



Wykorzystanie generatora fal infradźwiękowych dużej mocy do oczyszczania z osadów powierzchni grzewczych kotłów energetycznych

The use of high power infrasound wave generator for cleaning sediment off heating surfaces in power boilers

dr inż. Artur JĘDRUSYNA¹, Andrzej NOGA¹

¹Politechnika Wroclawska, Wydział Mechaniczno-Energetyczny Instytut Inżynierii Lotniczej, Procesowej i Maszyn Energetycznych Zakład Mechaniki i Kriogeniki
artur.jedrusyna@pwr.wroc.pl
andrzej.noga@pwr.wroc.pl



W KILKU SŁOWACH

Oczyszczanie powierzchni ogrzewalnych kotłów energetycznych w czasie jego ruchu jest istotne ze względów ekonomicznych – odstawienia kotła do remontu powodują wymierne straty finansowe oraz technologiczne – dostanie się na wirnik turbiny pary o niedostatecznie wysokich parametrach grozi jej wykropleniem na ostatnich stopniach maszyny. Jedną z nowszych metod czyszczenia powierzchni wymienników jest metoda akustyczna wykorzystująca własności infradźwięków i dźwięków słyszalnych o niskiej częstotliwości. Fala akustyczna wytwarzana jest w pneumatycznym generatorze infradźwięków, którego konstruowaniem, rozwojem i produkcją zajmują się obecnie liczne zakłady krajowe i zagraniczne. Metoda natomiast budzi zainteresowanie w branży energetycznej.



SUMMARY

Cleaning heating surfaces of the power boiler during its operation can be motivated by two factors. Firstly, shutting the boiler down for maintenance generates measurable financial losses. Secondly, if steam with too low parameters enters the turbine, a risk of condensation occurs at the highest settings. One of more recent methods of cleaning heat exchangers surfaces is an acoustic technology which utilises the properties of infrasounds and audible low-frequency sounds. An acoustic wave is produced by pneumatic infrasound generators, which are designed, developed, and manufactured by numerous companies, both in Poland and abroad. The method has attracted the attention of the power industry.

Podczas pracy kotła energetycznego następuje zanieczyszczanie powierzchni ogrzewalnych osadami i narostami, które jest proporcjonalne do ilości lotnego popiołu w paliwie stałym. Zależnie od składu chemicznego popiołu, w temperaturach panujących w komorze paleniskowej kotła tworzyć się może spieczony żużel lub popiół sypki, którego kleiste cząstki tworzą

osad [1]. Zanieczyszczenia te przyczyniają się do pogorszenia wymiany ciepła pomiędzy spaliniem a czynnikiem roboczym, co z kolei powoduje spadek sprawności kotła poprzez wzrost temperatury wylotowej spalin (zwiększenie straty wylotowej). Jednocześnie wzrasta temperatura pary przegrzanej i spada wydajność kotła, a jeśli zanieczyszczeniu ulegają również powierzchnie przegrzewacza – temperatura pary przegrzanej spada, co może doprowadzić do przedwczesnego wykroplenia się cząstek wody i uszkodzenia ostatnich stopni wirnika turbiny. Wzrost temperatury spalin na wylocie z kotła powoduje dodatkowo wzrost ich strumienia objętości, przez co spada efektywność odpylania w elektrofiltrze oraz wzrasta zużycie energii potrzebnej do przetoczenia spalin przez kanały kotła. Wzrasta również emisja dwutlenku węgla w odniesieniu do jednostki ciepła użytecznego. [1],[2]

Czyszczenie powierzchni ogrzewalnych kotła może odbywać się w trakcie jego ruchu lub podczas postoju, przy czym ze względów ekonomicznych (brak strat związanych z przerwą w produkcji energii, ciepła lub pary technologicznej) rozsądne wydaje się zastosowanie pierwszego z podanych rozwiązań. Dodatkowym atutem usuwania zanieczyszczeń w czasie pracy jest możliwość ustalenia odpowiedniej częstotliwości załączania urządzenia czyszczącego w sposób taki, aby nie dopuścić do osadzenia warstewki sypkiego osadu na powierzchni wymienników, gdyż (jak podaje [2]) osad taki, zanim ulegnie spieczeniu, charakteryzuje się współczynnikiem przewodzenia ciepła znacznie niższym niż osad spieczony. Oczyszczanie pod-

czas postoju polega na mechanicznym zbijaniu zanieczyszczeń z powierzchni wymienników ciepła przez obsługę. W czasie pracy kocioł oczyszczany może być m.in. przy wykorzystaniu pary (rzadziej wody lub powietrza), środka chemicznego czy wreszcie fal akustycznych, w tym o niskiej częstotliwości (infradźwiękowych). [2]

Działanie zdmuchiawczy strumieniowych polega na okresowym czyszczeniu powierzchni ogrzewalnych strumieniem pary (względnie wody lub powietrza) doprowadzanym do głowicy dyszowej zdmuchiawcza (lancy). Lance wykonują ruch obrotowy lub posuwisto-zwrotny, przez co mogą dotrzeć swoim zasięgiem do dużych, choć ograniczonych powierzchni. Czyszczenie musi jednak odbywać się na tyle często, aby nie dochodziło do nadmiernego pogorszenia wymiany ciepła pomiędzy spalinami, a czynnikiem roboczym. Zbyt częste załączanie zdmuchiawczy powoduje z kolei duże zużycie pary, a przez to wzrost kosztów. Ponadto powierzchnie ogrzewalne usytuowane w pobliżu wylotów z dysz są narażone na erozję popiołem. [2]

Czyszczenie środkiem chemicznym polega na dostarczeniu do komory spalania specjalnego preparatu, który pod wpływem żaru sublimuje jako mgiełka, która osadza się na powierzchniach ogrzewalnych i w wyniku utleniania powoduje, że zanieczyszczenia zmieniają swoją strukturę na luźniejszą, przez co odpadają od powierzchni ogrzewalnych [3]. Jak podaje producent środka SP-NitroleN, można w ten sposób uzyskać znaczne oszczędności paliwa, dochodzące do 5%.

Zdmuchiawcze akustyczne są to urządzenia wykorzystujące czyszczące własności dźwięków o niskiej częstotliwości odkryte przez szwedzkiego inżyniera, dr. Matsa Olssona. Istotą oczyszczenia akustycznego jest fakt, iż wahania ciśnienia, powodowane przez wysyłanie sygnału dźwiękowego (fali podłużnej) wymuszają ruch zanieczyszczeń (ciał stałych) względem siebie z różnymi prędkościami, przez co są one rozłączane i odrywane od powierzchni, do której przylegają. W ten sposób, przy odpowiednio ustawionej częstości załączania urządzenia, usuwane są osady sypkie zanim zdążą ulec spieczeniu. Skuteczność metody zależy od częstotliwości generowanej fali akustycznej oraz jej mocy. [2], [4], [5]

Mechanizm i zalety czyszczenia akustycznego

Fale dźwiękowe, których propagacja odbywa się poprzez przenoszenie zaburzeń ośrodka (zmian ciśnienia powietrza), oddziałują na napotykaną przeszkodę z energią proporcjonalną do wartości natężenia dźwięku, które jest definiowane jako średnia wartość strumienia energii akustycznej przepływającego przez jednostkę powierzchni prostopadłej do kierunku propagacji fali. Wielkość ta jest jednak mało praktyczna i przyjęło się stosować inną, będącą jej pochodną – poziom natężenia dźwięku wyrażany w decybelach i opisany wzorem:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [6] \quad (1)$$

gdzie:

I – natężenie dźwięku

I_0 – natężenie przyjęte jako poziom odniesienia ($I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$, jest to średni próg słyszalności człowieka dla dźwięku o częstotliwości 1000 Hz).

Fale akustyczne o dużych natężeniach, szczególnie z zakresu niższych częstotliwości, są odbierane nie tylko przez narząd słuchu, ale również wyczuwane jako wibracje. W połowie XX wieku odkryty został wpływ fal akustycznych na przemieszczanie się cząsteczek pyłu. Badania pokazały, że minimalny poziom natężenia dźwięku potrzebny do poruszenia cząsteczki pyłu jest wprost proporcjonalny do częstotliwości fali. Jak podaje [7] dla częstotliwości 50 Hz jest to ok. 115 dB. Wykorzystanie dźwięku do oczyszczania zostało wreszcie zaproponowane przez dr. Matsa Olssona. Opracowane przez niego metody oraz aparatura pokazały ogromne zalety infradźwięków. [7]

Fale infradźwiękowe oddziałują na napotkaną materię powodując jej wibracje. W wyniku oddziaływania infradźwięków o odpowiednio wysokim poziomie natężenia na cząstki pyłu następuje ich poruszenie. Poziom niezbędny do wprawienia cząstki w ruch zmienia się wprost proporcjonalnie do częstotliwości fali, a więc dla infradźwięków jest on najniższy. W przypadku, gdy cząstki są osadzone na powierzchni, działanie fal akustycznych o niskiej





częstotliwości powoduje rozrywanie ich między sobą oraz odrywanie od powierzchni, do której przylegają. Jest to spowodowane ruchem cząstek względem siebie wymuszonym przez dźwięk o mocy powodującej oddziaływanie na drobiny siły wyższej niż siła adhezji między nimi a zanieczyszczoną powierzchnią oraz siła adhezji między samymi cząsteczkami. Dodatkowo działanie dźwięku powoduje zanik warstwy przyściennej, dzięki czemu spaliny są w stanie poderwać cząstki pyłu. Wartym podkreślenia jest fakt, że w metodzie tej nie wprawia się w drgania powierzchni wymienników (co powoduje niekorzystne naprężenia), lecz – poprzez ośrodek gazowy – same zanieczyszczenia. [5], [7], [8], [9]

Zastosowanie infradźwiękowej metody oczyszczania kotła pozwala na duże oszczędności pary, stosowanej w większości przypadków do oczyszczania powierzchni ogrzewanych kotła w zdmuchiawcach strumieniowych. Poza tym dużą zaletą oczyszczania infradźwiękami jest fakt, że czyszczone powierzchnie nie ulegają niszczeniu, a energia dźwięku jest identyczna w każdym punkcie komory kotła – dźwięki o niskich częstotliwościach rozchodzą się jednakowo we wszystkich kierunkach, docierając w trudno dostępne miejsca, takie jak np. przestrzenie za przewalem. Przeszkodą nie jest również strumień spalin. Brak też wibracji w zagłębieniach. Energia infradźwięków jest słabo pochłaniana. Ponieważ fale infradźwiękowe są odbijane przez ścianki kotła, przez co nie wydostają się w znaczącym stopniu na zewnątrz, jest to metoda bezpieczna dla obsługi, choć same fale akustyczne o niskich częstotliwościach oddziałują negatywnie na organizm człowieka powodując (jak podaje [10]) w zależności od poziomu natężenia i częstotliwości m.in. bóle głowy i uczucie zmęczenia, spadek koncentracji i uczucie senności, czy wibracje narządów. Obecnie do oczyszczania akustycznego stosowane są zarówno fale niskoczęstotliwościowe z zakresu słyszalnego o częstotliwościach od 20 do (jak podaje [2]) ok. 450 Hz, jak i infradźwięki. Technikę tę stosuje się do czyszczenia powierzchni wewnętrznych kotłów opalanych różnymi rodzajami paliw. [2], [4], [5], [7], [8], [10]

Wytwarzanie infradźwięków

Wygenerowanie fali infradźwiękowej dużej mocy do oczyszczania powierzchni ogrzewalnych wymaga zastosowania odpowiedniego układu. Podstawowymi wymogami są przede wszystkim odpowiednia energia wiązki subakustycznej oraz wytrzymałość urządzenia na wysokie temperatury i środowisko spalin kotłowych. Dlatego też do wytwarzania infradźwięków powszechnie stosowane są generatory pneumatyczne. Ich działanie polega na generowaniu impulsów sprężonego powietrza. Powstawanie dźwięku w tego typu urządzeniach wiąże się z przerywaniem ciągu sprężonego powietrza (gazu) doprowadzonego z zewnątrz lub (wg patentu [11]) wytwarzaniem impulsów powietrza w samym generatorze, za pomocą tłoka. Jedną z nowszych technologii infradźwiękowych niewymagających zasilania generatora sprężonym powietrzem jest wytwarzanie fali akustycznej poprzez spalanie paliwa gazowego [12]. Impulsy sprężonego powietrza powodują powstanie zaburzenia równowagi ośrodka i rozchodzenie się fali podłużnej – dźwięku.

Zdmuchiawcz akustyczny może być, ze względu na specyfikę fal o niskich częstotliwościach montowany w różnych częściach oczyszczanych urządzeń, a jego konstrukcja umożliwia mocowanie końcówki tuby rezonansowej zarówno w ścianie pionowej, jak i poziomej (stropie). W celu instalacji urządzenia na kotle lub innym urządzeniu wycinany jest w żądanym miejscu otwór, a następnie rezonator spawany jest do ścianki w taki sposób, że wewnątrz urządzenia znajduje się jedynie wylot z tuby. Instalacja infradźwiękowego oczyszczania jest łatwo widoczna i rozpoznawalna ze względu na charakterystyczny (odpowiednio długi) rezonator. Generalnie w każdym urządzeniu oczyszczania akustycznego wyłonić można cztery układy – rezonator, impulsator, układ napędu impulsatora oraz układ automatycznej regulacji. Do pracy urządzenia potrzebna jest najczęściej też sprężarka powietrza. [4], [8]

Konstrukcję impulsatora zasilanego sprężonym powietrzem opatentował Mats Olsson. Urządzenie składa się z cylindra, w którym pracuje tłok przymocowany za pomocą elementu sprężynowego do zamkniętego końca. Otwarty koniec wychodzi natomiast do przestrzeni rezo-



natora. Przez otwarty koniec doprowadzane są do rezonatora impulsy powietrza. W ścianie cylindra wykonany jest otwór, przez który dostaje się powietrze z otaczającego cylinder zbiornika wyrównawczego. Sprężone powietrze jest również doprowadzane do cylindra od strony zamkniętego końca. Działa ono na górną powierzchnię tłoka powodując jego przesunięcie. Odpowiednie ciśnienie pozwala na osiągnięcie położenia, w którym tłok przystania całkowicie otwór w cylindrze (przez który doprowadzane jest powietrze do rezonatora). Powrót do poprzedniego położenia tłoka po ustaniu działania na jego górną powierzchnię ciśnienia jest realizowane dzięki elementowi sprężynowemu. [13] Częstotliwość generowanej fali akustycznej w opisanym urządzeniu wynosi:

$$f = \frac{n}{2} \quad (2)$$

gdzie:

n – ilość suwów tłoka w czasie 1 sekundy.

Inną metodą generowania infradźwięków jest wytwarzanie impulsów powietrza za pomocą tłoka pracującego w cylindrze połączonym z zamkniętym końcem rezonatora [11]. Impulsy powstają wskutek ruchów tłoka oddziałującego na powietrze znajdujące się w cylindrze (sprężanie i rozprężanie). Częstotliwość fali opisuje, podobnie jak w poprzednim przypadku, wzór (2). Tłok w opisywanej konstrukcji jest napędzany mechanicznie poprzez tłocznico połączone z wałem korbowym lub mimośrodowo z kołem zamachowym, dzięki czemu możliwe jest napędzanie układu np. silnikiem elektrycznym. Przy obrotach wału napędowego równych 1000 min⁻¹ i mniejszych powstaje fala infradźwiękowa. [11]

Wzmacnianie infradźwięków

Wzmocnienie fali akustycznej wytworzonej przez generator następuje wskutek wejścia fali w rezonans akustyczny. Odbywa się to w odpowiednio skonstruowanym rezonatorze. Rezonans powstaje wskutek odbijania fali od ścianek i ich interferencji, co przy pewnej częstotliwości (zwanej rezonansową) prowadzi do pojawienia się fali stojącej (fali, której pozycja w przestrzeni nie zmienia się) – wzmocnienia amplitudy. Fala

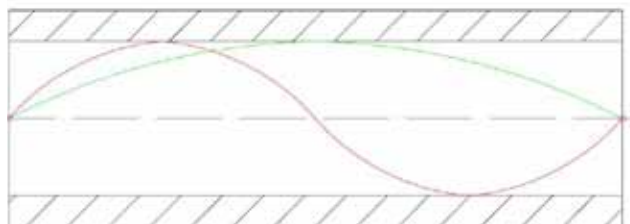
stojąca powstaje w wyniku interferencji dwóch takich samych fal, poruszających się w identycznym kierunku, ale mających przeciwne zwroty. Miejsca, w których amplituda fali równa się zero, nazywane są węzłami, natomiast tam, gdzie amplituda osiąga swoje maksima – strzałkami. Węzły fali stojącej powstają zawsze na otwartym końcu tuby rezonansowej, strzałki natomiast tworzą się na zamkniętym końcu tuby. [14]

Istnieje duża różnorodność rozwiązań rezonatorów akustycznych, a ich gabaryty zależą głównie od częstotliwości fal akustycznych, jakie mają wzmacniać. Powszechnie stosowanym rezonatorem w instalacjach infradźwiękowych jest przewód o przekroju kołowym (tuba) zakończony krótkim (w stosunku do długości tuby) dyfuzorem. Aby w tubie zaszedł rezonans fali akustycznej o długości λ jej minimalna długość (L) powinna wynosić:

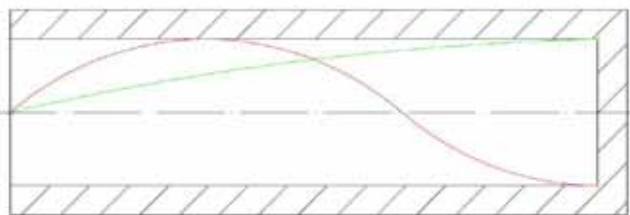
- dla tuby otwartej lub obustronnie zamkniętej

- dla tuby jednostronnie zamkniętej

co wynika z faktu, iż na zamkniętym końcu dźwiękowodu tworzy się strzałka fali stojącej, natomiast na otwartym końcu – węzeł. Warto zauważyć, że w przypadku infradźwięków, czyli fal o długości ponad 17 m, potrzeba stosunkowo długich rezonatorów – o długości większej niż 8,5 m w przypadku tuby otwartej i 4,25 m dla tuby jednostronnie zamkniętej. Stąd też ze względów praktycznych obok prostych używa się tub zaizolowanych. [4], [14]



rys.1 tuba otwarta: Rozkład fali stojącej w dźwiękowodzie cylindrycznym otwartym. Kolorem fioletowym oznaczono węzły fali na otwartych końcach tuby.



rys.2 tuba zamknięta: Rozkład fali stojącej w dźwiękowodzie cylindrycznym jednostronnie zamkniętym. Kolorem fioletowym oznaczono węzeł fali na otwartym końcu tuby, natomiast kolorem żółtym – strzałkę na zamkniętym końcu.



Ze względów praktycznych w instalacjach oczyszczania infradźwiękowego zastosować można przewody otwarte lub jednostronnie zamknięte. W przypadku urządzeń pracujących na częstotliwościach słyszalnych (rzędu 200 Hz) stosuje się raczej tuby wykładnicze [8]. Zaletą tuby wykładniczej jest wysoka sprawność wzmacniania sygnału, tak więc zastosowanie jej w instalacjach pracujących na dźwiękach słyszalnych (a więc niewymagających długich rezonatorów) jest uzasadnione. Innym rodzajem rezonatora jest tuba stożkowa, otwarta lub jednostronnie zamknięta.

W miejscu powstania strzałki fali stojącej (na zamkniętym końcu rezonatora) ciśnienie akustyczne osiąga maksimum. Wraz ze wzrostem odległości od zamkniętego końca następuje spadek ciśnienia, by osiągnąć minimum na otwartym końcu, będącym wylotem z tuby. Aby zminimalizować straty ciśnienia unika się budowania rezonatorów o zbyt małej średnicy. Jak podaje [15], dla generatora o mocy 100 W średnice tuby powinny wynosić ok. 0,4 m na zamkniętym końcu i ok. 0,8 m na otwartym końcu (wylocie). Wynika stąd, że najlepszym rodzajem rezonatora infradźwięków jest tuba stożkowa. Uwzględniając wymagane gabaryty (ok. 4 m długości) jest to jednak rozwiązanie mało praktyczne ze względu na utrudniony montaż oraz produkcję. W instalacjach infradźwiękowych najczęściej stosuje się więc tuby cylindryczne o średnicy dostosowanej do warunków panujących na zamkniętym końcu, zakończone dyfuzorem. [4], [8], [15]

Potrzeba sterowania zdmuchiwacza akustycznego

Najniższą częstotliwość fali stojącej powstającej w rezonatorze nazywa się tonem podstawowym. Zbiór wszystkich częstotliwości fal powstających w danym ustroju tworzy szereg harmoniczny. Szereg harmoniczny jest to więc ton podstawowy i jego tzw. wyższe harmoniczne. W zagadnieniach dotyczących drgań (fal stojących) często spotykanym określeniem jest mod. Określa on rodzaj (długość) fali powstającej w danym ustroju. Wzbudzenia rezonatora mogą być zarówno jednomodowe – gdy wzmacniane są fale o jednej częstotliwości (po-

wstaje jeden mod), jak i wielomodowe – gdy równolegle wzmacniane są fale o kilku częstotliwościach harmonicznym. W rezonatorach trójwymiarowych istnieje ponadto podział na mody osiowe (podłużne) i poprzeczne. W rezonatorach, w których jeden wymiar jest dominujący (np. tuby rezonansowe generatorów infradźwięków) wzbudzone są wyłącznie mody osiowe. [6]

Istotnym w budowie rezonatorów tubowych jest fakt, iż ich wymiary poprzeczne są pomijalne w porównaniu z długością fal, które wzmacniają. W przypadku fal akustycznych o większych częstotliwościach (a więc mniejszych długościach), wymiary poprzeczne nabierają dużego znaczenia, gdyż drgania własne rezonatora zachodzą wtedy w dwóch dodatkowych kierunkach (na szerokości i wysokości rezonatora). Wpływu modów poprzecznych nie widać w tubowych rezonatorach infradźwięków, natomiast pewien wpływ na częstotliwość rezonansową mogą w tym przypadku odegrać wymiary oczyszczanych urządzeń, które wraz z tubą stanowią pewien układ akustyczny.

Przed wszystkim jednak częstotliwość rezonansowa dźwięku zależy od prędkości propagacji fali akustycznej w danym ośrodku, a więc również od temperatury w nim panującej (w znacznie mniejszym stopniu od innych parametrów, np. wilgotności). Układ oczyszczania za pomocą fal akustycznych musi więc być wyposażony w układ automatyki, aby stale generowany był sygnał o częstotliwości rezonansowej. Jest to szczególnie istotne w przypadku oczyszczania powierzchni kotła ze względu na zmiany temperatury, panującej w komorze paleniskowej. W przeciwnym wypadku, gdy częstotliwość fali różni się (nawet nieznacznie) od rezonansowej, sprawność urządzenia znacznie spada, a więc jego praca z wysoką sprawnością byłaby niemożliwa. Jak podaje [2] spadek mocy urządzenia o 50% obserwowany jest już przy różnicy częstotliwości rezonansowej i częstotliwości fali generowanej o 0,5 Hz. [2], [9]

Sterowanie generatora infradźwięków może, jak w przypadku Pyłofonu firmy Kwant, odbywać się przy zastosowaniu pętli sprzężenia zwrotnego, dzięki której układ dostraja się do częstotliwości rezonansowej dla warunków pa-



nujących w oczyszczanej przestrzeni w danej chwili. Układ sterowania Pyłofonem pozwala również m.in. na jego zdalne załączanie, zdalne blokowanie cyklu, blokowanie wrażliwych urządzeń akustycznych na czas oczyszczania oraz zapewnia diagnostykę pracy urządzenia. [9]

Urządzenia komercyjne

Obecnie na rynku obecnych jest kilka rozwiązań urządzeń do akustycznego oczyszczania powierzchni z osadów. Najbardziej znanymi producentami generatorów oczyszczania akustycznego są szwedzkie firmy – Infracore AB oraz Kockum Sonics. W Polsce produkuje je firma Kwant z Krakowa. W tekście zamieszczono opisy komercyjnych instalacji oczyszczania akustycznego wg danych dostarczonych w materiałach informacyjnych oraz na stronach internetowych producentów.

Zakład Aparatury Pomiarowej Kwant posiada w swojej ofercie 2 modele generatora infradźwięków dużej mocy: Pyłofon M1-400 i M2-250. Oba pracują na identycznej częstotliwości (stąd długość rezonatora w obu przypadkach wynosi 4250 mm), zasilane są sprężonym powietrzem o ciśnieniu od 4 do 6 barów i pracują w sekwencji 10-90 sekund pracy / 10-90 minut przerwy (z doświadczeń posiadanych przez firmę wynika, że praca przez 20-30 sekund z przerwą 20-60 minut jest wystarczająca do utrzymania urządzeń w czystości). Generator M1 napędzany jest silnikiem elektrycznym o mocy 1,5 kW, natomiast M2 – 1,1 kW. Wydatek powietrza wynosi 0,6-0,8 m³/s (M1) i 0,2-0,4 m³/s (M2). Średnica rezonatora wynosi 406 mm (M1) i 273 mm (M2). Konstrukcja wspierająca i system mocujący pyłofony pozwala wyprowadzić wylot z tuby rezonansowej przez strop lub ścianę czyszczonego urządzenia. W okresie przerw dopływ powietrza zamknięty jest zaworem klapowym, napędzanym siłownikiem pneumatycznym. Czujnikiem sprzężenia zwrotnego jest mikrofon pomiarowy. Generatory produkowane przez Zakład Aparatury Pomiarowej Kwant przeznaczone są, według informacji podanych przez producenta, do oczyszczania powierzchni ogrzewalnych ko-

tłów wodnych i parowych o konstrukcji zarówno rusztowej, jak i pyłowej. Stosowane są też do oczyszczania reaktorów odsiarczania spalin i obrotowych podgrzewaczy powietrza. [16]



fot1. Urządzenie Pyłofon produkcji polskiej (zdjęcie dzięki uprzejmości firmy Kwant).



fot2. Urządzenie Pyłofon zainstalowane na obiekcie (zdjęcie dzięki uprzejmości firmy Kwant).



fot3. Urządzenie Pylofon (zdjęcie dzięki uprzejmości firmy Kwant).

Generator infradźwięków o nazwie Infrafalon jest autorskim rozwiązaniem urządzenia czyszczącego, opracowanego w firmie Energotech i został szerzej opisany w [7]. Cechuje go konstrukcja oparta na rozwiązaniach szwedzkiej firmy Infracone, lecz możliwie uproszczona w celu zmniejszenia kosztu zakupu. Główną impulsową generatorem Infrafalon jest zasilana powietrzem sprężonym do ciśnienia od 4 do 9 barów. Wydatek powietrza waha się w granicach 0,125-0,25 m^3/s (podczas pracy urządzenia) i 0,06 m^3/s (podczas biegu jałowego). [7]

Infracone jest szwedzką firmą, zajmującą się technologią czyszczenia akustycznego. Produkowane przez nią urządzenia generują falę akustyczną o częstotliwości od 16 do 32 Hz. Zdmuchiawce APL i APX są przeznaczone do czyszczenia kotłów w elektrowniach i ciepłowniach, natomiast model APM ze względu na znacznie mniejszą moc akustyczną jest dedykowany siłowniom okrętowym i mniejszym kotłom przemysłowym. Średnice zakończeń dyfuzorów wynoszą: 273 mm (APM 15), 324 mm (APM 70), 406 mm (APM 150), 517 mm (APM 350), 727 mm (APL 1000), 900 mm (APX 2000) i 1500 mm (APX 5000), natomiast wartości liczbowe w nazwach modelu odpowiadają ich mocy akustycznej wyrażonej w watach. Wysokość urządzeń wynosi od 2,5 do 6,5 m. [4]

Kockum Sonics jest szwedzką firmą produkującą różnej wielkości generatory fal akustycznych, zarówno słyszalnych, jak i infradźwiękowych. W ofercie firmy znajdują się urządzenia o nazwie Insonex (pracujący na infradźwiękach), Sonoforce (pracujący na dźwiękach słyszalnych) oraz Pulsator służący

do fluidyzacji materiałów sypkich. Jej produkty mogą być używane do oczyszczania osadów powstałych podczas spalania różnych paliw – węgla, oleju opałowego lekkiego i ciężkiego, biomasy, odpadów drzewnych, ługu posiarzynowego oraz śmieci. Zdmuchiawcz Insonex zasilany jest sprężonym powietrzem o ciśnieniu 5-7 barów, rolę impulsatora pełni zawór elektromagnetyczny, natomiast zużycie powietrza wynosi 0,27-0,39 m^3/s (dane dla modelu Insonex 200/228 G wg [5]). Charakterystyczny ze względu na wykładniczy kształt rezonatora generator Sonoforce zasilany jest sprężonym do ciśnienia 4-6 barów powietrzem, którego wydatek wynosi 0,07-0,108 m^3/s (dane dla modelu Sonoforce IKT 230GD/170 wg [5]). [5], [8]

Nirafon Oy jest fińską firmą, zajmującą się produkcją instalacji oczyszczania akustycznego. W jej ofercie znajduje się m.in. generator NCSD (Nirafone Cleaning Sound Device), określany przez firmę jako urządzenie trzeciej generacji. Jego działanie polega na wytwarzaniu fali akustycznej za pomocą wybuchowego spalania niewielkiej ilości paliwa gazowego (LPG). Dzięki takiemu rozwiązaniu urządzenie posiada stosunkowo małe rozmiary i nie musi być zasilane sprężonym powietrzem. Generatory NCSD generują infradźwięk o częstotliwości od 1 do 15 Hz. Wytworzenie impulsu powietrza odbywa się kosztem spalania 0,4 g gazu, urządzenie spala więc do 6 g/s gazu. Poziom ciśnienia akustycznego wytwarzany przez generator NCSD dochodzi do 170 dB. Poza tym może on oczyszczać urządzenia, w których panuje temperatura rzędu 1500°C. [12]

Infradźwięki technologią przyszłości?

Technologie akustycznego oczyszczania powierzchni ogrzewalnych kotła energetycznego obok swoich niewątpliwych zalet ma też jednak pewne ograniczenia. Jest nim przede wszystkim struktura zanieczyszczeń. Metoda będzie nieefektywna, jeśli będą one lekkie, spieczone lub jeśli temperatura panująca w oczyszczanej przestrzeni spadnie poniżej punktu rosy wody lub wzrośnie powyżej temperatury topnienia sadzy. Innym, nie

BIBLIOGRAFIA

- [1] Piotr Orłowski, Wacław Dobrzański, Kotły parowe w energetyce przemysłowej, WNT, Warszawa 1991
- [2] Marek Pronobis, Modernizacja kotłów energetycznych, WNT, Warszawa 2002
- [3] www.nitrolen.pl, stan na grudzień 2012
- [4] www.infracone.se, stan na grudzień 2012
- [5] www.proteko.pl, stan na grudzień 2012
- [6] Encyklopedia fizyki współczesnej pod red. Andrzeja Kajetana Wróblewskiego, PWN, Warszawa 1983
- [7] Czesław Jędrusyna, Wykorzystanie techniki infradźwięków do oczyszczania powierzchni ogrzewalnych kotłów i urządzeń pomocniczych, Energetyka, lipiec 2008, str. 516-519.
- [8] Materiały informacyjne firmy Kockum Sonics
- [9] Opis techniczny urządzenia Pylofon firmy Kwant (komunikacja prywatna)
- [10] W. Tempest, Infrasound and Low Frequency Vibration, Academic Press Inc., London 1976
- [11] Johansson I., INFRASONIK AB: Frequency controlled motor driven low frequency sound generator. Szwecja. WO 90/00095. Opubl. 11.01.1990.
- [12] www.nirafon.com, stan na grudzień 2012
- [13] Olsson M. A.: An air-driven low frequency sound generator and a method for regulating the piston in such a generator. EP1542810 B1.
- [14] Friedeman Hausdorf, Podręcznik budowy zestawów głośnikowych, Poznań 1996
- [15] Olsson M. A.: Infrasound generator. USA. US 4,624,220. Opubl. 25.11.1985.
- [16] Materiały informacyjne firmy Kwant
- [17] www.infrason.com, stan na grudzień 2012

tyle ograniczeniem, co utrudnieniem mogą być wąskie kanały w kotle – istnieje wtedy problem z utrzymaniem poziomu dźwięku we wszystkich częściach kotła. Aby układ oczyszczania akustycznego kotła działał z jak największą efektywnością potrzebny jest każdorazowo dobór odpowiednich jednostek, optymalne ich rozmieszczenie, dobór częstotliwości oraz sterowanie. Jest to możliwe dzięki zaawansowanej wiedzy producentów generatorów infradźwiękowych oraz symulacjom komputerowym. [2], [4], [7]

Należy również zaznaczyć, iż opisywana technologia oczyszczania akustycznego znajduje, poza powierzchniami ogrzewalnymi kotłów (ścianki i przegrzewacze) i urządzeniami kotłowymi takimi jak np. podgrzewacz wody i powietrza, zastosowanie również w innych urządzeniach energetycznych: w elektrofiltrach, filtrach workowych, cyklonach, reaktorach układów odsiarczania spalin, a także w innych gałęziach przemysłu [4], [5], [8]. Infradźwięki stosuje się też m.in. do fluidyzacji materiału sypkiego w silosach. [8]

Technologia akustycznego oczyszczania powierzchni budziła zainteresowanie zakładów przemysłowych i energetycznych od chwili jej wynalezienia. Dawała ona i wciąż daje nadzieje na większe oszczędności zarówno pary wodnej (będącej czynnikiem w zdmuchiwaczach parowych), jak i paliwa (oszczędności wynikające z utrzymania wysokiego współczynnika wymiany ciepła pomiędzy spalinami, a powierzchniami ogrzewalnymi – utrzymanie tego współczynnika na stałym poziomie jest możliwe dzięki stałemu usuwaniu cząstek pyłów i osadów z powierzchni wymienników). Stosowanie tej technologii przynosi również inne korzyści ekonomiczne – zmniejsza się ilość postojów bloków energetycznych spowodowanych koniecznością ręcznego zbijania zanieczyszczeń z powierzchni urządzeń, a okresy postoju są krótsze [5]. Ponadto technologia oczyszczania akustycznego ma szereg innych istotnych zalet, np. szeroki zakres działania, w tym w ukrytych obszarach i w kierunku przeciwnym do przepływu spalin (dzięki czemu miejsce zamontowania wylotu z rezonatora nie ma tak dużego znaczenia). [4], [5], [7]

Istotny jest też fakt, iż montaż instalacji nie wymaga długotrwałego odstawienia kotła (jedyną czynnością, jaką należy wykonać na wyłączonym obiekcie jest właściwie tylko spawanie dyfuzora do ścianek urządzenia [17]), a okres zwrotu inwestycji jest stosunkowo krótki za sprawą korzyści energetycznych (zwiększonej produkcji mocy i spadku konsumpcji energii przez urządzenia pomocnicze bloku) wynikających z zastosowania tej nowoczesnej metody oczyszczania. Poza korzyściami ekonomicznymi i energetycznymi istotnymi wydają się również być korzyści ekologiczne, takie jak: zmniejszenie emisji pyłu do atmosfery i zmniejszenie zużycia energii na potrzeby własne zakładu energetycznego lub przemysłowego. Technologia akustycznego oczyszczania maszyn i urządzeń energetycznych jest wciąż rozwijana i dopracowywana, a liczne instalacje tego typu pracujące w zakładach energetycznych i przemysłowych na całym świecie mogą świadczyć o dużym zainteresowaniu tą nowoczesną i wysokowydajną metodą. [5], [7]



HEATMASTERS
the wizards of metal

- **obróbka cieplna metali w piecach**
 - wyżarzanie
 - normalizacja
 - przesycanie
- **obróbka cieplna urządzeniami przewodnymi**
- **sprzedaż i wynajem urządzeń do obróbki**



Heatmasters Poland Sp. z o.o.
ul. Sielecka 63
42-500 Będzin

tel. +48 32 292 12 43, fax +48 32 363 49 69

biuro@heatmasters.pl,
handlowy@heatmasters.pl
produkcja@heatmasters.pl