

### 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 (nadobrot). 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 — Richtlinien 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.

Ponadto stały nadzór wymaga znajomości stanu technicznego rurociągu, czyli powinna być przeprowadzona pełna ocena stanu technicznego [1].

Dla rurociągów nie posiadających pełnej dokumentacji technicznej oraz instrukcji eksploatacji należy przeprowadzić ich inwentaryzację i na tej podstawie wykonać obliczenia konstrukcyjne.

### Cel i zakres stałego nadzoru

Celem stałego nadzoru nad stanem rurociągów jest zapewnienie ich sprawności technicznej oraz bezpiecznej pracy ludzi i urządzeń technicznych.

Stały nadzór powinien obejmować [2]:

- bieżącą obsługę i konserwację,
- okresowe przeglądy i pomiary wraz z regulacją zamocowań,
- pomiary przemieszczeń cieplnych rurociągów,
- drobne naprawy i remonty.

Podstawą prowadzenia profilaktyki jest znajomość trasy rurociągu oraz zakresów przemieszczeń poszczególnych punktów podparcia i działających w nich sił.

### Częstość stałego nadzoru

- 0 Czynności obsługi wymienione w podrozdziale „Bieżąca obsługa i konserwacja” powinny być wykonywane na bieżąco, przynajmniej po każdym uruchomieniu i zatrzymaniu.
- 0 Przeglądy i pomiary okresowe (wymienione w podrozdziale „Okresowe przeglądy i pomiary”, z wyjątkiem pozycji ostatniej) należy wykonać w odstępach 6-miesięcznych.
- 0 Regulację zawieszonych wykonuje się po każdym remoncie rurociągu, a także po naprawie uszkodzeń zawieszonych.

### Krótką charakterystyką stałego nadzoru

#### Ogłędziny

Jedną z podstawowych czynności wchodzącą w skład okresowych przeglądów są ogłędziny. Prześledzenie całej trasy rurociągu daje odpowiedź na wiele pytań o aktualnym stanie rurociągu, tj.:

- czy nie nastąpiło uszkodzenie elementu rurociągu, izolacji lub wskaźników pomiarowych przemieszczeń,
- czy podpora stała lub przesuwana przylega do podłoża na całej powierzchni,
- czy rurociąg może się swobodnie przemieszczać w projektowym i rzeczywistym zakresie,
- czy nie nastąpiło zerwanie cięgna w zawieszeniu,
- czy obejmę rurociągu, belki wsporcze i uchwyty cięgien nie są uszkodzone (pęknięte i wagięte),
- czy ugięcia robocze sprężyn obydwu cięgien zawieszenia dwucięgnowego są jednakowe,
- czy sprężyny lub cięgna ocierają się o rurociąg, elementy konstrukcyjne albo są zdeformowane [3].

#### Bieżąca obsługa i konserwacja

Jedną z podstawowych składowych stałego nadzoru jest bieżąca obsługa i konserwacja rurociągów prowadzona przez służby eksploatacji i utrzymania ruchu. Głównymi kierunkami działań w tej grupie są:

- przestrzeganie instrukcji eksploatacji rurociągów;

- wizualna kontrola rurociągu i stanu zamocowań, w tym sprawdzenie:
  - spadków poszczególnych poziomów odcinków rurociągu w kierunku przepływu czynnika,
  - swobody przesuwu rurociągu we wszystkich trzech kierunkach ( $x$  — wzdłuż osi kotła;  $y$  — poziomo, prostopadle do  $x$ ;  $z$  — pionowo),
  - czystości zespołów sprężynowych wszystkich zawieszonych,
  - stanu zawieszonych i podparć (np. deformacje elementów, brak napięcia sprężyn, zerwanie uchwytów, zablokowanie sprężyn itp.),
  - zwolnienia blokad zespołów sprężynowych,
  - położenia roboczych zespołów sprężynowych w normalnym zakresie pracy,
  - czy elementy zawieszonych nie są blokowane o sąsiednie rurociągi lub elementy konstrukcyjne;
- informowanie służb remontowych o zauważonych usterek oraz prowadzenie podczas eksploatacji ewidencji uszkodzeń lub stwierdzonych usterek.

#### Okresowe przeglądy i pomiary

Drugą, główną dziedziną prac, które należą do stałego nadzoru stanowią:

- ◆ ogłędziny zewnętrzne rurociągu wraz z elementami zawieszonych i podparć,
  - ◆ usuwanie obcych elementów stałych i nagromadzonego pyłu z elementów sprężystych, a zwłaszcza stałosilowych,
  - ◆ smarowanie łożysk w przegubach zawieszonych stałosilowych,
  - ◆ kontrola wyregulowania (nastaw) zawieszonych stałosilowych,
  - ◆ pomiary przemieszczeń rurociągu w miesiącach zawieszonych i podparć,
  - ◆ pomiary ugięcia roboczego sprężyn zawieszonych sprężynowych jedno- i dwucięgnowych,
  - ◆ pomiary sił w cięgnach zawieszonych rurociągu, (wymienione prace powinny być prowadzone przez uznane laboratoria i służby remontowe)
  - ◆ usunięcie stwierdzonych usterek mechanicznych,
  - ◆ regulacja zawieszonych w stanie zimnym rurociągu,
  - ◆ regulacja zawieszonych w stanie roboczym rurociągu.
- Usuwanie usterek i regulację powinny prowadzić służby remontowe pod nadzorem specjalistycznych firm.

#### Kontrola nastaw zawieszonych sprężynowych stałosilowych

Stałosilowe zawieszona sprężynowe są regulowane przez producenta na specjalnych stanowiskach kontrolnych. Regulacja na rurociągu jest bardzo problematyczna. Dla tego typu zamocowań bardzo ważna jest okresowa konserwacja i sprawdzenie czy zamocowanie pracuje w zakresie przewidzianym w dokumentacji.

#### Pomiar reakcji zamocowań

Pomiar ten można wykonywać metodami bezpośrednimi za pomocą dynamometrów i tensometrów lub pośrednimi, tj. na podstawie znajomości charakterystyki sprężyn oraz pomiaru ich wysokości i porównania z danymi projektowymi. Z reguły w dokumentacji projektowej rurociągów dla określonego zamocowania są podawane wysokości sprężyn w stanach zimnym i gorącym [4, 5].

Regulacja zamocowań

Regulację zamocowań prowadzi się w przypadku, gdy zmienione reakcje odbiegają znacznie ( $>10\%$ ) od wartości reakcji przewidzianych w dokumentacji technicznej. Regulując zawieszenia należy sprawdzać, jak proces ten wpływa na sąsiednie zamocowania i na przebieg samego rurociągu.

**Pomiar przemieszczeń rurociągów**

W celu kontroli stabilności pracy i ewentualnych skutków zmian systemu zamocowań głównych rurociągów parowych sprawdza się wartość i kierunek przemieszczeń rurociągów pary świeżej i pary wtórnie przegrzanej, między ustabilizowanym stanem zimnym a gorącym. Uzyskane z bezpośrednich pomiarów wyniki przemieszczeń porównuje się z wartościami obliczonymi w celu wyznaczenia histerezy przemieszczeń [6].

**Podsumowanie**

Proponowany, diagnostyczny stały nadzór nad stanem technicznym rurociągów wysokoprężnych, którego podstawo-

wą cechą jest jego kompleksowość i systematyczność działań, pozwala na utrzymanie pełnej sprawności technicznej rurociągów. Dodatkową korzyścią stałego nadzoru jest krótko- i długoterminowa profilaktyka, co zwiększa bezpieczeństwo pracy i pozwala na dokładne opracowanie planu niezbędnych remontów.

**LITERATURA**

- [1] Dobosiewicz J., Brunné W.: Ocena stanu technicznego głównych rurociągów parowych bloków energetycznych. *Energetyka* 1999, nr 3
- [2] Brunné W.: Wytyczne nadzoru stanu głównych rurociągów elektrowni. *Energetyka* 1996, nr 5
- [3] Dobosiewicz J.: Wytyczne oceny stanu zamocowań głównych rurociągów bloków energetycznych. *Energetyka* 1994, nr 7
- [4] Brunné W.: Badania rzeczywistej reakcji zamocowań głównych rurociągów parowych. *Energetyka* 1993, nr 12
- [5] Kuśmierski P., Szczygielski M.: Stan zamocowań głównych rurociągów parowych bloków o mocy 200 MW. *Energetyka* 1996, nr 5
- [6] Dobosiewicz J.: Pomiar przemieszczeń ciepłych głównych rurociągów parowych. *Energetyka* 1991, nr 8

proNovum

Dr Wojciech Brunné, mgr inż. Jacek Gołka, mgr inż. Janusz Haliński

Pro Novum — Katowice

Geopomiar — Mikołów

UKD 528.48:621.644.3:621.311.2

## Geodezyjny pomiar przemieszczeń ciepłych rurociągów wysokoprężnych w elektrowniach i elektrociepłowniach

Prace nad przedłużeniem trwałości i zapewnieniem niezawodności bloków energetycznych oraz wydłużeniem okresu międzyremontowego muszą być poprzedzone oceną stanu elementów krytycznych bloku, do których między innymi należą rurociągi wysokoprężne. W ocenie stanu tych rurociągów istotne jest oszacowanie przemieszczeń ciepłych, spadów montażowych i pracy zamocowań, które decydują o łącznych naprężeniach w ściankach rurociągów [1]. W ostatnich kilkunastu latach są prowadzone liczne próby obiektywnego, niezawodnego i bezpiecznego sposobu pomiaru przemieszczeń ciepłych rurociągów wysokoprężnych. W artykule przedstawiono sposób oceny przemieszczeń ciepłych rurociągów metodą geodezyjną. Z dotychczasowych doświadczeń firmy Pro Novum wynika, że jest to metoda uniwersalna, do zastosowania zarówno dla rurociągów pracujących w układzie blokowym, jak i kolektorowym.

### Niegeodezyjne techniki pomiarowe przemieszczeń ciepłych rurociągów

Niegeodezyjne metody pomiarów pomieszczeń polegają głównie na pomiarze przemieszczeń określonego punktu na rurociągu w stosunku do umieszczonego nieruchomo indeksu. Pomiary te mogą być prowadzone bezpośrednio przez obserwatora przy użyciu przyziarni, mogą być również zastosowane czujniki mechaniczne bądź elektroniczne. Niewątpliwą zaletą tych pomiarów jest możliwość stałego śledzenia przemieszczeń rurociągu w czasie jego eksploatacji. Z doświadczenia wynika, że miejsca pomiarowe instaluje się na rurociągach jedynie sporadycznie. Stanowiska takie są sytuowane jedynie w miejscach dostępnych, które nie zawsze są optymalne dla pomiarów. Pozwalają one z reguły mierzyć tylko jedną składową

przemieszczeń rurociągu. Należy ponadto zwrócić uwagę, że w warunkach pracy rurociągu wszystkie pomiary, które wymagają dostępu do niego, są znacznie utrudnione lub wręcz niemożliwe do wykonania.

Na podstawie skąpego materiału pomiarowego trudno wnioskować o pracy rurociągu na całej jego długości. Ideałem byłoby zastosowanie systemu czujników rejestrujących zachowanie się rurociągu w przestrzeni XYZ, umiejscowionych w jego niewralgicznych miejscach. Połączenie ich z komputerem i wykorzystanie odpowiedniego oprogramowania pozwalałoby na ciągłą obserwację ich zachowania. Przemysłowe urządzenia do pomiaru przemieszczeń, oparte bądź na zmianie natężenia pola magnetycznego, bądź indukcji magnetycznej, z racji na „tło” w halach kotłowni czy maszynowni wymagają „ekranów” i systemu wsporników. Ten ostatni warunek