

Biuletyn

nr 2/1999

proNovum[®]

RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Dr inż. Jerzy Trzeszczyński, mgr inż. Ewa Zbroińska-Szczuchura

UKD 681.326:681.518.5

Pro Novum — Katowice

Monitorowanie warunków eksploatacji bloku energetycznego dla potrzeb diagnostyki materiałowej

Stan techniczny elementów bloku energetycznego zmienia się w sposób ciągły w funkcji czasu i warunków eksploatacji. Postoje remontowe stwarzają najlepszą, a w większości przypadków jedyną, możliwość oceny stanu metalu. Przede wszystkim pozwalają przebadać materiał na obecność pęknięć oraz określić:

- stopień deformacji,
- zmiany w strukturze,
- własności mechaniczne.

Pełny zakres badań jest możliwy — ze względu na czas postojów oraz zakres demontażu urządzeń — w remontach kapitalnych. W innych rodzajach remontów oraz w trakcie postojów bloku w „zimnej” rezerwie możliwości badań są znacznie ograniczone, a podczas ruchu bloku bezpośrednie badania stanu metalu wręcz niemożliwe.

Podczas pracy bloku stan metalu elementów urządzeń ciepło-mechanicznych można diagnozować wyłącznie pośrednio poprzez analizę:

- ① stanów dynamicznych turbozespołu,
- ① czasowych przebiegów parametrów pary,
- ① czasowych przebiegów temperatur metalu,
- ① składu chemicznego wody zasilającej, kotłowej i chłodzącej,
- ① informacji pochodzących od obsługi bloku (traktowanych zazwyczaj jako pomoc przy analizie i interpretacji zapisów j.w.).

Możliwość diagnozowania bloku w trybie *on line* wydaje się teoretycznie możliwa, w rzeczywistości jednak napotyka znaczne trudności. Pomimo licznych prób podejmowanych przez różne firmy i instytucje zastrzeżeń nie budzi jedynie użyteczność diagnostyki drganiowej. Wszystkie pozostałe, znane *Pro Novum* systemy diagnostyczne, których zadaniem jest określanie stopnia wyczerpania trwałości (określanie: stopień wyczerpania trwałości — SWT — traktujemy jako bliskoznaczne określeniom: zapas trwałości, trwałość resztkowa, itp.) mają wiele wad, które są przyczyną ich niewielkiej

użyteczności. Wydaje się, że istnieją co najmniej dwa źródła niepowodzeń:

- ➔ autorami systemów diagnostycznych są ludzie nie posiadający dostatecznego doświadczenia i wiedzy diagnostycznej; przeważają pomiarowcy, elektrycy i informatycy; nieco lepsze systemy powstają, gdy w skład zespołu autorów wchodzi konstruktor lub mechanik;
- ➔ informacje z systemu nie są weryfikowane przez klasyczne badania diagnostyczne i praktycznie nie mają wpływu ani na sposób prowadzenia bloku, ani na planowanie remontów, przeglądów i badań.

Podstawowe cechy systemów użytecznych dla diagnostyki materiałowej

Dotychczasowe doświadczenia z eksploatacji systemów różnie nazywanych, ale stawiających sobie za cel pomiar i rejestrację parametrów charakteryzujących wyężenie głównych elementów bloku, wskazują, że poprawnie zaprojektowany system powinien charakteryzować się wymienionymi poniżej cechami.

1. Czujniki pomiaru, zwłaszcza ciśnienia i temperatury, powinny być w odpowiedniej klasie dokładności i zdublowane (niezbędna rezerwa na wypadek uszkodzenia czujnika) oraz rozmieszczone — na podstawie wiedzy wynikającej z dotychczasowych badań poszczególnych elementów bloku — w ściśle określonych miejscach, blisko stref występowania uszkodzeń.

2. System powinien śledzić w sposób ciągły (z parosekundowym krokiem czasowym) warunki eksploatacji wybranych elementów, rejestrować jednak powinien (ze względu na olbrzymią liczbę informacji) wyłącznie charakterystyczne odcinki pracy ustalonej oraz automatycznie wydzielone stany niestacjonarne, oddzielnie dla każdego elementu (poza rozruchami i wyłączeniami bloku niestacjonarności w poszczególnych elementach występują niesynchronicznie).

3. Zapisy powstałe w sposób podany w punkcie 2 powinny być archiwizowane przez cały okres eksploatacji bloku lub elementu (jeśli element podlegający kontroli zostanie wymieniony na nowy).

4. Baza danych, zawierająca zapisy warunków pracy, musi być uzupełniona następującymi zbiorami informacji:

- historia eksploatacji — nie tylko czas i liczba uruchomień z wyróżnieniem poszczególnych stanów cieplnych, ale także wyniki dotychczasowych badań, opisy napraw, rewitalizacji, modernizacji, istotnych zamian w technologii eksploatacji (np. zmiana parametrów pracy);
- dane materiałowe — wg norm, atestów i badań;
- rzeczywiste wymiary — geometria elementów oraz lokalizacja czujników.

5. System powinien umożliwiać analizę i formułowanie wniosków przydatnych dla użytkownika. Tę cechę systemu najtrudniej scharakteryzować jednoznacznie i krótko. Ogólnie można stwierdzić, że algorytm postępowania powinni stworzyć specjaliści z dziedziny materiałoznawstwa, wytrzymałości materiałów i diagnostyki. Ich wiedza i doświadczenie powinny być harmonijnie połączone w logicznie spójną koncepcję. Koncepcję należy zweryfikować. Ze względów praktycznych wchodzi w grę symulacja komputerowa oparta na zarejestrowanych, charakterystycznych fragmentach rzeczywistej eksploatacji. Lepszą od wyżej przedstawionej formy weryfikacji byłaby publiczna dyskusja (np. na łamach prasy branżowej), pozwalająca wychwycić błędy i słabe strony koncepcji. Na przeszkodzie stoi jednak argument o ochronie praw autorskich. Z punktu widzenia użytkownika prowadzi to jednak do sytuacji kupowania „kota w worku”.

W analitycznej (pkt 5) części systemu oferuje się najczęściej użytkownikowi rozwiązanie pozornie eleganckie, moduł obliczeniowy programu oblicza wskaźnik, który — zdaniem twórców takich rozwiązań — jednoznacznie określa stopień wyczerpania trwałości elementu. Nie informuje się go jednak, że błąd takiego oszacowania jest bardzo duży (rys. 1) i najczęściej trudny do dokładnego określenia.

W opisach niektórych systemów można spotkać koncepcję polegającą na algorytmie obliczeń modyfikowanym przez wyniki badań diagnostycznych. Brak szerszych informacji na temat samej istoty tej koncepcji utrudnia ocenę poprawności modelu użytego do tego rozwiązania.

	POMIAR I REJESTRACJA PARAMETRÓW PRACY	OBLICZENIA NAPRĘŻEN / OD-KSZTAŁCEN NOMINALNYCH	OBLICZENIA NAPRĘŻEN / OD-KSZTAŁCEN LOKALNYCH	OBLICZENIA STOPNIA WYCZERPANIA TRWAŁOŚCI
Błąd (pomiaru/obliczeń)				?

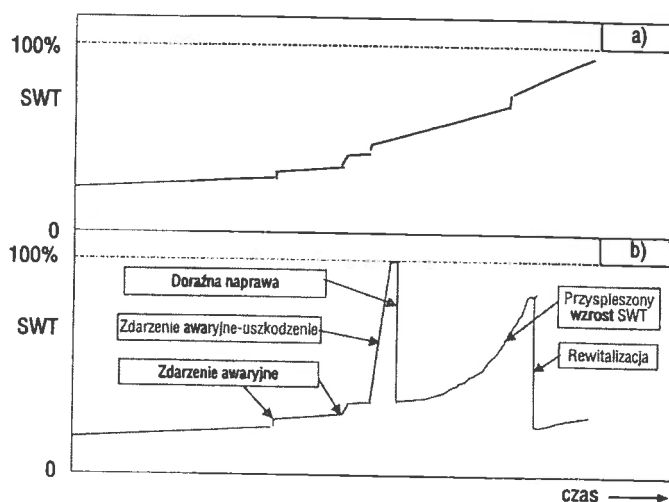
Monitorowanie eksploatacji — stopień przetworzenia informacji

Rys. 1. Schematyczna ilustracja związku między stopniem przetworzenia informacji o warunkach pracy metalu a błędem pomiaru/obliczeń

Nie wnikając w szczegóły koncepcji można stwierdzić, że nawet gdyby model był poprawny, to użyteczne dla praktyki wyniki obliczeń generowane przez weryfikowany algorytm pojawią się prawdopodobnie dopiero wtedy, gdy obiekt będzie dobiegał do końca swojego rezerwu.

W założeniu system powinno się traktować jako narzędzie dające nawet niespecjalistycznie syntetyczną informację o aktualnej kondycji technicznej obiektu. W rzeczywistości przydatność systemu ogranicza się na ogół do korzystania z części pomiarowo-rejestrującej, jeśli ta została wykonana w sposób opisany w punktach 1—3.

Wielkim — i wydaje się, że nie do rozwiązania — problemem jest niewiedza w odniesieniu do historii eksploatacji. Chodzi nie tylko o to, jak warunki pracy wpłynęły w przeszłości na kondycję techniczną elementu, ale też o to, jak w sposób ilościowy uwzględnić wpływ napraw, zmian konstrukcyjnych i rewitalizacji (rys. 2).



Rys. 2. Zmiany SWT w funkcji warunków eksploatacji (a) oraz zabiegów remontowych (b)

Blok energetyczny po modernizacji — dodatkowe wymagania dla diagnostyki materiałowej

W przypadku zmodernizowanych elementów bloku energetycznego, przeznaczonych do długotrwałej eksploatacji, nie wszystko można przewidzieć w fazie projektowania. Dochodzą bowiem typowe dla nowych elementów i urządzeń wady montażowe oraz materiałowe, które ujawniają się zwykle w czasie pierwszych 50 000—60 000 godzin eksploatacji. Dodatkowym elementem niekorzystnym jest — oczywisty w takim przypadku — brak doświadczenia zarówno na poziomie eksploatacji, badania, jak i naprawy. Niektóre informacje, będące w posiadaniu *Pro Novum*, wskazują, że zgodnie z aktualną tendencją użytkownik otrzymuje bardzo skąpą dokumentację.

Brakuje nie tylko danych materiałowych i technologii wykonania; często nie ma nawet dokładnych wymiarów, co oznacza, że użytkownik jest uzależniony od serwisu jednej firmy, mając niewielki wpływ na poziom techniczny i cenowy usługi. Znaczna liczba rozwiązań autorstwa wielu firm mocno utrudnia wymianę doświadczeń i standaryzację usług serwisowych.

Modernizacje kotłów i turbin — co rozumiałe — rodzą duże oczekiwania odnośnie do efektów ekonomicznych (szybki zwrot nakładów) oraz technicznych (dyspozycyjność, sprawność oraz dotrzymanie założonych parametrów) tych przedsięwzięć. Konsekwencją takich oczekiwań jest planowane wydłużenie okresów międzynarodowych oraz uzależnienie w niektórych przypadkach ich terminu i zakresu od aktualnego stanu technicznego urządzeń bloku energetycznego.

Z wyżej wymienionych względów powstają następujące uwarunkowania dla diagnostyki materiałowej:

- wzrasta rola wiedzy o historii eksploatacji elementów bloku oraz ich aktualnej i prognozowanej kondycji technicznej;
- pojawia się potrzeba monitorowania warunków pracy bloku w taki sposób i w takim zakresie, aby możliwe było operatywne weryfikowanie prognozy ze względu na założone warunki eksploatacji bloku;
- dużego znaczenia nabiera możliwość wykonywania w możliwie największym zakresie wyrwykowych badań kontrolnych, weryfikujących prognozy trwałości elementów obciążonych największymi błędami obliczeniowymi (np. termoszkokowe pękanie krawędzi otworów odpowietrzeń, odwodnień czy pod węzownice komór przegrzewaczy pary lub stan łopatek i uszczelnień przez otwory rewizyjne do badań endoskopowych).

Szczególnie ostre wymagania dotyczą zapewnienia bezpiecznej eksploatacji i odpowiednio wysokiej dyspozycyjności dla elementów starych, których czas pracy przekroczył 100 000 godzin eksploatacji. Dla zmodernizowanych bloków 200 MW oczekuje się, że powinny one przepracować następne 20–25 lat bez większych nakładów inwestycyjnych. Dotyczy to przede wszystkim walczaków, głównych rurociągów parowych, wirników oraz skraplaczy.

System diagnostyczny dla zmodernizowanych bloków energetycznych

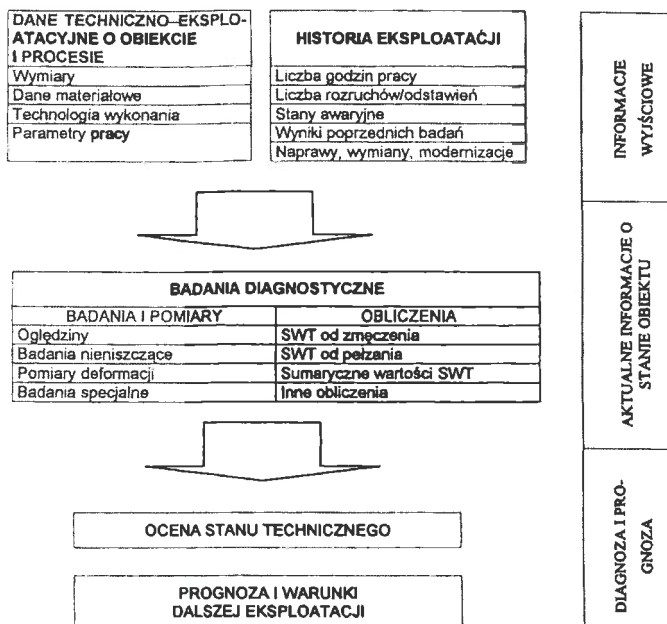
Schemat typowego systemu diagnostycznego przedstawiono na rysunku 3. Powstaje pytanie, w jakim zakresie powinien zostać on zmodyfikowany, aby w dających się przewidzieć warunkach eksploatacji bloków zmodernizowanych zachował swoją użyteczność? O co należy wzbogacić go bezwzględnie, a co ma znaczenie drugorzędne?

Postawione pytania i całe zagadnienie można uznać za względnie proste. Należy sądzić, że sposób przedstawiony na rysunku 4 nie powinien wywołać istotnych kontrowersji.

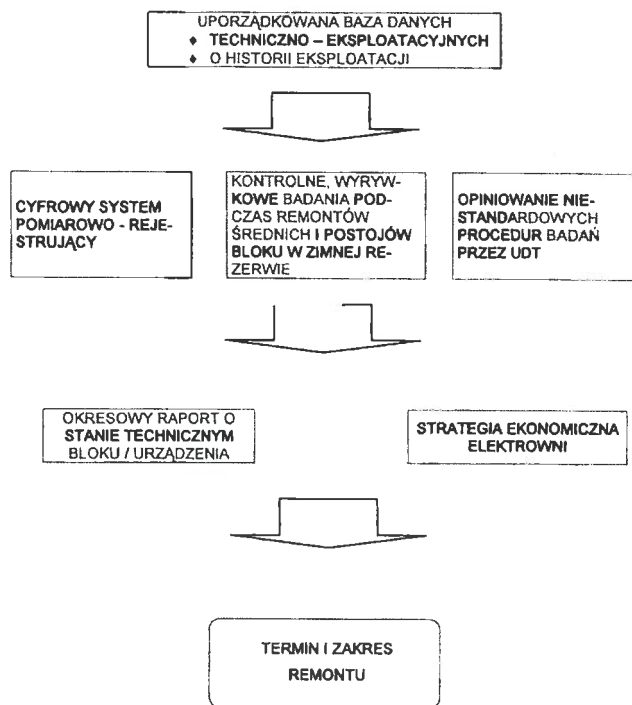
W remontach kapitalnych wystarczą metody dotychczas stosowane. Istotne znaczenie ma tylko możliwość odwołania się do dobrze uporządkowanych wyników wcześniejszych badań.

W okresach eksploatacji znaczenia nabiera możliwość kontroli i zapisu informacji charakteryzujących typowe stany eksploatacyjne wybranych elementów bloku. Prawie wszystkie modernizacje zawierały programy rozbudowania torów pomiarowych dla potrzeb nastawni, bloków ograniczeń termicznych, automatyki itp. Problem sprowadza się jedynie do weryfikacji lokalizacji i jakości pomiarów oraz do wdrożenia użytecznego sposobu rejestracji i archiwizacji danych.

Teoretycznie każdy sposób jest dobry, naprawdę użyteczne są jednak tylko te sposoby zapisu, które zawierają element selekcji i możliwość dobrej archiwizacji. Zapisów ciągłych nie da się na ogół przeanalizować przy sensownym nakładzie



Rys. 3. Schemat klasycznego diagnozowania bloku/urządzenia energetycznego



Rys. 4. Algorytm podejmowania decyzji o terminie i zakresie remontu oparty na aktualnym stanie technicznym bloku/urządzenia

środków, a zapisy wyrwykowe, jak wynika z ich charakteru, tylko częściowo charakteryzują proces.

Prowadzenie obliczeń stopnia wyczerpania trwałości (lub podobnych wskaźników degradacji materiału) w trybie *on line* uważamy za mało przydatne i ograniczające możliwości najlepszego korzystania z systemu. System powinien w odpowiedni sposób rejestrować proces i być otwarty dla wszystkich, którzy chcą powstałe zapisy analizować. Do użytkownika, inspektoratów Dozoru Technicznego i specjalistycznych firm powinien należeć wybór algorytmu obliczeń.

W systemie przedstawionym na rysunku 4 zaznaczono miejsce na obecność UDT. W przypadku wydłużenia okresów międzyremontowych i międzyrewizyjnych rola Urzędu Dozoru Technicznego, w sensie merytorycznym, prawdopodobnie wzrośnie i będzie nieco odmienna od obecnej. Pojawia się być może w szerszym niż obecnie zakresie procedury i decyzje niestandardowe, podejmowane przy współudziale firm specjalistycznych oraz specjalistów o dużej wiedzy i doświadczeniu. Będzie to następować przede wszystkim podczas wyrywkowych badań kontrolnych. Z uwagi na ich charakter (badania wizualne, ograniczony czas, utrudnione warunki badania, podejmowanie decyzji opartych na częściowej wiedzy, presja interesu ekonomicznego ze strony użytkownika itp.) kompetencje osób dokonujących badania i oceny będą szczególnie istotne.

Podsumowanie

Zakres modernizacji bloków o mocy 120 i 200 MW oraz oczekiwania użytkowników co do warunków ich dalszej eksploatacji stwarzają potrzebę dostosowania procedur i metod diagnostycznych do nowej sytuacji. Dotychczasowe doświadczenia diagnostyczne i eksploatacyjne oraz wysoki na ogół poziom prac remontowych i szeroki zakres badań towarzyszących modernizacji pozwalają zakładać, że dostosowanie obecnych systemów diagnostycznych nie powinno być przedsięwzięciem szczególnie złożonym.

Wydaje się, że nieodzowne będzie spełnienie wymienionych niżej warunków.

- ▶ Uporządkowanie informacji o historii eksploatacji krytycznych elementów bloku.
- ▶ Uruchomienie zapisu wybranych parametrów pracy bloku w sposób pozwalający na łatwe korzystanie ze zbiorów danych. Warunkiem wstępnym jest zweryfikowanie istniejącego systemu pomiarowego bloku pod kątem lokalizacji pomiarów i ich jakości. Baza zarchiwizowanych zapisów eksploatacji powinna mieć charakter otwarty, korzystać z niej powinni specjaliści, instytucje oraz firmy uprawnione przez użytkownika. Z tego względu ewentualne dalsze, mniej lub bardziej zaawansowane obliczenia należy wykonywać poza systemem pomiarowo-rejestrującym.
- ▶ Znacznie większy niż obecnie nacisk należy położyć na wyrywkowe, w ograniczonym zakresie, badania wykonywane podczas remontów średnich oraz postojów bloku w zimnej rezerwie.
- ▶ W zakresie badań i oceny elementów ciśnieniowych bloku należy oczekiwać wypracowania przez Urząd Dozoru Technicznego lub powstałych z jego inspiracji niestandardowych procedur postępowania, uwzględniających zarówno interes ekonomiczny użytkownika, jak i metody analizy dotychczas nie wykorzystywane w praktyce dozorowej.

proNovum

Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

Pro Novum — Katowice

UKD 621.165:.004.14

Kryteria oceny stanu wirników turbin parowych

Modernizacja jest obecnie jednym z najistotniejszych problemów w energetyce. Zamiana przestarzałego urządzenia na bardziej współczesne, sprawne, wymaga olbrzymich nakładów i nie może być wykonana w krótkim czasie. Tymczasem większość krajowych urządzeń energetycznych przekroczyła obliczeniowy czas pracy. Przedłużenie czasu ich pracy jest więc zadaniem bardzo aktualnym.

Kompleksowe badania krytycznych elementów turbin, których metal przez wiele lat kontaktował się z czynnikiem o temperaturze 510—540°C i ciśnieniu 11—14 MPa, wykazały możliwość przedłużenia ich czasu pracy do co najmniej 250 000 h. Przekroczenie tego czasu w razie konieczności powinno być oparte na sprawdzeniu rzeczywistego stanu metalu. W tym celu należy dysponować kryteriami pozwalającymi na dokonanie oceny ich stanu podczas okresowych badań diagnostycznych. Wyboru kryterium dokonuje się na podstawie znajomości procesów zachodzących w metalu wirników powodujących ich zużycie.

Przyczyny wyczerpania trwałości metalu wirników

Opierając się na doświadczeniach krajowych i zagranicznych zebranych w czasie wieloletniej eksploatacji można stwierdzić, że istnieją trzy przyczyny wyczerpania trwałości metalu wirników turbin:

- **obecność wady metalurgicznej lub innego pochodzenia (wady technologiczne);** w tym przypadku podczas wieloletniej eksploatacji istnieje możliwość pęknięć w pobliżu wady (koncentracja naprężenia) pod wpływem działania naprężeń eksploatacyjnych; ich rozprzestrzenianie się aż do wymiarów krytycznych może być przyczyną nagłego — kruchego rozerwania wirnika; są znane przypadki tego rodzaju uszkodzeń podczas wytrząsków po remoncie;

- **powstanie nieciągłości w metalu wirnika (wady eksploatacyjne)** wskutek działania naprężeń stałych i zmiennych w czasie eksploatacji; po określonym czasie pracy wymiary tych nieciągłości mogą osiągnąć wartości krytyczne;

- **zmiany struktury i własności metalu** wywołane wieloletnią pracą wirnika w temperaturach podwyższonych (powyżej temperatury granicznej).

Wady technologiczne

Ustalenie wymiarów wad w metalu, które przy normalnej pracy turbin nie spowodują katastrofalnego zniszczenia wirnika, opiera się na zasadach liniowej mechaniki pęknięcia z uwzględnieniem naprężeń eksploatacyjnych działających w okolicy wady.