Seria: ENERGETYKA z. 67

Nr kol. 563

Marek JANUSZ, Janusz WANDRASZ Instytut Techniki Cieplnej

INSTALACJA DOŚWIADCZALNA DO BADANIA KONWEKCJI SWOBODNEJ W WYPEŁNIENIU REGENERATORA

Streszczenie. Badania modelowe współczynnika wnikania ciepła w kratownicach regeneratorów przeprowadzono w większości przypadków dla przepływów burzliwych. Wpływ konwekcji swobodnej na  $\mathfrak{a}_k$  nie miał w tym przypadku większego znaczenia. Dla przepływów czynnika, dla których Re< 2000 wpływ konwekcji swobodnej jest znaczny. Dla określenia jej wpływu na współczynnik wnikania ciepła  $\mathfrak{a}_k$  zaprojektowano i wykonano instalację doświadczalną.

### 1. Metoda badań

Zbudowana instalacja służy do badania wpływu konwekcji swobodnej na wepółczynnik wnikania ciepła  $\alpha_k$ , który wyznacza się metodą bezpośrednią z równania Newtona.

$$\dot{Q} = Fa_{L}(t - \vartheta), \qquad (1)$$

gdzie:

Q – strumień ciepła, W,

F - pole powierzchni omywanej przez płyn, m<sup>2</sup>,

t, v - temperatura strugi płynu i powierzchni ściany. K.

Zaetosowanie równania Newtona (1) do wyznaczania współczynnika wnikania ciepła w rozpatrywanej kratownicy regeneratora narzuca konieczność



pomiaru strumienie przekazywanego ciepła, temperatury strugi płynu oraz temperatury powierzchni ściany.

Przy założeniu równomiernego rozkładu strug płynu [5] i strumieni ciepła w przekroju czynnym kratownicy, można wykorzystać symetrię i wydzielić elementy powtarzające się, posiadające jednakowy rozkład temperatur na powierzchni (rys. 1) [7], [9].

W układzie pomiarowym zastosowano belkę grzejną grzaną elektrycznie prądem stałym. Sumaryczną ilość ciepła przekazywanego przez główną belkę pomiarową wyznacza się z pomiaru mocy prądu zasilającego układ. Bilans energii głównej belki pomiarowej kratownicy prowadzi do równania:

$$N = F \alpha (v - t_m) + \sum \dot{Q}_{ri} + \sum \dot{Q}_{\lambda} + \dot{Q}_{ot}, \qquad (2)$$

gdzie:

α – sumaryczny współczynnik wnikania ciepła dla belki, W/m<sup>2</sup> K,

<sup>19</sup> – średnia temperatura ścianki, K,

t<sub>m</sub> – średnia temperatura strugi przepływającego gazu, K,

- F pole powierzchni belki omywanej przez płyn, m<sup>2</sup>,
- N moc prądu grzejnego (dla głównej belki pomiarowej), W,
- $\sum \dot{\mathbb{Q}}_{\lambda}$  suma strumieni ciepła przewodzonego do sąsiednich belek grzejnych, W,

 $\dot{\mathbb{Q}}_{a+}$  — strata ciepła do otoczenia belki pomiarowej, W.



we ciepto prekazane na drodze promieniowania



Rysunek 2 przedstawia schemat przepływu ciepła opisanego równaniem (2). Właściwy dobór materiałów izolacyjnych, izolujących element grzejny od ścianek modelu oraz wstępne pomiary pozwalają na pominięcie w rozważaniach strumienia ciepła Q<sub>ot</sub>. Pominięcie tej wielkości możliwe jest z uwagi na konstrukcję samej belki, składającej się z płaszcza miei umieszczonych w dzianego niej elementów grzejnych, Brak pełnego wypełnienia,jak w [9],

zmniejsza powierzchnię kontaktu belki ze ścianą boczną, a wypełnienie zakończeń belki materiałem izolacyjnym ogranicza wymianę ciepła między piaskiem i ścianką wewnątrz układu (rys. 6).

## 2. Zakres badań

Uzyskane z równania (2) wartości  $\alpha$  będące funkcją  $\alpha$  radiacyjnego, $\alpha$ konwekcji wymuszonej i  $\alpha$  konwekcji swobodnej są zależne od prędkości strumienia czynnika, jego własności fizycznych oraz geometrii układu. Zależności te zgodnie z teorią podobieństwa można przedstawić w postaci równania kryterialnego: Instalacja doświadczalna do badania...

$$Nu_{d} = f(Re_{d}, Gr_{d}, Pr, d/b, n, \zeta), \qquad (3)$$

gdzie:

Nud, Red, Grd	- liczby Nusselta, Reynoldsa, Grashoffa odniesione do
	odległości cegieł,
Pr	– liczba Prandtla,
d/b	– stosunek odległości cegieł do ich szerokości,
n	– kolejny numer warstwy,
5	– bezwymiarowa szorstkość belek.

Celem ustalenia postaci równania (3) prowadzi się badania zmieniając wartości liczb Reynoldsa w zakresie (50÷2500), liczb Grashoffa (500 ÷ 100000) oraz stosunku d/b = (0,75÷2). Wpływ liczby Pr i wielkości n i 5 może być uwzględniony w oparciu o [7], [9]. Celem wyeliminowania przypadkowych błędów pomiar każdej zmiennej wartości (Re, Gr, d/b) przeprowadza się wielokrotnie.

## 3. Opis zastosowanej instalacji doświadczalnej

Stanowisko badawcze przedstawione na rys. 3 składa się z dwu części: komory modelowej (10) oraz układu doprowadzającego powietrze modelujące.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego

1 – wentylator, 2, 3, 7 – zawory, 4 – rotametry, 5 – przewody, 6 – podgrzewacz powietrza, 8 – termometry, 9 – siatki oporowe, 10 – komora badawcza

Komora modelowa została wykonana z blachy stalowej jako układ dzielony trójelementowy. Posiada podwójne ścianki, między którymi znajduje się izo-

63

lacja z wełny mineralnej (ma to na celu ograniczenie strat ciepła do otoczenia).

Przekrój komory jest kwadratowy o wymiarach 300 x 300 mm. Podzielność komory umożliwia łatwiejsze wykonanie podłączeń elektrycznych. Wykonanie komory o przekroju kwadratowym wymagało zastosowania układów dolotowych zapewniających równomierny rozpływ czynnika. W oparciu o [4] zaprojektowano w górnej i dolnej części modelu układy trzech sit zapewniających równomierny rozpływ czynnika po csłym przekroju [5]. Górny i dolny element komory (10a) jest elementem rozbiegowym.

Powietrze do układu dopływa przewodami stalowymi o średnicy 2". Do zasilania układu zastosowano wentylator o wydajności  $\mathring{V} = 380 \ m_n^3/h$  i sprężu  $\bigtriangleup p = 5000 \ \frac{N}{m^2}$ . Ze względu na zmienne zapotrzebowanie powietrza w układ wbudowano zawory upustowe oraz przewód obejściowy umożliwiający przepływ czynnika przez komorę badawczą z góry w dół i z dołu do góry.

Regulację temperatury dopływającego czynnika umożliwia grzejnik elektryczny (poz. 6). Pomiar strumienia przepływającego czynnika dokonywany jest przy użyciu rotametrów typu RIN i ROL o różnych zakresach. Wypełnienie modelu stanowią trzy rodzaje belek wykonanych w skali 1:10 w stosunku do obiektu rzeczywistego. Belki modelowe mają wymiary 280 x 20 x 16 mm, przy czym grzejne i pomiarowe wykonano z miedzi o grubości ścianki 2 mm, a pozostałe stanowiące wypełnienie, z masy ceramicznej wydrążonej, celem zmniejszenia bezwładności cieplnej układu (rys. 4). W modelu zastosowano



Rys, 4. Belki modelowe a) grzejna i pomiarowa, b) belka wypełnienia

17 warstw belek, z czego 12 warstw stanowią belki imitujące wypełnienie (po 6 warstw od góry i od dołu). Reszta to belki grzejne i pomiarowe, przy czym te ostatnie rozmieszczono w ten sposób, że w warstwie środkowej znajdują się trzy belki pomiarowe, a w pozostałych po jednej. Główna belka pomiarowa zajmuje położenie centralne w środkowej warstwie belek grzejnych. Belki w komorze modelu mogą być ustawione w układzie przesuniętym lub nieprzesuniętym (rys. 5).



Rys. 5. Wypełnienie regeneratora a) układ nieprzesunięty, b) układ przesunięty

Układ pomiarowy komory obejmuje zasilanie belek grzejnych i pomiar mocy, pomiar temperatury ścianek belek pomiarowych oraz pomiar temperatury czynnika modelującego.

Grzanie belek grzejnych i pomiarowych wykonano za pomocą drutu oporowego (chromonikielina Ø 0,5 mm) poprowadzonego w osłonie ceramicznej. Przestrzeń wolne wewnątrz belki została wypełniona piaskiem kwarcowym. Belki te jednostronnie wyposażono w začiski umożliwiające podłączenie zasilania. Opory elektryczne elementów grzejnych są jednakowe dla wszystkich belek grzejnych i pomiarowych.

Belki pomiarowe mają dodatkowo umieszczone termopary pozwalające na pomiar temperatury ścianek. Każda z tych belek ma umocowane na swojej powierzchni od 8÷24 termopar miedź-konstantan. Temperaturę czynnika modelującego mierzy się przy użyciu siatek oporowych na dolocie i wylocie czynnika z komory.

Schemat elektryczny stanowiska pomiarowego przedstawiono na rys. 6, a na rys. 7, 8 pokazano schemat belki grzejnej i rozmieszczenie termopar.

Dla każdej belki w oparciu o pomiary została sporządzona charakterystyka przedstawiająca zależność siły termoelektrycznej termopar od temperatury ścianek belki.

## 4. Wnioski

Przeprowadzone pomiary wstępne pozwoliły na określenie strat ciepła do otoczenia. Straty średnie dla całego układu nie przekraczają 1%. Główna belka pomiarowa ma względne straty ciepła mniejsze od strat wyliczonych, co związane jest z jej szczególnym położeniem w układzie grzejnym.

Wstępne pomiary pozwoliły również określić miejsca zamocowania termopar na pozostałych belkach pomiarowych. Pomiary temperatur przy użyciu

65



Rys. 6. Schemat elektryczny stanowiska pomiarowego



Rys. 7. Schemat belki grzejnej

1 - płaszcz miedziany, 2 - elementy ceramiczne z drutami oporowymi, 3 - zaciski mocujące, 4 - płytka izolacyjna, 5 - piasek kwarcowy



Rys. 8. Rozmieszczenie termopar na powierzchni belki

tych termopar pozwolą na określenie przepływu energii przez promieniowanie z głównej belki pomiarowuj.

### LITERATURA

- L Eckert E.B.C.: Introduction to the Transfer of Heat and Mass, Mc Graw Hill Book Company, 1950.
- [2] Hausen H.: Wärmeubertragung im Gegenstrom, Gleichstrom und Kreuzstrom. Techn. Physik Springer Verlag Berlin-Göttingen-Heideberg - München 1950.
- [3] Hobler T.: Ruch ciepła i wymienniki, WNT, Warszawa 1968.
- [4] Idielczik I.E.: Aerodynamika promyszliennych aparatow, Moskwa 1964.
- [5] Janusz M.: Rozkład prędkości strugi czynnika w modelu regeneratora w druku.
- [6] Johnstone R.E., Thring M.W.: Instalacje doświadczalne, modele i metody powiększania skali, PWT, Warszawa 1960.
- [7] Niemiec M.: Badania modelowe współczynników wnikania ciepła i oporu przepływu w kratownicach regeneratorów – praca doktorska, ITC, Gliwice 1974.
- [8] Romer E.: Miernictwo przemysłowe, PWN, Warszawa 1972.
- [9] Szargut J., Wandrasz J.: Badania konwekcyjnego współczynnika wnikania ciepła w kratownicy regeneratora, Archiwum Hutnictwa, Warszawa 1972.

# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ В РЕШЕТКАХ РЕГЕНЕРАТОРОВ

### Резюме

До настоящего времени процессы теплообмена в решётках регенераторов исследовались для условий вынужденной конвекции. Влияние свободной конвекции на коэффициент конвективного теплообмена в этих случаях весьма не существенно. При движении газов, определяемых числами Re 2000, влияние свободной конвекции значительно. В работе приводится схема и описывается принцип действия установки, предназначенной для исследования коэффициента теплообмена в решётках регенераторов с учётом свободной конвекции.

EXPERIMENTAL INSTALLATION FOR NATURAL CONVECTION INVESTIGATION IN THE REGENERATOR CHEQUERS

#### Summary

The model investigations of the heat penetration coefficient  $\alpha_k$  in the regenerator chequers were carried out mainly for the turbulent flow. The influence of the natural convection on the  $\alpha_k$  was negligible in

this case. However, for the flowing medium at (Re) <2000, the influence of the natural convection is significant. The experimental installation for the determination of the influence of natural convection on the heat penetration coefficient was designed and constructed.