

Małgorzata HANUSZKIEWICZ-DRAPAŁA

Jan SKŁADZIEN

Politechnika Śląska, Gliwice

EKONOMICZNA EFEKTYWNOŚĆ STEROWANIA STRUMIENIEM CZYNNIKA PODGRZEWANEGO W KRZYŻOWOPRĄDOWYM WYMIENNIKU CIEPŁA

Streszczenie. W niniejszej pracy zaprezentowano uproszczoną analizę ekonomiczną dotyczącą zastosowania sterowania natężeniem przepływu czynnika podgrzewanego w krzyżowoprądowym wymienniku ciepła. Odpowiednie sterowanie strumieniem czynnika podgrzewanego może wpływać korzystnie na funkcjonowanie i eksploatację wymiennika ciepła z uwagi na maksymalną temperaturę ścian rur. Decyduje to o długości okresu eksploatacji urządzenia. Z drugiej zaś strony zastosowanie takiego rozwiązania wymaga dodatkowych nakładów. Przeprowadzona analiza polega na porównaniu kosztów i korzyści wynikających z zastosowania sterowania rozdziałem strumienia czynnika podgrzewanego w krzyżowoprądowym rekuperatorze powietrza zasilanym spalinami.

ECONOMICAL EFFICIENCY OF THE HEATED AGENT FLOW STEERING IN CROSSFLOW HEAT EXCHANGER

Summary. In the paper a simplified economical analysis of heated agent flow intensity distribution steering in crossflow heat exchanger is presented. A suitable steering of heated agent flow may be advantageous from the point of view of heat exchanger function and exploitation and because of maximal temperature of pipe walls. The last one decides about the time of heat exchanger operation. On the other side such steering requires some additional costs. The analysis performed relies on the comparison of costs and profits which are the results of application of heated agent flow steering in crossflow recuperator air-combustion gases.

WAŻNIEJSZE OZNACZENIA

C_1, C_2 - współczynniki zależne od rodzaju materiału rur,

e_{el} - jednostkowy koszt energii elektrycznej, zł/kWh,

F_w - powierzchnia przepływu ciepła (odniesiona do wewnętrznej średnicy rury), m²,

- I - nakład inwestycyjny, zł,
- I_{oW}, I_{oT} - stały składnik nakładu inwestycyjnego na zespół wentylatora i na rekuperator, zł,
- j_c, j_c^j - przyrost względny nakładu inwestycyjnego na rekuperator wyrażony w zł/m² i w kWh/m²,
- j_w, j_w^j - przyrost względny nakładu inwestycyjnego na zespół wentylatora odniesiony do jednostki mocy napędowej wyrażony w zł/kW i w kWh/kW,
- N_{el} - elektryczna moc napędowa zespołu wentylatora, kW,
- n - przewidywany okres eksploatacji urządzenia (lata),
- r - stopa dyskonta,
- s - stopa amortyzacji,
- T_{smax} - maksymalna temperatura ścianki rury, K,
- \dot{V} - strumień czynnika podgrzewanego, m³/s,
- δp - spadek ciśnienia powietrza podczas przepływu przez zespół rur, kPa,
- δ, δ_d - początkowa i dopuszczalna grubość ścianki rury, m,
- $\eta_{iW}, \eta_e, \eta_{mWe}$ - sprawności: wewnętrzna wentylatora, silnika elektrycznego, mechaniczna układu wentylator-silnik elektryczny,
- τ_R, τ_c - roczny i całkowity czas pracy rekuperatora, h,
- ρ_I - roczna stopa obsługi kapitału inwestycyjnego,
- ρ_W, ρ_{IT} - roczna stopa obsługi kapitału inwestycyjnego na zespół wentylatora oraz na rekuperator,
- ρ - gęstość materiału rury, kg/m³,
- J^j - wielkość odniesiona do kosztu 1 kWh,
- J_{st} - dotyczy wymiennika ze sterowanym rozdziałem strumienia czynnika podgrzewanego.

1. WSTĘP

Przedmiotem analizy jest krzyżowoprądowy wymiennik ciepła ze sterowanym rozdziałem strumienia czynnika podgrzewanego. Przeprowadzone uprzednio obliczenia termodynamiczne [1,2] wykazały, że odpowiednie sterowanie może spowodować obniżenie maksymalnej temperatury ścianek rur w porównaniu z wartością tej temperatury otrzymaną w przypadku, gdy rozptył strumienia czynnika podgrzewanego wynika z naturalnych oporów hydraulicznych. Rezultaty wcześniejszych obliczeń przeprowadzonych z uwzględnieniem hydraulicznych oporów towarzyszących przepływowi czynnika podgrzewanego i grzejącego przez przestrzeń rurową wymiennika potwierdziły fakt, iż przez elementy najbardziej obciążone cieplnie

przepływa zmniejszony w stosunku do średniej wartości strumień czynnika podgrzewanego [3,4]. Są to rury pierwszych rzędów wymiennika licząc w kierunku przepływu czynnika grzejącego. Jest to miejsce występowania maksymalnej wartości temperatury ścian rur, mającej decydujący wpływ na czas eksploatacji wymiennika.

Sterowanie strumieniem czynnika podgrzewanego może przyczynić się do wydłużenia czasu eksploatacji urządzenia. Zastosowanie takiego rozwiązania wymaga nakładów związanych z koniecznością wprowadzenia dodatkowych lokalnych oporów hydraulicznych, umożliwiających sterowanie natężeniem przepływu czynnika doprowadzonego do zespołu rur. Dodatkowe dławienie czynnika pozwala uzyskać postulowany rozkład prędkości, a tym samym rozkład strumienia tego czynnika. Konieczne jest jednak, ze względu na zwiększenie oporów hydraulicznych, zastosowanie wentylatora o zwiększonej mocy. Kryterium decydującym o celowości takiego rozwiązania są efekty ekonomiczne. Porównanie nakładów i oszczędności pozwala określić możliwość zastosowania takiego rozwiązania w praktyce.

Jak wspomniano, odpowiedni rozptył strumienia czynnika podgrzewanego może spowodować obniżenie maksymalnej temperatury ścianek rur. Przeanalizowano przypadek takiego sterowania, w efekcie którego uzyskuje się płaski rozkład temperatury ścianek w końcowym odcinku rur [1,2]. Uzyskana w tym przypadku wartość tej temperatury jest niższa od wartości maksymalnej temperatury ścianek otrzymanej dla wymiennika bez sterowania z uwzględnieniem jedynie naturalnych hydraulicznych oporów przepływu. Analizę termodynamiczną przeprowadzono dla przykładowego rekuperatora zasilanego spalinami, przy założeniach przyjmowanych w tradycyjnym ujęciu zagadnienia. Uwzględniono ponadto opory przepływu czynników oraz zmienność współczynników wnikania ciepła z temperaturą, promieniowanie spalin w przestrzeni międzyrurowej, jak również wpływ promieniowania czynnika grzejącego w kanale doprowadzającym na pierwsze rzędy rur.

Wybrane wyniki obliczeń posłużyły do przeprowadzenia uproszczonej analizy o charakterze ekonomicznym, dotyczącej opłacalności sterowania natężeniem przepływu strumienia czynnika podgrzewanego w rozpatrywanym krzyżowoprądowym wymienniku ciepła. W niniejszej pracy zaproponowano metodykę przeprowadzenia takiej analizy oraz przedstawiono wyniki przykładowych obliczeń.

2. METODA OBLICZEŃ

Sterowanie rozdziałem strumienia czynnika podgrzewanego pomiędzy poszczególne rzędy rur wymiennika powoduje zmianę wartości maksymalnej temperatury ścianek rur w porównaniu z przypadkiem, w którym nie stosuje się takiego sterowania. Sterowanie, którego rezultatem jest obniżenie maksymalnej temperatury ścian rur, wpływa na zwiększenie trwałości urządzenia. W rozpatrywanym przypadku takiego sterowania wyznaczona wartość temperatury

ścianek rur przy wypływie powietrza z wymiennika jest niższa niż maksymalna wartość tej temperatury określona dla urządzenia, w którym rozptył strumienia czynnika podgrzewanego uwarunkowany jest jedynie naturalnymi oporami przepływu.

Jak już wspomniano, zastosowanie sterowania strumieniem czynnika podgrzewanego wiąże się z wprowadzeniem dodatkowych oporów hydraulicznych, powodujących odpowiedni rozptył powietrza. Wynika stąd konieczność zainstalowania wentylatora o zwiększonej mocy. W analizie należy ponadto uwzględnić dodatkowe koszty ponoszone w związku ze zwiększonym zużyciem energii elektrycznej, służącej do napędu wentylatora, jak również koszty związane z zainstalowaniem elementów dławiących. Korzyścią wynikającą z zastosowania sterowania jest zwiększona trwałość wymiennika. Ostatecznie zmianę efektów ekonomicznych związaną z zastosowaniem sterowania rozptyłem strumienia czynnika podgrzewanego można określić następująco:

$$\Delta K = \Delta K_T - \Delta K_W - \Delta K_{wel} - K_D - \Delta K_O, \quad (1)$$

gdzie:

ΔK_T - oszczędność wynikająca ze zwiększenia trwałości wymiennika ze sterowanym rozptyłem strumienia czynnika podgrzewanego,

ΔK_W - przyrost kosztów związany z zainstalowaniem wentylatora o zwiększonej mocy,

ΔK_{wel} - przyrost kosztów związany ze zwiększonym zużyciem energii elektrycznej przez zespół wentylatora,

K_D - koszt zabudowania elementów dławiących,

ΔK_O - przyrost kosztu obsługi wentylatora i rozpatrywanego wymiennika.

Przy założeniu, iż zmiana kosztów obsługi wentylatora i wymiennika oraz koszty zabudowania elementów dławiących są pomijalnie małe w porównaniu z kosztami pozostałymi: $K_D \approx 0$, $\Delta K_O \approx 0$, bezwymiarowy wskaźnik efektywności ekonomicznej powinien spełniać warunek:

$$\frac{\Delta K_T}{\Delta K_W + \Delta K_{wel}} > 1. \quad (2)$$

Warunek (2) określa opłacalność zastosowania rozważanego sterowania. Ujmuje on między innymi przyrost kosztów związany ze zwiększeniem mocy napędowej wentylatora powietrza. Przyrost ten można określić następująco:

$$\Delta K_W = K_{Wst} - K_W, \quad (3)$$

gdzie:

K_{Wst} - roczny koszt związany z zastosowaniem wentylatora w przypadku sterowania strumieniem powietrza,

K_W - roczny koszt związany z zastosowaniem wentylatora powietrza współpracującego z wymiennikiem, w którym nie występuje sterowanie.

Roczny koszt ponoszony w związku z dowolną inwestycją określa ogólna zależność

$$K = I \rho_I. \quad (4)$$

W przypadku zespołu wentylatora nakład inwestycyjny I_W jest w przybliżeniu liniową funkcją jego mocy napędowej [5,6]

$$I_W = I_{W0} + j_W N_{el}. \quad (5)$$

Z zależności (5) wynika, iż roczne koszty wynikające z zastosowania wentylatora powietrza o większej mocy w przypadku sterowania strumieniem powietrza doprowadzanego do wymiennika oraz w przypadku, gdy sterowanie nie występuje, określone są odpowiednio następującymi wzorami [6]:

$$K_{Wst} = (I_{W0st} + j_W N_{elst}) \rho_{I_{Wst}}, \quad (6)$$

$$K_W = (I_{W0} + j_W N_{el}) \rho_{I_W}. \quad (7)$$

Wielkości opatrzone indeksem "st" występujące w równaniach dotyczą przypadku uwzględniającego sterowanie rozptyłem czynnika podgrzewanego. Przy założeniu, iż

$$\rho_{I_{Wst}} = \rho_{I_{Wst}}, \quad I_{W0st} = I_{W0}, \quad (8)$$

oraz po uwzględnieniu równań (4), (6), (7) i ogólnej zależności określającej elektryczną moc napędową zespołu wentylatora

$$N_{el} = \frac{\dot{V} \delta p}{\eta_{iW} \eta_e \eta_{mWe}}, \quad (9)$$

przyrost kosztów związany z zainstalowaniem wentylatora o zwiększonej mocy określony jest relacją:

$$\Delta K_W = \frac{\dot{V} j_W}{\eta_{iW} \eta_e \eta_{mWe}} (\delta p_{st} - \delta p) \rho_{I_W}. \quad (10)$$

Pozostałe opory przepływu powietrza pomija się zakładając, że nie ulegają one zmianie.

Wentylator służący do przetaczania powietrza przez wymiennik, w którym zastosowano dodatkowe elementy dławiące, zużywa więcej energii niż wentylator powietrza w przypadku, gdy rozptył strumienia tego czynnika wynika jedynie z oporów naturalnych. Wynika to stąd, że w przypadku zastosowania sterowania spadek ciśnienia powietrza podczas przepływu przez układ rur jest równy naturalnemu spadkowi ciśnienia w rurach, przez które przepływa największy strumień powietrza. Mniejsze naturalne opory przepływu w pozostałych rurach są odpowiednio powiększane w wyniku zastosowania elementów dławiących. Zmianę kosztów związaną ze zwiększonym zużyciem energii elektrycznej w ciągu roku określa zależność [3]:

$$\Delta K_{Wel} = \frac{\dot{V} \tau_R e_{el}}{\eta_{iW} \eta_e \eta_{mWe}} (\delta p_{st} - \delta p). \quad (11)$$

Jak już wspomniano, zastosowanie sterowania może spowodować zwiększenie trwałości wymiennika ciepła poprzez obniżenie maksymalnej temperatury ścianek rur. Empiryczna przybliżona zależność pomiędzy czasem pracy rekuperatora a maksymalną temperaturą ścianki rury ma postać [7]:

$$\tau_c = \left[\frac{(\delta - \delta_d) \rho}{C_1 \exp [C_2 (T_{\max} - 273)]} \right]^2 \quad (12)$$

Korzyści wynikające ze zwiększenia trwałości analizowanego urządzenia można opisać wzorem [3]:

$$\Delta K_T = K_T - K_{Tst}, \quad (13)$$

gdzie:

K_T - roczny koszt związany z wykonaniem rekuperatora bez sterowania [1]

$$K_T = (I_{oT} + F_w j_c) \rho_{IT}, \quad (14)$$

K_{Tst} - roczny koszt związany z wykonaniem rekuperatora w przypadku zastosowania sterowania [6]

$$K_{Tst} = (I_{oTst} + F_{wst} j_c) \rho_{ITst}, \quad (15)$$

gdzie:

j_c - przyrost względny nakładu inwestycyjnego na rekuperator, z/m^2 ,

I_{oT}, F_w, ρ_{IT} - stały składnik nakładu inwestycyjnego na rekuperator, powierzchnia przepływu ciepła (odniesiona do wewnętrznej średnicy rury) oraz roczna stopa obsługi kapitału inwestycyjnego dla przypadku rekuperatora, w którym nie zastosowano sterowania,

$I_{oTst}, F_{wst}, \rho_{ITst}$ - jw., lecz dla przypadku rekuperatora ze sterowanym rozplywem strumienia czynnika podgrzewanego.

Uwzględniając zależności (12), (13), (14) oraz po przyjęciu założenia, że $I_{oT} \approx I_{oTst}$, można zapisać

$$\Delta K_T = I_{oT} (\rho_{IT} - \rho_{ITst}) + j_c (F_w \rho_{IT} - F_{wst} \rho_{ITst}). \quad (16)$$

Założenie dotyczące niezmienności składnika stałego, podobnie jak i przyrostu względnego nakładu inwestycyjnego na rekuperator, jest uzasadnione ze względu na znikomy koszt zainstalowania elementów dławiących w stosunku do kosztów wykonania całego rekuperatora. Równanie (16) określające korzyści, które wynikają ze zwiększenia trwałości wymiennika, uwzględnia zmianę powierzchni przepływu ciepła w wymienniku ze sterowaniem w stosunku do wymiennika bez sterowania. Wynika to z przyjęcia założenia dotyczącego stałości strumienia ciepła przekazywanego w wymienniku ze sterowaniem i bez sterowania, tj. przyjęcia warunku, iż w obu analizowanych przypadkach uzyskuje się ten sam efekt cieplny.

Jeśli sterowanie rozplywem strumienia czynnika podgrzewanego nie wpływa w istotny sposób na strumień ciepła przekazywanego w wymienniku, co oznacza, iż

$$F_{wst} \approx F_w, \quad (17)$$

to oszczędność wynikająca ze zwiększenia trwałości wymiennika określona jest zależnością

$$\Delta K_T = (I_{oT} + j_c F_w) (\rho_{IT} - \rho_{ITst}). \quad (18)$$

3. WYNIKI PRZYKŁADOWYCH OBLICZEŃ

Zależności (1)-(18) posłużyły do przeprowadzenia przykładowej uproszczonej analizy, której celem było określenie opłacalności procedury sterowania rozplywem strumienia czynnika podgrzewanego. Przykładowe obliczenia przeprowadzono dla typowego hutniczego rekuperatora powietrznego ogrzewanego spalinami. Model matematyczny przepływu ciepła w takim rekuperatorze przedstawiono w [1,2]. W niniejszej pracy wykorzystano rezultaty analizy termodynamicznej takiego rekuperatora z dodatkowym uwzględnieniem wpływu promieniowania spalin w kanale doprowadzającym ten czynnik do układu rur wymiennika. Wybrane wyniki obliczeń termodynamicznych, dotyczące rozważanego sterowania, stanowiły dane do analizy o charakterze termodynamiczno-ekonomicznym. Uproszczoną analizę ekonomiczną przeprowadzono wyrażając koszty i oszczędności w jednostkach energii. Każdą z analizowanych pozycji występującą w równaniu (2) odniesiono do jednostkowego kosztu energii elektrycznej e_{el} (zł/kWh). W związku z tym zależności określające zmianę kosztów wynikającą z zastosowania wentylatora o większej mocy (10), zmianę kosztów związaną ze zwiększonym zużyciem energii elektrycznej przez zespół wentylatora (11), jak również opisującą oszczędność wynikającą ze zwiększenia trwałości wymiennika (13) określone są następująco:

$$\frac{\Delta K_w}{e_{el}} = j_w^I \frac{\dot{V} (\delta p_{st} - \delta p) \rho_{Iw}}{\eta_{iw} \eta_e \eta_{mwe}}, \quad (19)$$

$$\frac{\Delta K_T}{e_{el}} = (I_{oT}^I + j_c^I F_w) (\rho_{IT} - \rho_{ITst}), \quad (20)$$

$$\frac{\Delta K_{wel}}{e_{el}} = \frac{\dot{V} \tau_R (\delta p_{st} - \delta p)}{\eta_{iw} \eta_c \eta_{mwe}}, \quad (21)$$

Zależności (19)-(21) są słuszne przy podanych uprzednio założeniach, w tym między innymi, że sterowanie w znikomym stopniu wpływa na strumień przekazywanego ciepła. W przeprowadzonych obliczeniach przyjęto ponadto uproszczenie polegające na założeniu stałej wartości rocznej stopy obsługi kapitału inwestycyjnego w przypadku wentylatora.

Do wyznaczenia rocznej stopy obsługi kapitału inwestycyjnego w przypadku wymiennika ze sterowanym rozdziałem strumienia czynnika podgrzewanego posłużyła zależność [6]:

$$\rho_{I_{Tr}} = r + s, \quad (22)$$

gdzie:

$$s = \frac{r}{(1+r)^{n_{st}} - 1}. \quad (23)$$

Przewidywany okres eksploatacji urządzenia wyznaczano z zależności

$$n_{st} = \frac{\tau_{cst}}{\tau_R}. \quad (24)$$

Czas eksploatacji rekuperatora w przypadku zastosowania sterowania rozptyłem strumienia czynnika podgrzewanego można wyznaczyć na podstawie zależności (12). Przy wykonywaniu obliczeń przyjęto, iż roczny czas eksploatacji wymiennika τ_R wynosi 6500 godzin [5,8]. Zależności (12) i (24) posłużyły do wyznaczenia całkowitego czasu pracy oraz okresu eksploatacji wymiennika, w którym zastosowano sterowanie rozptyłem strumienia czynnika podgrzewanego.

Przykładowe obliczenia przeprowadzono dla następujących danych [5,6,8]:

$$j_w^I = 4705 \text{ kWh/kW}, \quad r = 0.096, \quad j_c^I = 4115 \text{ kWh/m}^2, \quad I_{oT}^I = 173650 \text{ kWh}, \quad \rho_l = 0.4 \text{ l/rok}, \\ \rho_{IW} = 0.13 \text{ l/rok}, \quad \tau_R = 6500 \text{ h/rok}, \quad \eta_{IW} \eta_e \eta_{mWe} = 0.78, \quad \dot{V} = 2.752 \text{ m}^3/\text{s}, \quad F_w = 32.86 \text{ m}^2, \\ \delta p_{st} = 1.276 \text{ kPa}, \quad \delta p = 0.532 \text{ kPa}, \quad \delta = 0.004 \text{ m}, \quad \delta_d = 0.0032 \text{ m}, \quad \rho = 8500 \text{ kg/m}^3, \\ C_2 = 0.0068 \text{ 1/K}, \quad C_1 = 0.00073 \text{ kg/(m}^2 \sqrt{\text{h}}), \quad (\text{stałe } C_2, C_1 \text{ dotyczą stali X18HGT [7]),} \\ T_{smaxst} = 875 \text{ K}.$$

Rezultaty obliczeń przeprowadzonych dla przykładowego rekuperatora są następujące:

$$\tau_{cst} = 24139 \text{ h},$$

$$n_{st} = 3.7 \text{ lat},$$

$$\rho_{I_{Tr}} = 0.334 \frac{\text{l}}{\text{rok}},$$

$$\frac{\Delta K_T}{e_{el}} = 17062 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}},$$

$$\frac{\Delta K_W}{e_{el}} = 1606 \frac{\text{kWh}}{\text{rok}},$$

$$\frac{\Delta K_{wel}}{e_{el}} = 20385 \frac{kWh}{rok},$$

$$\frac{\Delta K_T}{\Delta K_W + \Delta K_{wel}} = 1.09.$$

Otrzymane wyniki obliczeń wykazują, iż wprowadzenie dodatkowych oporów hydraulicznych powoduje znaczny wzrost kosztów związanych z koniecznością wzrostu mocy napędowej wentylatora powietrza. Przeprowadzona analiza dowodzi, iż pomimo zwiększenia się trwałości urządzenia zastosowanie sterowania natężeniem przepływu powietrza w wymienniku, głównie z uwagi na znaczny wzrost kosztu energii elektrycznej służącej do napędu wentylatora, nie jest zabiegiem zbyt korzystnym. Wskazuje na to zbliżona do jedności wartość wskaźnika efektywności ekonomicznej, obliczona dla rozpatrywanego przykładowego rekuperatora. Należy na zakończenie podkreślić, iż zaprezentowana analiza ma uproszczony charakter, przeprowadzenie zaś dokładniejszych obliczeń możliwe jest po przyjęciu konkretnego rozwiązania konstrukcyjnego rozpatrywanego urządzenia.

LITERATURA

1. Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., *Sterowanie rozplywem strumienia powietrza w krzyżowoprądowym wymienniku ciepła*, Materiały Konferencyjne XV Zjazdu Termodynamików, Gliwice-Kokotek 1993, str. 241÷245
2. Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., *Analiza termodynamiczna krzyżowoprądowego wymiennika ciepła z modelowanym rozdziałem strumienia powietrza*, Materiały IX Sympozjum Wymiany Ciepła i Masy, Komitet Termodynamiki i Spalania PAN, Augustów 1995
3. Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., *Krzyżowoprądowy wymiennik ciepła z nierównomiernym przepływem czynników*, Materiały Konferencyjne XIV Zjazdu Termodynamików, Kraków 1990, str. 251÷258
4. Hanuszkiewicz-Drapała M., Składzień J., *Krzyżowoprądowy wymiennik ciepła z nierównomiernym przepływem czynników*, ZN Pol. Śl., s. Energetyka z. 114, Gliwice 1993
5. Szargut J., Koziół J., *Uogólniona metoda optymalizacji zespołu rekuperatorów rurowych powietrza i paliwa gazowego*, Archiwum Energetyki nr 1, 1981
6. Koziół J., *Uogólniona analiza wpływu ograniczeń na optymalizację konwekcyjnych rekuperatorów rurowych*, ZN Politechniki Śląskiej., s. Energetyka z. 103, monografia, Gliwice 1988

7. Korotkin A.N., Browkin Ł.A., *Optymalizacja reżimnych i konstruktywnych parametrów kompleksa piecz-rekuperator*, Izwiestija Wyższych Uczebnych Zawiedeni, Czernaja Metalurgia 1980r., nr3, str.146-149
8. Szargut J., Kozioł J., *Optymalizacja rekuperatorów konwekcyjnych z uwzględnieniem zmienności parametrów eksploatacyjnych pieca przemysłowego*, Archiwum Energetyki nr 1, 1975

Recenzent: Dr hab. inż. Roman Ulbrich
Profesor Politechniki Opolskiej

Abstract

In the paper a simplified economical analysis of the heated agent flow intensity distribution steering in a crossflow heat exchanger is presented. A suitable steering of the heated agent flow may be advantageous from the point of view of the heat exchanger function and exploitation because of the maximal temperature of pipe walls. The last one decides about the time of heat exchanger operation. On the other side such steering of the heated agent flow requires some additional costs. The analysis performed relies on the comparison of costs and profits which are the results of application of the heated agent flow steering in crossflow recuperator combustion gases - air. The stream of air being the heated agent flows inside the tubes and outside the tubes, perpendicularly to these elements, the stream of combustion gases flows transferring the heat flux by convection and radiation of CO_2 and H_2O . In thermal calculations some typical presumptions were assumed and the mathematical model of heat transfer given in [2] was adopted. In classic case the "natural" hydraulic resistances form the distribution of the air stream which is not advantageous. In the paper it is assumed that it is possible to steer of air flow in such a way that the maximal temperature of the tube walls has its minimal possible value. It is obtained if the tube wall temperature at the outlet of the air is the same in all pipe elements. Such steering needs of course greater hydraulic resistances of the air flow. Then the costs of air forcing through the tube system are also greater of course, first of all because of greater costs of the air fan and its electric drive energy. The profits are because of longer time of heat exchanger operation which is the result of lower value of maximal temperature of the tube walls. In the paper the detailed method of cost calculations is presented. The positive or negative profits are given by Eq. (1) and Eq. (2) is the condition of worthwhileness of the proposed air flow distribution steering. It was assumed that the empirical Eq. (12) gives the relation between the

operation time of the recuperator and the maximal temperature of the tube walls. The exemplary calculations were performed for typical industrial foundry recuperator. The numerical results of these calculations demonstrate that the worthwhileness of proposed air flow distribution steering is not sure and depends on the real, current conditions and particular construction of the recuperator. It is caused by considerable increase of the air fan electric drive energy and, as a result, by the considerable increase of the costs of electric energy used by this fan drive. It is the effect of installing the throttling elements at the inlet of the air to the pipes. Such elements are necessary in order to obtain the required air flow distribution resulting in minimal value of the maximal temperature of the tube walls.