

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. Pojawią 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 wyrwywkowych 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 wyrwykowe, 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 — kruchej rozerwania wirnika; są znane przypadki tego rodzaju uszkodzeń podczas wytrząsów 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 pękania z uwzględnieniem naprężeń eksploatacyjnych działających w okolicy wady.

Najbardziej niebezpieczne są wady w otworze centralnym lub w jego pobliżu, usytuowane w promieniowo-osiowej płaszczyźnie wirnika, w strefie pierwszych stopni pracujących w podwyższonych temperaturach.

Niekorzystnie na pracę wirników wpływają uruchomienia ze stanu zimnego, gdy powierzchnia otworu centralnego (zwłaszcza wirników SP) jest strefą najbardziej wyczerpaną, niedostatecznie nagrzaną, co powoduje, że materiał charakteryzuje wtedy podwyższona skłonność do kruchych uszkodzeń.

Krytyczne wymiary wady wewnętrznej okrągłej oraz wychodzących na powierzchnię otworu centralnego wad mających postać półelipsy (przy stosunku głębokości wady a do jej długości $2c$ wynoszącym 0,1—0,5) przedstawiono w tabeli 1 dla wirników turbin o mocy 200 MW, wykonanych z materiału P2MA wg skali WTJ. Z materiału tego wykonano większość wirników krajowych turbin o mocy 200 MW.

Tabela 1

Wirnik	Rodzaj uruchomienia	Temperatura na otworze, °C	Napężenie na otworze, MPa	Głębokość wady, mm		
				wewnętrznej okrągłej	powierzchniowej	
					$a/2c = 0,1$	$a/2c = 0,5$
WP	stan zimny	70—80	200—220	181	43	94
	stan ciepły	150	230—270	251	84	94
SP	stan zimny	70—80	290—300	57	16	39
	stan ciepły	150	350—400	75	15,4	54,2

Dla uruchomień ze stanu zimnego naprężenia są niższe od naprężeń przy uruchomieniach ze stanu ciepłego, lecz w tym pierwszym przypadku temperatura metalu jest niższa. Najmniejszy wymiar wady krytycznej występuje przy uruchomieniu ze stanu zimnego.

Kontrolę na obecność wad na powierzchni otworu centralnego oraz w jego pobliżu najlepiej jest wykonywać prądami wirowymi. Badaniom poddaje się wirniki, które przepracowały co najmniej 100 000 h, otwór do badań powinien być szlifowany honowany.

Wady eksploatacyjne (nieciągłości)

Wady te mogą być skutkiem procesów zmęczenia małowyciskowego, rzadziej pełzania. Dla najgorszych wytrzymałościowych własności metalu i najbardziej niekorzystnych warunków pracy wału wirnika wg CKTJ okres bezpiecznej eksploatacji może osiągnąć nawet 250 000 h. Określenie indywidualnego czasu pracy wirnika przekraczającego 250 000 h jest utrudnione z powodu braku pełnych i wiarygodnych danych wytrzymałościowych oraz informacji o warunkach dotychczasowej eksploatacji. Najbardziej niebezpieczne jest pojawienie się wzdłużnych pęknięć eksploatacyjnych na powierzchni otworu centralnego w strefie początkowych wysokotemperaturowych stopni.

Należy brać pod uwagę fakt, że w różnych strefach metalu mechanizm powstawania nieciągłości jest różny.

Pęknięcia spowodowane zmęczeniem małowyciskowym mogą pojawić się w rowkach cieplnych oraz na przejściu koła regulacyjnego w wał. W zależności od sposobu eksploatacji, pęknięcia tego typu o charakterze obwodowym mogą wystąpić już po przekroczeniu 100 000 h, najczęściej w strefach pracu-

jących w temperaturach powyżej 470°C (na tego rodzaju pęknięcia bardzo podatne są wirniki SP turbin TK200 i 213).

Uszkodzenia pełzaniowe występują najczęściej na obwodach kół roboczych w miejscach mocowania łopatek, zwłaszcza na łopatkach zamkowych.

Pęknięcia małowyciskowe biorą początek zawsze na powierzchni, natomiast pełzaniowe pod powierzchnią metalu.

Pęknięcia małowyciskowe najkorzystniej jest wykrywać metodą fluorodefektoskopową po dokładnym oczyszczeniu z tlenków badanej powierzchni. Najlepiej czynność tę połączyć z modernizacją, tj. zmianą przez rozłoczenie lub przeloczenie kształtu rowków i przejść koła w wał. Taką modernizację należy wykonywać po 100 000 h pracy lub po 600 uruchomieniach.

Jak już wspomniano, przyczyną katastrofalnego zniszczenia wirnika mogą być jedynie pęknięcia o wymiarach krytycznych, występujące na powierzchni otworu centralnego.

Zmiany strukturalne

Badania laboratoryjne i eksploatacyjne wykazały, że zmiany strukturalne w metalu zachodzą stopniowo. Do przepracowania pierwszych 50 000 h zachodzi stabilizacja struktury i w tym czasie można zauważyć nieznaczoną sferoidyzację bez zmiany wielkości ziaren.

W stali P2MA oprócz tego można zauważyć przejścia pierwiastków stopowych z roztworu w węgliki. Okres ten już charakteryzuje się obniżeniem wytrzymałości przy niezmienionej plastyczności i udarności. Stopień obniżenia własności mechanicznych R_e , R_m , HB zależy od wartości wyjściowych i w zasadzie waha się w granicach 0—20%. Dalsza eksploatacja, co najmniej do 200 000 h, nie powoduje żadnych istotnych zmian w strukturze i wytrzymałości stali. Przekroczenie 250 000 h może spowodować już koagulację węglików, pełną sferoidyzację bainitu, a w dalszym stadium nawet wtórną rekrytalizację. W momencie rozwoju rekrytalizacji własności wytrzymałościowe stali obniżają się, w wyniku czego może dojść do odkształcenia wirnika w strefie maksymalnych temperatur. Kryterium oceny stanu metalu na początku rekrytalizacji (gdy własności metalu są jeszcze zgodne z wymaganiami) jest stopień sferoidyzacji bainitu (repliki) oraz twardość HB na pierwszym kole wirnika. HB_{min} dla stali P2 i P2MA wynosi 180.

Zalecane częstotliwości, zakres i miejsca badań wirników podano w tabeli 2.

Tabela 2

Zalecane:	Wady technologiczne	Nieciągłości eksploatacyjne	Zmiany własności
Kryteria	wymiary wad mniejsze od dopuszczalnych	brak pęknięć	twardość powyżej 180 HB, stopień sferoidyzacji
Strefy kontroli	otwór centralny i w jego pobliżu	otwór centralny, rowki cieplne, przejścia 1. koła w wał	1. koło robocze
Metody kontroli	wiropędowo, endoskop	przeloczenie i badania fluoropenetracyjne	twardościomierz, replika
Częstość kontroli	po 100 000 h, po wykryciu wady poniżej dopuszczalnej, każdy element	po 100 000 h, a po 150 000 h każdy kapitalny remont	po 150 000 h i następnie każdy kapitalny remont

Podsumowanie

Określenie dalszej przydatności eksploatacyjnej jest istotne dla elementów krytycznych turbiny, tj. kadłubów i wirników. Trwałość tych elementów zależy od procesów zachodzących w miejscach najbardziej wyężonych — konstrukcyjnych spiętrzeniach naprężenia. W przypadku wirników WP i SP dotyczy to otworu centralnego, rowków cieplnych, przejścia wału w koło robocze oraz wrębów łopatkowych umiejscowionych w strefach wysokich temperatur ($t > 470^{\circ}\text{C}$). Wyczerpanie przydatności kończy się zmianami w mikrostrukturze, a w konsekwencji obniżeniem odporności metalu na odkształcenia oraz powstawaniem i rozprzestrzenianiem się pęknięć.

Koncepcja oceny stanu oparta na pomiarach rozkładu temperatur, liczbie uruchomień, a następnie na obliczeniach daje wyniki dalekie od orientacyjnych z wielu powodów, z których najistotniejsze to:

- pomiary brane do obliczeń nie były prowadzone od początku eksploatacji urządzenia;
- warunki pracy przed wprowadzeniem pomiarów mogły być różne, a tym samym mogły wystąpić różne nieznanne naprężenia, których nie wzięto pod uwagę w obliczeniach;
- dane katalogowe własności wytrzymałościowych są podawane dla krótkich czasów i z dużym rozrzutem (np. dla pełzania $\pm 20\%$, a dla zmęczenia jeszcze więcej);
- sumowanie się procesów pełzania i zmęczenia nie zawsze ma charakter liniowy.

Pozwala to jedynie na obliczenia bardzo przybliżone — orientacyjne.

Okresowe usuwanie warstw powierzchniowych niemal całkowicie likwiduje ślady zmian w metalu, wywołanych w dotychczasowej eksploatacji wirników. Analogiczna sytuacja występuje przy częściowym lub pełnym usuwaniu objętości

metal z pęknięciami i następnie zaspawaniu powstałych ubytków w kadłubach.

Wymienione sposoby, stosowane powszechnie w energetyce światowej, są uważane jako środki przedłużające trwałość. Wg WTJ powinny być stosowane dla wirników turbin o mocy 120 i 200 MW po przekroczeniu 150 000 h lub w przypadku wcześniejszego wykrycia pęknięcia obwodowego. Po przetoczeniu ubytek powierzchni przekroju wału nie powinien przekraczać 2%.

Proces przedłużania trwałości ma charakter dyskretny, zależny od okresu międzyremontowego. Istnieje głęboki związek między trwałością a okresem międzyremontowym, który jest istotnym czynnikiem gwarantującym niezawodność ocenianych elementów.

Bardzo istotnymi czynnikami wpływającymi na powstawanie pęknięć są liczba i sposób wykonywanych prób wytrzymałości (nadobrotu). Wskazane jest, aby tego rodzaju próby wykonywać na nagrzanym wirniku, co najmniej po 70 godzinach od uruchomienia ze stanu zimnego.

LITERATURA

- [1] Czeratzki J., Lang: Ermittlung der Lebensdauer von Dampfturbine. *VGB* 1989, nr 10
- [2] Dobosiewicz J.: Zmęczenie cieplne wirników turbin parowych. *Energetyka* 1977, nr 3
- [3] VGB — Richtlinie R.512M
- [4] Evald J., Mühle E. E.: Remaining Life Evaluation Measures of Turbines International conference, Hague 1988
- [5] Dobosiewicz J., Grzesiczek E.: Odporność na kruche pęknięcie wirników generatorów. *Energetyka* 1997, nr 3

proNovum

Dr Wojciech Brunné

Pro Novum — Katowice

UKD 621.644.3:621.311.2

Stały nadzór nad stanem rurociągów wysokoprężnych w elektrowniach i elektrociepłowniach

Rurociągi wysokoprężne (pary świeżej, pary wtórnie przegrzanej, pary do wtórnego przegrzewu i wody zasilającej) są elementami, których niesprawność może powodować długotrwałe przestoje podstawowych urządzeń oraz zagrażać bezpieczeństwu obsługi. W elektrowniach i elektrociepłowniach pracujących w układzie kolektorowym, ze względu na często bardziej złożony układ przestrzenny rurociągów, problem ten jest jeszcze bardziej poważny niż w przypadku układów blokowych.

Coraz wyższe moce jednostkowe kotłów pociągają ze sobą wyższe parametry pracy rurociągów, zwiększanie się ich średnic oraz wydłużanie tras. Powoduje to, że rosną bezwzględne wartości obciążeń i przemieszczeń cieplnych rurociągów. Zwiększa to wymagania odnośnie do stanu metalu,

zamocowań oraz izolacji rurociągów. Ponadto, obecnie w eksploatacji znajduje się znaczna liczba rurociągów, do których nie ma dokumentacji, a zatem i danych dotyczących:

- obliczeń wytrzymałościowych,
- charakterystyk zamocowań i ich regulacji,
- przemieszczeń cieplnych.

Rurociąg lub system rurociągów, który chcemy poddać stałemu nadzorowi powinien posiadać dokumentację techniczną, a zatem powinny być znane:

- poziom naprężeń dopuszczalnych,
- minimalna dopuszczalna grubość ścianki,
- przemieszczenia cieplne,
- reakcje zamocowań.