

Krystyna DYSZLEWKA
Instytut Techniki Ciepłej, Łódź

AKUSTYCZNY SYSTEM NADZORU SZCZELNOŚCI KOTŁA – DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACYJNE

Streszczenie. Przedstawiono ogólną koncepcję nadzoru szczelności kotła. Przeanalizowano możliwość oceny stanu technicznego powierzchni ogrzewalnej kotła na podstawie sygnału akustycznego. Opisano system diagnostyczny zainstalowany i eksploatowany w EC-3 Łódź.

ACOUSTIC SYSTEM FOR INSPECTING THE BOILER TIGHTNESS OPERATIONAL EXPERIENCES

Summary. General conception of inspecting the boiler tightness has been presented. Possibility of evaluation of the technical state of a boiler heating surface on the ground of an acoustic signal has been analysed. Diagnostic system, which is installed and operated in heating power station EC-3 in Łódź has been described.

АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НАДЗОРА ГЕРМЕТИЧНОСТИ И КOTЛA. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОПЫТЫ

Резюме. Представлено общую концепцию надзора герметичности котла. Проанализировано возможности оценки технического состояния испарительной поверхности нагрева котла на основании акустического сигнала. Описано диагностический систем, который установлен и эксплуатирован в ТЭЦ-3 Лодз.

1. WSTĘP

W energetyce pewność działania urządzeń oraz skrócenie przestojów powaryjnych mają duże znaczenie ekonomiczne. Do grupy zagadnień niezawodnościowych należy problem wczesnego wykrycia nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotła (podgrzewacza wody i przegrzewacza pary). Nieszczelność w pierwszej fazie stanowi otwór lub szczelinę o przekroju 1 mm. Wpły-

wające pod znacznym ciśnieniem woda i para powodują nie tylko powiększenie szczeliny, ale także erozję sąsiednich rurek. Proces zaczyna przebiegać w sposób lawinowy, a zniszczenia wtórne wiążą się ze znacznymi uszkodzeniami powierzchni ogrzewalnej kotła.

Opracowany w Instytucie Techniki Ciepłej w Łodzi system wczesnego wykrywania nieszczelności umożliwia:

- a) obniżenie kosztów napraw poawaryjnych poprzez ograniczenie zniszczeń wtórnych kotła,
- b) skrócenie poawaryjnego postoju kotła,
- c) określenie rejonu wystąpienia nieszczelności na podstawie analizy sygnału akustycznego,
- d) określenie rodzaju uszkodzenia (pierwotne lub wtórne) oraz wybranie najkorzystniejszego czasu odstawienia kotła.

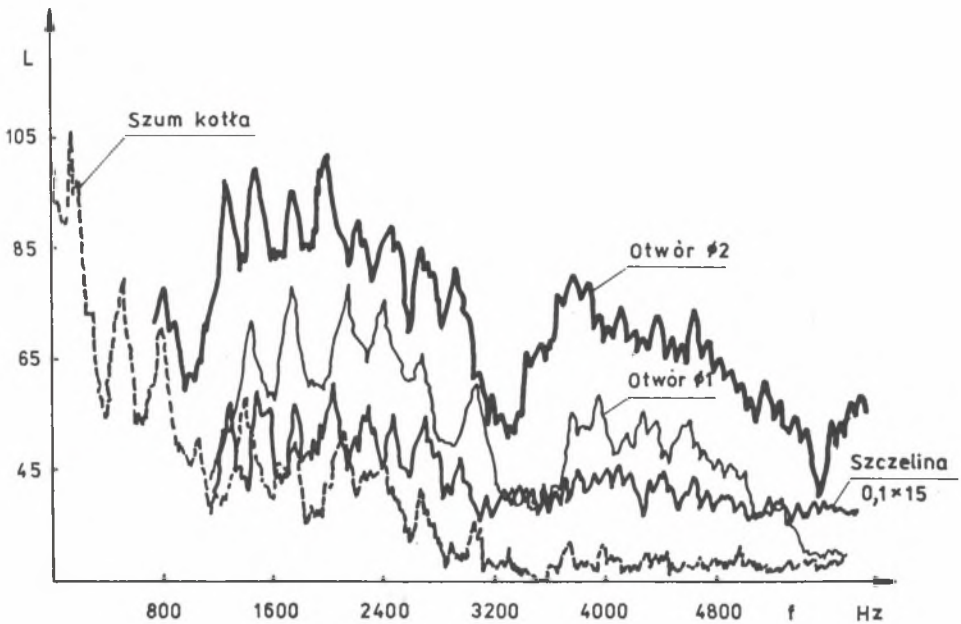
2. IDENTYFIKACJA NIESZCZELNOŚCI METODĄ AKUSTYCZNĄ

Problem wczesnego wykrywania przecieków polega na znalezieniu odpowiedzi na pytanie, czy w sygnale akustycznym emitowanym wewnątrz kotła istnieją cechy umożliwiające wykrycie i ocenę stanu powierzchni ogrzewalnej. Chodzi przede wszystkim o jednoznaczne określenie na podstawie wybranej cechy sygnału akustycznego chwili pojawienia się nieszczelności w warunkach eksploatacyjnych kotła, tj. niezależnie od poziomu jego szumu własnego. Drugi warunek skutecznego działania wybranej estymaty sygnału akustycznego powinien umożliwić rozpoznanie nieszczelności praktycznie niezależnie od miejsca wystąpienia.

Fala akustyczna występująca wewnątrz kotła w czasie awarii powstaje na skutek wypływu czynnika, z nagłym rozszerzeniem przekroju. Generacja sygnału diagnostycznego, związanego z wypływem pary przez otwór, w obszarze wewnętrznym kotła jest typowym zjawiskiem aerodynamicznym. Widmo hałasu jest szerokopasmowe i powstaje na skutek nałożenia się dwóch szumów:

- szumu tła, wywołanego normalną pracą kotła (szum spalania, praca wentylatorów i innych urządzeń pomocniczych),
- szumu wywołanego wypływem czynnika roboczego z uszkodzonej rurki.

Analizę sygnału można przeprowadzić wykorzystując podstawowe zależności rachunku prawdopodobieństwa i analizy widmowej. Wybór estymaty oraz parametrów przecieku poprzedzono licznymi próbami symulacyjnymi w warunkach ruchowych i laboratoryjnych. Wyboru estymat przecieku dokonano korzystając z wyraźnych i jednoznacznych cech sygnału diagnostycznego przy stosunkowo łatwym sposobie ich uzyskania. Porównując widmo szumu kotła sprawnego z widmem z symulowaną nieszczelnością (rys. 1), łatwo daje się zauważyć zmianę amplitudowo–częstotliwościowej postaci widma.



Rys. 1. Wpływ wystąpienia nieszczelności kotła OP-230 na zmianę amplitudową postaci widma

Fig. 1. Influence of leakage of OP-230 boiler on amplitude change of spectrum form

Charakterystyka zależy od wielkości otworu i parametrów wpływającego czynnika. Identyfikuje się to w widmie amplitudowym wystąpieniem pewnych poziomów ciśnienia akustycznego L w specyficznym zakresie częstotliwości f . Szum związany z normalną, prawidłową pracą kotła ma widmo niskoczęstotliwościowe, o znacznej gęstości widmowej dla częstotliwości do 1000 Hz i poziomie ciśnienia nie przekraczającym 70 dB.

Obserwowane składowe dyskretne wynikają z tonalnej charakterystyki pracy urządzeń pomocniczych (przede wszystkim wentylatorów). Wystąpienie nieszczelności wiąże się z pojawieniem się składowych w średnim i wysokim zakresie częstotliwości słyszalnych, tj. powyżej 1500 Hz, o poziomie ciśnienia akustycznego znacznie przekraczającym poziom szumu kotła sprawnego. Amplituda i zakres częstotliwości sygnału nieszczelności zależą od:

- pola powierzchni i kształtu nieszczelności,
- odległości punktu pomiarowego od powstałej nieszczelności.

Pierwsze składowe dyskretne, będące skutkiem uszkodzenia rurek, zaobserwowano dla częstotliwości (1200 – 1700) Hz, przy czym zakres częstotliwości zależał od wielkości otworu.

Amplituda sygnału z otworem o średnicy 1 mm, przy pomiarze w odległości 1,5 m od nieszczelności wynosiła 100 dB. Odsunięcie punktu pomiarowego na odległość 10 m powodowało zmniejszenie sygnału do poziomu 90 – 95 dB (poziom dźwięku szumu kotła sprawnego wynosił 70 dB).

Analizę sygnału diagnostycznego przeprowadzono traktując sygnał wycieku jako stacjonarny proces losowy. Przeanalizowano możliwość wykorzystania takich funkcji specjalnych jak funkcja autokorelacji, gęstości widmowej mocy, koherencji. Przydatność w warunkach ruchowych tych funkcji okazała się znacznie mniejsza niż prosta analiza widmowa sygnału, wybrana jako podstawowy sygnał diagnostyczny.

Określenie jednoznacznego widma szumu wymaga rozwiązania problemów technicznych związanych z ustaleniem wartości czasu uśredniania, szerokości pasma przepuszczalności filtra i długości czasu zapisu sygnału. Właściwy dobór tych parametrów decyduje o wartości niepewności pomiarowej, przy czym istotnym czynnikiem jest długość zapisu i szerokość pasma przepuszczalności filtra.

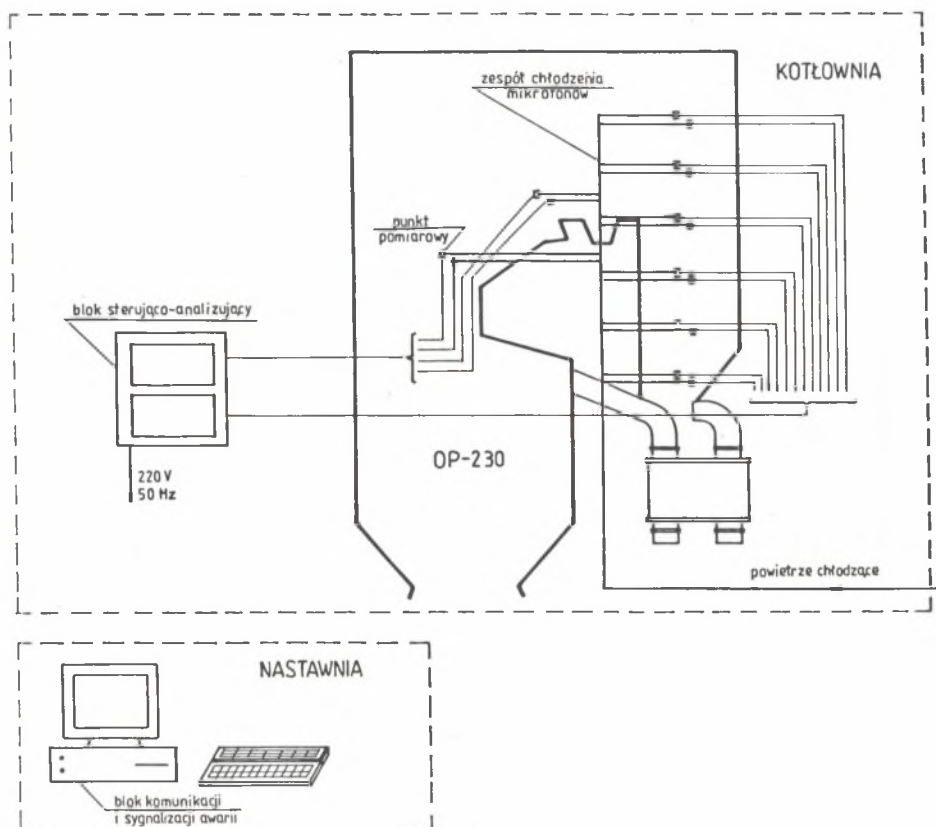
Dokładność wzajemnego odwzorowania w dziedzinie czasu i częstotliwości określana jest w zasadzie nieoznaczonością. Niemożliwe jest osiągnięcie równocześnie dużej rozdzielczości częstotliwościowej sygnału przy długim czasie analizy, gdyż wymagałoby to precyzyjnego określenia zakresu częstotliwościowego przewidywanego sygnału losowego. Spełnienie tych wymagań dla uzyskania minimalnej niepewności pomiarowej, a tym samym możliwie precyzyjnego określenia czasu i miejsca wystąpienia nieszczelności praktycznie eliminuje funkcję autokorelacji, koherencji i gęstości widmowej z zastosowań praktycznych.

3. OPIS FUNKCJONALNY AKUSTYCZNEGO SYSTEMU NADZORU SZCZELNOŚCI KOTŁA

Działanie systemu oparte jest na ciągłym zbieraniu i analizowaniu sygnałów akustycznych emitowanych przez pracujący kocioł. Pojawienie się nieszczelności w powierzchni ogrzewalnej zmienia kształt widma sygnału diagnostycznego, co jest natychmiast wykryte przez układy analizujące systemu i przekazane personelowi obsługi kotła w formie sygnalizacji wystąpienia awarii.

Schemat blokowy systemu, w którego skład wchodzi następujące zespoły, przedstawiono na rys. 2:

- zespół punktów pomiarowych,
- blok sterujący – analizujący,
- blok komunikacji i sygnalizacji awarii,
- zespół chłodzenia mikrofonów.



Rys. 2. Schemat blokowy systemu akustycznego nadzoru szczelności kotła OP-230 w EC-3 Łódź

Fig. 2. Block diagram of acoustic system of OP-230 boiler leak tightness in EC-3 Łódź

Zespół punktów pomiarowych składa się z kilkunastu mikrofonów pojemnościowych (typowo 16 – 20 szt.) w specjalnych obudowach, zainstalowanych na powierzchni kotła w miejscach najbardziej narażonych na awarię.

Mikrofony wyposażone są w elementy stanowiące zespół filtrów i wzmacniaczy akustycznych, modyfikujące wstępnie widmo sygnału szumu emitowanego przez pracujący kocioł. Sygnał ten po wzmocnieniu i wstępnym przetworzeniu przekazywany jest za pośrednictwem długich linii transmisyjnych, wyposażonych w nadajniki do układu analizującego systemu.

Blok sterująco–analizujący zamknięty jest w pyłoszczelnej obudowie i umieszczony bezpośrednio przy kotłach. W jego skład wchodzi pakiet analogowy, jednostka pomiarowa IBM z kartą przetworników A/C i procedurą FFT oraz lokalny sterownik.

Blok sterująco–analizujący realizuje komutację, standaryzację i przetwarzanie cyfrowe sygnałów pomiarowych, dokonuje ich analizy częstotliwościowej porównując uzyskane wyniki z zadanymi wartościami progowymi, a wyniki obliczeń przekazuje do jednostki nadrzędnej systemu.

Połączenie między blokiem sterująco–analizującym a jednostką nadrzędną, znajdującą się w nastawni bloku energetycznego, zrealizowane jest w układzie pętli prądowej, zabezpieczającej bezzakłóceniovą transmisją przetworzonych sygnałów pomiarowych na znaczną odległość w warunkach silnych zakłóceń elektromagnetycznych.

Blok sterująco–analizujący nie wymaga obsługi ze strony użytkownika, z wyjątkiem momentu uruchomienia systemu po przerwie w jego pracy.

Blok komunikacji i sygnalizacji awarii znajduje się w nastawni bloku energetycznego. Tworzy go mikrokomputer IBM (jednostka nadrzędna systemu) z monitorem i klawiaturą, za pośrednictwem której realizowana jest komunikacja personelu obsługi kotła z systemem. Do wyboru możliwe są dwie opcje prezentowane graficznie na ekranie monitora:

- pierwsza informuje o bieżących wartościach sygnałów akustycznych emitowanych przez kocioł w poszczególnych punktach pomiarowych,
- druga pozwala śledzić uśrednione zmiany tych wartości w dłuższym przedziale czasowym, co daje obraz tendencji szumowych kotła.

Przekroczenie poziomu alarmowego w którymś z punktów pomiarowych, spowodowane pojawieniem się nieszczelności, sygnalizowane jest w sposób optyczny i dźwiękowy aż do momentu potwierdzenia przyjęcia zgłoszenia o awarii przez personel obsługi kotła.

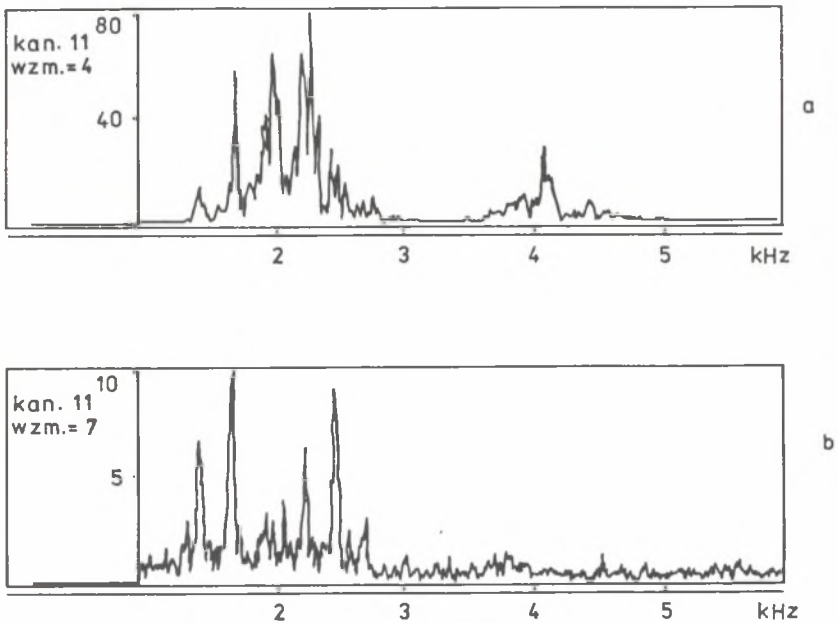
Zespół chłodzenia mikrofonów zabezpiecza podzespoły mikrofonowe przed szkodliwym działaniem wysokich temperatur panujących wewnątrz kotła i na jego powierzchni. Chłodzenie mikrofonów odbywa się w sposób ciągły za pośrednictwem wymuszonego obiegu powietrza doprowadzanego do mikrofonów przez instalację chłodzącą wyposażoną w odwadniacz, odolejacz i filtr. Szum opływu mikrofonów przez powietrze chłodzące eliminowany jest przez specjalne tłumiki akustyczne redukujące jego poziom w użytecznym paśmie częstotliwości do wartości nie zniekształcających w sposób istotny widma rzeczywistego szumu kotła.

Uzupełnieniem systemu jest oprogramowanie umożliwiające:

- przełączenie kanałów pomiarowych,
- akwizycję sygnałów pomiarowych,
- dokonywanie analizy FFT sygnałów (2048 punktów, zakres do 6,5 kHz, okno Hanninga),

- wysyłanie wyników analizy FFT do komputera nadrzędnego,
- część demonstracyjna systemu.

Dla potrzeb bezpośredniej obsługi systemu przygotowano część demonstracyjną programu. Na monitorze w nastawni obserwowany jest obraz graficzny kotła z zaznaczonymi punktami pomiarowymi. Wyróżniany jest punkt, w którym wykonywany jest aktualnie pomiar, podawana jest wartość amplitudy i częstotliwości środkowej analizowanego pasma szumu kotła. Część demonstracyjną systemu ilustrują rys. 3 i 4.

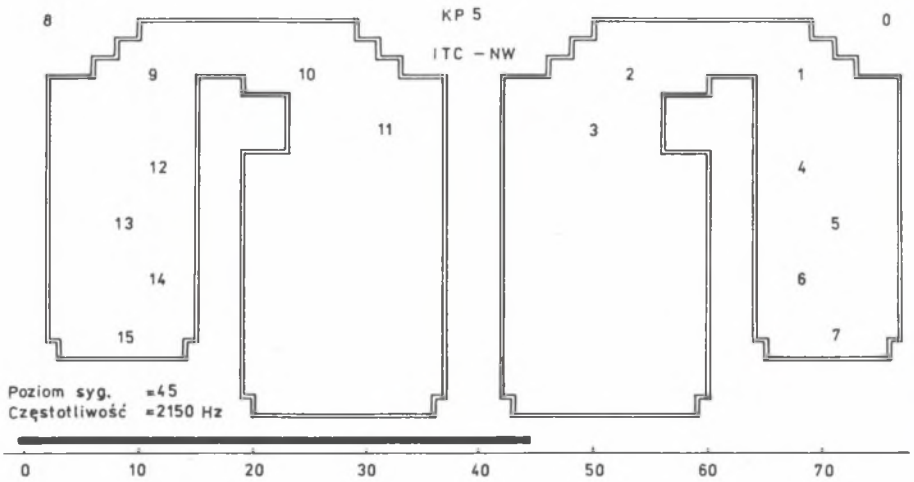


Rys. 3. Widmo sygnału akustycznego obserwowane w nastawni: a) kocioł sprawny, b) włączone zdmuchiwalce parowe

Fig. 3. Spectrum of acoustic signal observed in control room: a) properly operating boiler, b) turned on steam soot blowers

4. UWAGI EKSPLOATACYJNE

System akustycznego nadzoru szczelności kotła zainstalowano w EC-3 w Łodzi na kotle OP-230. Po okresie ruchu próbnego w styczniu br. układ oddany został do ciągłej eksploatacji. Okres dwóch lat eksploatacji systemu



Rys. 4. Część demonstracyjna systemu – obraz graficzny kotła

Fig. 4. Demonstrative part of system – graphical image of boiler

pozwoił na zebranie informacji pozwalającej przeprowadzić modernizację układu pod kątem większej pewności ruchowej.

Pierwsza wersja układu została uzupełniona o następujące elementy:

- zespół filtracyjny, zapewniający przepływ czystego technologicznie powietrza w układzie mikrofonów,
- wyeliminowano blok sterowania chłodzeniem mikrofonów; mikrofony chłodzone są w sposób ciągły, a szum wypływu został ograniczony tłumikiem absorpcyjno-labiryntowym,
- w celu zapewnienia większej odporności systemu na zakłócenia elektromagnetyczne każdy z torów mikrofonowych wyposażono w nadajniki linii,
- wymieniono konwertery, firmy ORVALDI w torze cyfrowym systemu na konwertery YUKO, dostosowując do nich program transmisji danych.

Praca zainstalowanego w EC-3 Łódź i eksploatowanego systemu akustycznego nadzoru kotła jest w dalszym ciągu analizowana pod kątem poprawienia sprawności ruchowej i jednoznaczności sygnału diagnostycznego. Okresowa kontrola torów pomiarowych pozwala na korektę sygnału w przypadku znacznej zmiany szumu urządzeń pomocniczych kotła. Oprogramowanie jest modernizowane na potrzeby operatorów. Należy podkreślić pozytywne nastawienie pracowników obsługi technicznej EC-3, umożliwiające zebranie tak dużego materiału porównawczego. Pozwoliło to na wyeliminowanie „słabych” elementów układu, podwyższając w wyraźny sposób jego niezawodność.

LITERATURA

- [1] Dyszlewska K.: Przygotowanie metody diagnozowania nieszczelności w kotłach energetycznych na podstawie sygnału akustycznego. Spr. ITC nie publ. nr 5775, 5813, 5839, 1990.
- [2] Dyszlewska K., Kmin J., Pietrzak P.: Akustyczny system diagnozowania nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotła OP-230 w EC-3. Łódź, Spr. ITC nie publ. nr 5900, 5960, 5995, 1991.
- [3] Dyszlewska K., Podsędkowski A., Jurewicz St.: System diagnozowania nieszczelności podgrzewacza wody i przegrzewacza pary dla kotła OP-430. Spr. ITC, nie publ. nr 5857, 6047, 1992.
- [4] Dyszlewska K., Jurewicz St.: System diagnozowania nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotłów energ. na podstawie sygnałów akustycznych i termicznych. GPiE, nr 7/92.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Gerard KOSMAN

Wpłynęło do Redakcji 10. 08. 1994 r.

Abstract

Securing of failure – free operation of power boilers belongs to a group of diagnostic problems. System of acoustic inspection of the boiler tightness should enable the economical work of a boiler. Continuous observation of the state of heating surface practically excludes secondary failures. Also the tendency function affords possibilities for withdrawal of the boiler from service on the economically reasonable way.

The system worked out by ITC, has been commissioned after experimental operation. In a preliminary period, the electronic circuits and computer programs have been passed to the requirements of the user. Also the reliability of the whole system has been increased.