

Andrzej Adamkiewicz¹⁾, Aleksander Valishin¹⁾

ZAPOBIEGANIE OSADZANIU KAMIENIA KOTŁOWEGO W OKRĘTOWYCH KOTŁACH PAROWYCH METODĄ ULTRADŹWIĘKOWĄ

PREVENTING FURRING UP IN MARINE STEAM BOILERS USING THE ULTRASOUND METHOD

STRESZCZENIE W artykule przedstawiono wyniki badań eksperymentalnych skuteczności uzdatniania/zmiękczenia wody kotłowej metodą ultradźwiękową. Następująca w polu ultradźwiękowym koagulacja cząsteczek soli wapnia i magnezu rozpuszczonych w wodzie kotłowej powoduje sedymentację i zatrzymywanie cząstek na filtrze po stronie ssącej pompy wodnej zasilającej kocioł. Zainstalowanie ultradźwiękowego wibratora w skrzyni cieplnej istotnie ogranicza osadzanie się kamienia kotłowego na powierzchniach wymiany ciepła pomocniczego kotła parowego, zmniejszając częstość i zakres okresowego czyszczenia powierzchni wewnętrznych kotła parowego żaglowca „Kruzensztern”.

Słowa kluczowe:

okrętowy kocioł parowy, uzdatnianie wody kotłowej, kamień kotłowy, zmiękczenie ultradźwiękowe.

ABSTRACT The article presents the results of experimental investigations on the effectiveness of boiler water conditioning/softening using the ultrasound method. Coagulation of particles of calcium and magnesium salt diluted in boiler water causes sedimentation and arresting of the particles on the filter in the intake part of the water supply pump. Installing an ultrasound vibrator significantly limits the sedimentation of the fur on surfaces of ancillary heat exchange in a steam boiler, reducing the frequency and scope of periodical cleaning of the inside surfaces of the steam engine installed in the sail ship ‘Kruzensztern’.

Keywords:

marine steam engine, boiler water conditioning, fur, ultrasound softening.

DOI: 10.5604/0860889X.1133240

¹⁾ Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Mechaniczny, Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn, 70-205 Szczecin, ul. Podgórna 51/53, e-mail: {a.adamkiewicz; a.valishin}@am.szczecin.pl

WSTĘP

Zanieczyszczenie powierzchni wymiany ciepła okrętowych kotłów parowych jest główną przyczyną rozwoju procesów destrukcji i uszkodzeń powierzchni wymiany ciepła, rur i walczaków kotłów wodnorurkowych oraz płomienicy w kotłach płomieniówkowych. Zanieczyszczeniem tym jest kamień kotłowy stanowiący warstwę osadu węglanów wapnia i magnezu powstających w wyniku termicznego rozkładu wodorowęglanów wapnia i magnezu zawartych w twardej wodzie. W wyniku procesu podgrzewania wody następuje rozkład jonów wodorowęglanowych HCO_3 do węglanowych CO_3^{2-} . W momencie rozkładu najtrudniej rozpuszczalne węglany wytrącają się w postaci osadu (kamienia): nierozpuszczalnego CaCO_3 i łatwiej rozpuszczalnego MgCO_3 . Zanieczyszczenia powstają w wyniku osadzania się soli rozpuszczonych w wodzie, pogarszając przewodność ciepła i powodując przegrzewanie metalu.

W pracach [1, 3] wykazano, że charakter uszkodzeń przy przegrzaniu metalu zależy od wielkości i czasu trwania wzrostu temperatury i może przejawiać się: zmianą struktury i wytrzymałości elementu, ubytkami powierzchni płaskich, lokalnym powiększeniem średnicy rury, zwisaniem lub wyginaniem rur, zwężaniem albo zapadaniem się płomienic, rozerwaniem lub podłużnym pękaniem. Na rysunku 1. pokazano uszkodzenia rur kotła przy przegrzaniu krótkotrwałym powyżej temperatury 700°C . Następuje wówczas rekrytalizacja struktury materiału, która

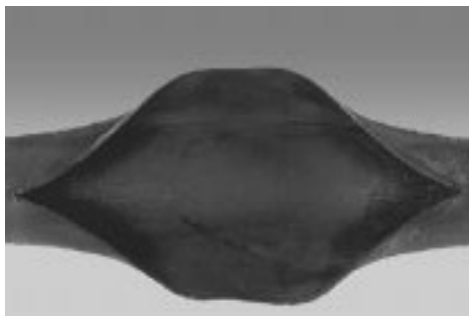
INTRODUCTION

Fouling of heat exchange surfaces in marine steam boilers is the main cause of destruction and damaging processes affecting heat exchange surfaces, tubes, and drums in water-tube boilers and furnace tubes in fire-tube boilers. This fouling consists of a layer of calcium carbonates and magnesium carbonates forming as a result of the thermal decomposition of calcium carbonates and magnesium carbonates contained in hard water. As a result of heating water, bicarbonate ions HCO_3 decompose into carbonate ions CO_3^{2-} . At the time of decomposition the most poorly soluble carbonates precipitate and form lime-scale: insoluble CaCO_3 and more readily soluble MgCO_3 . Fouling occurs as a result of sedimentation of salts dissolved in water, impairing thermal conductivity and causing the overheating of metal.

It is shown in [1, 3] that the character of damage relating to metal overheating depends on the magnitude and duration time of increase in temperature and can be manifested by change in the structure and strength of an element, decrement in flat surface areas, local increase in tube diameter, sagging or bending of tubes, tapering or foundering of furnace tubes, rupture or lengthwise cracks. Figure 1 shows the damage to boiler tubes resulted from short-time overheating above a temperature of 700°C . Then there occurs re-crystallization of the material structure, which causes the tube strength to decrease. In this case the

powoduje nagle zmniejszenie wytrzymałości rury. W tym przypadku kierunek rozerwania zawsze jest zorientowany wzdłuż osi rury, przy czym grubość ściany rury pozostaje niezmienną. Potwierdza to brak pełzania metalu.

direction of rupture is always oriented along the axis of the tube, and the thickness of the tube wall remains unchanged. This confirms the absence of metal creep.



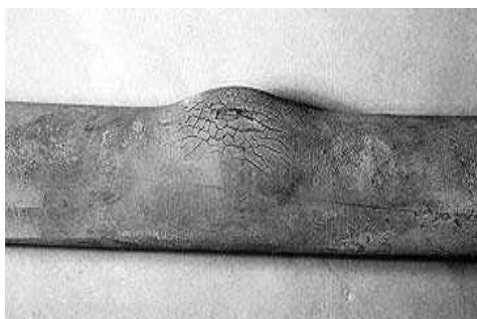
Rys. 1. Uszkodzenia rur kotłowych w wyniku krótkotrwałego przegrzania

Fig. 1. Damage to boiler tubes caused by short-time overheating

Źródło / Source: A. Adamkiewicz, K. Kołwzan, *Wpływ produktów spalania na uszkodzenia okrętowych kotłów pomocniczych, XXVIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Gdynia 2007, pp. 13–18* [Effect of burning on damage to marine auxiliary boilers, 28th Conference on Marine Power Plants — available in Polish].

Przy długotrwałym oddziaływaniu temperatury na metal rur powstają wypiętrzenia, a w ich miejscu grubość ścianki rury ulega zmianie. Na rysunku 2. przedstawiono konsekwencje przegrzania metali przy długotrwałym oddziaływaniu temperaturą powyższej 600°C.

During long-time exposure of tube metal to temperature, swellings occur and in these places the tube wall thickness changes. Figure 2 shows the results of metal overheating caused by long time exposure to temperatures over 600°C.



Rys. 2. Uszkodzenie rur kotłowych w wyniku długotrwałego przegrzania

Fig. 2. Damage to boiler tubes caused by long-time overheating

Źródło / Source: A. Adamkiewicz, K. Kołwzan, *op. cit.*

Przegrzanie metali rur w kotłach wodnorurkowych i płomienic w kotłach płomieniówkowych często doprowadza do ich zniszczenia zmęczeniowego. Generalną konsekwencją osadzania się kamienia kotłowego jest korozja metali powierzchni wymiany ciepła, ze wszystkimi konsekwencjami. Zapobieganie osadzaniu się kamienia kotłowego jest ważnym problemem w utrzymaniu kotłów.

ANALIZA SPOSOBÓW ZAPOBIEGANIA OSADZANIA SIĘ KAMIENIA KOTŁOWEGO

Zapobieganie osadzaniu się kamienia kotłowego w instalacjach parowych polega na stosowaniu dodatków zmiękczających wodę. Woda techniczna, jaką zasilane są kotły, może mieć różne właściwości, takie jak twardość, zawartość chlorków, zasadowość, ma określoną liczbę fosfatową, koncentrację jonów wodorowych, zawartość tlenu, oleju i innych produktów ropopochodnych. Najbardziej rozpowszechnionym i reprezentatywnym dla własności wskaźnikiem jest ogólna twardość T_o — suma wszystkich rozpuszczalnych w wodzie soli wapnia T_{Ca} (twardość wapniowa) i magnezu T_m (twardość magnezowa) wyrażona w miligramach val na liter ($mg\ val/dm^3$). Jakość wody zasilającej kotły parowe określa polska norma [6]. W tabeli 1. zamieszczono ważniejsze wymagania (zgodne z tą normą).

Najwcześniej wdrożoną na statki morskie i najpopularniejszą metodą uzdatniania wody kotłowej, zapobiegającą tworzeniu się osadów kamienia kotłowego, jest dodawanie do niej środków

Overheating of tube metal in water-tube boilers and furnace tubes in fire-tube boilers often leads to their failure. The general result of limescale buildup in boilers is corrosion of metals in heat exchange surfaces together with all its consequences. To prevent limescale buildup is an important issue relating to the maintenance of boilers.

AN ANALYSIS OF METHODS FOR PREVENTING LIMESCALE BUILDUP IN BOILERS

Prevention of limescale buildup in steam boilers relies on using water softening additives. Water supplied to boilers, can have various properties, such as hardness, content of chlorides, alkalinity, a specific phosphate value, concentration of hydrogen ions, content of oxygen, oil and other oil-related products. The most common and representative property ratio is general hardness T_o — sum of all calcium salts soluble in water T_{Ca} (calcium hardness) and magnesium T_m (magnesium hardness) expressed in milligrams val per liter ($mg\ val/dm^3$). The quality of water supplied to steam boilers is specified by the Polish Standard [6]. The most important requirements (following the standard) are listed in table 1.

The earliest and the most common method of boiler water treatment implemented in seagoing ships, for preventing the formation of limescale is to add chemical agents to water: nitrates and phosphates. This method is based on the phenomenon of coagulation,

chemicznych: azotanów i fosforanów. Metoda oparta jest na zjawisku koagulacji, zmniejszającym rozproszenie cząstek koloidalnych, które ze względu na zbyt małe rozmiary nie mogą być usunięte w filtrach mechanicznych.

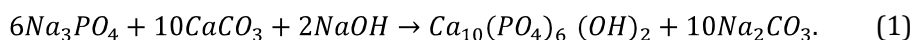
reducing scattering of colloidal particles, which due to too their small size cannot be removed by means of mechanical filters.

Tabela 1. Wybrane własności wody zasilającej kotły parowe
Table1. Selected properties of water supplied to steam boilers

Wymagania Requirements	Jednostka Unit	Kotły z naturalną cyrkulacją o nadciśnieniu: Boilers with natural circulation having above atmospheric pressure:		
		4–8 MPa	8–12 MPa	ponad / more than 12 MPa
Wygląd Appearance		klarowna i bezbarwna clear and colorless		
Zawartość tlenu O ₂ Content of oxygen O ₂	mg/dm ³	do / up to 0,2		do / up to 0,01
Twardość ogólna General hardness	mval/dm ³	do / up to 0,01	do / up to 0,002	
Zawartość żelaza Content of iron	mg/dm ³	do / up to 0,05	do / up to 0,02	0,01–0,02
Zawartość miedzi Content of copper	mg/dm ³	do / up to 0,01	do / up to 0,005	
Zawartość CO ₂ Content of CO ₂	mg/dm ³	do / up to 20	do / up to 1,0	
pH w temp. 20°C pH in temp. 20°C		8,5–9,5		
Zawartość oleju Content of oil	mg/dm ³	do / up to 0,5	do / up to 0,3	

Najczęściej do utrzymania zasadowości wody dodaje się ortofosforan trój-sodowy Na₃RO₄ • 12H₂O. Przy liczbie zasadowej pH < 9 reakcja przebiega następująco:

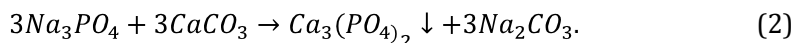
In order to maintain water alkalinity most often trisodium orthophosphate Na₃RO₄ • 12H₂O is added. For the alkalinity value pH < 9 the reaction runs as follows:



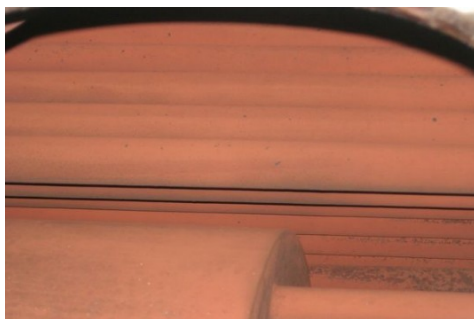
Związek Ca₁₀ (PO₄) (OH)₂, zwany kationitem hydroksylowym, wytrąca się w postaci osadu i może być usunięty

The compound Ca₁₀ (PO₄) (OH)₂, referred to as hydroxyl cation exchanger, precipitate in the form of sediment and

przez szumowanie dolne kotła. Jeśli środowisko jest obojętne lub kwaśne, to w wyniku reakcji wytwarza się fosforan wapnia, co prowadzi do osadzania się kamienia kotłowego:



Utrzymywanie stężenia jonów fosforanowych oraz zasadowość wody kotłowej w pewnym stopniu chroni powierzchnię metalu od osadów kamienia kotłowego [4]. Stosowanie środków chemicznych jednak nie zawsze jest metodą skuteczną, ponieważ przy niedobranym utrzymaniu jakości wody kotłowej przez załogę albo przy nieszczelności skraplacza może wzrosnąć zawartość soli i osadzanie się kamienia kotłowego. Ocena organoleptyczna czystości powierzchni przewodzących ciepło w kotle pomocniczym statku „Kruzernsztern” przy chemicznym uzdatnianiu wody (rys. 3.) uzasadniła potrzebę opracowania i wdrożenia innej metody.



Rys. 3. Widok powierzchni przewodzących ciepło przy chemicznym uzdatnianiu wody kotłowej

Fig. 3. Surfaces conducting heat in the case of chemical treatment of boiler water

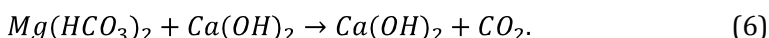
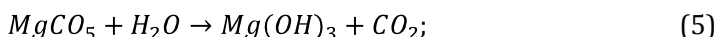
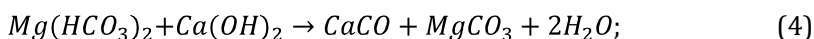
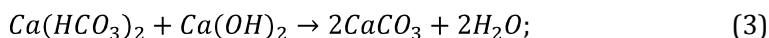
Dyskusję sposobów zapobiegania osadzaniu się kamienia kotłowego w wytwornicach pary elektrowni przeprowadzono w pracy [8]. Oprócz koagulacji mogą być stosowane podane dalej metody.

can be removed by bottom skimming the boiler. If the environment is neutral or acid, then as a result of the reaction, calcium phosphate forms, this leads to limescale buildup:

Maintaining the concentration of phosphate ions and boiler water alkalinity, to some extent, protects the metal surface against limescale [4]. Using chemical agents is not always an effective method as in the case of insufficient maintenance of boiler water quality or condenser leakage the content of salt and limescale buildup can increase. Organoleptic evaluation of cleanliness of surfaces conducting heat in the auxiliary boiler in the vessel ‘Kruzernsztern’, where chemical water treatment was applied (fig. 3), justified the need to develop and implement a different method.

The work [8] discusses the ways of preventing limescale buildup in a steam generator in a power plant. Apart from coagulation can be used given further methods.

Dekarbonizacja — polega na usuwaniu z wody węglanów wapnia i magnezu. Najczęściej stosowaną metodą usuwania z wody twardości węglanowej jest dekarbonizacja wapnem, przebiegająca według reakcji:



W wyniku tych reakcji powstają trudno rozpuszczalne obojętne węglany wapnia i wodorotlenek magnezu, które można oddzielić przez sedimentację i filtrację. Podatne do dekarbonizacji są wody o dużej twardości wapniowej, nie węglanowej, i małej twardości magnezowej.

Filtrowanie — ma na celu usunięcie z wody zanieczyszczeń o rozmiarach większych od około 1 μm . Efekt oczyszczania wody w filtrach zależy od rodzaju zanieczyszczeń występujących w wodzie, granulacji materiału filtracyjnego, prędkości przepływu i wysokości złoża filtracyjnego. Granulacja materiału filtracyjnego jest uzależniona od wielkości cząstek zawiesiny usuwanej z wody i powinna być tym mniejsza, im drobniejsza jest zawiesina. Materiały filtracyjne (najczęściej żwir) powinny być odporne fizycznie i chemicznie, a ich struktura winna umożliwiać łatwe obmywanie w czasie płukania.

Do zmiękczenia wody używane są kationity silnie i słabo kwasowe sodowe lub wodorowe. Działanie kationitów sodowych polega na wymianie zawartych

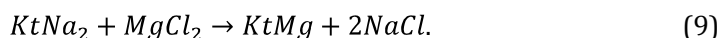
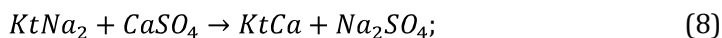
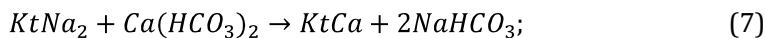
Decarbonization — relies on removing calcium carbonates and magnesium carbonates from water. The most often used method of removing carbonate-related hardness from water is decarbonization by means of calcium which runs as the following reactions:

As a result of these reactions poorly soluble neutral calcium carbonates and magnesium hydroxide form, this can be separated through sedimentation and filtration. Water of high calcium-related hardness, non-carbonate, and low magnesium-related hardness are capable of submitting to decarbonization.

Filtration — is used to remove fouling from water larger than approx. 1 μm . The result of water purification in filters depends on the kind of fouling occurring in the water, granulation of filtration material, flow speed and height of filtration bed. Granulation of filtration material is dependent on the size of sedimentary particles being removed from water. The finer the sedimentary solids are, the smaller the granulation should be. Filtration materials (most often gravel) should be physically and chemically resistant and their structure should allow for easy washing by the rinsing process.

In order to soften water, sodium or hydrogen cation exchangers, are used strongly and weakly acidic. Action of

w wodzie jonów wapnia i magnezu na jony sodowe. Zachodzące reakcje przebiegają następująco:



Sole sodowe otrzymane w wyniku reakcji są dobrze rozpuszczalne w wodzie i nie wywołują szkodliwych następstw właściwych solom wapnia i magnezu. Twardość szczytkowa wody zmiękczonej zależna jest od zawartości sodu i twardości ogólnej wody surowej. Duża zawartość sodu powoduje, że już w czasie pracy wymiennika następuje częściowa regeneracja sodu, co powoduje wzrost twardości szczytkowej wody wypływającej z regeneratora. Podobny wpływ ma bardzo wysoka twardość ogólna.

Proces demineralizacji wody polega na usunięciu z niej wszystkich jonów zdysocjowanych soli. Demineralizacja jest procesem dwuetapowym i składa się z dekationizacji oraz deanionizacji. W najprostszym przypadku może to być układ dwóch wymienników — silnie kwaśnego i silnie zasadowego. Układ demineralizacji składający się tylko z dwóch wymienników jest rzadko stosowany, gdyż nadaje się wyłącznie dla wód o małym stopniu zasolenia. Wody silniej zasolone wymagają układów bardziej rozbudowanych. Wybór układu technologicznego zależy od ilości i składu chemicznego zawartych w wodzie soli, od wymaganego stopnia jej oczyszczenia oraz od wydajności instalacji.

sodium cation exchangers involves the exchange of calcium and magnesium ions contained in water for sodium ions. The reactions run as follows:

Sodium salts resulting from the reaction are readily soluble in water and do not cause problems characteristic of calcium and magnesium salts. Residual hardness of the softened water depends on the content of sodium and general hardness of the water supplied. A large content of sodium causes partial regeneration of sodium during the work of the exchanger, which leads to the increase in residual hardness of water flowing out of the regenerator. Very high general hardness has a similar effect.

The process of water demineralization relies on removing all dissociated salt ions from water. Demineralization is a two-stage process and consists of decationization and deanionization. In the simplest case this can be a system of two exchangers — strongly acidic and strongly anionic. A system of demineralization consisting of only two exchangers is rarely used, as it is applicable only to weakly saline water. More strongly saline water requires a more complex system. Choosing a technical system depends on the amount and the chemical composition of salts contained in water, on the required level of its purification and an efficiency of the installation.

Przedstawione sposoby zmiękczenia wody kotłowej, rozszerzone poza okrętownictwo, również na elektrownie, pokazują, że możliwość zastosowania wielu z nich na statkach morskich jest niewielka lub ograniczona, ponieważ oprócz instalowania dodatkowych urządzeń, takich jak reaktory do dekarbonizacji, wymienniki demineralizacji, filtry i dodatkowe instalacje rurociągów wodnych, są kosztowne i nie zawsze możliwe do zastosowania. Dla poprawienia jakości wody kotłowej na statkach morskich poszukuje się nowych, skutecznych i niedrogich metod. Jedną z nich może być zmiękczenie wody kotłowej metodą ultradźwiękową.

ZMIĘKCZANIE WODY KOTŁOWEJ METODĄ ULTRADŹWIEKOWĄ

Zjawisko koagulacji rozpuszczonych w wodzie cząsteczek w polu ultradźwiękowym jest znane od dawna [5], ale nie jest często stosowane. Rozpuszczone cząsteczki magnezu i wapnia znajdujące się w wodzie kotłowej tworzą roztwór koloidalny. W konsekwencji mają duże powierzchnie, ale małą masę, co powoduje ich adsorpcję do wewnętrznych powierzchni rur, walczaków i zewnętrznych powierzchni płomienic. Oddziaływanie pola ultradźwiękowego na koloidalne cząsteczki prowadzi do ich łączenia i zwiększenia masy, w wyniku czego następuje sedymentacja w postaci osadów. Dzięki temu mogą być one usunięte w procesie filtracji. W pracy [2] przedstawiono szeroko rozpowszechnione metody przemysłowe, oparte na obróbce wody przez reagenty tworzące z odpowiednimi jonami metali słabo rozpuszczalne połączenia. Wadą tych

The presented methods for softening boiler water concerning not only ship environment but also power plants, show that many of them have small or limited application in seagoing ships, as apart from installing additional appliances such as reactors for decarbonization, demineralization exchangers, filters and additional water pipe installations they are expensive and not always possible to use. In order to improve the quality of boiler water in seagoing ships new effective and inexpensive methods are searched for. One of them can be softening water with the ultrasonic method.

SOFTENING BOILER WATER WITH THE ULTRASONIC METHOD

The phenomenon of coagulation of dissolved-in-water particles in an ultrasonic field has been known for a long time [5], but it is not often used. Dissolved particles of magnesium and calcium which are present in boiler water make a colloidal solution. As a result, they have large surface areas but small mass, which causes their absorption to the inner surfaces of tubes, drums and outer surfaces of furnace tubes. The effect of an ultrasonic field on colloidal particles is that they combine and increase their mass, which leads to building up limescale. Owing to that they can be removed through filtration. The publication [2] presents widespread industrial methods, based on water treatment with reagents, which combined with appropriate metal ions make poorly soluble connections. The disadvantage of this method is the small pace of homogenization (nuclease) and growth of crystals, especially in the

metod jest mała szybkość procesu homogenizacji (nukleazy) i wzrostu kryształów, szczególnie przy niedużych stężeniach i niższych temperaturach, a także za niski stopień oczyszczania. Autorzy pracy [2] przedstawili wyniki badań oddziaływania drgań ultradźwiękowych na własności roztworu węgla wapnia w wodzie. Ustalono, że w wyniku obróbki ultradźwiękowej roztworów wodnych zmieniają się napięcia powierzchniowe i potencjał elektrochemiczny, natomiast prędkość koagulacji zwiększy się dwudziestokrotnie. Należy zauważyć, że w wodzie rozchodzą się tylko podłużne fale ultradźwiękowe.

Własności urządzenia ultradźwiękowego do zmiękczenia wody kotłowej określane są za pomocą następujących parametrów, wielkości i wskaźników:

1. Ciśnienia dźwięku — oddziaływania pola dźwiękowego na wodę zawierającą cząsteczki koloidalne, opisywanego według [5] zależnością

$$Pd = \rho_0 + \omega \cdot A \cdot \rho \cdot c \cos \omega t - \frac{x}{c}, \quad (10)$$

gdzie:

where:

- p_0 — ciśnienie cieczy (bez oddziaływania ultradźwiękowego) / liquid pressure (without ultrasonic action);
- ω — częstość drgań ultradźwiękowych / ultrasonic vibration frequency;
- A — amplituda drgań ultradźwiękowych / ultrasonic vibration amplitude;
- t — czas / time;
- x — odległość od źródła drgań / distance from the source of vibrations;
- c — prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej / ultrasonic wave propagation velocity.

2. Amplitudy ciśnienia ultradźwiękowego

2. Ultrasonic pressure amplitudes

$$Pd = \omega \cdot A \cdot \rho \cdot c = V \cdot \rho \cdot c = V \cdot Z_0, \quad (11)$$

gdzie:

where:

V — prędkość drgań ultradźwiękowych / ultrasonic vibration velocity;
 $Z_0 = \rho \cdot c$ — właściwa oporność falowa środowiska /
 wave resistivity of environment.

Prędkość rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w wodzie $c = 1485$ m/s, a właściwa oporność falowa wody $Z_0 = 1485 \cdot 10^{-3}$ kg/m²·s [5].

Velocity of ultrasonic wave propagation in water $c = 1485$ m/s, and wave resistivity of water $Z_0 = 1485 \cdot 10^{-3}$ kg/m²·s [5].

3. Mocy źródła promieniowania. Energię promieniowania ultradźwiękowego powstającego z jednostki objętości roztworu wodnego określa zależność:

3. Power of radiation source. The energy of ultrasonic radiation formed from a volume unit of water solution is described with the dependence:

$$E = 0,5\rho^2 \cdot A^2 \cdot \omega^2. \quad (12)$$

4. Natężenia dźwięku, które określa ilość energii rozchodzącej się przez jednostkę powierzchni prostopadłej do kierunku rozchodzenia się fali.

4. Sound power, which determines the amount of energy propagating through a unit of area perpendicular to the direction of wave propagation.

Przy instalowaniu źródeł ultradźwięku na elementach uzdatniania wody kotłowej należy zapewnić wielkość natężenia dźwięku w całej objętości urządzenia. Można to osiągnąć, zapewniając tłumienie amplitudy drgań i kierunkowość propagacji pola dźwiękowego w całej objętości wody w zbiorniku. Tłumienie amplitudy fali ultradźwiękowej na odległość S (m) można określić według wzoru:

When installing an ultrasonic source on elements of boiler water treatment it is necessary to make sure that the magnitude of sound power is in the whole volume of the device. This can be achieved through damping the vibration amplitude and propagation directivity of the sound field in the whole volume of water in the container. Damping the ultrasonic wave amplitude over the distance S (m) can be determined using the formula:

$$A = A_0 \cdot e^{-\alpha S}, \quad (13)$$

gdzie:

where:

α — współczynnik tłumienia, dla wody: 8,4 — obliczony i 25 — doświadczalny [5] / damping ratio, for water: 8,4 — calculated and 25 — experimental [5];
 S — odległość od źródła promieniowania / distance from radiation source.

Kierunkowość pola ultradźwiękowego w dużym stopniu zależy od wielkości stosunku średnicy źródła promieniowania do długości fali. Biorąc pod uwagę, że długość fali oblicza się jako stosunek prędkości rozchodzenia się fali do częstotliwości drgań

Directivity of an ultrasound field, to a large extent, depends on the relationship between the diameter of the radiation source and a wave length. Taking into account the fact that the wave length is calculated as the relationship between propagation velocity and vibration frequency

$$\lambda = c/f, \quad (14)$$

gdzie:

where:

f — częstotliwość drgań ultradźwiękowych (Hz) / ultrasonic vibration frequency (Hz),

widać, że im mniejsza częstotliwość drgań ultradźwiękowych i mniejsza średnica źródła promieniowania, tym skuteczniej rozpowszechni się pole w objętości wody. Na rysunku 4. pokazano różne rodzaje rozchodzenia się pola ultradźwiękowego w zależności od stosunku średnicy źródła drgań do długości fali.

it can be seen that the lower the ultrasound vibration frequency and the smaller the diameter of radiation source are, the more effectively the field will disseminate in the water volume. Figure 4 shows various kinds of propagation of an ultrasonic field depending on the relationship between the diameter of vibration source and the wave length.



Rys. 4. Rodzaje rozchodzenia się fal ultradźwiękowych przy różnych stosunkach średnicy źródła drgań do długości fali

Fig. 4. The kinds of propagation of ultrasonic waves relating to different relationships between the diameter of vibration source and the wave length

Źródło / Source: I. Matauszek, *Ultraszokowa technika, 'Metalurgia', Moskwa 1962.*

Przedstawione na rysunku 4. fale ultradźwiękowe o najmniejszej częstotliwości drgań najlepiej zapełniają objętość uzdatnianej wody. W praktyce częstotliwości te nie przekraczają 20 KHz. Wybór miejsca zamontowania źródeł drgań

The ultrasonic waves presented in figure 4, having the lowest vibration frequency fill the volume of the treated water the best. In practice these frequencies do not exceed 20 KHz. The choice of place to install ultrasound

ultradźwiękowych decyduje o jakości procesu zmiękczenia wody kotłowej. W niektórych publikacjach proponuje się instalowanie źródeł drgań w parowodnych walczakach kotłów. Jest to sposób instalacji wibratorów ultradźwiękowych nieskuteczny i niebezpieczny. Nieskuteczność oddziaływania ultradźwiękowego takiej instalacji wynika z faktu, iż dotyczy tylko wody znajdującej się w walczaku. Usuwanie osadów powstających przy koagulacji cząsteczek magnezu i wapnia i ich dalsze odmulanie zwiększa zużycie wody. Oprócz tego instalacja wibratorów w walczakach parowodnych niebezpiecznie osłabia ich konstrukcję. Korzystniejszym rozwiązaniem jest instalacja wibratorów ultradźwiękowych w skrzyni ciepłej. W ten sposób zmodernizowano instalację uzdatniania wody kotłowej statku „Kruzensztern”.

DOŚWIADCZENIA EKSPLOATACJI METODY ULTRADŹWIĘKOWEJ

Podczas modernizacji instalacji pomocniczego parowego kotła płomieniówkowego typu DGSH 1.0/8 produkcji niemieckiej w skrzyni ciepłej zamontowano urządzenie ultradźwiękowe produkcji rosyjskiej Zewsonik-2 z dwoma wibratorami magnetostrycyjnymi (rys. 5).

Wibratory zamontowane w wodowskarni skrzyni ciepłej generowały drgania ultradźwiękowe z częstością 20 KHz. Oddziaływanie ultradźwiękowe było dostosowane do wcześniejszego sposobu uzdatniania wody. W procesie eksploatacji kotła funkcjonowanie wibratorów spowodowało znaczne zwiększenie osadów wytrąconych związków w filtrach wody zasilającej (rys. 6).

vibration sources is decisive for the quality of the boiler water softening process. Some publications propose installing vibration sources in steam-water drums in boilers. This is an ineffective and dangerous method of installing ultrasonic vibrators. The ineffectiveness of such an installation derives from the fact that it affects only the water present in the drum. Removing limescale formed during coagulation of magnesium and calcium particles and its further blowing off increases the amount of water used. In addition installing vibrators in steam-water drums dangerously weakens their structure. A more efficacious solution is to install ultrasonic vibrators in a heat box. The installation used for boiler water treatment in the vessel 'Kruzensztern' has been modernized this way.

EXAMPLES OF USING THE ULTRASONIC METHOD

The Russian-made ultrasonic appliance Zewsonik-2 with two magnetostrictive vibrators (fig. 5) was installed in the heat box during the modernization of the installation of the auxiliary steam smoke tube boiler type DGSH 1.0/8 made in Germany.

The vibrators installed in the water-gauge glass in the heat box generated ultrasonic vibrations with frequency 20 KHz. The ultrasonic action was adjusted to the earlier employed method of water treatment. The work of vibrators in the process of operating the boiler caused a significant increase in limescale buildup in the supply water filters (fig. 6).



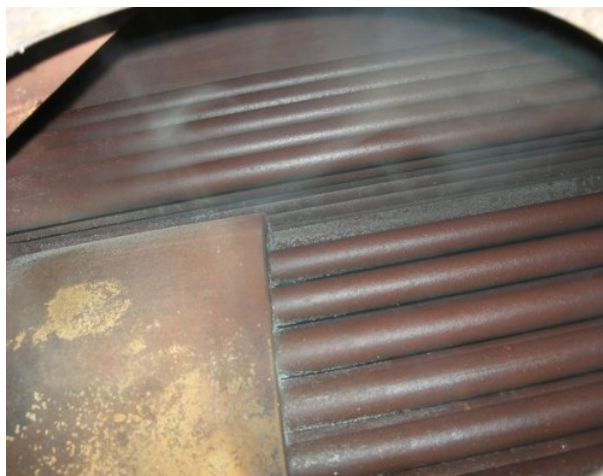
Rys. 5. Wibratory magnetostrykcyjne Zewsonik-2
Fig. 5. Magnetostrictive vibrators Zewsonik-2



Rys. 6. Widok zanieczyszczzonego wkładu filtra wody zasilającej
Fig. 6. A foul filter pack of supply water

Ocenę skuteczności urządzenia ultradźwiękowego w zapobieganiu osadzeniu się kamienia kotłowego przeprowadzono po rocznej eksploatacji kotła. Fragment dokumentacji fotograficznej wykonanej podczas inspekcji przedstawiono na rysunku 7. Oględziny powierzchni wymiany ciepła nie wykazały obecności osadów wymagających czyszczenia mechanicznego.

The assessment of effectiveness of the ultrasonic appliance in preventing lime-scale was carried out after one year of operating the boiler. A fragment of photographic documentation taken during an inspection is presented in figure 7. The visual inspection of the heat exchange surface did not show any presence of scale requiring mechanical cleaning.



Rys. 7. Widok powierzchni ogrzewanych po roku eksploatacji przy zastosowaniu uzdatniania wody metodą ultradźwiękową

Fig. 7. The heated surfaces after a year of operating using water treatment with the ultrasonic method

PODSUMOWANIE

Zastosowanie metody drgań ultradźwiękowych do uzdatniania wody kotłowej wykazało dużą skuteczność w zapobieganiu osadzeniu się kamienia kotłowego. Należy podkreślić, iż oddziaływanie ultradźwiękowe przeprowadzano wraz ze stosowaniem środków chemicznych — dodawano Caretreat 3 Boiler (producent Marine Care). Opracowana metoda uzdatniania wody kotłowej połączonymi metodami — chemiczną i ultradźwiękową — potwierdziła swą skuteczność w długim okresie eksploatacji kotła.

BIBLIOGRAFIA / REFERENCES

[1] Adamkiewicz A., Kołwzan K., *Wpływ produktów spalania na uszkodzenia okrętowych kotłów pomocniczych*, XXVIII Sympozjum Siłowni Okrętowych, Gdynia 2007, pp. 13–18 [*The effect of burning products on damage in marine auxiliary boilers* — available in the Polish].

SUMMARY

The use of the ultrasonic vibration method for treating boiler water shows a high level of effectiveness of preventing limescale. It must be underlined that the ultrasonic action was accompanied by the use of chemical agents — Caretreat 3 Boiler (made by Marine Care). The developed method of treating boiler water with combined methods — chemical and ultrasonic — has proved its effectiveness over a long period of operating the boiler.

[2] Czipriakova A., Miasnikov S., Kulov N., *Intensyfikacja krystalicznego-osaditelnych metodov oczistki wody*, Instut Obszycznej i Nieorganicznej Chimmii im. Kurnakova, RAN, Moskva 2012.

[3] Denisenko N., Kostyliev I., *Identifikacja powrezdenij elementov sudovych kotelnych ustanovok*, Elmor, Sankt Petersburg 2007.

- [4] Enin W., Denisenko N., Kostyliev I., *Sudovye kotelnye ustanovki*, 'Trasport', Moskva 1993.
- [5] Matauszek I., *Ultrazwukovaja technika*, 'Metalurgia', Moskva 1962.
- [6] Polska norma PN-EN: 12952-12, *Kotły wodnorurkowe i urządzenia pomocnicze, cz. 12, Wymagania dotyczące, jakości wody zasilającej i wody kotłowej* [*Water-tube boilers and auxiliary appliances, part 12, Requirements concerning quality of supply water and boiler water* — available in the Polish].
- [7] Sierakowski E., Mrożek I., *Kontrola wody i pary w energetyce*, ZPBE Energopomiar, Gliwice 1992 [*Water and steam control in power engineering* — available in the Polish].
- [8] Tatarek A., *Gospodarka wodna elektrociepłowni. Siłownie ciepłe — laboratorium*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2008 [*Water management in power plants. Thermal power plants — a laboratory* — available in the Polish].