

Andrzej W. WALEWSKI, Waclaw B. WOJNAR

Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska, Gliwice

SYSTEMY PODGRZEWU POWIETRZA DO KOTŁÓW. ROZWÓJ KONSTRUKCJI I METOD OBLICZENIOWYCH

Streszczenie. Przedstawiono systematykę, ocenę rozwiązań ideowych oraz autorskie zalecenia konstrukcyjne systemów podgrzewu powietrza do kotłów energetycznych i przemysłowych wyposażonych w paleniska pyłowe i rusztowe. Omówiono problemy konstrukcyjne i eksploatacyjne wymienników ciepła w tych instalacjach. Omówiono metodę obliczeń podgrzewaczy powietrza.

BOILER'S AIR PREHEATING SYSTEMS. DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION AND CALCULATION METHODS

Summary. In this papers the methodology as well as conceptual solution evaluations of the air preheating systems used in power plant boilers and industrial ones has been presented. The boilers can be equipped with pulverised coal furnaces or some stoker furnaces. Some constructional and operating problems of the air heat exchangers of boilers were broadly discussed. The calculation methods of air preheaters has been proposed.

KESSELLUFTVORWÄRMUNGSSYSTEME. DIE ENTWICKLUNG DER KONSTRUKTIONEN UND DER BERECHNUNGSMETHODEN

Zusammenfassung. Die Systematik und die Auswertung prinzipieller Lösungen sowie die Plannungs-vorschläge von Luftvorwärmungssysteme für die mit dem Kohlenstaub befeuerte Kraftwerkskessel und Rostkessel sind dargestellt werden. Einige Plannungs – und Betriebsprobleme von Luftwärmer in Kesselanlagen, sowie die Berechnungsmethoden von Luftvorwärmer wurden vorgeschlagen.

1. Wprowadzenie

Nowoczesne kierunki rozwoju konstrukcji urządzeń kotłowych cechuje dążność do podwyższenia parametrów pracy. Większe parametry mediów roboczych pozwalają na osiąganie wyższych sprawności urządzeń, mogą jednak być przyczyną wyższych awaryjności i spadku dyspozycyjności.

Taka spirala wymagań technicznych w połączeniu z wymaganiami proekologicznymi wymusza stosowanie coraz bardziej rozbudowanych ideowych schematów ciepłych siłowni oraz skomplikowanych rozwiązań konstrukcyjnych kotłów.

Stosowanie wielostopniowych układów regeneracyjnych podgrzewaczy wody i wysoki podgrzew wody zasilającej na wlocie do kotła rzędu $t_{wz} = (250 + 260^\circ\text{C})$ nie pozwala na odbiór ciepła spalin przez czynnik roboczy.

Aby podwyższyć sprawność kotła i obniżyć stratę wylotową, jedynym rozwiązaniem jest stosowanie kotłowych podgrzewaczy powietrza.

Systemy podgrzewu powietrza do kotłów z wymiennikami ogrzewanymi spalinami i obcymi mediami podlegają zatem ciągłym unowocześnieniom.

Celem wysokiego podgrzewu powietrza do kotłów energetycznych jest:

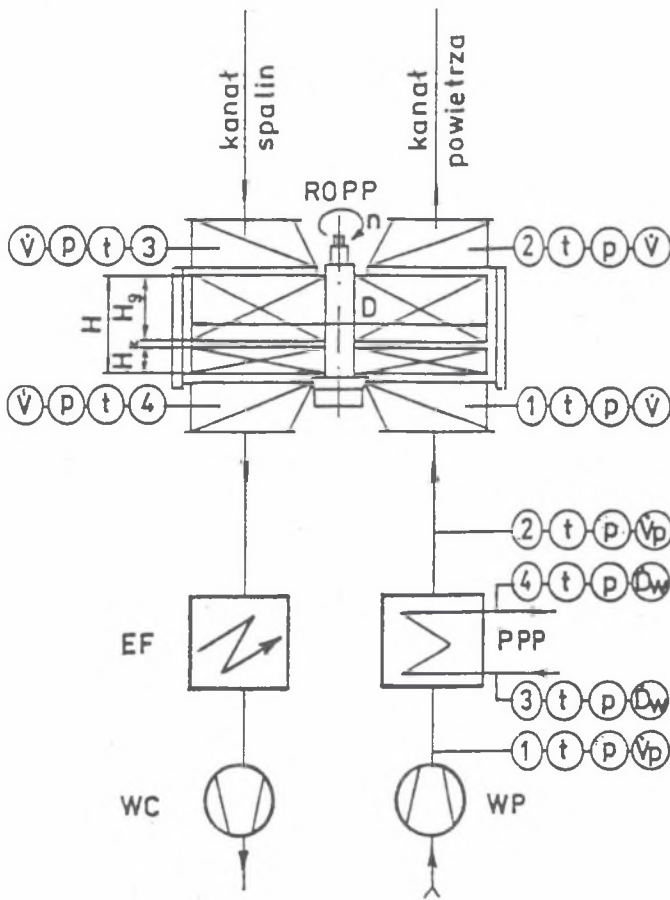
- 1) poprawienie warunków spalania,
- 2) suszenie i bezpieczny transport paliwa,
- 3) obniżenie straty wylotowej,
- 4) przeciwdziałanie zjawiskom niskotemperaturowej korozji siarkowej (rosienie spalin) oraz oblodzeniu wentylatora podmuchu,
- 5) zapewnienie przyjaznych warunków pracy brygadzom remontowym części ciśnieniowej kotła.

Trzy pierwsze wymagania spełniają wymienniki kotłowe, czyli podgrzewacze powietrza omywane spalinami kotłowymi, dwa kolejne należą do zadań wstępnych parowych podgrzewaczy powietrza – wymienników typu rekuperacyjnego zasilanych parą o średnich i niskich parametrach.

2. Konfiguracja układu podgrzewu powietrza w kotłach

Nowoczesne bloki energetyczne mają 2- lub 3- nitkowy układ spaliny – powietrze o schemacie blokowym nitki przedstawionym na rys. 1.

W układach 3-nitkowych wydzielona środkowa nitka przewidywana jest do podgrzewu powietrza pierwotnego, suszącego i transportującego paliwo, a dwie zewnętrzne do podgrzewu powietrza wtórego. Z uwagi na wymagany podgrzew powietrza pierwotnego do wyższych temperatur spaliny do nitki środkowej odprowadzane są z obszaru kotła o wyższej temperaturze. W układach 2-nitkowych nie ma początkowego celowego rozdziału powietrza. W mniejszych jednostkach wyposażonych w rurowe podgrzewacze powietrza



Rys. 1. Schemat blokowy nitki układu podgrzewu powietrza z ROPP systemu LJUNGSTRÖM i wstępnym PPP: ROPP – regeneracyjny obrotowy podgrzewacz powietrza, PPP – parowy podgrzewacz powietrza, EF – elektrofiltr, WC – wentylator ciągu, WP – wentylator podmuchu, D – średnica wirnika, mm, H – wysokość całkowita wypełnienia, mm, H_g – wysokość wypełnienia gorącego końca, mm, H_z – wysokość wypełnienia zimnego końca, mm, 1 ÷ 4 – oznaczenia punktów pomiarowych dla strumienia powietrza i pary (V_p , D_w), oraz ciśnienia i temperatury przepływających czynników (p, t)

Fig. 1. Schematic diagram of air preheating line arrangement equipped with LJUNGSTRÖM regenerative rotating air preheater and a steam-heated air preheater

usytuowane w drugim lub trzecim ciągu kotła z natury rzeczy powietrze i spaliny prowadzone są jedną nitką.

Czerpnie powietrza zasysanego przez wentylator podmuchu WP ze względów bezpieczeństwa oraz konieczności unikania zanieczyszczeń pyłowych powietrza (wtórne pylenie popiołów) usytuowane są na znacznych wysokościach. Powietrze pobierane jest znad stropu kotła w budynku kotłowni lub bezpośrednio z otoczenia budynku. Oba te rozwiązania mają swoje wady i zalety. Pobieranie powietrza czerpniami wewnętrznymi znad stropu kotła sprzyja wentylacji kotłowni, a powietrze ma znacznie wyższą temperaturę. Wentylacja w okresach letnich jest bardzo korzystna, natomiast w okresach zimowych jest uciążliwa z uwagi na przeciągi w budynku kotłowni. W miejsce zassanego powietrza wszystkimi otworami, drzwiami, szybem windowym napływa zimne powietrze z otoczenia. Wówczas uruchamia się czerpnie zewnętrzne, które nie powodują wzrostu podciśnienia w kotłowni. Regulacje strumienia powietrza, odcinanie kanałów z czerpniami realizowane są systemem żaluzji.

Zassane powietrze poddaje się wstępnemu podgrzewowi w zakresie temperatur od $t_1 = (-25 \div 10)^\circ\text{C}$ do $t_2 = (20 \div 60)^\circ\text{C}$ w rekuperacyjnych parowych podgrzewaczach powietrza **PPP** zabudowanych w kanałach powietrza. Wymienniki te zasilane są parą upustową z kolektora ogólnego obiegu siłowni, nie są zatem zaliczane do wymienników kotłowych.

Kanały powietrza przyjmują osiowy układ wertykalny lub horyzontalny i dla tak usytuowanych kanałów projektuje się bloki **PPP** o specyficznych rozwiązaniach konstrukcyjnych.

W nowoczesnych kotłowniach w warunkach eksploatacyjnych dla celów remontowych nie ma miejsca na demontaż całego bloku **PPP** czy sekcji wkładu grzewczego **PPP**, jak to projektowano w starszych rozwiązaniach. W **PPP** nowej generacji zapewnia się dostęp rewizyjny i remontowy do każdej rury grzewczej, z możliwością wymiany uszkodzonej rury bez demontażu sekcji.

Wstępny podgrzew powietrza ułatwia rozruch kotła, zapobiega obniżeniu temperatury ścianek powierzchni grzewczej kotłowego **PP** poniżej punktu rosy kwasu siarkowego. Zapobiega zatem wystąpieniu zjawisk niskotemperaturowej korozji siarkowej.

Instalacja **PPP** w nitce podgrzewu powietrza pozwala, przy odstawieniu kotła z ruchu, na podgrzewanie wnętrza kotła przy pracach remontowych w okresie chłódów. **PPP** zasilany jest przecież z obcego źródła ciepła, przeważnie z kolektora wspólnego dla całej siłowni.

Wstępnie przygotowane powietrze wprowadzane jest do kotłowych podgrzewaczy powietrza.

W rozwiązaniu na rys. 1 wymiennik kotłowy to regeneracyjny obrotowy podgrzewacz powietrza (**ROPP**). **ROPP** to wymiennik spaliny – powietrze

typu regeneracyjnego, niecykliczny z elementami wypełnień wirnika akumulującymi ciepło [1 – 4].

Regeneracyjne obrotowe podgrzewacze powietrza ze względu na:

- zwartą budowę,
- możliwość zabudowy dużej powierzchni wymiany ciepła,
- bardzo korzystne wskaźniki ciężarowe i kosztowe,
- wysoką sprawność,
- wysoką niezawodność,
- dojrzałe rozwiązania konstrukcyjne,

stanowią podstawową konstrukcję tego typu wymienników ciepła.

ROPP stanowią ostatnią na drodze spalin powierzchnię wymiany ciepła w kotle. Jest to powierzchnia bezciśnieniowa, o najniższym wskaźniku kosztów inwestycyjnych K [zł/m²]. Opłacalne jest zatem rozwijanie tej powierzchni nawet kosztem poprzedzających powierzchni ciśnieniowych.

W kraju regeneracyjne obrotowe podgrzewacze powietrza budowane są przez Fabrykę Kotłów RAFAKO SA w Raciborzu wg systemu LJUNGSTRÖM.

Zabudowa wymiennika w nitce układu spaliny – powietrze w miejscu o najwyższym nadciśnieniu powietrza podmuchowego i najwyższym podciśnieniu spalin wymusza wysoką różnicę ciśnień pomiędzy spalinami i powietrzem, odpowiadającą w kotle konwencjonalnym, poziomowi $\Delta p = (5 \div 6)$ kPa.

Duża różnica ciśnień jest przyczyną powstawania znacznego przecieku powietrza do spalin. Wielkość przecieku względnego L , określanego jako stosunek przecieku całkowitego $\Delta \dot{V}_p$ do strumienia powietrza przed **ROPP** \dot{V}_{p1} ,

przybiera wielkość $L = \frac{\Delta \dot{V}_p}{\dot{V}_{p1}} = (5 \div 20)\%$ i zależy w głównej mierze od sposobu

regulacji i stanu technicznego systemu uszczelnień wirnika [1].

W kotłach z paleniskami fluidalnymi, gdzie ciśnienie powietrza osiąga wielkość $p_p = (18 \div 20)$ kPa, z uwagi na niemożliwość zapewnienia szczelności **PP** nie stosuje się **ROPP**. Kotły te wyposażone są w wielkogabarytowe, rozbudowane i ciężkie rekuperacyjne rurowe podgrzewacze powietrza **RPP**.

Kotłowe **PP** realizują podgrzew powietrza w zakresie temperatur od $t_2 = (20 \div 60)^\circ\text{C}$ do $t_2 = (250 \div 400)^\circ\text{C}$.

Kotły przemysłowe z paleniskami rusztowymi warstwowymi czy narzutowymi nie mają tak rozbudowanych instalacji podgrzewu powietrza. Powietrze pierwotne podawane pod ruszt z uwagi na funkcję chłodzenia podgrzewane jest do temperatury rzędu $t_{p2} = (110 \div 120)^\circ\text{C}$.

W nowoczesnych paleniskach rusztowych bardzo istotna jest organizacja regulowanego podmuchu strefowego powietrza. Regulacja taka umożliwi optymalizację procesu spalania i ograniczenie emisji tlenków azotu.

Autorzy zalecają zabiegi modernizacyjne palenisk rusztowych w kierunku zastosowania podgrzewu powietrza realizowanego w wymiennikach rurowych

RPP i regulowanego podmuchu strefowego. Wstępnego podgrzewu powietrza w tych jednostkach nie stosuje się.

3. Kompleksowe prace rozwojowe systemów podgrzewu powietrza do kotłów

Zakład Kotłów i Wytwornic Pary Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych od 25 lat prowadzi prace badawcze i koncepcyjne systemów podgrzewu powietrza z wymiennikami wszystkich typów. W Laboratorium Procesów Kotłowych funkcjonują unikalne instalacje doświadczalne ROPP-1 i ROPP-2, na których prowadzone są prace badawcze regeneracyjnych podgrzewaczy powietrza i ich wypełnień [2 – 4].

Na instalacjach tych przeprowadzono kompleksowe badania wszystkich znanych wypełnień blaszanych i prototypowych płytowych oraz blokowych wypełnień ceramicznych [4, 5]. Instalacja AT – 3 służy do badań oporów aerodynamicznych układów pęczkowych rur.

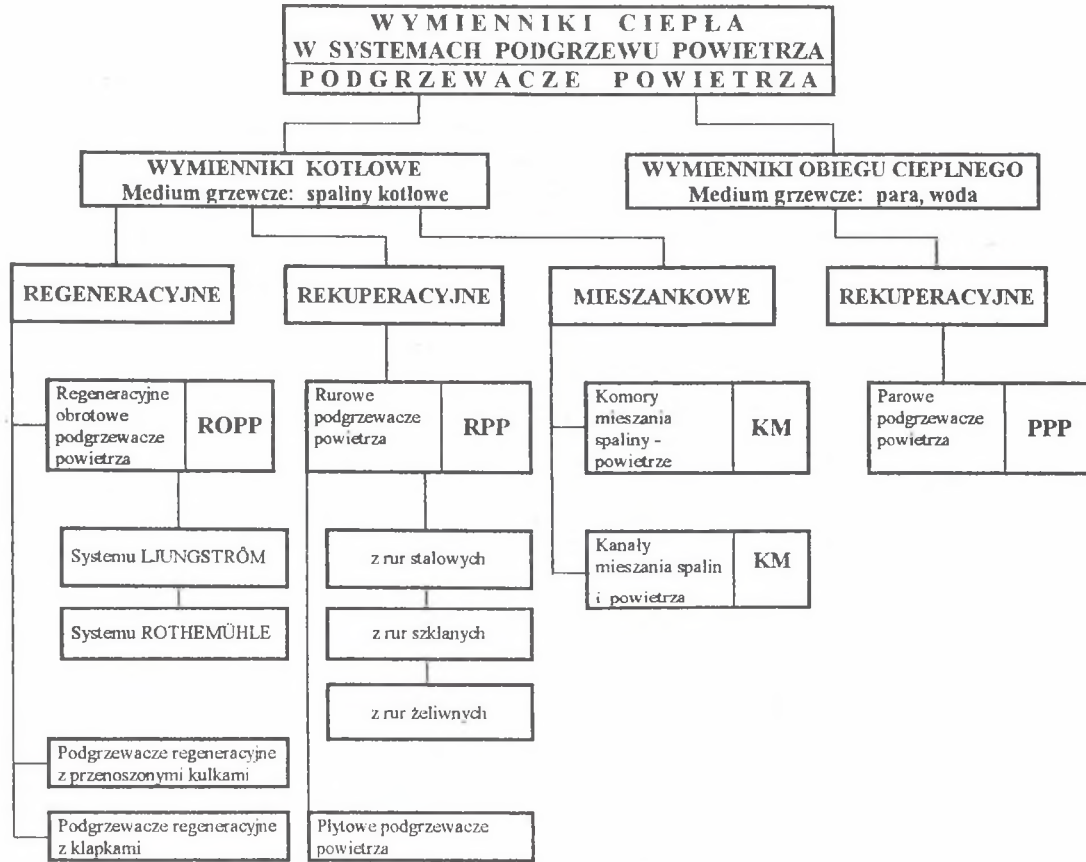
Wyniki prac eksperymentalnych Zespół autorski publikował w czasopismach fachowych. Autorzy rozwiązywali zagadnienia techniczno-badawcze z dziedziny wstępnych parowych podgrzewaczy powietrza. Prace koncepcyjne Zespołu zaowocowały 9 wynalazkami, na które uzyskano 4 patenty i 5 praw ochronnych [13 – 17].

Zespoły twórców wynalazków stanowili pracownicy Instytutu Maszyn i Urządzeń Energetycznych Politechniki Śląskiej i specjaliści z RAFAKO SA w Raciborzu i FAU FAMET SA w Kędzierzynie – Koźlu. W celu realizacji celów projektowo-produkcyjnych zawarto odpowiednie Porozumienie [19]. Opierając się na uzyskanych patentach opracowano dojrzałe, przemyślane konstrukcje wymienników, które niezawodnie pracują w systemach podgrzewu powietrza kilkudziesięciu kotłów w kraju i za granicą.

Na podstawie systematycznie zbieranych doświadczeń eksploatacyjnych Zespół autorów ma odwagę stwierdzić, że zagadnienia projektowo-produkcyjno-konstrukcyjne parowych podgrzewaczy powietrza zostały całkowicie rozwiązane. Świadczy o tym przedstawiona lista referencyjna.

4. Rozwiązania konstrukcyjne wymienników ciepła w systemach podgrzewu powietrza. Systematyka. Nazewnictwo urządzeń

Wymienniki ciepła pracujące w instalacjach systemów podgrzewu powietrza do kotłów funkcjonują w skrajnie niekorzystnych warunkach korozyjnych



Rys. 2. Systematyka wymienników ciepła w układach podgrzewu powietrza do kotłów

Fig. 2. The systematic of heat exchanger in air heating system for boilers

w nie odsiarczonych i nie odpylonych spalinach, w strefie temperatur powodujących powstawanie zjawisk niskotemperaturowej korozji siarkowej.

Wstępne podgrzewacze pracują w zakresie ujemnych temperatur otoczenia i narażone są na możliwość zamrożenia czynnika.

Generalnie wymienniki projektowane dla układów przygotowania powietrza można usystematyzować w zależności od rodzaju czynnika grzewczego i zasady funkcjonowania. Systematykę tę przedstawia rys. 2.

Wymienniki o systematyce zestawionej na rys. 2 cechują się szczegółowymi rozwiązaniami konstrukcyjnymi specyficznymi dla projektowanych zastosowań. Dążeniem wspólnym konstruktora jest intensyfikacja wymiany ciepła w urządzeniu przy minimalizacji oporów przepływu czynników wymieniających ciepło.

4.1. Regeneracyjne obrotowe podgrzewacze powietrza ROPP

Regeneracyjne obrotowe podgrzewacze powietrza ROPP z uwagi na opisane zalety stanowią podstawową konstrukcję kotłowego wymiennika ciepła w systemach podgrzewu powietrza do kotłów z konwencjonalnym paleniskiem palnikowym. Budowane są na świecie według dwóch systemów:

- **ROPP systemu LJUNGSTRÖM** – z wirnikiem osadzonym na wale o osi pionowej (najczęściej) lub poziomej (rzadko). Wypełnienie wirnika skomponowane z pakietów pofalowanych blach, płyt lub bloków ceramicznych z kanałami dla przepływu mediów gazowych stanowi element grzewczy akumulacyjny będący powierzchnią wymiany ciepła. Wymiennik posiada nieruchomą obudowę posadowioną na fundamencie z osadzonymi na niej nieruchomymi skrzyniami zbiorczymi na wlocie i wylocie czynników. Skomplikowane systemy uszczelnień promieniowych, osiowych i obwodowych mają skutecznie rozdzielić strumienie powietrza i spalin. Wirnik ułożyskowany jest w obudowie i podparty w dolnym łożysku oporowym osadzonym na kratownicy nośnej.
- **ROPP systemu ROTHEMÜHLE** – ze statorem posadowionym na fundamencie wypełnionym elementami grzewczymi i lekkimi wirującymi skrzyniami powietrza, górną i dolną, osadzonymi na wspólnym wale o osi pionowej lub poziomej.

Krajowy przemysł kotłowy buduje **ROPP** systemu LJUNGSTRÖM na licencji udzielonej przez firmę Svenska Rotor Maskiner AB – Stockholm. Typoszereg ROPP LJUNGSTRÖM obejmuje konstrukcje z numeracją 1 ÷ 36, co odpowiada średnicy wirnika $D = 680 \div 20\ 060$ mm. Wirnik podzielony jest blachami promieniowymi na 12 lub 24 sektory w zależności od wielkości. Wysokość wypełnienia wirnika skomponowanego z 2 ÷ 4 warstw pakietów wynosi $H = 800 \div 1900$ (3400) mm.

Na wysokości wirnika wydzielony jest konstrukcyjnie zimny i gorący koniec **ROPP**. Podział ten ma swoje uzasadnienie z uwagi na wystąpienie zjawisk niskotemperaturowej korozji siarkowej. Elementy zimnego końca **ROPP** przeważnie w 1 warstwie budowane są z blach o większej grubości $g = (1,0 + 1,2)$ mm, bywają pokryte antykorozyjną emalią lub wykonane z ceramiki. Umieszcza się je w wirniku przez otwory na powierzchni walcowej przykryte pokrywami. Elementy gorącego końca w 2 lub 3 warstwach montuje się w wirniku od góry. Wirniki o osi pionowej nie wymagają stosowania elementów utwierdzających pakiet grzewczy. W wirniku o osi horyzontalnej muszą być takie zabezpieczenia. Zasada działania niecyklicznego wymiennika **ROPP** polega na równoczesnym omywaniu odpowiedniej części powierzchni grzewczej oboma mediami wymieniającymi ciepło.

Stosowany podział sektorów po stronie spalin / powietrza wynosi:

- wirniki 12 sektorowe: 5,5/5,5, 6/5, 6,5/4,5, 7/4,
- wirniki 24 sektorowe: 11,5/11,5, 12,5/10,5, 13,5/9,5, 14,5/8,5.

Podział ten wynika z konieczności dotrzymania równomiernego obciążenia masowego wymiennika przy różniących się wielkościach strumieni spalin i powietrza wynikających z teoretycznego zapotrzebowania powietrza przy spalaniu różnych paliw, rozkładu współczynnika nadmiaru powietrza λ w kotle i rozkładu temperatur czynników w obszarze **ROPP**.

Sposób włączenia **ROPP** w instalację podgrzewu powietrza pokazuje rys. 1.

Rozwiązania konstrukcyjne podgrzewacza, ułożyskowanie, napędy są na tyle przemyślane, że nie ulegają większym modernizacjom. Zmiany modernizacyjne dotyczą uszczelnień. W nowych konstrukcjach **ROPP** wydzielono część wirnika dla podgrzewu powietrza pierwotnego oraz wtórnego.

Poszukiwania konstrukcyjne i badania **ROPP** idą w kierunku opracowania nowych elementów grzewczych o zintensyfikowanej wymianie ciepła i zmniejszonych oporach przepływu.

4.1.1. Elementy grzewcze **ROPP**. Systematyka, nazewnictwo, ocena

Wypełnienie wirnika czy statora **ROPP** stanowi powierzchnię wymiany ciepła. Powierzchnia skomponowana jest z elementów grzewczych o różnych rozwiązaniach materiałowych i konstrukcyjnych.

Wypełnienie wirnika złożone z elementów grzewczych jest układem systematycznych struktur powtarzających się w całej przestrzeni. Doświadczenia można zatem prowadzić na wycinku układu, będącym reprezentantem całej struktury. W tym przypadku nie występuje problem skali przy przenoszeniu wyników badań na urządzenie rzeczywiste.

Poszukiwania i badania wypełnień zdążają w kierunku intensyfikacji wymiany ciepła. Wielkość wymienianego strumienia ciepła Q_{ROPP} może być zwiększona poprzez:

- zwiększenie jednostkowej powierzchni grzewczej elementu Y_t [m^2/m^3],
- zwiększenie wartości współczynnika wnikania ciepła α [W/m^2K].

Wartości współczynnika wnikania ciepła α oraz liczby tarcia f , charakteryzujące opory tarcia w kanałach przepływowych, są funkcją kształtu wypełnienia i muszą być dla każdego wypełnienia określone eksperymentalnie.

Badania doświadczalne wszystkich wypełnień produkowanych przez przemysł kotłowy oraz prototypów prowadzone były w IMiUE Politechniki Śląskiej według własnej opatentowanej metody [4 – 6, 13]. Badania wiernie modelują zjawiska zachodzące w **ROPP**, a ich wyniki można wprost aplikować do procesów obliczeniowych obiektów rzeczywistych.

Analizy porównawcze istniejących typów elementów grzewczych i perspektywiczne prace badawcze prototypów rozłożono na etapy obejmujące badania wypełnień typu:

1. Wypełnienia płytowe **ROPP**:

- płytowe wypełnienie metalowe (płyta metalowa) **PM** jednopłytowe, dwupłytowe, perforowane,
- płytowe wypełnienie ceramiczne (płyta ceramiczna) **PC**,
- płytowe wypełnienie szklane (płyta szklana) **PS**.

2. Wypełnienia kratownicowe **ROPP**:

- kratownica metalowa **KM**,
- kratownica szklana **KS**.

3. Wypełnienie blokowe **ROPP**:

- blok ceramiczny **BC**.

4. Wypełnienie kasetowe **ROPP**:

- pakiety rur, kasyety z kształtkami o profilach nieregularnych.

5. Wypełnienia nasypowe:

- elementy akumulujące ciepło z różnych materiałów o różnych kształtach na przeponach sitowych.

Całą gamę typów elementów o różnych profilach grzewczych poddano badaniom eksperymentalnym w IMiUE na instalacjach ROPP-1 i ROPP-2. Komplety wypełnień dla modelowego ROPP projektowała i wykonała Fabryka Kotłów RAFAKO SA.

Badania mają na celu porównanie i ocenę różnych budowanych i projektowanych typów wypełnień pod względem intensywności wymiany ciepła i oporów aerodynamicznych, wybór optymalnego dla zadanych warunków technicznych oraz poszukiwania nowych profili grzewczych.

Wyniki badań publikowano w prasie fachowej. Określone eksperymentalnie formuły obliczeniowe wymiany ciepła i oporów przepływu wprowadzone zostają do programów doboru wielkości wymiennika HTOP-01, FLOP-01 i obliczeń eksploatacyjnych HTOP-02.

Weryfikacja wyników obliczeń przez pomiary eksploatacyjne na obiektach rzeczywistych potwierdziła przydatność opracowanych formuł.

Podstawowym typem wypełnienia **ROPP** jest wypełnienie płytowe metalowe **PM**. Najnowocześniejszym typem wypełnienia **ROPP**, preferowanym przez autorów, jest wypełnienie skomponowane z elementów grzewczych o profilu **FNC** (wg systematyki SRM AB Stockholm). Jest to wypełnienie o powierzchni ciągłej w układzie: 1 płyta naprzemianległa. Oznacza to, że profil grzewczy wykonany jest w jednym układzie walców, a przy pakietowaniu płyty układane są równolegle z odwracaniem sąsiedniej, przylegającej płyty o 180° wokół osi zgodnej z kierunkiem przepływu medium. Podziałka fali dystansowej jest regularna $p = 35$ mm. Kąt nachylenia fali $\alpha = 20^\circ$.

Wypełnienie wykonuje się na skalę przemysłową przez walcowanie na zimno z taśmy stalowej o grubości $s = 0,7$ mm w jednym układzie walców. Szerokość taśmy stalowej stanowi wysokość warstwy wypełnień h_w . Program produkcji przewiduje wykonanie wypełnień o wysokości warstwy $h_w = 300, 400, 500$ mm. Z takich warstw można złożyć wypełnienie wirnika o każdej wysokości H (w zaokrągleniu do pełnych 100 mm).

Element o profilu **FNC** łatwo się tnie z taśmy z niewielkimi zniekształceniami fali dystansowe. Mankamentem przedmiotowego wypełnienia z płytami naprzemianległymi jest konieczność odwracania sąsiedniej przyległej płyty. Ten problem znacznie utrudnia automatyzację linii produkcji koszy grzewczych. Element **PM FNC** cechuje się średnimi oporami przepływu.

Elementem o najwyższych wartościach współczynnika wnikania ciepła α jest element perforowany **PM No 381.5**. Konstrukcja ta dla intensyfikacji α wykorzystuje efekt odcinka rozbiegu termicznego spowodowany nieciągłą powierzchnią płyty. Z tego samego powodu wypełnienie ma wysokie opory przepływu.

Opierając się na wynikach badań eksperymentalnych autorzy oferują:

- wykonanie projektów koncepcyjnych zmian modernizacyjnych **ROPP**,
- zwiększenie podgrzewu powietrza,
- obniżenie temperatury spalin wylotowych,
- obniżenie oporów przepływu powietrza i spalin,

4.2. Kotłowe rekuperacyjne podgrzewacze powietrza **RPP**

Kotłowe rekuperatory gazowe budowane są w postaci układu pęczkowego rur osadzonych w dnach sitowych. Wymiennik usytuowany jest w drugim lub trzecim ciągu kotła zajmując cały przekrój ciągu. Powierzchnię grzewczą stanowi tu pęczek cienkościennych rur gładkich $\phi 44,5 \times 1,5$, $\phi 51 \times 1,5$. Pęczek **RPP** usytuowany jest zazwyczaj pionowo. Przepływ czynników wymieniających ciepło jest krzyżowy. Wewnątrz rur prowadzone są zapyłone spaliny, z tego względu rury mają osie prostoliniowe, aby zapobiec osadzaniu się zanieczyszczeń popiołowych. W przestrzeni międzyrurowej prowadzone jest powietrze wstępnie podgrzane lub o parametrach otoczenia. Powietrze przepływa wielobiegowo przez wkład rurowy.

W innych rozwiązaniach wkład rurowy usytuowany jest poziomo. Przez tak skonfigurowany pęczek spaliny płyną w przestrzeni międzyrurowej poprzecznie omywając rury grzewcze. Powietrze prowadzone jest jednobiegowo wewnątrz wszystkich rur pęczka.

W gazowych rekuperacyjnych wymiennikach ciepła typu spaliny – powietrze intensyfikacja wymiany ciepła może być realizowana w dwojaki sposób:

- przez rozwinięcie powierzchni grzewczej $- A \uparrow$,
- przez turbulizację strugi gazu $- \alpha \uparrow$.

Z uwagi na niskie i porównywalne wartości współczynnika wnikania ciepła po stronie spalin α_s i powietrza α_p , rurą grzewczą, w celu intensyfikacji wymiany ciepła, powinna posiadać rozwiniętą powierzchnię wewnętrzną przez ożebrowanie współosiowe i zewnętrzną przez ożebrowanie poprzeczne.

Przy obecnym stanie technologii hutniczej taka konstrukcja rury grzewczej jest droga i ekonomicznie nieuzasadniona.

Próby realizacji drugiego sposobu intensyfikacji wymiany ciepła przez wpływanie na wartości współczynnika wnikania ciepła α poprzez turbulizację strugi wewnętrznej z równoczesnym zwiększeniem powierzchni zewnętrznej rury przez ożebrowanie poprzeczne nie przyniosły zamierzonych efektów.

Zastosowanie wkładek spiralnych, przewężenia przekroju rury w dwóch płaszczyznach, rury o osi zygzakowatej i tym podobne zabiegi wprowadzają znaczny wzrost oporów przepływu, nawet o 70% i znikomy wzrost wartości współczynnika wnikania ciepła α , co przy dodatkowych kosztach inwestycyjnych tych zabiegów konstrukcyjnych stanowi o nieopłacalności przedsięwzięcia.

Innym rozwiązaniem konstrukcyjnym **RPP** są wymienniki płytowe. Powierzchnię grzewczą stanowi tu zespół płaskich płyt ze stali konstrukcyjnej. Płyty oddalone od siebie o $s = (20 \div 30)$ mm tworzą system szczelin, którymi płyną oddzielone od siebie czynniki wymieniające ciepło. Konstrukcja ta z uwagi na wady eksploatacyjne w kotłach została poniechana ze względu na zapyłony czynnik, ale poprawnie pracuje np. w układach turbin gazowych.

Żeliwne podgrzewacze powietrza są obecnie jedynie rozwiązaniem historycznym.

RPP z powierzchniami grzewczymi z rur szklanych zastosowano eksperymentalnie w kilku kotłach. Rury grzewcze wykonane były ze szkła borokrzemianowego typu PYREX o podwyższonej odporności na szoki temperaturowe. Wymienniki te z uwagi na odporność korozyjną szklanych rur stosuje się w kotłach na paliwa wysokosiarkowe i jest to jedyny argument za ich stosowaniem.

Rekuperacyjne rurowe podgrzewacze powietrza do kotłów są urządzeniami wielkogabarytowymi i ciężkimi. Cechują się mniej korzystnymi wskaźnikami:

- ciężarowym $i \left[\frac{\text{kg (powierzchni grzewczej)}}{\text{m}^2 \text{ (powierzchni grzewczej)}} \right]$
- powierzchniowym $F \left[\frac{\text{m}^2 \text{ (powierzchni grzewczej)}}{\text{m}^3 \text{ (powierzchni grzewczej)}} \right]$

w porównaniu z analogicznymi wskaźnikami dla regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczy powietrza.

Należy stwierdzić, że np. dla kotłów fluidalnych przy obecnym stanie techniki RPP z rurami stalowymi są rozwiązaniem optymalnym.

4.3. Wstępne parowe podgrzewacze powietrza PPP

Parowe podgrzewacze powietrza są wymiennikami rekuperacyjnymi typu gaz – ciecz (para wodna). Wkład rurowy stanowiący powierzchnię grzewczą wymiennika projektowany jest w postaci zwartych indywidualnych sekcji grzewczych zabudowanych w kanale powietrza z zachowaniem odstępów między sekcjami stanowiącymi przestrzenie rewizyjne.

Sekcję grzewczą stanowią 2 lub 3 rzędy rur w odpowiednich podziałkach, osadzonych w komorach sekcyjnych wlotowej i wylotowej. Sekcja grzewcza dla prefabrykacji i unifikacji podzielona jest na segmenty. Układ rur w sekcji projektuje się jako przestawny, heksagonalny (przestawny regularny) lub korytarzowy. Rachunek optymalizacyjny i zebrane doświadczenia eksploatacyjne pozwoliły na wybór projektowanego układu geometrycznego rur w sekcji w zakresie wartości:

- podziałka poprzeczna rur w sekcji: $s_1 = 80, 100, 120, 130 \text{ mm}$
- podziałka wzdłużna rur w sekcji: $s_2 = 60, 70, 80, 100 \text{ mm}$

Z uwagi na wysoką wartość współczynnika wnikania ciepła α_2 od czynnika cieczowego i pary oraz niską wartość α_1 po stronie gazowej, rury grzewcze mają zewnątrz rozwiniętą powierzchnię przez ożebrowanie spiralne.

Analiza różnych typów ciśnieniowych rozwiniętych powierzchni wymiany ciepła [10 – 12] pozwoliła na ostateczny wybór rury grzewczej dla przedmiotowych zastosowań w technice kotłowej.

Najnowocześniejszym elementem grzewczym instalowanym w PPP jest: **Rura bimetalowa wysokożebrowana RBW – 00 – 25/57 – 5.0 typu FA-MET** [10], posiadająca stalową rurę rdzeniową z materiału K10 °III, K18 °III i aluminiową koszulkę ożebrowaną z materiału Al 99.5 (A1), Al 99.7 (A0), Al Mg Si (Pa38).

Rury grzewcze wybranej konstrukcji cechują następujące charakterystyczne parametry:

- wysoki stopień rozwinięcia powierzchni $\varepsilon = 10,5,$
- duża jednostkowa powierzchnia grzewcza $F = 0,8874 \text{ m}^2/\text{m},$

- korzystny ciężar jednostkowy $i = 2,77 \text{ kg/m}^2$,
- optymalny z uwagi na wymianę ciepła i wytrzymałość materiałów i kształt żebra,
- doskonałe przyleganie stopy żebra do rury rdzeniowej,
- całkowita izolacja stalowej ciśnieniowej rury rdzeniowej od czynnika zewnętrznego przez osłonięcie jej żebrowaną koszulką aluminiową,
- opanowana ciąгла i wysoko wydajna produkcja,
- relatywnie niski koszt,
- możliwość stosowania technologii spawania.

Politechnika Śląska w porozumieniu z RAFAKO SA opracowała koncepcję dwóch podstawowych typów konstrukcyjnych parowego podgrzewacza powietrza:

A – PPP dla poziomego kanału powietrza,

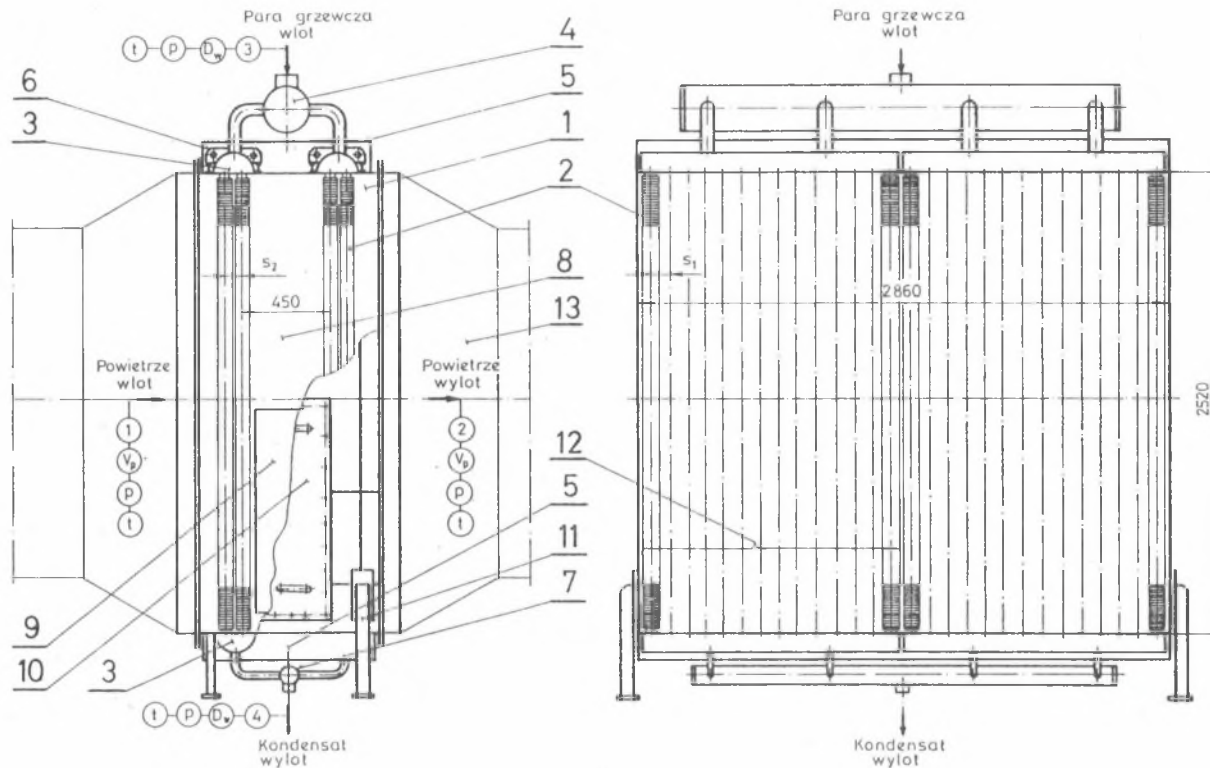
B – PPP dla pionowego kanału powietrza.

Rozwiązania chronione są prawem ochronnym na wzór użytkowy [15 – 17].

Rysunki 3 i 4 przedstawiają przykładowe rozwiązania konstrukcyjne PPP dla konkretnych obiektów energetycznych. Nasze rozwiązania koncepcyjne zastosowane w projektach, poparte 16-letnimi doświadczeniami z eksploatacji przemysłowej, uwzględniają wszystkie postawione wymagania konstrukcyjne i eksploatacyjne dla wymiennika w systemie podgrzewu powietrza:

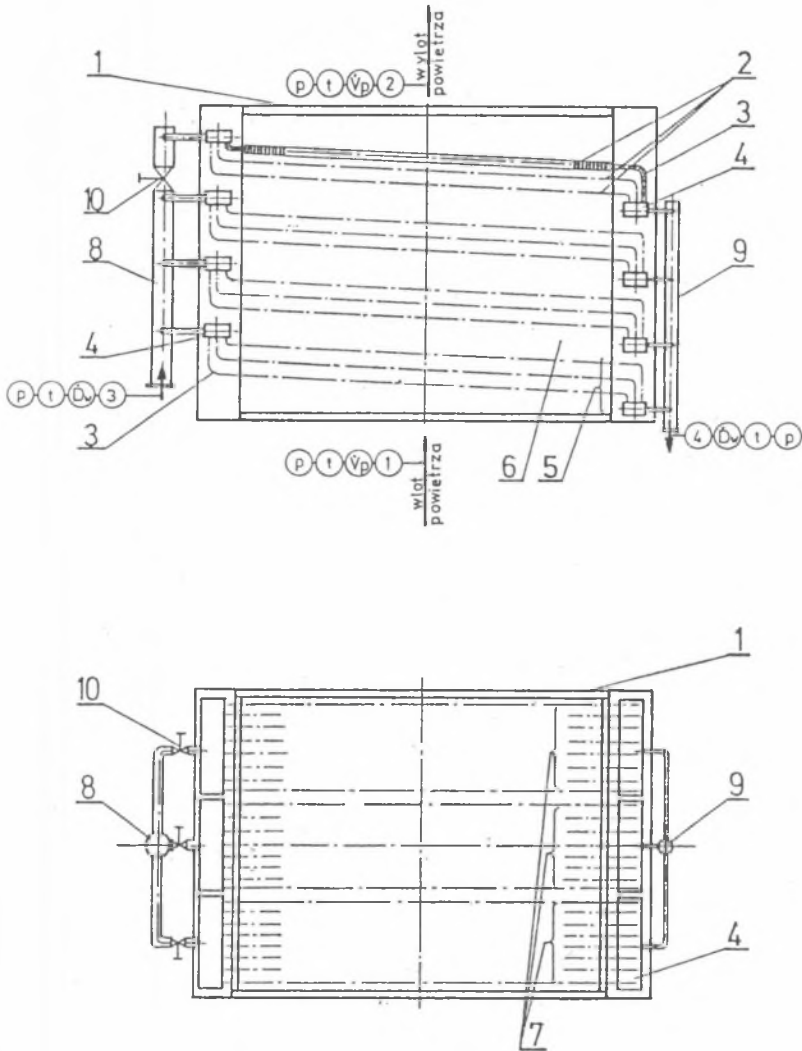
- swobodna dylatacja termiczna rur grzewczych:
 - w rozwiązaniu A: podwieszonych w górnych komorach zbiorczych,
 - w rozwiązaniu B: w kolanach o osi w kształcie litery S,
- podział na krótkie segmentowe komory sekcyjne z zabudowaną dwu- lub trzyczęściową sekcją,
- całkowite i sprawne odwodnienie instalacji PPP,
- odporność powierzchni grzewczej na korozję atmosferyczną,
- usprawnienie rewizji i remontów powierzchni grzewczej, bez demontażu bloku **PPP**, przez zastosowanie komór remontowych,
- regulacja w szerokim zakresie parametrów,
- kontrola temperatury kondensatu pary grzewczej z pierwszego rzędu rur z uwagi na niebezpieczeństwo zamarzania.

W celu doboru cech szczegółowych wymiennika zapewniających spełnienie założeń wstępnych konkretnego obiektu energetycznego prowadzi się wielowariantowe obliczenia cieplne i aerodynamiczne wkładu rurowego parowego podgrzewacza powietrza.



Rys. 3. Koncepcja układu geometrycznego parowego podgrzewacza powietrza dla poziomego kanału powietrza: 1 – kanał powietrza, 2 – rura grzewcza, 3 – sekcyjna komora zbiorcza (wlotowa, wylotowa), 4 – kolektor czynnika grzewczego (wlotowy, wylotowy), 5 – komora remontowa wkładu grzewczego, 6 – okno włazowe, 7 – pokrywa okna włazowego, ① ÷ ④ – oznaczenia punktów pomiarowych dla strumienia powietrza i pary (V_p , D_w), oraz ciśnienia i temperatury przepływających czynników (p, t)

Fig. 3. Concept of an geometrical layout of a steam – heated air preheater for a horizontal air channel



Rys. 4. Koncepcja układu geometrycznego parowego podgrzewacza powietrza dla pionowego kanału powietrza: 1 – obudowa parowego podgrzewacza powietrza, 2 – rura grzewcza, 3 – komora zbiorcza segmentowa (wlotowa, wylotowa), 4 – kolektor czynnika grzewczego (wlotowy, wylotowy), 5 – skrzynia izolacyjna, 6 – ucho, 7 – kolektor doprowadzający czynnik grzewczy, 8 – komora remontowa, 9 – okno, 10 – pokrywa okna wlotowego, 11 – łapa, 12 – segment sekcji grzewczej, 13 – kanał powietrza, ① ÷ ④ – oznaczenia punktów pomiarowych dla strumienia powietrza i pary (V_p , D_w), oraz ciśnienia i temperatury przepływających czynników (p , t)

Fig. 4. Concept of an geometrical layout of a steam – heated air preheater for a vertical air channel

5. Algorytm blokowy wariantowych obliczeń cieplnych i aerodynamicznych parowego podgrzewacza powietrza

Wielowariantowe obliczenia wymiany ciepła i oporów przepływu wkładu rurowego PPP prowadzone za pomocą własnych programów obliczeniowych HEAT - 01, HEAT - 10 [9] pozwalają na dobór optymalnego układu geometrycznego bloku wymiennika i konfiguracji rurowego wkładu grzewczego, stanowiącego powierzchnię grzewczą.

Optymalizacja układu geometrycznego prowadzona jest z uwzględnieniem poniższych przesłanek:

- dotrzymanie założonego rozkładu temperatur czynników,
- niewielkie zwiększenie przekroju kanału powietrza,
- minimalizacja długości całkowitej wkładu rurowego,
- minimalizacja ilości złączy spawanych,
- równomierny rozkład podziałek rur,
- równomierny rozkład prędkości strugi powietrza,
- optymalizacja prędkości przepływu powietrza z uwagi na intensyfikację wymiany ciepła i minimalizację oporów aerodynamicznych.

W obliczeniach cieplnych i aerodynamicznych wykorzystuje się wyniki własnych analiz i badań eksperymentalnych Zespołu i kilkunastoletnie doświadczenia przemysłowe [6, 7], a także wyniki badań obcych autorów prezentowane w literaturze fachowej.

Na podstawie danych wejściowych wykonuje się komputerowe obliczenia cieplne i aerodynamiczne wkładu grzewczego parowego podgrzewacza powietrza. Obliczenia prowadzi się za pomocą użytkowego programu komputerowego HEAT- 01, HEAT- 10

5.1. Użytkowy program obliczeniowy wymiany ciepła i oporów przepływu wkładu rurowego PPP

Program skonstruowany w konwencji konwersacyjnej realizuje obliczenia przy przyjętych założeniach głównych:

Wstępnemu doborowi podlega geometria układu i rury ożebrowanej:

- | | |
|---|------------|
| – wybrana geometria kanału | a, b |
| – zadane wartości podziałek układu rur grzewczych | s_1, s_2 |
| – ilość rur w pierwszym rzędzie | z_1 |
| – ilość rzędów rur | z_2 |
| – całkowita ilość rur z | |
| – długość rury grzewczej | l_1 |

- wybrany układ rur w pęczku przestawny, korytarzowy
- wybrany typ rury ożebrowanej RBW ?

Dane wejściowe stanowią:

- strumień czynnika grzewczego D_w
- temperatura czynnika grzewczego na wlocie t_3
- strumień czynnika ogrzewanego V_p
- temperatura czynnika ogrzewanego na wlocie t_1

Dla takich założeń program wykonuje:

- obliczenia geometrii powierzchni grzewczej A_r, A_z, eps, A
- obliczenia wymiany ciepła $Q, t_1, t_2, t_3, t_4, \Delta t, w, Re, k$
- obliczenia oporów przepływu $\Delta p, Eu$
- obliczenia kosztu wkładu grzewczego K

Wydruk wyników obliczeń przedstawiony w postaci tablic alfanumerycznych ujmuje:

- numer tablicy,
- nagłówek programu,
- wyróżnik obiektu energetycznego,
- geometria rury ożebrowanej,
- geometria układu,
- parametry czynników wymieniających ciepło,
- założenia główne,
- wyniki obliczeń cieplnych i aerodynamicznych.

Tablica wstępna konwersacji wyboru założeń wstępnych i tablice wydruku końcowego wariantu obliczeniowego oznaczone są tym samym numerem.

Zaprezentowane obliczenia wykonane są dla różnych wariantów założeń głównych i związanych z tym zmian parametów termodynamicznych mediów i cech geometrycznych urządzenia. Wykonywane są także obliczenia dotyczące możliwości regulacyjnych wymiennika.

Analiza kompletu tablic wydruku końcowego pozwala wybrać optymalny układ geometryczny bloku wymiennika i układ wkładu rurowego. Na tej podstawie przedstawiona zostaje koncepcja parowego podgrzewacza powietrza do realizacji projektu wstępnego, a następnie kompletnej dokumentacji konstrukcyjnej.

5.2. Założenia realizowanych wariantów obliczeniowych

Obliczenia doboru parowego podgrzewacza powietrza dla przedmiotowego obiektu energetycznego realizuje się przy użyciu programów HEAT - 01, HEAT - 10 [9]. Obliczenia prowadzi się wg następującego cyklu podzielonego na etapy:

- 1) obliczenia wstępne **PPP** dla założeń nominalnych,

- 2) wstępny wybór geometrii bloku wymiennika,
- 3) wstępny wybór geometrii rurowego wkładu grzewczego,
- 4) konstrukcyjne obliczenia szczegółowe,
- 5) powtórzenie cyklu obliczeniowego dla innych obciążeń PPP,
- 6) obliczenia eksploatacyjne przy ustalonym strumieniu czynnika grzewczego ($t_2 = f(t_1)$, $D_w = \text{idem}$),
- 7) obliczenia kontrolne temperatury t_4 kondensatu pary dla pierwszego rzędu rur,
- 8) obliczenia eksploatacyjne mające na celu określenie zakresu zapotrzebowania pary przegrzanej w zależności od wymagań po stronie czynnika grzewczego i ogrzewanego.

Etapy 1 + 5 tworzą blok obliczeń konstrukcyjnych doboru PPP, a etapy 6 + 8 blok obliczeń eksploatacyjnych sprawdzających.

Obliczenia wstępne wymiennika dla nominalnych warunków technicznych i różnych zadanych układów geometrii bloku wymiennika (a, b) i geometrii wkładu rurowego (s_1 , s_2 , z_1 , z_2 , z , A) realizuje program obliczeniowy, po analizie tablic wydruku końcowego. W przypadku uzyskania zadowalających wyników (poziomy temperatur t_2 , t_4 , opory aerodynamiczne, wymiary gabarytowe) wykonywane są, za pomocą programu, konstrukcyjne obliczenia szczegółowe PPP.

Odpowiednia tablica wstępna oznaczona numerem prezentuje wprowadzane w formie konwersacji dane wejściowe do obliczeń, a tablica wydruku końcowego prezentuje wyniki obliczeń. Podobne w strukturze obliczenia prowadzi się dla innych zadanych obciążeń objętościowych PPP będących wynikiem zmian obciążenia kotła. Dla tych założeń mogą również ulec zmianie parametry termodynamiczne czynników wymieniających ciepło.

Wynikiem zaprezentowanego bloku obliczeń konstrukcyjnych parowego podgrzewacza powietrza jest dobór szczegółowej geometrii bloku wymiennika i rurowego wkładu grzewczego.

Obliczenia sprawdzające wykonuje się dla szerokiego zakresu zmian temperatury $t_1 = (-25 \div +20)^\circ\text{C}$. Wykonuje się również obliczenia regulowanego strumienia czynnika grzewczego dla zmiennych temperatur na wlocie dla ustalenia zakresu armatury regulacyjnej strumienia pary. Przy ustalaniu geometrii PPP decydujące znaczenie ma temperatura podgrzewu powietrza i spadek ciśnienia.

Dla najbardziej niekorzystnych warunków termicznych, ze względu na możliwość zamarzania kondensatu pary grzewczej, prowadzi się obliczenia sprawdzające dla pierwszego rzędu rur wymiennika, na który wpływa zimny czynnik ogrzewany.

Dla wielu wariantów obliczeniowych ograniczenie minimalnej temperatury kondensatu t_4 na wylocie z pierwszego rzędu rur sekcji jest warunkiem narzucającym wielkość strumienia pary grzewczej D_w . Wyniki obliczeń sprawdzają-

- niezebrowane końcówki rur:
 - malować natryskowo lub pędzlem farbą aluminiową termoodporną (srebrzanką),
- kolektory i komory zbiorcze:
 - oczyszczenie przez śrutowanie, malować natryskowo farbą termoodporną aluminiową (srebrzanką).

④. Izolacja termiczna

- Przestrzenie pod pokrywą komór zbiorczych izolować wełną mineralną (bazaltową) półsztywną lub złómkami płyty sztywnej.
- Cały blok wymiennika izolować matami sztywnymi z wełny mineralnej i opancerzyć blachą aluminiową $g = 1$ mm kopertową.
- Kolektory zbiorcze pary grzewczej i doprowadzające rurociągi izolować termicznie.

7. Lista referencyjna parowych podgrzewaczy powietrza

W celu poparcia informacji o zaletach konstrukcji, poprawnej eksploatacji i wysokiej dyspozycyjności parowych podgrzewaczy powietrza nowej generacji podajemy skróconą listę referencyjną wyprodukowanych urządzeń.

UWAGA:

1. Koncepcję wstępnych parowych podgrzewaczy powietrza opracowano w Instytucie MiUE Politechniki Śląskiej w Gliwicach opierając się na rozwiązaniach wzorów użytkowych chronionych prawem ochronnym Ru 41985, Ru49387, Ru 49390.
2. Projekty wykonawcze opracowano w:
 - Pracowni Projektowej Urządzeń Paleniskowych Fabryki Kotłów RAFAKO SA w Raciborzu,
 - Biurze Konstrukcyjnym FAU FAMET SA w Kędzierzynie – Koźlu.
3. Producent urządzenia:
 - Fabryka Kotłów FAFAKO SA Racibórz,
 - Fabryka Aparatury i Urządzeń FAMET SA Kędzierzyn – Koźle.

Tablica 7.1

**Lista referencyjna wstępnych parowych podgrzewaczy powietrza
wg rozwiązań Ru 41 985, Ru 49 387, Ru 49 390**

Lp.	Obiekt energetyczny	Kocioł	Blok MW	Ilość sztuk		Projektant	Producent	Rok prod.
				na kocioł	razem			
1	Elektrownia BĘLCHATÓW	BB-1150	360	2	24	RAFAKO SA PPIP	FAMET SA Biuro Konst.	1985+1987
2	Elektrownia OPOLE	BP-1150	360	4	12	RAFAKO SA PPIP	FAMET SA Biuro Konst.	1985+1987
3	Elektrownia TAI YUAN	BP-1025	300	4	8	RAFAKO SA PPIP	FAMET SA Biuro Konst.	1987
4	EC. BIELSKO – BIAŁA	OFz-230	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1988
5	CHEMITEX – WISTOM Tomaszów Mazowiecki	OP-140	30	2	4	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1990
6	Elektrownia DOLNA ODRA	OP-650	200	2	6	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1991+1993
7	Z.A. WŁOCŁAWEK	OP-230	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1990
8	Elektrownia KOZIENICE	AP-1650	500	4	8	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1990
9	Elektrownia TURÓW	OP-650b	200	3	3	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1991
10	Elektrownia TURÓW	OP-650b	200	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1991
11	Elektrownia ŁAGISZA	OP-380	125	2	8	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1992-1995
12	Rafineria GDAŃSKA SA	OOG-145	125	1	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1993+1996
13	EC. ŁÓDŹ IV	OP-230	50	2	4	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1993+1995
14	EC. ŻERANŃ	OFz-450		2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1994
15	POLFA Starogard Gdański	OFz-75		1	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1995
16	Elektrownia KUTCH Indie	OB-330	100	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1995
17	Ukraina	OFz-26-		2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1995

cd. tablicy 7.1

Lp.	Obiekt energetyczny	Kocioł	Blok MW	Ilość sztuk		Projektant	Producent	Rok prod.
				na kocioł	razem			
18	EC. ŁÓDŹ III	OP-230	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1996
19	EC. GDAŃSK	OP-230	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1996
20	Z.A. WŁOCŁAWEK	OP-260	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1996
21	EC. POZNAŃ – KAROLIN	OP-140	30	2	4	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1996
22	KWIDZYŃ	OP-140	30	2	2	RAFAKO SA PPIP	RAFAKO SA PPIP	1996
23	EC. SIEKIERKI	OP-230	50	2	2	RAFAKO SA PPIP	FAMET SA Biuro Konst.	1996
24	Petrochemia Płock SA	OOG-320		4	4	RAFAKO SA PPIP	FAMET SA Biuro Konst.	1996

8. Podsumowanie

Pełny kilkuletni cykl prac analitycznych, badawczych i konstrukcyjnych, skrupulatne zbieranie doświadczeń eksploatacyjnych realizowane we współpracy IMiUE Politechniki Śląskiej z RAFAKO SA – Racibórz i FAU FAMET SA – Kędzierzyn – Koźle zaowocowały opracowaniem typoszeregu nowej generacji i dojrzałej konstrukcji parowych podgrzewaczy powietrza.

Powierzchnię grzewczą wymiennika skonfigurowano z najnowocześniejszych integralnych bimetalowych rur wysokożebrowanych typu RBW FAMET.

Wymienniki wg zaprezentowanych rozwiązań stanowią wyposażenie kotłów elektrowni i elektrociepłowni zawodowych i przemysłowych w kraju i za granicą.

W tym aspekcie opracowano zunifikowane projekty dwóch podstawowych typów wymiennika: dla poziomego i pionowego kanału powietrza. Koncepcje rozwiązań technicznych PPP zawierają najnowocześniejsze rozwiązania z techniki światowej, a budowane urządzenia dotrzymują najwyższych światowych standardów produkcyjnych. Pierwsze urządzenia budowane dla kotłów

BB 1150 EL. BEŁCHATÓW w 1985 pracują bezawaryjnie nieprzerwanie już ok 95 000 godz.

Zapraszamy do korzystania z naszych usług. Sprawdźcie nasze referencje. Zapewniamy profesjonalną organizację pełnego cyklu koncepcyjno-projektowo-produkcyjnego parowych podgrzewaczy powietrza.

Objaśnienie oznaczeń użytych w komputerowych programach obliczeniowych HEAT - 01, HEAT - 10

- A – powierzchnia grzewcza, m^2 ,
- A_r – jednostkowa powierzchnia rury ożebrowanej, m^2/m ,
- A_z – jednostkowa powierzchnia ożebrowania, m^2/m ,
- a – szerokość kanału dla przepływu czynnika gazowego, mm,
- b – wysokość kanału dla przepływu czynnika gazowego, mm,
- d_1, d_2 – średnica wewnętrzna i zewnętrzna rury rdzeniowej, mm,
- d_3 – średnica podstawy zębra, mm,
- d_4 – średnica rury ożebrowanej, mm,
- Δp – opory przepływu powietrza przez wkład grzewczy, Pa,
- Δt – średnia różnica temperatur czynników, K,
- D_w – strumień czynnika grzewczego, kg/h,
- eps – stopień ożebrowania,
- Eu – liczba Eulera,
- g – średnia grubość zębra, mm,
- h_3 – wysokość zębra, mm,
- k – współczynnik przenikania ciepła, W/m^2K ,
- K – koszt rur wkładu rurowego, zł,
- L_c – całkowita długość wkładu rurowego, m,
- M – masa wkładu rurowego, kg,
- p_1 – ciśnienie czynnika ogrzewanego, Pa,
- p_3 – ciśnienie czynnika grzewczego, Pa,
- Q – strumień przejętego ciepła, kW,
- Re – liczba Reynoldsa,
- s – podziałka ożebrowania, mm,
- s_1 – podziałka poprzeczna rur w pęczku, mm,
- s_2 – podziałka wzdłużna rur w pęczku, mm,
- t_1 – temperatura czynnika ogrzewanego na wlocie, $^{\circ}C$,
- t_2 – temperatura czynnika ogrzewanego na wylocie, $^{\circ}C$,
- t_3 – temperatura czynnika grzewczego na wlocie, $^{\circ}C$,
- t_4 – temperatura czynnika grzewczego na wylocie, $^{\circ}C$,
- w – prędkość czynnika ogrzewanego (powietrza), m/s,
- V_p – strumień czynnika ogrzewanego, m^3/h ,
- z – całkowita ilość rur w pęczku wkładu grzewczego,
- z_1 – ilość rur w pierwszym rzędzie pęczka wkładu grzewczego
- z_2 – ilość rzędów rur w pęczku wkładu grzewczego

Literatura

1. Baran M., Walewski A. W., Thamm J.: Regeneracyjne obrotowe podgrzewacze powietrza. Kierunki rozwoju konstrukcji i badań doświadczalnych. *Gospodarka Paliwami i Energią* 1982, nr 8 – 9.
2. Baran M., Walewski A. W., Wojnar W.: Badania regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczy powietrza na stanowisku doświadczalnym. *Gospodarka Paliwami i Energią* 1982, nr 10, s. 20–24.
3. Baran M., Walewski A. W., Wojnar W., Pękala S.: Badania doświadczalne ceramicznych elementów grzewczych regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczy powietrza. *Gospodarka Paliwami i Energią* 1983, nr 1, s. 18–22.
4. Walewski A. W.: Badania wymiany ciepła i oporów przepływu w ceramicznych elementach grzewczych regeneracyjnego obrotowego podgrzewacza powietrza. Praca doktorska. Gliwice 1985.
5. Walewski A. W., Wojnar W., Pękala St.: Porównanie różnych typów wypełnień regeneracyjnych obrotowych podgrzewaczy powietrza w oparciu o badania na stanowisku doświadczalnym. V Konferencja Kotłowa. Materiały konferencyjne. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka z. 94. Gliwice 1986.
6. Walewski A. W., Czepelak J., Wojnar W., Żyła J.: Nowa generacja wstępnych podgrzewaczy powietrza. Parowy podgrzewacz powietrza dla kotła BB 1150. Ogólnopolska konferencja nt: Bloki 360 MW. Materiały konferencyjne. Bełchatów 1985.
7. Walewski A. W., Wojnar W., Pękala St.: Parowe podgrzewacze powietrza kotłów energetycznych. Konstrukcja, obliczenia, badania. VI Konferencja Kotłowa. Materiały konferencyjne. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka z. 113. Gliwice 1990.
8. Walewski A. W., Rataj Z. L., Wojnar W. B.: Systemy schłodzenia i podgrzewu spalin w układach odsiarczania spalin ciepłowni z kotłami rusztowymi. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka z. 122, Gliwice 1994.
9. Użytkowy program komputerowy HEAT – 01, HEAT – 10. Program obliczeniowy wymiany ciepła i oporów przepływu wkładu rurowego parowego podgrzewacza powietrza. Politechnika Śląska, Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych, Gliwice 1989.
10. Fabryka Aparatury i Urządzeń FAMET SA: FAMET type Bimetallic Finned Tubes. Katalogi firmowe. Kędzierzyn – Koźle 1996.
11. Zakłady Aparatury Chemicznej CHEMET: Rury ożebrowane z taśmą stalową. Wyciąg z normy branżowej BN-71/2256-02. Tarnowskie Góry 1995.

12. Zakłady Aparatury Chemicznej CHEMET: Rury ożebrowane dla chłodnic powietrznych. Wyciąg z normy zakładowej ZN-77/2252/0498. Tarnowskie Góry 1995.
13. Urząd Patentowy PRL: Sposób badania regeneracyjnych, obrotowych gazowych wymienników ciepła. Wynalazek. Pat. nr 136820
14. Urząd Patentowy PRL: Regeneracyjny wymiennik ciepła. Wynalazek. Pat. nr 216332.
15. Urząd Patentowy PRL: Parowy podgrzewacz powietrza kotłów energetycznych. Wzór użytkowy. Prawo ochronne nr 41 985.
16. Urząd Patentowy RP: Parowy podgrzewacz powietrza kotłów energetycznych. Wzór użytkowy. Prawo ochronne nr 49 387.
17. Urząd Patentowy RP: Parowy podgrzewacz powietrza kotłów energetycznych. Wzór użytkowy. Prawo ochronne nr 49 390.
18. Parowy podgrzewacz powietrza kotłów energetycznych dla poziomego kanału powietrza. Parowy podgrzewacz powietrza kotłów energetycznych dla pionowego kanału powietrza. Wydział Inżynierii Środowiska i Energetyki. Oferty, nowe technologie, badania, usługi. Gliwice 1995.
19. Porozumienie o współpracy w dziedzinie modernizacji i rozwoju konstrukcji podgrzewaczy powietrza kotłów energetycznych między RAFAKO w Racibirzu, ZUCH METALCHEM w Kędzierzynie – Koźlu i IMiUE Politechniki Śląskiej. Gliwice 1985.

Recenzent: Dr hab. inż. Marek Pronobis Prof. Politechniki Śląskiej

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

Abstract

In this paper the analyses of air heating systems for power station's boilers as well as industrial boilers has been given. The systematic of the air heaters having been installed in those air heating systems was made.

The concepts and constructions solutions of those boiler equipment has been discussed.

The experimental investigations of all built-up insert packages of the regenerative rotary air preheaters were carried out on special test stands. The authors has been presented the algorithm of their own software for calculation of steam air preheaters.

The original constructions of steam air preheaters for horizontal as well as vertical ducts has been presented.

The reference list of these steam air preheaters installed in polish and foreign Power Plants was given.