

Zdzisław JASKOŁA  
Marek KUROWICZ

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych  
Politechniki Śląskiej

Witold MATYŃSKI

Instytut Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn  
Politechniki Śląskiej

## SYSTEM NADZORU POWIERZCHNI OGRZEWAJĄCEJ KOTŁÓW OP 650

**Streszczenie.** Przedstawiono badania kotłów OP 650 zainstalowanych w krajowych elektrowniach. Badania te prowadzone metodami akustycznymi miały na celu ujawnienie w sygnale akustycznym emitowanym przez działający kocioł nośników informacji o stanie powierzchni ogrzewalnej badanego kotła. W wyniku badań wskazano te cechy sygnału akustycznego, które mogą stanowić parametry diagnostyczne będące podstawą oceny stanu powierzchni ogrzewalnej kotła. Uzyskane wyniki umożliwiły opracowanie prototypu systemu nadzoru powierzchni ogrzewalnej kotłów OP 650. System ten wdrażany jest obecnie w Elektrowni Rybnik.

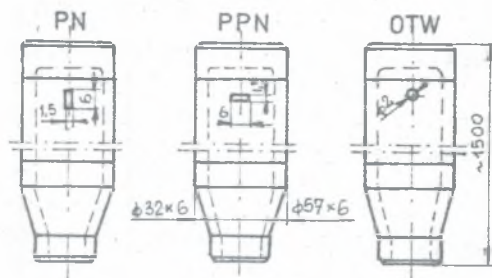
### 1. Wstęp

Badania prowadzone przez Zakład PKME Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych dotyczą między innymi zastosowania technik i środków wibroakustycznych do oceny stanu zużycia elementów maszyn. Jednym z obiektów w prowadzonych badaniach są urządzenia kotłowe. Celem tych badań jest opracowanie systemu informacyjnego, umożliwiającego wykrywanie powstałych uszkodzeń na powierzchniach ogrzewalnych kotłów już w początkowym stanie ich zużycia. Możliwość wystąpienia miejscowej utraty spójności struktury wewnętrznej tworzywa, z którego wykonane są rury stanowiące elementy powierzchni ogrzewalnej kotła, badano dotychczas przed procesem ich eksploatacji. Podstawą podjęcia przedstawianych prac jest założenie o możliwości wykrywania nieszczelności powierzchni ogrzewalnych powstałych podczas ich eksploatacji.

### 2. Badania symulacyjne

Brak miarodajnych danych o zbiorze sygnałów diagnostycznych, na podstawie których można by wnioskować o stanie powierzchni ogrzewalnej kotła wpłynął na decyzję podjęcia badań symulacyjnych. "Uszkodzenie rury" symulowano poprzez odpowiedni dobór cech konstrukcyjnych końcówek rur symulacyjnych /RS/ wstawianych do wnętrza kotła. Postacie "uszkodzeń" dobrano odpowiednio do występujących podczas eksploatacji rzeczywistych pęknięć rur powierzchni ogrzewalnej /rys.1/.

Na dwóch kotłach OP 650 eksploatowanych w Elektrowni Rybnik wykonana została instalacja umożliwiająca zasilanie rur symulacyjnych parą świeżą oraz wtórną o takich parametrach, jakie występują w rurach powierzchni



Rys. 1. Stosowane podczas badań postacie końcówek rur symulacyjnych

Fig. 1. The tips of simulating pipes used for investigations

ogrzewalnej badanego kotła. Instalację wykonano tak, że możliwa była wymiana rur symulacyjnych podczas prowadzenia badań.

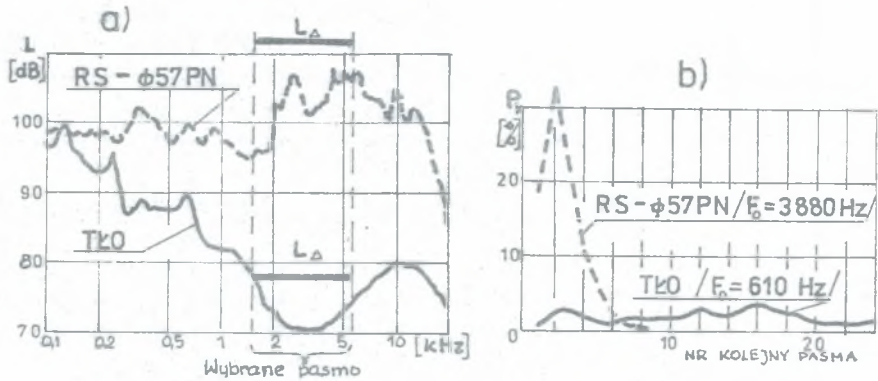
Rury symulacyjne wstawiane były do wnętrza kotła na czterech poziomach /wzdłuż jego wysokości/ w okolicach przegrzewaczy pary świeżej IV i V stopnia oraz w okolicach przegrzewaczy pary wtórnej. W każdym punkcie wprowadzenia rury symulacyjnej do wnętrza kotła badano wszystkie warianty "uszkodzenia" przy zasilaniu parą świeżą oraz wtórną.

Podczas prowadzenia badań rejestrowano poziom ciśnienia akustycznego LIN /w liniowym paśmie częstotliwości/ w punktach pomiarowych usytuowanych w różnych odległościach od końcówki rury symulacyjnej /od 1,5 m do 18 m/ zarówno w płaszczyźnie poziomej jak i pionowej kotła.

Zarejestrowane podczas badań poziomy LIN ciśnienia akustycznego dla wszystkich wariantów "uszkodzenia", pary świeżej i wtórnej, wybranych punktów pomiarowych oraz tła /czyli przypadku gdy brak było wpływu pary przez rurę symulacyjną/ stanowiły zbiór sygnałów wejściowych do analiz. Analizy te miały na celu określenie takich cech zarejestrowanych sygnałów, które mogłyby stanowić parametr diagnostyczny o stanie rur powierzchni ogrzewalnych badanych kotłów.

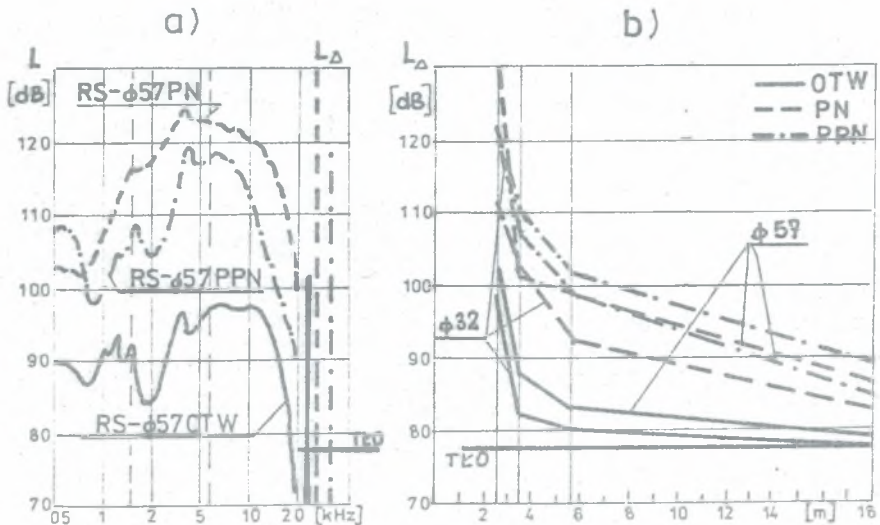
Zarejestrowane sygnały poddano analizie częstotliwościowej w zakresie 20 Hz ÷ 20 kHz przy stałej względnej szerokości pasma 12 %. W wyniku analizy uzyskano widma wszystkich zarejestrowanych sygnałów o postaci jak na rys. 2a.

Na podstawie wszystkich wyznaczonych widm częstotliwościowych stwierdzono, że poziom ciśnienia akustycznego w paśmie częstotliwości 1,5 ÷ 5,6 kHz zależy istotnie od stanu powierzchni ogrzewalnej badanych kotłów. W przypadku, gdy na powierzchni ogrzewalnej nie występuje uszkodzona rura poziom ciśnienia akustycznego w tym paśmie  $L_{\Delta} \ll 80$  dB. Występowanie uszkodzenia charakteryzuje się wzrostem poziomu w tym paśmie o 2 ÷ 50 dB w zależności od rodzaju uszkodzenia /rys. 3a/ oraz odległości mikrofonu od końcówki rury symulacyjnej RS /rys. 3b/.



Rys. 2. Przykłady uzyskanych podczas badań: a/ widm częstotliwościowych, b/ rozkładów prawdopodobieństwa okresów chwilowych.

Fig. 2. Obtained in the investigation examples: a/ frequency spectra, b/ probability distributions of instantaneous periods.



Rys. 3. Wpływ rodzaju uszkodzenia i odległości mikrofonu od źródła na poziom ciśnienia akustycznego  $L_{\Delta}$ .

Fig. 3. Influence of the kind of failure and of the distance between the microphone and noise source on the level of acoustic pressure.

Zarejestrowane podczas badań poziomy LIN ciśnienia akustycznego dla wszystkich wariantów "uszkodzenia", pary świeżej i wtórnej oraz wybranych punktów pomiarowych stanowiły zbiór sygnałów wejściowych do wyznaczenia rozkładu prawdopodobieństwa okresów chwilowych oraz częstotliwości przejść

przez poziom zerowy sygnałów.

Wyznaczanie parametrów statystycznych związanych z liczbą przekroczeń poziomu zerowego znajduje zastosowanie w pomiarach częstotliwości, w analizie sygnału mowy oraz w badaniach zmęczeniowych elementów poddanych obciążeniom losowym. Dla opisu własności sygnału związanych z przekraczaniem poziomu zerowego wyznacza się najczęściej średnią częstość przejść przez poziom zerowy, nazwaną częstością Rice'a [3].

Częstość Rice'a  $F_0$  jest liczbową cechą sygnału czyli jest wyrażona przez jedną wartość liczbową.

Praktyczne zastosowania częstości Rice'a opisane w dostępnej literaturze dotyczą przede wszystkim badań sygnału mowy, a w szczególności problemów automatycznego rozpoznawania mowy oraz diagnostyki medycznej chorób krtani. Jak wykazały badania [4] możliwe jest również wykorzystanie średniej częstości  $F_0$  dla celów diagnostyki wibroakustycznej maszyn. Średnią częstość przejść przez poziom zerowy można zdefiniować jako:

$$f_0 = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{N}{T}$$

gdzie:  $N$  - liczba "dodatnich" przejść przez poziom zerowy,  
 $T$  - czas obserwacji.

Dla skończonego czasu obserwacji  $T$  częstość przejść przez poziom zerowy jest estymowana wartością średnią z próby, czyli:

$$F_0 = \frac{N}{T}$$

Okres chwilowy sygnału losowego jest to zmienna losowa  $T_0/n/$ .

Czas obserwacji  $T$  podzielony jest na  $N$  odcinków czasowych o długościach  $T_0/n/$ , czyli

$$T = \sum_{n=1}^N T_0/n/$$

a średnia wartość okresu chwilowego estymowana z próby wynosi:

$$T_0 = \frac{\sum_{n=1}^N T_0/n/}{N} = \frac{T}{N} = \frac{1}{F_0}$$

Dla wyznaczenia rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej  $T_0/n/$  należy określić  $k$  przedziałów wartości  $T_0$ , a granice przedziałów będą wynosiły:

- granica dolna  $k$ -tego przedziału  $(k-1) \cdot \Delta T_0$ ,
- granica górna  $k$ -tego przedziału  $k \cdot \Delta T_0$ .

W wyniku klasyfikacji elementów zbioru  $\{T_0/1/, T_0/2/, \dots, T_0/N/\}$  można wy-



znaczyć częstość obserwowaną  $N_k$ , tj. liczbę elementów zbioru, których wartości mieszczą się w granicach  $k$ -tego przedziału. Prawdopodobieństwo zdarzenia, że  $T_0/n/$  należy do  $k$ -tego przedziału wynosi

$$P_r \left\{ /k-1/ \Delta T_0 \leq T_0 /n/ < k \cdot \Delta T_0 = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{N_k}{N} \right.$$

Dla skończonego czasu obserwacji  $T$  prawdopodobieństwo z próby wynosi:

$$P_k = \hat{P}_r \left\{ /k - 1/ \cdot \Delta T_0 \leq T_0 /n/ < k \cdot \Delta T_0 \right\} = \frac{N_k}{N}$$

a zbiór wartości  $P_1, P_2, \dots, P_k$  opisuje rozkład prawdopodobieństwa okresów chwilowych i stanowi rozpatrywany zbiór cech sygnałów.

Rozkład prawdopodobieństwa okresów chwilowych i częstotliwości Rice'a  $F_0$  z zarejestrowanych podczas badań sygnałów wyznaczono przy użyciu Programowanego Analizatora Sygnałów PAS-5 [5] /rys. 2b/.

Analiza wyznaczonych rozkładów prawdopodobieństwa oraz częstotliwości Rice'a wskazują, że zarówno postać rozkładu prawdopodobieństwa jak i częstotliwość  $F_0$ , zależą od stanu powierzchni ogrzewalnej badanych kotłów. W przypadku, gdy na powierzchni ogrzewalnej nie występuje uszkodzona rura częstotliwość  $F_0 < 1000$  Hz. Występowanie uszkodzenia charakteryzuje się tym, że częstotliwość  $F_0$  przyjmuje wartości  $> 1500$  Hz. Wartość częstości  $F_0$  zależy od rodzaju uszkodzenia /rys. 4a/ oraz od odległości mikrofonu od źródła, czyli końcówki rury symulacyjnej /rys. 4b/.

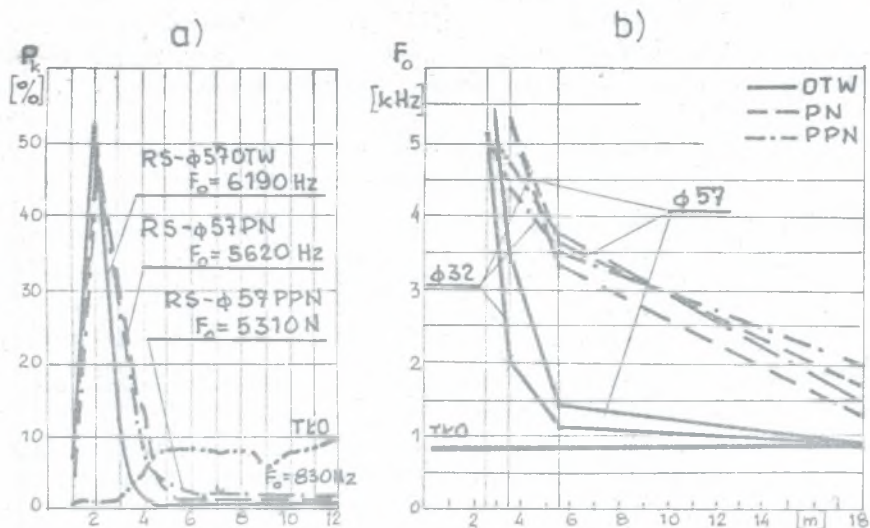
Przeprowadzone badania wykazały, że zarówno poziom ciśnienia akustycznego  $L_\Delta$  w wybranym paśmie częstotliwości jak i wartość średniej częstotliwości przejść przez poziom zerowy  $F_0$ , mogą stanowić parametry diagnostyczne dla oceny stanu powierzchni ogrzewalnej kotłów OP 650. Zdecydowano, że system nadzoru stanu powierzchni ogrzewalnej kotłów będzie działał w oparciu o te parametry: poziom ciśnienia akustycznego  $L_\Delta$  w paśmie częstotliwości 1,5 + 5,6 kHz przy wartości progu równej 80 dB oraz częstotliwość Rice'a  $F_0$  przy wartości progu równej 1,5 kHz.

### 3. System nadzoru akustycznego /układ prototypowy/

Prototypowy układ systemu nadzoru zestawiono z elementów produkowanych seryjnie przez firmę RFT oraz z elementów skonstruowanych i wykonanych przez pracowników Zespołu PKME Politechniki Śląskiej /rys.5/. Elementy firmy RFT tworzą zestaw torów pomiaru ciśnienia akustycznego. Zastosowano mikrofony pojemnościowe MK 102 z przedwzmacniaczami MV 102.

Mikrofony te umożliwiają pomiar ciśnienia akustycznego w zakresie 18+138dB w paśmie częstotliwości 20 Hz + 18 kHz.

Sygnał z mikrofonów podawany jest na sześciokanałowy miernik poziomu



Rys. 4. Wpływ rodzaju uszkodzenia i odległości mikrofonu od źródła na wartość częstotliwości Rice'a.

Fig. 4. Influence of the kind of failure and of the distance between the microphone and noise source on the value of Rice frequency.

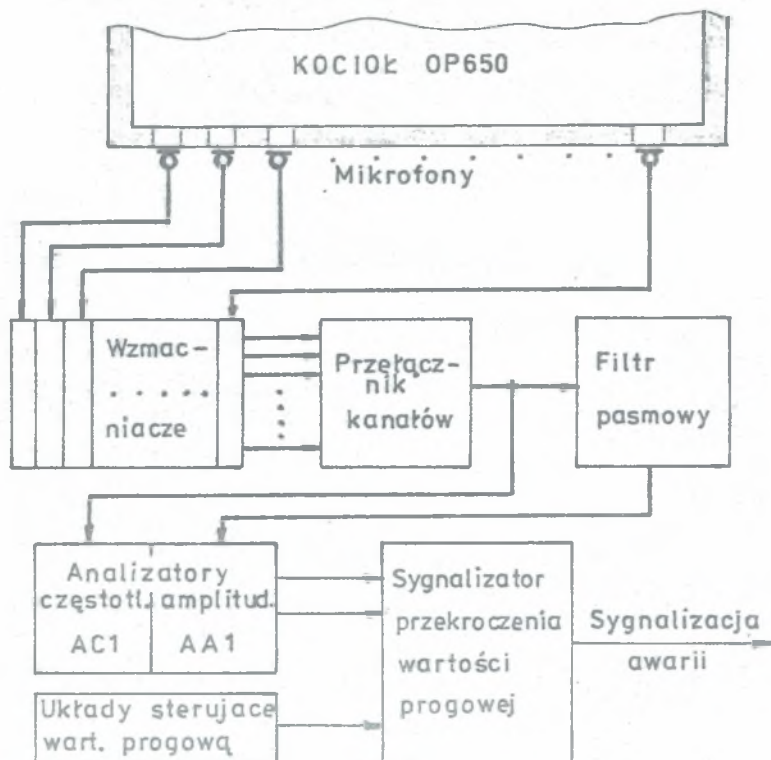
dźwięku 00037. Miernik ten składa się z 6 wzmacniaczy mikrofonowych, przełącznika kanałów oraz zasilacza. Umożliwia pomiar w zakresie  $24 \pm 138$  dB w paśmie częstotliwości  $2 \text{ Hz} + 200 \text{ kHz}$ . Przełącznik kanałów przełącza automatycznie kanały pomiarowe w czasie od 20 ms do 20 s oraz wyświetla na wskaźniku aktualnie włączony nr kanału pomiarowego.

Z miernika 00037 sygnał podawany jest na filtr pasmowy  $1,5 + 5,6 \text{ kHz}$  złożony z górno i dolno przepustowych filtrów produkcji RFT oraz na panel sygnalizacji skonstruowany i wykonany w IMiUE Politechniki Śląskiej [9]. Panel sygnalizacji zestawiony jest we wspólną całość z następujących podzespołów:

- analizatora amplitudy AA1,
- analizatora częstotliwości AC1,
- podzespołu wyjściowego BW1 /układy sterujące wartością progową oraz sygnalizator przekroczenia wartości progowej/,
- zasilacza.

Analizator AA1 analizuje amplitudę sygnału przekazywanego z filtra pasmowego. Wartość amplitudy sygnału porównywana jest z zadaną wartością progową. Przekroczenie wartości progowej sygnalizowane jest zapaleniem się lampki na panelu oraz włącza obwód wyjściowy BW1, który włącza sygnalizację awarii w nastawni bloku.

Analizator AC1, analizuje sygnał podawany z miernika 00037 i wyznacza



Rys. 5. Schemat blokowy systemu nadzoru stanu powierzchni ogrzewalnej kotłów.

Fig. 5. The block diagram of the maintenance system of heated surface in steam boilers.

średnią częstotliwość Rice'a  $F_0$ . Częstotliwość ta porównywana jest z zadaną wartością progową. Przekroczenie wartości progowej sygnalizowane jest zapaleniem się lampki na panelu oraz włącza się sygnalizacja awarii w nastawni bloku.

Analizatory AA1 i AC1 działają niezależnie od siebie. Podzespół wyjściowy BW1 realizuje funkcję sumy logicznej odpowiedzi z analizatorów AA1 i AC1 i uruchamia sygnalizację awarii powierzchni ogrzewalnej. Uruchomienie sygnalizacji awarii nastąpi więc niezależnie od tego, który z analizatorów zainicjuje zadziałanie podzespołu BW1. Podzespół BW1 podtrzymuje sygnalizację awarii co oznacza, że zmiana odpowiedzi analizatora z tak na nie dla awarii nie powoduje ustania sygnalizacji awarii w nastawni. Podtrzymywanie sygnalizacji umożliwia lokalizację uszkodzenia wewnątrz koła przez

identyfikację toru pomiarowego /mikrofonu/, który uszkodzenie zasygnalizował.

Opisywany system nadzoru wdrażany jest obecnie na dwóch kotłach OP 650 zainstalowanych w Elektrowni Rybnik. Traktowany jest on jako układ prototypowy.

Z chwilą sprawdzenia się systemu w eksploatacji dalsze prace prowadzone będą w kierunku układu złożonego wyjącznie z krajowych elementów.

#### LITERATURA

- [1] Jaskóła Z., i in.: Opracowanie systemu diagnostyki akustycznej nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotłów. Etap I. Praca dla przemysłu. IMiUE, Pol.Sl. Gliwice 1983.
- [2] Jaskóła Z., i in.: Opracowanie systemu diagnostyki akustycznej nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotłów. Etap II. Praca dla przemysłu. IMiUE Pol.Sl. Gliwice 1984.
- [3] Słomski M.: Przykład zastosowania analizy przejść sygnału akustycznego przez poziom zerowy. W: materiały VI Szkoły Diagnostyki. Poznań - Rydzyna 1983.
- [4] Słomski M.: Zastosowanie częstotliwości Rice'a dla oceny sygnału akustycznego w badaniach diagnostycznych. Zeszyty Naukowe AGH nr 142. Kraków 1981.
- [5] Cholewa W., i in.: Programowany Analizator Sygnałów PAS 5 - instrukcja obsługi. Maszynopis IMiPKM Pol.Sl. Gliwice 1980.
- [6] Kurowicz M.: Badania symulacyjne nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotła OP 650 metodami akustycznymi. Materiały Konferencji Zwalczenia Hałasu - NOIS CONTROL. Kraków 1985. s.851-854.
- [7] Kurowicz M., Matyński W.: Badania symulacyjne nieszczelności powierzchni ogrzewalnej kotła OP 650. W: materiały XII Sympozjonu PKM. Kazimierz Dolny 1985.
- [8] Matyński W.: Zastosowanie częstotliwości Rice'a sygnału akustycznego w diagnostycznych badaniach maszyn. W: materiały XII Sympozjon PKM, Kazimierz Dolny 1985.
- [9] Kurowicz M., Matyński W.: Opis techniczny panelu sygnalizacji. Praca dla przemysłu. CPT - Rydzyna 1985.

#### СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ИСПАРИТЕЛЬНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА КОТЛОВ ОП 650

#### Резюме

В разработке заключаются звуковые исследования котлов ОП 650, установленных на электростанциях нашей страны. Эти исследования имеют вид обнаружения в звуковом сигнале таких свойств, которые могут стать основой для оценки состояния испарительной поверхности нагрева исследуемых котлов.

В результате исследований замечено, что уровень звукового давления в полосе 1,5 - 5,6 кгц и частота Рича могут являться диагностическими параметрами оценки состояния испарительной поверхности нагрева.

Полученные итоги сделали возможным разработку системы контроля испарительной поверхности нагрева котлов ОП 650. В настоящее время эта система внедряется на электростанции "Рыбник".



## MONITORING SYSTEM OF THE OP 650 POWER-BOILER HEATING SURFACE

## S u m m a r y

An attempt of solving some diagnostic problem concerning the detection of a leakage through the heated surface of a steam boiler has been described. A way of simulating the failures which can occur during exploitation has been used. The investigations have made it possible to identify some components of acoustic signal which may be used for estimating the technical state of the heated surface.

It has been found that the level of acoustic pressure within the band of 1,5-5,6 kHz, and the Rice frequency, can be used as diagnostic parameters in the assessment of the boiler heating surface.

The results obtained made it possible to develop the system of monitoring of the OP 650 - boiler heating surface, the system being at present introduced in the Rybnik power station.

The functioning of the system makes it possible to investigate continuously the heated surface. Microphones are placed both sides of the boiler. The failure is then indicated in the control room. The number of the point of the measurement is signalized as well. It enables us to localize the place of failure on the heated surface of the boiler.

Recenzent: Doc. dr hab. inż. Gerard Kosman

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.