawy elementu

$$t_{kn} = \frac{C_n}{ZE} \quad (5)$$

- Wskaźnik wymiany elementów –  $TWW_m$  – wskaźnik, którego wartość opisuje względny koszt wymiany  $m$  elementów turbiny

$$TWW_m = \frac{\sum_{i=1}^m t_{eli}}{t_d + t_o} \quad (6)$$



- Wskaźnik naprawy –  $TWN_m$  – wskaźnik, którego wartość opisuje względny koszt naprawy  $m$  elementów

$$TWN_m = \frac{\sum_{i=1}^m f_{kni}}{f_d + f_o} \quad (7)$$

### 4.3. Warunki

Podstawowe warunki tworzone są przez ustalenie relacji pomiędzy wskaźnikami:

PT?  $Z_i$

TE?  $TWW_i$

TE?  $TWN_i$

gdzie: ? - przyjmuje jeden z trzech znaków {<, >, =}

$i = 1, \dots, n$

$n$  – liczba głównych elementów turbiny.

Warunki tworzone są również poprzez relacje przyporządkowania warunkom pracy WP jednej z trzech opcji WPI, WPE i WPC.

$WP = \{WP, WPE, WPC\}$

## 5. Podstawowe konkluzje reguł diagnostycznych

Do podstawowych konkluzji wskazywanych przez opracowywany system należą:

- **EKSPLLOATACJA MOŻLIWA** – stwierdzenie możliwości eksploatacji oznacza, że założone wartości oczekiwane dalszego czasu eksploatacji oraz charakteru tej eksploatacji są możliwe do zrealizowania bez dokonywania dodatkowych zabiegów modernizacyjnych i wymiany elementów.
- **EKSPLLOATACJA NIECELOWA** – konkluzja wskazująca na brak racjonalnych możliwości spełnienia założonego charakteru i oczekiwanego czasu dalszej eksploatacji głównie z uwagi na nieopłacalność ekonomiczną.

- **EKSPLLOATACJA NIEMOŻLIWA** – konkluzja wskazująca na brak możliwości bezpiecznej eksploatacji przez założony okres. Należy rozpatrzyć możliwość wymiany turbiny.
- **WYMIANA ELEMENTU** – działanie wskazujące na celowość zakupu nowego elementu turbiny.
- **NAPRAWA ELEMENTU** – działanie zalecające przeprowadzenie naprawy elementu posiadającego lokalne uszkodzenie. Działanie typu „naprawa elementu” powoduje konieczność doboru technologii naprawy.
- **MODERNIZACJA** – działanie to wskazuje na możliwość osiągnięcia założonych celów eksploatacyjnych na drodze zmiany sposobów eksploataowania turbiny. W wyborze nowych warunków eksploatacji pomocne są **REGUŁY WYBORU MODERNIZACJI**.

## 6. Podstawowe reguły diagnostyczne

Wykorzystanie omówionych poniżej reguł podstawowych wymaga ustalenia wszystkich przesłanek opisanych szczegółowo w punkcie 4. Przesłanki te wyznaczone są w oparciu o podstawowe dane, tzn. dotychczasowy i oczekiwany czas eksploatacji, charakter tej eksploatacji, stan techniczny poszczególnych elementów turbiny, zysk netto powstający ze sprzedaży energii z danego bloku.

Reguły te mają postać zarówno reguł pośrednich, jak i ostatecznych [2].

### 6.1. Reguły rozstrzygające o możliwości eksploatacji

- Bezwarunkowa dalsza eksploatacja bloku jest możliwa, jeżeli charakter przyszłej pracy nie zmieni się lub będzie ekstensywny, elementy turbiny nie zawierają uszkodzeń lokalnych bądź też koszty napraw bieżących są nieznaczące, a wskaźnik czasu eksploatacji jest większy od maksymalnego stopnia zużycia elementu najbardziej zdegradowanego.

Przykładowa reguła rozstrzygająca o możliwości eksploatacji ma postać:

#### Reguła R 11

**JEŚLI**  $\{(PT > Z_{max}) \text{ I } (U = O) \text{ I } (WP = WPC)\}$  **TO** EKSPLOATACJA MOŻLIWA

- Brak możliwości bezpiecznej eksploatacji przez okres oczekiwany przez użytkownika występuje wtedy, gdy przyszłe warunki eksploatacji będą takie same lub bardziej intensywne, a wskaźnik czasu eksploatacji jest znacznie mniejszy od minimalnego stopnia zużycia elementu w najlepszym stanie technicznym

Przykładowa reguła rozstrzygająca o braku możliwości eksploatacji ma postać:

#### Reguła R 21

**JEŚLI**  $\{(PT < Z_{min}) \text{ I } (WP = WPD)\}$  **TO** EKSPLOATACJA NIEMOŻLIWA

- Podobna sytuacja zachodzi wówczas, gdy koszty wymiany lub naprawy uszkodzonych elementów są większe od spodziewanych efektów przyszłej eksploatacji lub gdy brak jest odpowiednich technologii napraw. Poniesienie kosztów ewentualnej wymiany lub naprawy może nie zostać zrekomensowane zyskami z przyszłej eksploatacji.

Przykładowa reguła:

#### Reguła R 31

**JEŚLI**  $\{(PT > Z_{max}) \text{ I } (U_1 = UN) \text{ I} \dots (U_m = UN) \text{ I } (TE < TWW_m)\}$  **TO** EKSPLOATACJA NIECELOWA

### 6.2. Reguły wskazujące wymianę elementów

- Wymiana elementów jest celowa wówczas, gdy przewidywany koszt wymiany zostanie zrekomensowany zyskami z przyszłej dalszej eksploatacji turbiny. Przy podejmowaniu decyzji o wymianie elementu należy korzystać z reguł:

Przykładowa reguła:

#### Reguła R 41

**JEŚLI**  $\{(PT < Z_1) \text{ I } (PT < Z_m) \text{ I } (PT > Z_{m+1}) \text{ I } (WP = WPC) \text{ I } (TE > TWW_m)\}$   
**TO** WYMIENIĆ  $m$  ELEMENTÓW

### 6.3. Reguły wskazujące naprawę

- W przypadku istnienia naprawialnych uszkodzeń elementów celowość przeprowadzenia takich napraw zachodzi wówczas, gdy przewidywany koszt naprawy nie przewyższa przyszłych zysków z eksploatacji.

Przykładowa reguła:

Reguła R 51

**JEŚLI**  $\{(PT > Z_{max}) \text{ I } (U_1 = UT) \text{ I} \dots (U_m = UT) \text{ I } (WP = WPC) \text{ I } (TE > TWN_m)\}$   
**TO NAPRAWA**

#### 6.4. Reguły wskazujące modernizację

- Realnym zabiegiem mogącym ułatwić osiągnięcie założonego okresu eksploatacji jest modernizacja warunków eksploatacji. Działanie takie należy uznać za racjonalne w sytuacji, gdy wskaźnik czasu eksploatacji jest równy lub nieznacznie mniejszy od stopnia zużycia elementów, gdy równocześnie nie jest ekonomicznie uzasadniona wymiana tych elementów.

Przykładowa reguła:

Reguła R 61

**JEŚLI**  $\{(PT \leq Z_1) \text{ I} \dots (PT \leq Z_m) \text{ I } (PT > Z_{m+1}) \dots \text{ I } (WP = WPC) \text{ I } (TE < TWW_m)\}$   
**TO MODERNIZACJA WARUNKÓW EKSPLOATACJI**

- Modernizacja warunków eksploatacji powinna być brana pod uwagę zawsze wtedy, gdy przewiduje się intensywne warunki przyszłej eksploatacji.

Przykładowa reguła:

Reguła R 71

**JEŚLI**  $\{(PT \geq Z_{max}) \text{ I } (U = 0) \text{ I } (WP = WPI)\}$  **TO MODERNIZACJA WARUNKÓW EKSPLOATACJI**

## 7. Reguły wyboru rodzaju modernizacji

Podstawowymi przesłankami wykorzystywanymi przy wyborze rodzaju modernizacji warunków eksploatacji są:

$Z_N$  – stopień zużycia zmęczeniowego,

$Z_t$  – stopień zużycia pełzaniowego.

Zasadnicze reguły postępowania mają postać:

**JEŚLI** ( $Z_N \gg Z_1$ ) **TO** – zmiana warunków rozruchu

**JEŚLI** ( $Z_1 \gg Z_N$ ) **TO** – zmiana warunków pracy ustalonej

**JEŚLI** ( $Z_1 / Z_N = 0,2 + 5$ ) **TO** – zmiana warunków rozruchu **I/LUB** zmiana warunków pracy ustalonej

Powyższe reguły wskazują, że w zależności od dominacji jednego z procesów zużycia należy przedsięwziąć działania obniżające to tempo. W przypadku dużych wartości zużycia zmęczenia należy zmienić charakterystyki rozruchowe tak, aby były one czasowo optymalne dla konkretnej maszyny lub zainstalować blok ograniczeń termicznych o odpowiednio dobranych nastawach.

Korzystnym zabiegiem, zwłaszcza przy rozruchach ze stanu zimnego, jest odpowiedni stopień wygrzania wstępnych elementów.

Przy dużych wartościach zużycia pełzaniowego należy rozpatrzyć możliwości i celowość ekonomiczną obniżenia parametrów nominalnych pary, tzn. temperatury i/lub ciśnienia.

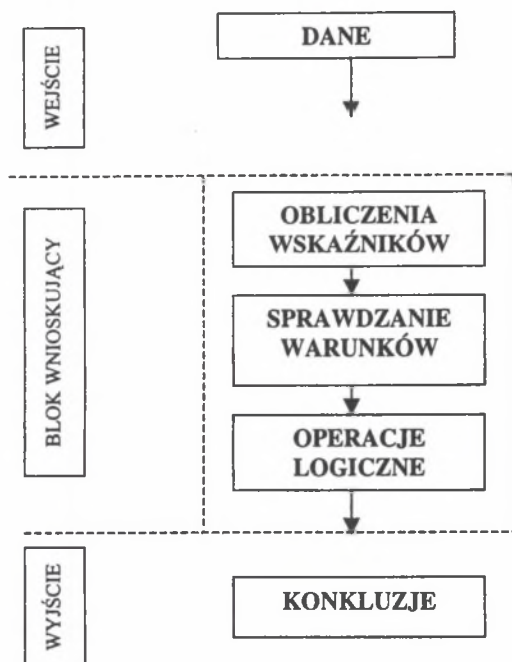
## 8. Komputerowa procedura wspomaganie decyzji

Przedstawione elementy systemu doradczego w swej wersji ostatecznej tworzą program komputerowy umożliwiający łatwiejsze i szybsze uzyskiwanie konkluzji. Ogólną strukturę takiego programu pokazano na rys.2. Podstawowymi danymi wykorzystywanymi przez program są: dotychczasowy czas pracy  $t_d$ , oczekiwany czas pracy  $t_o$ , charakter przyszłych warunków pracy WP, stopień zużycia elementów  $Z_i$ , cena elementów, ceny energii.

Na podstawie tych danych program wykonuje obliczenia wskaźników pomocniczych m.in.:

- wskaźnik czasu eksploatacji PT,
- wskaźnik czasu oczekiwanej eksploatacji TE,
- wskaźnik wymiany elementów TWW,
- wskaźnik naprawy elementy TWN

Obliczone wskaźniki posłużą do sprawdzenia warunków będących elementami przesłanek kolejnych reguł. Wyjściem z programu są konkluzje o postaciach podanych w punkcie 5.



Rys.2. Schemat procedury wspomagania decyzji  
 Fig.2. Procedure of the supporting decisions system

## 9. Przykład zastosowania opracowanego systemu

Rozważmy turbinę eksploatowaną przez 100 tys. h. Na podstawie szczegółowych badań stwierdzono, że stopień zużycia poszczególnych elementów wynosi:

$$Z_1 = 42\%, Z_2 = 38\%, Z_3 = 36\%, Z_4 = 40\%$$

Ponadto stwierdzono, że turbina nie ma pęknięć ani innych wyraźnych oznak uszkodzeń.

Rozważane są dwa warianty dalszej eksploatacji turbiny:

- 1) przez okres 100 tys. h przy tych samych warunkach,
- 2) przez okres 150 tys. h przy tych samych warunkach.

Do rozstrzygnięcia o możliwościach takiej eksploatacji wykorzystano omówiony system.

**Wariant a**

Na podstawie danych określamy podstawowe wskaźniki:

$$t_d = 100 \text{ tys.} \quad PT = \frac{t_d}{t_o + t_d} = 0,5$$

$$t_o = 100 \text{ tys.}$$

$$U = 0 \quad Z_{\max} = 0,42$$

$$WP = WPC$$

Sprawdzamy spełnienie warunków będących przesłankami reguł:

Warunek I

$$PT = 0,5 > Z_{\max} = 0,42$$

Warunek II

$$U = 0$$

Warunek III

$$WP = WPC$$

Ponieważ powyższe warunki są spełnione, to prawdziwa jest konkluzja reguły R 11:

**JEŚLI**  $\{(PT > Z_{\max}) \text{ I } (U = 0) \text{ I } (WP = WPC)\}$  **TO** EKSPLOATACJA MOŻLIWA

Oznacza to, że w podanych warunkach eksploatacja przez żądany czas jest możliwa.

**Wariant b**

Określamy wskaźniki:

$$t_d = 100 \text{ tys.} \quad t_o = 150 \text{ tys.} \quad U = 0 \quad WP = WPC$$

$$PT = \frac{t_d}{t_o + t_d} = 0,40$$

Zakładamy, że na tym etapie rozważań ewentualna wymiana elementu nie jest brana pod uwagę. W związku z tym sprawdzamy tylko spełnienie następujących warunków:

Warunek I

$$PT = 0,4 < Z_1 = 0,42$$

Warunek II

$$PT = 0,4 = Z_2 = 0,4$$

Warunek III

$$PT = 0,4 > Z_3 = 0,38$$

Warunek IV

$$PT = 0,4 > Z_4 = 0,36$$

Warunek V

$$U = 0$$

Warunek VI

$$WP = WPC$$

Warunek VII

$$TE < TWW_1$$

Powyższe warunki są przesłankami reguły R 61, a zatem na jej podstawie:

**JEŚLI**  $\{(PT \leq Z_1) \text{ I } (PT > Z_2) \text{ I } (PT > Z_3) \text{ I } (PT > Z_4) \text{ I } (WP = WPC) \text{ I } (TE < TWW_1)\}$   
**TO MODERNIZACJA WARUNKÓW EKSPLOATACJI**

stwierdzamy, że zabiegiem umożliwiającym eksploatację przez żądany okres jest modernizacja warunków eksploatacji.

## 10. Uwagi końcowe

Omówiony w artykule system wspomagania decyzji eksploatacyjno–remontowych turbin może być pomocny w opracowywaniu strategii rozwoju elektrowni. Praktyczne jego zastosowanie pozwala m.in. na:

- zwiększenie możliwości efektywnego oddziaływania służb kontroli eksploatacji na utrzymanie dobrego stanu technicznego turbiny i urządzeń pomocniczych,
- optymalną eksploatację bloku energetycznego,
- określenie zakresu remontu lub modernizacji głównych elementów, a w przypadku krańcowym uzasadnia konieczność jego wymiany.

Główną przesłanką wykorzystywaną w omawianym systemie jest stan techniczny elementów reprezentowanych przez ich zużycie. Ze względu na ważność powyższych danych metody i środki użyte do oceny stanu technicznego muszą być tak dobrane, aby wyniki uzyskane na ich podstawie zapewniły wysoki stopień dokładności rosnący w miarę wzrostu czasu eksploatacji.



Cel ten można osiągnąć stosując kompleksową ocenę stanu technicznego, w której analiza opiera się na podstawie:

- oceny dotychczasowych warunków eksploatacji turbiny oraz doświadczeń z eksploatacji innych turbin,
- analiz teoretycznych stopnia zużycia głównych elementów turbiny wywołanego pełzaniem, zmęczeniem, propagowaniem wad i pęknięć,
- wyników badań nieniszczących i metalograficznych,
- wyników badań niszczących.

Oparcie oceny tylko na jednej grupie badań jest ryzykowne i może prowadzić do postawienia błędnych wniosków. W kompleksowej metodzie oceny stanu technicznego wykorzystuje się również wyniki innych dodatkowych badań, takich jak: pomiary cieplne, pomiary stanu dynamicznego itd. Ponadto zakłada się, że po określonym czasie eksploatacji diagnozowana turbina zostanie poddana kolejnym badaniom, które będą stanowić podstawę do weryfikacji oraz skorygowania wyznaczonego tempa i stopnia zużycia elementu. Najlepszym rozwiązaniem jest zastosowanie systemu diagnozowania stanów cieplno – wytrzymałościowych pozwalających na bieżącą kontrolę zużywania poszczególnych elementów turbiny (diagnostyka typu on-line) oraz na okresową, dokładniejszą weryfikację opartą na bardziej złożonych analizach i badaniach doświadczalnych.

Założenia i przykłady zastosowania własnej metodologii kompleksowej oceny stanu technicznego elementów turbin oraz systemu diagnostyki wytrzymałościowej przedstawiono na różnych konferencjach i opisano w kilku publikacjach [np. 3 - 11].

## LITERATURA

1. Janiczek R.: Eksploatacja elektrowni parowych. WNT, Warszawa 1980.
2. Kosman G., Rusin A.: Kryteria kwalifikowania elementów turbin do modernizacji i remontów kapitalnych. Praca naukowo-badawcza. Gliwice 1998.
3. Kosman G., Rusin A., Albrecht D., Theilig H.: Lebensdauerbewertung an Ventilgehäusen von Dampfturbinen. Maschinenbautechnik nr 11, 1990.
4. Kosman G., Rusin A.: Koncepcja komputerowego wspomagania oceny trwałości elementów turbin. ZN Pol.Śl. s. Mechanika nr 103, Gliwice 1991.

5. Kosman G., Rusin A., Łukowicz H.: Modelowanie procesu rozprężania pary i nagrzewania elementów jako fragment systemu oceny trwałości turbin. ZN Pol.Śl. s.Mechanika nr 103, Gliwice 1991.
6. Kosman G., Rusin A., Łukowicz H.: Computer-aided evaluation of the durability of turbine elements. VDI Berichte 868 Aachen 1991.
7. Kosman G., Chmielniak T., Rusin A.: Computer Aided Lifetime Evaluation and Its Application to Turbines Design and Their Operation. ASME Paper nr 93-GT-277, 1993.
8. Kosman G., Rusin A.: Kompleksowa ocena stanu technicznego turbin. Energetyka nr 9, 1994.
9. Kosman G., Rusin A.: Experiences in diagnostic supervision and the life time evaluation of turbine components. ASME Paper, 95-CTP-84, 1995.
10. Kosman G., Rusin A., Czwiertnia K., Łuniewicz B., Dobrowolski P.: Steam turbines retrofit and modernization of their operating conditions as the basis for life extension. POWER-GEN 96, Budapest, 1996.
11. Kosman G., Rusin A., Nowak G.: On-line & Off-line steam turbine component strain states monitoring for the diagnostic system. Conference ASME TURBO-EXPO'98, Sztokholm 1998.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Składzień

## Abstract

Assumptions and structure of the system for supporting operation, repair and modernisation decisions for the steam turbines are presented in this paper. Conducted researches embrace conceptions of methods and algorithms of:

- ◆ periodical change of the operating conditions of the turbine (selection of new operating conditions),
- ◆ modernisation and repair of chosen components or constructional pairs,
- ◆ qualification of components or machine for replacement.

Solution was given in the diagnostic rule form. These rules are the basis of the computational procedure for supporting decisions.

Life of the main components was taken as the leading criterion in undertaking decisions. Because of that the procedure for supporting operating and repair decisions for the turbine durability is the fundamental part of this paper.

In the procedure for supporting decisions two quantities characterising life of the turbine components were used:

- operating time – a number of hours of the power unit operating,
- operating conditions – a characterisation of the power unit operation, it means start-up frequency, frequency of the power changing in range minimum–maximum, oscillation of the steam parameters (temperature, pressure) and other operating conditions which are increasing the rate of the consumption process.

The fundamental assumption used in the process of supporting operating or repair decisions is the current technical state of the turbine described the most often by giving the consumption life of the main components. Because of that before undertaking any decision concerned with the future operation of the machine it is necessary to analyse hitherto operating conditions of the turbine and to conduct a complex assessment of the technical state of its components. It is a necessary condition.