

Marek PRONOBIS

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska

WSPÓŁCZYNNIKI EFEKTYWNOŚCI CIEPLNEJ ZANIECZYSZCZONYCH PĘCZKÓW KONWEKCYJNYCH

Streszczenie. Omówiono zasadnicze rodzaje zanieczyszczeń popioło - wych występujących na zewnętrznych powierzchniach rur kotłowych pęczków konwekcyjnych. Przedstawiono metodę obliczania współczynnika przenikania ciepła dla pęczków zanieczyszczonych, w której do określenia wpływu osadów na wymianę ciepła posłużono się współczynnikiem efektywności cieplnej Ψ . Podano 2 metody obliczania Ψ : metodę dokładną, wymagającą znajomości kształtu i przewodności cieplnej osadów oraz przybliżoną, opartą na statystycznej analizie wartości Ψ w pęczkach o różnych parametrach.

1. WSTĘP

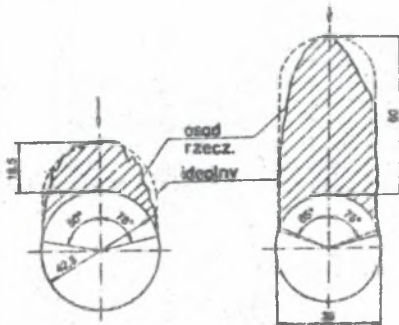
W trakcie pracy kotła powierzchnie ogrzewane ulegają zanieczyszczeniu osadami popiołu lotnego, co w znacznym stopniu pogarsza wymianę ciepła. Fawidłowe określenie wpływu zanieczyszczeń na wymianę ciepła w konwekcyjnej części kotła stwarzało dotąd poważne problemy. Porównując wyniki obliczeń cieplnych prowadzonych zgodnie z [1] z wynikami pomiarów stwierdzić można znaczne rozbieżności [2,3]. Różnice między zalecanymi w [1] i wyznaczonymi z pomiaru wartościami współczynników zanieczyszczenia przekraczają 100%. Obserwuje się w efekcie niedotrzymywanie wymaganych temperatur pary na wylocie z kotła, nadmiernie wysokie wtryski oraz bardzo często spotykane zbyt niskie temperatury podgrzania powietrza [2]. Błędne obliczenie powierzchni konwekcyjnych było powodem kosztownych modernizacji prawie wszystkich prototypów krajowych kotłów dużej mocy. Problem określenia wpływu osadów popiołu na wymianę ciepła w kotłowych pęczkach konwekcyjnych ma więc duże znaczenie praktyczne. W dalszej części pracy przedstawiono metody pozwalające na obliczenie współczynnika efektywności cieplnej tych wymienników z większą niż dotychczas dokładnością.

2. ZASADNICZE RODZAJE OSADÓW POPIOŁU

Badania [4,5] wykazały, że osady przybierają na ogół następujące formy:

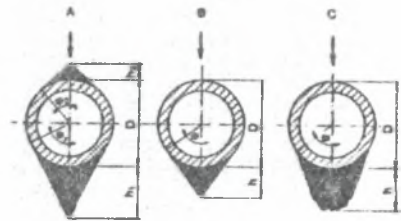
kotły na węgiel kamienny

- w zakresie temperatur spalin od ok. 1050°C do ok. 800°C osady jednostronne równoległe o długości równej 0,5 do 0,8 wolnej przestrzeni pomiędzy następującymi po sobie rurami. Osady te są silnie zestalone i pokrywają napływową część rur, przy czym udział powierzchni zanieczyszczonej rury zmienia się od $\varphi/\% = 0,25$ do 0,39. - rys.1.
- w zakresie temperatur spalin poniżej ok. 800°C rury pokryte są sypkimi osadami zbudowanymi z bardzo drobnego popiołu. W zależności od warunków cmywania i własności popiołu lotnego osady mogą mieć kształt jednostronny lub dwustronny styczny - rys.2 lub też przybierać formę mostków popiołowych - rys.3.



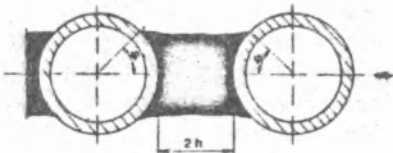
Rys.1. Typowe kształty osadów wysokotemperaturowych

Fig.1. Typical shapes of high-temperature deposits.



Rys.2. Typowe kształty osadów sypkich: A-dwustronny styczny, B-jednostronny styczny, C-jednostronny zdeformowany

Fig.2. Wedge-shaped dust deposits A-bilateral wedge-shaped, B-unilateral wedge-shaped, C-unilateral deformed



Rys.3. Mostki popiołowe

Fig.3. Ash bridges

kotły opalane węglem brunatnym

- w przypadku popiołów wysoce erozyjnych o małej wartości c_m w granicach 0,18 - 0,25 (np. Turosszów, Chvaletice) osady są niewielkie lub nie ma ich wcale. Jeżeli zawartość związków osadotwórczych jest znaczna, czemu

odpowiadają wartości c_m powyżej 0,3 (np. Bełchatów), obraz zanieczyszczeń jest zbliżony do przedstawionego powyżej dla kotłów opalanych węglem kamiennym.

kotły fluidalne

- zagadnienie powstawania osadów w kotłach fluidalnych jest dotąd słabo rozeznane. Na podstawie dostępnych informacji można przypuszczać, że przy spalaniu paliw zawierających siarkę osady na powierzchniach konwekcyjnych będą dość znaczne na skutek obecności silnie osadotwórczych siarczianów i krzemianów Ca i Mg. Zjawisko to będzie zresztą występowało we wszystkich typach kotłów, w których prowadzone jest odsiarczanie za pomocą związków wapnia i magnezu dostarczanych do komory paleniskowej. W paleniskach cyrkulacyjnych, ze względu na duże koncentracje gruboziarnistego popiołu powierzchnie umieszczone pomiędzy paleniskiem a odpylaczem pośrednim mogą być wolne od osadów i raczej ulegać erozji. Natomiast za pośrednim odpylaczem spaliny pozbawione grubych frakcji popiołu mogą posiadać dużą skłonność do tworzenia osadów o kształcie stycznym dwustronnym oraz mostków.

Skład chemiczny osadów wysokotemperaturowych znacznie odbiega od składu popiołu lotnego, natomiast osady sypkie w temperaturach poniżej ok. 300°C prawie się od popiołu lotnego pod względem chemicznym nie różnią. Zagadnienie to zostało dokładniej omówione w [5]. Stwierdzono, że parametrem charakteryzującym własności osadów jest stosunek:

$$c_m = \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{MgO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2} \quad (1)$$

W zależności od zmian c_m zmienia się przewodność cieplna osadów:

$$\lambda_z = 0,773 \lg c_m + 0,673 \text{ W/(mK)} \quad (2)$$

3. WSPÓŁCZYNNIK PRZENIKANIA CIEPŁA DLA PĘCZKÓW ZANIECZYSZCZONYCH

Dotychczasowe metody obliczeń współczynnika przenikania ciepła pomijają wpływ cylindrycznego kształtu rur i zalecają posługiwanie się wzorem dla zanieczyszczonej ścianki płaskiej z pominięciem przewodzenia metalu

$$k = \frac{\Psi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3)$$

lub

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$

W rzeczywistości współczynnik przenikania dla wymienników z rur gładkich powinien być obliczany z zależności:

$$k = \frac{\Psi}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{D}{2\lambda_m} \ln \frac{D}{d} + \frac{D}{\alpha_2 d}} \quad (5)$$

zaś dla wymienników ożebrowanych:

$$k = \frac{\Psi}{\frac{H_c}{(H_z \eta_z + H_o \alpha_1)} + \frac{H_c D}{2H_g \lambda_m} \ln \frac{D}{d} + \frac{H_c}{H_w \alpha_2}} \quad (6)$$

gdzie: H_o - powierzchnia rury pojedynczej wolna od żeber, H_c - całkowita powierzchnia zewnętrzna pojedynczej rury, H_g - powierzchnia zewnętrzna pojedynczej rury gładkiej, H_w - powierzchnia wewnętrzna pojedynczej rury, H_z - powierzchnia żeber dla pojedynczej rury, η_z - sprawność żeber. Obliczeniową powierzchnię ogrzewaną stanowi sumaryczna powierzchnia zewnętrzna rur w pęczku. Wpływ zanieczyszczenia rur na wymianę ciepła uwzględnić można albo za pomocą współczynnika zanieczyszczenia ε będącego oporem cieplnym warstwy osadu - wzór (4), albo też stosując współczynnik efektywności cieplnej powierzchni ogrzewanej Ψ - wzory (3), (5), (6). Współczynnik Ψ jest stosunkiem współczynników przenikania ciepła dla stanu zanieczyszczonego i czystego. W pracy posłużono się współczynnikiem efektywności, ponieważ pozwala on na bezpośrednie określenie pogorszenia wymiany ciepła na skutek powstania osadów popiołu. W dalszej części pracy przedstawiono 2 metody obliczania współczynnika Ψ .

4. DOKŁADNA METODA OBLICZANIA WSPÓŁCZYNNIKA EFEKTYWNOŚCI CIEPLNEJ

Dla określenia właściwych wartości współczynnika Ψ_z opracowano program pozwalający wyznaczyć ilość ciepła przejętego przez rurę pokrytą osadem o dowolnym kształcie i przewodności cieplnej oraz pole temperatur w ścianie rury i osadzie. Zagadnienie rozwiązano metodą bilansów elementarnych przy założeniach:

- brak przepływu ciepła w kierunku równoległym do osi rury,
- współczynnik wnikania ciepła na wewnętrznej powierzchni rury jest stały

- materiał rury i osadu jest jednorodny.

Porównując uzyskane wyniki z rezultatami dla rury czystej wyznaczono wartości współczynnika efektywności przy różnych warunkach pracy powierzchni. W obliczeniach dla każdego kształtu osadu zmieniano jego rozmiary i przewodność cieplną, temperatury spalin i czynników ogrzewanych, współczynniki wnikania ciepła, podziałki i średnice rur oraz układ pęczka uzyskując szereg wartości Ψ_{zi} . Wartości w/w parametrów dobierano z zakresu ich zmienności występujących w kotłach. Ponieważ stwierdzono, że współczynnik efektywności zależy w stopniu zasadniczym od rozmiarów osadu i liczby Biota liczonej jako

$$Bi = \alpha_{1c} D / \lambda_z \quad (7)$$

wyniki opracowywano metodą regresji w postaci funkcji:

$$\Psi_z = f(Bi, h/D, \varphi/\kappa), \quad (8)$$

gdzie h/D i φ - rys. 1,2,3.

Dla osadów jednostronnych stycznych uzyskano:

$$\Psi_z = 0,966 Bi^{-0,062} h/D - 0,043 (h/D)^{-0,05}. \quad (9)$$

Korelacja ważna jest dla $Bi = 2,5 \div 60$, $h/D = 0,2 \div 0,96$.

Dla osadów jednostronnych równoległych uzyskano zależność:

$$\Psi_z = 1,05 Bi^{-[0,25(\varphi/\kappa) + 0,02]} 1,7 (h/D) + 0,65], \quad (10)$$

która obowiązuje dla $Bi = 2,5 \div 12$, $h/D = 0,2 \div 0,5$ i $\varphi/\kappa = 0,11 \div 0,45$.

Dla osadów o względnej długości $h/D = 0,5 \div 2$ i tych samych wartości liczb Biota i stosunku φ/κ współczynnik efektywności cieplnej obliczać należy za pomocą formuły:

$$\Psi_z = 1,05 Bi^{-[0,25(\varphi/\kappa) + 0,02]} 0,26 (h/D) + 1,35]. \quad (11)$$

Dla osadów dwustronnych stycznych uzyskano:

$$\Psi_z = 0,986 Bi^{-0,0376} (h_1 + h_2) / D - 0,0562. \quad (12)$$

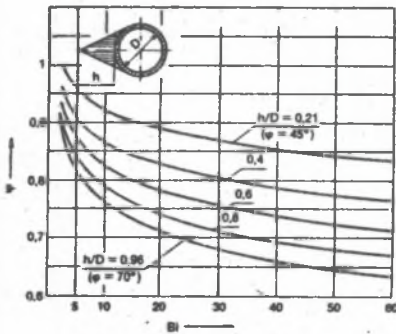
Zależność obowiązuje dla $Bi = 5 \div 70$ i $(h_1 + h_2) / D = 0,58 \div 1,18$.

Dla mostków międzyrurowych wyznaczono zależność:

$$\Psi_z = 0,79 Bi^{-1} [0,25 (h/D) + 0,36] (\varphi/\pi) \quad (13)$$

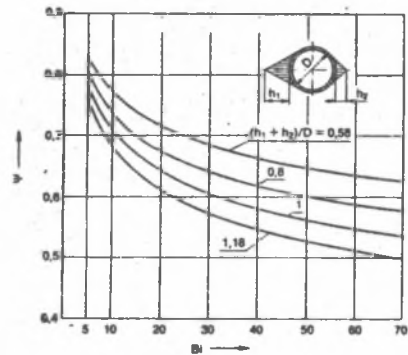
Zakres ważności wzoru = $Bi = 5 \div 70$, $h/D = 0,3 \div 1,5$, $\varphi/\pi = 0,11 \div 0,25$.

Przebieg zmienności funkcji opisanych wzorami (9 + 13) przedstawione na wykresach rys. 4 + 8.



Rys.4. Współczynnik efektywności cieplnej pęczków pokrytych jednostronnymi osadami stygnymi

Fig.4. Reduction coefficient for tube banks with unilateral wedge - shaped deposits

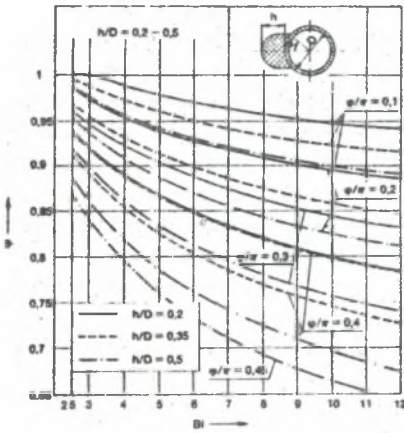


Rys.5. Współczynnik efektywności cieplnej pęczków pokrytych dwustronnymi osadami stygnymi

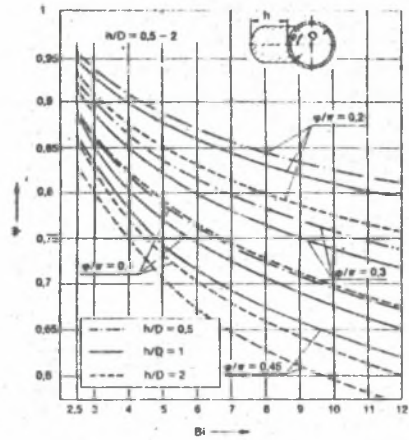
Fig.5. Reduction coefficient for tube banks with bilateral wedge - shaped deposits

Dysponując powyższymi wzorami i wykresami można określić wpływ osadów popiołu na wymianę ciepła w pęczkach konwekcyjnych pod warunkiem, że znany jest kształt osadu, jego rozmiary, przewodność cieplna, średnica rur i współczynnik wnikania ciepła od strony spalin dla pęczka w stanie czystym. Współczynnik przenikania ciepła k_z oblicza się mnożąc określony uprzednio współczynnik k_c dla pęczka czystego przez wartość Ψ_z właściwą dla danego osadu oraz ewentualnie przez współczynnik Ψ_{kor} uwzględniający osłabienie wymiany ciepła przez warstwę produktów korozji pokrywających powierzchnie rury

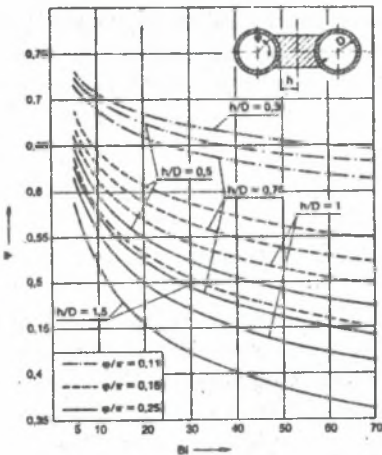
$$k_z = \Psi_z \Psi_{kor} k_c \quad (14)$$



Rys.6. Współczynnik efektywności cieplnej pęczków pokrytych osadami jednostronnymi równoległymi o $h/D=0,2 - 0,5$
 Fig.6. Reduction coefficient for tube banks with fin-shaped deposits, $h/D = 0,2$ to $0,5$



Rys.7. Współczynnik efektywności cieplnej pęczków pokrytych osadami jednostronnymi równoległymi o $h/D = 0,5-2$
 Fig.7. Reduction coefficient for tube banks with fin-shaped deposits, $h/D = 0,5$ to 2



Rys.8. Współczynnik efektywności cieplnej pęczków pokrytych osadami o kształcie mostków międzyrurowych
 Fig.8. Reduction coefficient for tube banks with ash bridges

Ponieważ podane wyżej korelacje opisują przebieg zmienności współczynnika efektywności cieplnej dla osadów o wyidealizowanym kształcie, przeprowadzono obliczenia dla rzeczywistych kształtów zanieczyszczeń - części. Stwierdzone rozbieżności nie przekraczają 2 %, co dla zastosowań technicznych jest dopuszczalne. Obliczenia współczynnika efektywności cieplnej zgodnie z proponowaną metodą prowadzić należy w sposób podany niżej:

- dla istniejącego kotła, np. przed modernizacją albo dla określenia intensywności wymiany ciepła przy różnych obciążeniach:
- etap 1 - określenie kształtów i rozmiarów zanieczyszczeń pokrywających powierzchnie konwekcyjne, wykonanie analiz składu osadów.

etap 2 - wyznaczenie przewodności cieplnej osadów-wzór (2) oraz obliczenie współczynników wnikania ciepła dla stanu czystego.

etap 3 - wyznaczenie współczynnika Ψ_z zewzorów lub wykresów.

Podobnie można postępować przy projektowaniu nowego kotła w oparciu o badania jednostki spalającej podobne paliwo i przy założeniu, że prędkości spalin w obu przypadkach będą podobne. W sytuacji, kiedy brak jest danych na temat składu i kształtu osadów, można posłużyć się z przybliżonymi informacjami podanymi w [5].

W przypadku, gdy osady na powierzchni pęczka nie są wszędzie jednakowe, należy obliczać średni współczynnik efektywności cieplnej jako:

$$\Psi_{z\text{sr}} = \frac{\sum_{i=1}^J H_i \Psi_{zi}}{\sum_{i=1}^J H_i}, \quad (15)$$

gdzie Ψ_{zi} - lokalna wartość współczynnika efektywności cieplnej dla osadu pokrywającego powierzchnię H_i .

Dodatkowym czynnikiem osłabiającym wymianę ciepła, oprócz osadu i korozji, jest występowanie w pęczku miejsc źle omywanych spalinami na skutek nierównomierności rozkładu prędkości spowodowanego np. siłą odśrodkową przy zmianach kierunku przepływu oraz tworzeniem się lokalnych stref recyrkulacji spalin. Uwzględnienia wymaga również obniżenie intensywności wnikania ciepła w odcinkach rur omywanych wzdłużnie. Wpływy te można ująć dodatkowym współczynnikiem efektywności cieplnej Ψ_d . Ostateczny wzór na współczynnik przenikania ciepła ma więc postać:

$$k_z = \Psi_z \Psi_{\text{kor}} \Psi_d k_c. \quad (16)$$

5. UPROSZCZONA METODA OBLICZANIA WSPÓŁCZYNNIKA EFEKTYWNOŚCI CIEPLNEJ

Przedstawiona powyżej metoda obliczania współczynnika efektywności cieplnej zanieczyszczonych pęczków kotłowych wymaga znajomości kształtu i własności osadów. Dane na ten temat mogą czasem być trudno osiągalne, w związku z czym opracowano opisaną dalej uproszczoną metodę obliczania Ψ_z . Metoda ta może być stosowana jedynie w przypadku osadów sypkich bądź minimalnie spieczonych, występujących zasadniczo w temperaturach spalin poniżej 800 - 850 °C. Skład chemiczny osadów tego typu nie odbiega istotnie od składu chemicznego popiołu lotnego, nie ulegają one również przemianom prowadzącym do utwardzenia i związanego z tym intensywnego wzrostu rozmiarów. Kształt takich osadów jest jedynie funkcją własności fizykochemicznych popiołu lotnego oraz warunków omywania pęczka przez spaliny.

W oparciu o badania własne i dane [6] założono, że na charakter osadu mają wpływ następujące czynniki:

- względne podziały rur w pęczku: poprzeczna G_1 i wzdłużna G_2 ,
 - względna średnica zewnętrzna rur określona jako stosunek rzeczywistej średnicy do minimalnej stosowanej w technice kotłowej, tzn. 32 mm,
 - prędkość spalin w największym przekroju pęczka - w [m/s] ,
 - granulacja popiołu określona jako względna pozostałość na sicie o rozmiarze oczka 30 μm , $R_{0,03}/R_{0,03 \text{ min}}$, przy czym jako wartość $R_{0,03 \text{ min}}$ charakteryzującą najdrobniejszy popiół uwzględniony przy opracowywaniu wyników przyjęto 24,5%,
 - względna temperatura średnia spalin w pęczku, będąca stosunkiem temperatury rzeczywistej i minimalnej występującej w badaniach [6], równej 100 °C,
 - skład chemiczny popiołu lotnego określony wskaźnikiem c_m - wzór (1).
- Prezentowana metoda opiera się na statystycznej analizie wartości wyznaczonych dla rzeczywistych pęczków kotłowych oraz na przeliczonych zgodnie ze wzorem:

$$\Psi = \frac{1}{k_c \epsilon + 1} \quad (17)$$

wynikach pracy [6].

Wyznaczenie wartości Ψ w rzeczywistych pęczkach kotłowych przeprowadzono za pomocą metody opisanej w poprzednim rozdziale. Równoległe z badaniami kształtu osadów pobierano próbki zarówno osadów, jak i popiołu lotnego celem wyznaczenia składu chemicznego i granulometrycznego. Uzyskane wartości Ψ_i oraz wartości zmiennych niezależnych opracowano metodą regresji otrzymując następujące wzory:

a. pęczki przestawne

$$\Psi = 0,474 G_1^{-0,009} G_2^{-0,113} (D/32)^{-0,008} \bar{w}^{0,051},$$

$$(R_{0,03}/24,5)^{0,09} (t_{sp}^{\text{sr}}/100)^{-0,06} c_m^{-0,39}. \quad (18)$$

Ponieważ wpływ zmiennych G_1 i $D/32$ jest niewielki, przeprowadzono powtórzną analizę z pominięciem tych zmiennych, uzyskując zależność:

$$\Psi = 0,467 G_2^{-0,107} \bar{w}^{0,052} (R_{0,03}/24,5)^{0,087} (t_{sp}^{\text{sr}}/100)^{-0,065} c_m^{-0,392}. \quad (19)$$

Wzory powyższe można stosować dla następujących zakresów zmiennych niezależnych:

$$G_1 = 1,62 - 7,5, \quad G_2 = 1 - 3, \quad D/32 = 1 - 2,33,$$

$$\bar{w} = 3,8 - 15 \text{ m/s}, \quad R_{0,03}/24,5 = 1 - 3,61, \quad t_{sp}^{\text{sr}}/100 = 1 - 8,$$

$$c_m = 0,19 - 0,46.$$

b. peczki korytarzowe

$$\Psi = 0,251 G_1^{0,089} G_2^{-0,032} (D/32)^{-0,117} w^{0,179} (R_{0,03}/24,5)^{0,43},$$

$$(t_{sp}^{sr}/100)^{-0,058} c_m^{-0,324} \quad (20)$$

Wzór można stosować dla:

$$G_1 = 1,69 - 7,8, \quad G_2 = 1,4 - 3,12, \quad D/32 = 1,0 - 1,59,$$

$$w = 4 - 15 \text{ m/s}, \quad R_{0,03}/24,5 = 1 - 3,6, \quad t_{sp}^{sr}/100 = 1 - 8,5.$$

$$c_m = 0,23 - 0,91,$$

Współczynnik korelacji dla podanych wyżej wzorów wynosi ok. 0,9. Mogą one być stosowane dla peczków pokrytych syrkami i częściowo spieczonymi osadami, z wyłączeniem sytuacji, w których następuje zawilżenie osadów wilgocią wykroploną ze spalin. Statystyczne badania osadów są nadal prowadzone, pozwalając na stopniowe poprawienie dokładności i rozszerzenie zakresu ważności korelacji opisujących współczynnik efektywności kotłowych peczków konwekcyjnych.

Oznaczenia

D	- średnica zewnętrzna rury, m,
d	- średnica wewnętrzna rury, m,
h	- wysokość osadu, m,
H	- powierzchnia ogrzewana, m ² ,
k	- współczynnik przenikania ciepła, W/m ² K,
R _{0,03}	- pozostałość na sicie 30 μm, %,
t	- temperatura, °C,
w	- prędkość w największym kanale peczka, m/s,
α ₁	- współczynnik wnikania ciepła od spalin do ścianki rury, W/m ² K,
α ₂	- współczynnik wnikania ciepła na wewnętrznej powierzchni rury, W/m ² K,
ε	- współczynnik zanieczyszczenia, m ² K/W,
φ	- współrzędna kątowa opisująca zasięg osadu na powierzchni rury,
G ₁ = S ₁ /D	- względna podziałka poprzeczna,
G ₂ = S ₂ /D	- względna podziałka wzdłużna,
Ψ	- współczynnik efektywności cieplnej,

Indeksy

- c - dla stanu czystego
- sp - dla spalin
- z - dla stanu zanieczyszczonego

LITERATURA

- [1] Тепловой расчёт котельных агрегатов - нормативный метод. Энергия, Москва 1973.
- [2] Koralewski W., Pudło J.: Określenie empirycznych współczynników zanieczyszczenia i stopnia wykorzystania powierzchni ogrzewalnych. Opracowanie ITC Łódź w ramach CPBP 02.18, zad. 2.2.5.4, 1987.
- [3] Siennicki S., Zygałdewicz K.: O przyczynach niedokładności obliczeń cieplnych w kotle. Materiały Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy PAN, Jabłonna 1975.
- [4] Gaiński J., Pronobis M.: Badania zanieczyszczeń kotłowych powierzchni konwekcyjnych. Energetyka nr 12, 1989.
- [5] Pronobis M.: Obliczenia i optymalizacja kotłowych pęczków konwekcyjnych - w przygotowaniu.
- [6] Кузнецов Н.В.: Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. Gosenergoizdat, Moskva-Leningrad 1958.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Franciszek MŁYNARSKI

КОЭФФИЦИЕНТЫ ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ КОНВЕКТИВНЫХ ПУЧКОВ ТРУБ

Резюме

В статье представлены основные виды золowych загрязнений выступающих на внешних поверхностях конвективных пучков труб котельных агрегатов. Показан метод расчета коэффициента теплопередачи для загрязненных поверхностей нагрева, в котором влияние золowych отложений рассчитывается при помощи коэффициента тепловой эффективности ψ . Представлены два метода: точный, в котором надо знать форму и коэффициент теплопроводности отложений и приближенный, основан на статистическом анализе коэффициента ψ в пучках с разными параметрами.

HEAT TRANSFER REDUCTION COEFFICIENTS FOR CONTAMINATED CONVECTION
BOILER SURFACES

S u m m a r y

The types and properties of ash deposits on convective boiler surfaces have been examined. The method of the heat transfer coefficient calculation using the reduction coefficients has been presented. New methods of calculation the reduction coefficients Ψ for all kinds of boiler tube deposits have been described.