

Szanowni Państwo

Zaprezentowane w niniejszym Biuletynie Pro Novum artykuły zostały wygłoszone w postaci referatów na Sympozjum „Diagnostyka i remonty długo eksploatowanych urządzeń energetycznych” (Ustroń, Hotel „Belweder”, 1 – 3 października 2008 r.). Tegoroczne, dziejące już spotkanie odbywało się pod hasłem „Wydłużanie czasu pracy urządzeń energetycznych – szanse i ograniczenia”. Liczba wygłoszonych referatów, ich wysoki poziom oraz liczba uczestników przekraczająca znacznie liczbę miejsc w Hotelu „Belweder” świadczą, że tematyka Sympozjum okazała się interesująca i aktualna. Ostatnie wydarzenia w gospodarce, których dalszy przebieg trudno przewidzieć, wydają się w jeszcze większym stopniu niż w latach poprzednich ograniczać odbudowę i rozwój polskiej energetyki.

Długo eksploatowane urządzenia, które coraz większa liczba „ekspertów” od energetyki spisywała na szybką śmierć, mogą dać jeszcze szansę tym, którzy usiłują od 20 lat opracowywać realistyczny program dla polskiej energetyki. Modernizacja starych urządzeń oraz właściwe ich utrzymanie techniczne mogą o ok. 15 lat wydłużyć ich, pracę stwarzając politykom jeszcze jedną szansę na opracowanie sensownej strategii dla polskiej elektroenergetyki, a przede wszystkim nam, odbiorcom, zapewnić energię elektryczną i ciepło po rozsądnych cenach, bez potrzeby ogłaszania najwyższych stopni zasilania.

Redakcja Biuletynu Pro Novum

Jerzy Dobosiewicz

Problemy przedłużania eksploatacji urządzeń ciepłno-mechanicznych elektrowni

Projektowane w latach 50. i 60. urządzenia energetyczne (kotły, rurociągi, turbiny) z uwzględnieniem wytrzymałości czasowej i zmęczenia cyklicznego były oceniane na 10^6 h.

Po przekroczeniu tego czasu dostawcy urządzeń nie gwarantowali dotrzymania normatywnych plastycznych i wytrzymałościowych charakterystyk metalu, a tym samym i niezawodnej pracy urządzeń.

Wykonane badania laboratoryjne, zebrane doświadczenia eksploatacyjne oraz badania diagnostyczne wykazały, że własności metalu po przepracowaniu 10^6 h w sposób istotny nie uległy zmianie. W związku z tym zaczęto przedłużać okres eksploatacji w całej energetyce światowej.

W celu określenia możliwości dalszej eksploatacji opracowano w USA, Rosji, Niemczech oraz krajowej energetyce instrukcje badania i przedłużania trwałości. Pierwszym okresem trwałości był tzw. czas konstrukcyjny, który wynosił 100 000 h. Wg danych literaturowych (z 2000 r.) po 30 latach eksploatacji przekroczyło ten czas 42% urządzeń licząc wg mocy i 69% licząc wg ilości jednostek – obecnie są uwzględniane czasy obliczeniowe na 250 000 h i indywidualne przekraczające tą wartość.

Obecnie w *Texas Utilities Electric Company* eksploatowane są rurociągi uruchomione w 1950 r., to znaczy, że dotychczas przepracowały ponad $2,5 \times 10^6$ h, mimo że początkowo były liczone na 1×10^6 h.

Wg danych USA uważa się, że przy obliczeniowym, konstrukcyjnym czasie 30 – 40 lat istnieje możliwość eksploatacji

jednostek ponad 80 lat, a koszt czasu pracy jednostek energetycznych wynosi 20 – 30% kosztów budowy nowego urządzenia. Natomiast wg danych holenderskich opartych na doświadczeniu bez problemów można urządzenia eksploatować ponad 3×10^6 h, a większość jednostek przekroczyło już 2×10^6 h.

Oczywiście, że przedłużanie czasu pracy nie może być nieograniczone. Istnieje jakiś przedział czasu, który określa graniczny stan urządzenia, przy którym dalsza eksploatacja jest niedopuszczalna lub niecelowa.

Większość specjalistów uważa, że graniczny czas eksploatacji jest indywidualny i zależy od następujących czynników:

- nieuwzględnionych naprężeń własnych lub powstałych dodatkowo w czasie eksploatacji,
- rozkładu naprężeń stałych i zmiennych w poszczególnych miejscach demontażu,
- temperatury eksploatacji podwyższonej lub obniżonej w stosunku do obliczeniowej,
- rodzaju pracy jednostek – podstawowy lub szczytowy,
- początkowy okres obsługi związany z obiektywnymi i subiektywnymi czynnikami,
- wpływu środowiska, np. korozji,
- możliwości istnienia nieuwzględnionych w czasie projektowania mechanizmów niszczenia metalu, np. korozji naprężeniowej i zmęczeniowej),
- własności metalu różniących się od średnich podanych w normach.

W celu ustalenia czasu granicznego stanu metalu jednostek energetycznych należy określić zespół kryteriów oceny. Tego rodzaju kryteria zależą z kolei od warunków eksploatacji oraz mechanizmów uszkodzenia, które zależą od takich zjawisk, jak:

- pęczanie,
- zmęczenie,
- korozja,
- erozja

oraz ich różnorodnych kombinacji.

Dlatego należy:

- ocenić realnie – rzeczywiste warunki eksploatacji za cały okres wykorzystania urządzenia,
- wykonać ponowne obliczenia wytrzymałościowe na podstawie sprawdzonych danych eksploatacyjnych oraz rzeczywistych wymiarów,
- sprawdzić stan obecny wykorzystując badania diagnostyczne,
- zastosować badania diagnostyczne:
 - oględziny,
 - repliki,
 - ultradźwięk,
 - radiografia,
 - magnetyczne,
 - penetracyjne,
 - badania niszczące.
- ocenić stopień wyczerpania i postawić diagnozę, a następnie prognozę.

Na podstawie obliczeń i praktyki należy wytypować najbardziej wyczerpane części elementów krytycznych, a następnie ocenić ich stan badaniami diagnostycznymi.

Grubość ścianki niekoniecznie jest parametrem limitującym trwałość elementów (tab. 1). Na bloku istnieją różne grubościennne elementy, np. walczaki, komory, kadłuby, zawory szybkozamykające, których stopień wyczerpania trwałości przy tym samym czasie eksploatacji może być różny. Wyróżnia to szczególnie rurociągi wysokoprężne od wymienionych elementów ze względu na długość różnorodność kształtów poszczególnych części składowych (kształtki, kolana, kadłuby itp.), które nawet w granicach jednego rurociągu mogą mieć różne grubości. Dlatego tak istotne jest porównywanie obliczeniowych i rzeczywistych grubości ścianek, może to w sposób istotny zmienić dalszą przydatność.

Modne ostatnio są różnego rodzaju liczniki stopnia wyczerpania, jednakże są mało przydatne dla dokonania oceny przyrostu wyczerpania elementów grubościennych, albowiem:

- miejsca pomiaru parametrów, a szczególnie temperatury nie są miejscami krytycznymi,
- brak danych z okresu przed wprowadzeniem pomiarów,
- brak danych rzeczywistych dotyczących geometrii elementów, a tym samym panujących naprężeń.

Własności metalu i naprężeń odbiegające od podawanych w normach i użytych do obliczeń trwałości, a szczególnie od zmęczenia w środowisku agresywnym są mało przydatne, ponieważ reguły jednoczesnego działania i sumowania tych czynników na metal są bardzo złożone i niedostatecznie rozeznane.

Obecnie wiadomo, że zasada liniowego sumowania niszczenia jest niewłaściwa, albowiem rzeczywista zależność współdziałania wymienionych czynników jest bardzo złożona,

co obniża wiarygodność różnych programów oceny zużycia, szczególnie w przypadku występowania zmęczenia korozyjnego.

Określenie stanu zużycia po pewnym okresie eksploatacji umożliwia postawienie prognozy o dalszym niezawodnym czasie użytkowania, a zwłaszcza umożliwia ocenę ryzyka prawdopodobieństwa powstania uszkodzenia w tym okresie.

Duża część urządzeń energetycznych, bądź ich części, ulega uszkodzeniom na skutek działania niszczących zjawisk, które mają charakter deterministyczny. Jednak deterministyczne podejście nie jest wiarygodne z punktu widzenia analizy niezawodności. Dlatego celowe jest wprowadzanie metod oceny, która uwzględniałaby losowy charakter uszkodzeń eksploatacyjnych i konstrukcyjnych określonych przez odpowiednie rozkłady naprężeń i wytrzymałości. Jeżeli oba rozkłady są określone, to istnieje możliwość wyznaczania prawdopodobieństwa uszkodzenia elementu.

Dla takich urządzeń lub ich elementów można ustalić związek między intensywnością uszkodzeń (liczbą uszkodzeń) a ich stanem technicznym i okresem eksploatacji. Intensywność uszkodzeń określonych elementów urządzenia wyraża wzór:

$$H(\tau) = \frac{\Delta n}{N \Delta \tau} \geq 0 \quad (1)$$

gdzie:

Δn – liczba elementów uszkodzonych,

N – liczba elementów nieuszkodzonych w czasie τ .

Zależność liczby uszkodzeń od czasu eksploatacji, dla wielu rodzajów i typów uszkodzeń, charakteryzuje się określoną prawidłowością.

Ocenę ryzyka dalszej przydatności można ustalić na drodze statystycznej. Metody probabilistyczne znalazły duże zastosowanie w sektorze ubezpieczeniowym oraz w technice. Metoda oceny ryzyka składa się z zakresu (znaczenia) uszkodzenia oraz częstotliwości występowania zgodnie z poniższym wzorem:

$$R = S \cdot H \quad (2)$$

gdzie:

R – ryzyko,

S – zakres (znaczenie) uszkodzenia,

H – częstotliwość występowania.

Naprężenia i wytrzymałość w wyniku różnych grubości wynikających z tolerancji hutniczych mogą zachodzić na siebie w procesie degradacji. Ryzyko jest wynikiem różnicy częstości rozkładu naprężeń, a zakres bezpieczeństwa powstania uszkodzenia jest średnią wartością 1S. Pole między zachodzeniem na siebie częstości rozkładu obu parametrów – pole ryzyka – z czasem eksploatacji rośnie i jest niemożliwe ustalenie ściśle określonego czasu uszkodzenia.

Ponieważ częstotliwość uszkodzenia H ma charakter statystyczny, to R również staje się wielkością statystyczną. Ryzyko może być stosowane do całego urządzenia lub jego pojedynczych części (jak np. w kotle do komór), kiedy określane jest jednym procesem niszczenia (np. pęczaniem). Taki element należy traktować jako krytyczny dla całego urządzenia. Częstotliwość H powinna być oparta na znanych wartościach średnich, np. z literatury lub z doświadczenia personelu technicznego.

Najczęściej występują uszkodzenia korozyjne i korozyjno-naprężeniowe, jednak znaczenie ich skutków może być niskie. Mniejsze prawdopodobieństwo wystąpienia uszkodzeń można przypisać uszkodzeniom spowodowanym pełnieniem, ale ich skutki są groźne, gdyż tego rodzaju uszkodzenia są nienaprawialne, porażone elementy powinny być wymienione. W praktyce z powyższych względów do oceny ryzyka uszkodzenia bierze się pod uwagę degradację pełzaniową. Wszystkie uszkodzenia przyczyniają się do wzrostu awaryjności urządzenia.

Charakterystyka wzrostu jest zależna od rodzaju procesu niszczenia. Miarą procesu może być zależność od czasu i wartości naprężenia.

Przedsięwzięcie określonych czynności remontowych występuje w przypadku osiągnięcia granicy specjalnego nadzoru. Istnieje określona wielkość zmiany stanu Δs między granicą specjalnego nadzoru a granicą uszkodzenia, w którym czas pozwala na wykonanie wymaganych remontów czy modernizacji. Sprawdzanie stanu można wykonywać w sposób ciągły (parametry eksploatacyjne) z dużym przybliżeniem lub okresowym badaniem diagnostycznym.

W ramach dowolnego programu optymalizacji okresu eksploatacyjnego można stosować różne podejście dla kontynuacji eksploatacji bloku:

- totalna regeneracja, wykorzystanie pierwszego dłuższego postoju dla poprawienia remontu lub modernizacji elementów istotnych dla przedłużenia eksploatacji,
- stopniowa wymiana, naprawy, modernizacje zaplanowane w dłuższym okresie.

Powinny być opracowane projekty przedłużania i koncentracja na gromadzeniu danych dotyczących elementów krytycznych i wpływowych (tab. 1).

Tabela 1

Rodzaje typowych elementów składowych

Elementy krytyczne	Elementy wpływające
Wytwornica pary	
Walczaki Komory przegrzewaczy Komory ekranów Komory podgrzewacza wody Główne rurociągi parowe	Rury przegrzewaczy Rury parownika Gazociągi Odpylacze Układ transportu popiołu
Turbina	
Wirnik Zawory regulacyjne Komora zaworowa	Łopatki Skrzynki dyszowe Obudowa i korpusy
Generator	
Wał wirnika Uzwojenia stojana Izolacja stojana Kołpaki	Wzmocnienia uzwojenia stojana

Elementy krytyczne to takie:

- których awaria może zagrażać bezpieczeństwu elektrowni,
- które mogłyby spowodować długotrwały wymuszony postój,
- które wymagają długiego czasu produkcji,
- którego naprawa lub wymiana pociąga za sobą znaczne koszty.

Elementy wpływowe to takie:

- których awaria nie spowoduje długotrwałego postoju,
- którego awaria nie zagraża bezpieczeństwu elektrowni,
- który jest charakterystyczny dla danego bloku.

Kluczem do oceny pozostałego okresu eksploatacyjnego jest ocenianie stanu elementu. W ramach tego podejścia należy stopniowo przeprowadzać kolejne oceny, gdy dany element nie wykazuje pożądanego okresu trwałości wg uprzednio opracowanych kryteriów oceny.

Wszelkiego rodzaju oceny pozostałego okresu eksploatacyjnego wymagają znajomości:

- stopnia aktualnego uszkodzenia elementu,
- prędkości narastania uszkodzeń,
- stopnia uszkodzenia niezbędnego dla spowodowania awarii.

Analizy trwałości muszą dostarczyć następujących danych:

- szacunkowe oceny trwałości,
- parametry eksploatacyjne, które należy kontrolować lub ograniczyć,
- zalecana data wymiany,
- stopień ryzyka wystąpienia uszkodzenia.

W ramach wszystkich działań nad przedłużeniem okresu eksploatacyjnego istnieje konieczność opracowania systemu wspomagającego podejmowanie decyzji.

System ten powinien:

- gromadzić informacje o trwałości resztkowej,
- zapewnić strukturę gromadzenia danych,
- umożliwić opracowanie harmonogramu realizacji zadań obejmujących:
 - kontrole,
 - badania,
 - naprawy,
 - wymiany,
- opracować obliczenia kosztów przedłużonej eksploatacji (paliwo, wymiana itp.).

Programy przedłużania okresu trwałości nie są wolne od ryzyka i wymagają:

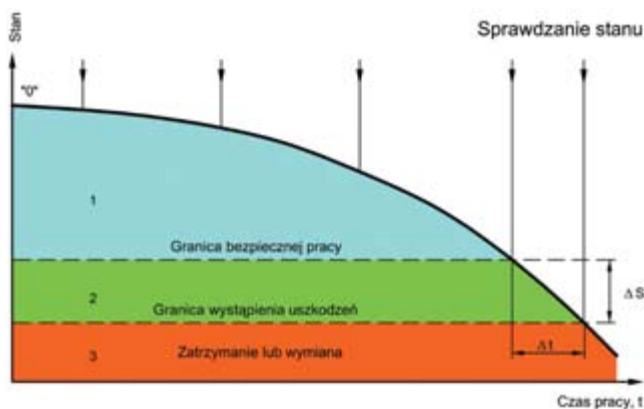
- analizy ekonomicznej – spodziewane powstanie kosztów w przyszłości,
- utrzymania odpowiedniego poziomu dyspozycyjności,
- rozważenia aspektów związanych z przepisami prawnymi – brak ewentualnej zgodności z wymaganiami środowiska.

Podsumowanie

Obliczone wartości stopnia wyczerpania i ryzyka powstania uszkodzenia w okresie międzyremontowym nie są dokładne i mieszczą się w pasmie rozrzutu o szerokości $\pm 20\%$. Wynika to z danych materiałowych znajdujących się w odpowiednich normach oraz stosowanych do obliczeń metod probabilistycznych. Wobec powyższego wskazane jest sprawdzenie stanu urządzenia przez wykonanie badań diagnostycznych. Dlatego elementy oceniane powinny być poddane przeglądom i badaniom nieniszczącym.

Dane	Poziom I ryzyko $R < 4$	Poziom II $4 < R < 6$	Poziom III $6 < R < 7$
Historia eksploatacji	zapisy i protokoły elektrowni	zapisy i protokoły elektrowni	zapisy i protokoły elektrowni
Wymiary	nominalne	pomierzone lub nominalne	pomierzone
Stan techniczny	nominalne	wyniki kontroli	wyniki szczegółowej kontroli
Temperatury i ciśnienia	projektowe	eksploatacyjne	pomierzone
Naprężenia	projektowe	proste obliczenia	złożone analizy
Własności materiałowe R_z	minimum wg normy	minimum wg normy	własności rzeczywiste
Pobór próbek	nie	nie	tak

Zakresy stosowanych przeglądów pomiarów i badań koniecznych dla dokonania wiarygodnej oceny stanu w zależności od poziomu ryzyka podano w tabeli 2 oraz na rysunku 1.



Rys. 1. Stan techniczny urządzenia w funkcji czasu eksploatacji

Ogólne zasady kontroli stanu:

- 1 – poziom bezpiecznej pracy (stan eksploatacyjny),
- 2 – poziom wystąpienia uszkodzeń, 3 – poziom wymiany,
- Δt – czas, w którym należy przygotować wymianę
- Δs – stan sygnalizujący o konieczności dokonania wymiany

Uwagi

Jeżeli trwałość jednego z elementów jest wyczerpana w czasie krótszym niż spodziewany obliczeniowy dopuszczalny czas pracy dla całego urządzenia, to najekonomiczniej będzie wymienić ten element na identyczny lub naprawić (rewitalizacja) pod warunkiem, że naprawa jest możliwa, a jej realizacja przedłuży czas co najmniej do wartości oczekiwanej.

Wymiana elementów na nowe powinna być stosowana wtedy, gdy elementów tych jest dużo. Naprawa jest opłacalna, jeżeli wymagane koszty naprawy są mniejsze od kosztów elementu nowego, a trwałość elementu naprawianego nie skróci trwałości oczekiwanej całego urządzenia.

Większą trwałość i sprawność całego urządzenia może zapewnić zastosowanie lepszych materiałów, nowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologii. Ma to sens wtedy, gdy trwałości pozostałych niewymienionych lub zmodernizowanych elementów są na tyle korzystne, że całe urządzenie będzie można eksploatować tak długo, aż zmodernizowany zostanie amortyzowany. Jeżeli wyczerpanie trwałości jednego elementu jest jednym lub jednym z wielu powodów rozważania jego wymiany totalna wymiana może być poprzedzona oceną pozostałych elementów urządzeń. Jest ona podstawą do podjęcia decyzji o celowości takiej operacji.

Jerzy Trzeszczyński

Zdalne systemy diagnostyczne do oceny stanu technicznego urządzeń ciepło-mechanicznych elektrowni w czasie rzeczywistym

System diagnostyczny to proces złożony z logicznie ze sobą powiązanych i wykonywanych w odpowiednim czasie procedur, wykorzystujących odpowiednio dobrane metody badań, obliczeń i interpretacji wyników. Diagnostyka jest jedną z dziedzin utrzymania technicznego urządzeń, co oznacza, że występuje w pewnym otoczeniu posiadając z nim określone relacje. Proces, jakim jest diagnostyka oraz relacje z jej otoczeniem mogą być – jak prawie zawsze dotychczas – realizowane tradycyjnie, „ręcznie” oraz automatycznie z wykorzystaniem odpowiedniego oprogramowania.

Uwzględniając fakt, że – najogólniej biorąc – diagnostyka to:

- badania i pomiary,
 - interpretacja wyników badań i pomiarów,
- „diagnostyka jest tam”, gdzie powstaje diagnoza, prognoza i zalecenia eksploatacyjne [1]. Dane wyjściowe można importować praktycznie w dowolny sposób pod warunkiem, że ich format został ujednoczony oraz że są kompletne ze względu na przyjętą metodykę.