

Władysław KORALEWSKI

Jan PUDŁO

Zakład Urządzeń Energetyki Konwencjonalnej
Instytutu Techniki Ciepłej w Łodzi

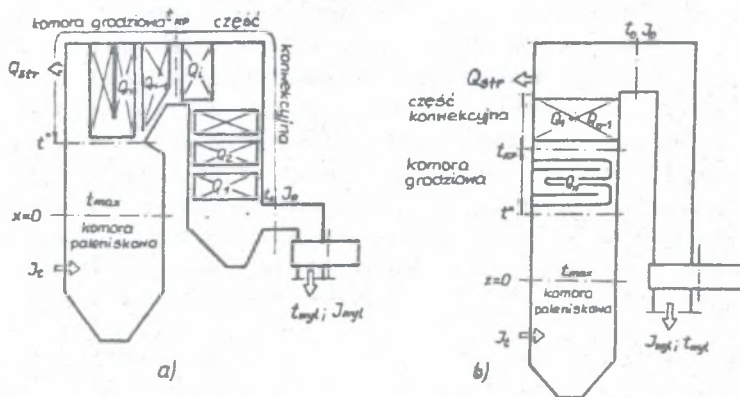
Krzysztof ZYGADLEWICZ

Ośrodek Badawczo Rozwojowy Wyrobów Sanitarnych i Grzewczych w Radomiu
oddział w ŁodziPOŚREDNIA METODA WYZNACZANIA TEMPERATUR SPALIN I JEJ WYKORZYSTANIE
W BADANIACH CIEPLNYCH KOTŁÓW ENERGETYCZNYCH

Streszczenie. Omówiono przyczyny trudności wykonania bezpośrednich pomiarów temperatur spalin w charakterystycznych przekrojach kanałów kotła. Opisano metodę postępowania przy wyznaczaniu temperatur i entalpi spalin w tych przekrojach - metoda pośrednia. Przedstawiono wybrane wyniki badań i obliczeń cieplnych kotła BB-1150 bloku nr 1 w El. Bełchatów, wykonane w ITC oraz obliczenia cieplne Rafako potwierdzające prawidłowość przyjętych założeń w omawianej metodzie.

1. Wstęp

Zasadniczym uproszczeniem stosowanym w obliczeniach cieplnych kotła jest przyjęcie modelu wymiany ciepła polegającego na podziale kotła na strefy, czyli na zastąpieniu ciągłości zmian strumienia cieplnego zmianami skokowymi /rys.1/. Zasadnicze strefy to: komora paleniskowa, komora grodziowa, kanały konwekcyjne.



Rys.1 Schematy powierzchni wymiany ciepła w kotłach:
a/ dwuciągowym, b/ jednociągowym

Diagrams of arrangement of heating surfaces in power boilers:
a/ with two pass system
b/ with single pass system

Na rys.1 przedstawiono modele dwóch kotłów wraz z zaznaczonymi elementami powierzchni ogrzewalnych i z charakterystycznymi temperaturami odgrywającymi istotną rolę w obliczeniach cieplnych kotłów.

Parametrem łączącym proces wymiany ciepła zachodzący w komorze paleniskowej kotła i poza nią, jest temperatura spalin w tzw. oknie wylotowym komory paleniskowej t".

Od dokładnego określenia tej temperatury w czasie projektowania kotła zależy dobór wielkości powierzchni ogrzewalnych zabudowanych w komorze paleniskowej i w dalszych częściach kotła, a rzeczwiśta wartość tej temperatury w warunkach eksploatacyjnych, decyduje dodatkowo o zanieczyszczeniu żużlem powierzchni grodziowych w zależności od własności popiołu ze spalanego węgla.

Wobec dużych wymiarów kanałów spalin, szczególnie we współcześnie budowanych kotłach energetycznych i dużych różnic ciśnień, prędkości i temperatur spalin, które mogą występować w przekrojach tych kanałów, w celu określenia średnich wartości temperatur spalin metodą pośrednią między powierzchniami ogrzewalnymi kotła, jak również temperatury w oknie wylotowym należy stosować pomiary wielopunktowe i wyznaczać średnie temperatury ze wzoru:

$$t_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n w_i f_i t_i}{\sum_{i=1}^n w_i f_i}$$

gdzie: w_i - prędkość w punkcie pomiarowym,
 t_i - temperatura spalin w punkcie pomiarowym,
 f_i - elementarne pole przekroju siatki pomiarowej.

Pomijając trudności techniczne związane z pomiarem miejscowych wektorów prędkości szczególnie w przekrojach położonych w pobliżu zmian kierunku przepływu spalin, dokładność tych pomiarów byłaby mała, ze względu na niskie wartości ciśnień dynamicznych spalin omywających powierzchnie ogrzewalne kotła. Bezpośredni pomiar średniej temperatury spalin z zadawalającą dokładnością jest możliwy w przekroju kanału łączącego blok kotła z obrotowym podgrzewaczem powietrza. Przekrój tego kanału jest stosunkowo mały, a temperatury przepływających spalin stosunkowo niskie.

Wykorzystując pomiary temperatur spalin przed obrotowym podgrzewaczem powietrza, średnią temperaturę i entalpię spalin w oknie wylotowym można określić z wystarczającą dokładnością poprzez bilanse cieplne poszczególnych powierzchni ogrzewalnych zabudowanych w ciągu konwekcyjnym i komorze grodziowej kotła.

2. Pośrednia metoda określania temperatur spalin

Metoda pośredniego określania temperatur spalin w oknie wylotowym, jak również między poszczególnymi powierzchniami ogrzewalnymi kotła oraz teoretycznej temperatury spalania, stosowana jest w ITC-Lódź już od szeregu lat [1], [2] z zadawalającymi rezultatami. Metodę tę stosuje się także w Zw. Radzieckim [5].

Metoda ta polega na dokładnym pomiarze temperatur i składu chemicznego spalin przed obrotowym podgrzewaczem powietrza oraz strumieni masy i parametrów termodynamicznych czynnika ogrzewanego w warunkach ustalonego ciepłnie ruchu kotła.

Wykorzystując średnie wartości pomierzonych temperatur i składu chemicznego spalin, można określić z dużą dokładnością entalpię spalin opuszczających ciśnieniowe, powierzchnie ogrzewalne kotła /przed podgrzewaczem powietrza/, a na podstawie średnich wartości strumieni masy i parametrów termodynamicznych pary i wody strumienie ciepła przejmowanego przez poszczególne powierzchnie ogrzewalne kotła. Uwzględniając dodatkowo straty energii cieplnej do otoczenia, można obliczyć entalpię spalin w oknie komory paleniskowej kotła I" ze wzoru:

$$I'' = I_0 + \sum \frac{Q_i}{B} + \sum \frac{Q_{str}}{B},$$

gdzie: I'' - entalpia spalin w oknie wylotowym komory paleniskowej,
 I_0 - entalpia spalin w kanale przed podgrzewaczem powietrza,
 $\sum Q_i$ - sumaryczny strumień ciepła wymianianego w ciągu
 grdziowo-konwekcyjnym kotła,
 $\sum Q_{str}$ - sumaryczny strumień ciepła traconego do otoczenia,
 B - strumień masy paliwa dostarczanego do kotła.

Znając skład chemiczny spalin można określić temperaturę spalin w oknie wylotowym komory paleniskowej kotła z zależności:

$$t'' = \frac{I''}{C_p(t'', r_j)},$$

gdzie: t'' - temperatura spalin w oknie wylotowym komory paleniskowej,
 $C_p(t'', r_j)$ - ciepło właściwe spalin w temperaturze t'' o składzie elementarnym r_j .

Ponadto, bilansując całkowity strumień ciepła przejęty w kotle przez czynnik ogrzewany można określić entalpię spalin odpowiadającą teoretycznej temperaturze spalania w komorze paleniskowej

$$I_t = I_0 + \sum \frac{Q_i}{B} + \sum \frac{Q_{str}}{B} + \frac{Q_{kompal}}{B},$$

gdzie: I_t - teoretyczna entalpia spalin odpowiadająca teoretycznej temperaturze spalania,

Q_{kompal} - strumień ciepła przejmowany przez czynnik ogrzewany w komorze paleniskowej

oraz teoretyczną temperaturę spalania ze wzoru:

$$t_t = \frac{I_t}{C_p(t_t, r_j)}$$

Wykorzystując obliczone w ten sposób temperatury i entalpie spalin oraz zmierzone strumienie ciepła wymienianego przez poszczególne powierzchnie ogrzewalne kotła, można określić współczynniki empiryczne charakteryzujące procesy wymiany ciepła.

3. Przykład wykorzystania pośredniej metody określenia temperatur spalin w obliczeniach cieplnych kotła BB-1150

Jako przykład wykorzystania pośredniej metody określenia temperatur spalin między poszczególnymi powierzchniami wymiany ciepła zabudowanymi w ciągu grodziowo-konwekcyjnym, jak również temperatury spalin w oknie wylotowym t'' i teoretycznej temperatury spalania t_t , podano w referacie wybrane wyniki badań i obliczeń cieplnych kotła BB-1150 bloku nr 1 w El. Bełchatów.

Kocioł ten posiada wyjątkowo dobrze zaprojektowane i wykonane eksploatacyjne oprzyrządowanie pomiarowe zarówno po stronie czynnika ogrzewanego jak i spalin oraz powietrza. Istnieje również możliwość korzystania w trakcie pomiarów z komputerowego systemu rejestracji i przetwarzania danych pomiarowych. Umożliwiło to zebranie wyczerpujących informacji o parametrach pracy kotła.

Badania cieplne kotła BB-1150 po początkowym okresie eksploatacji wykazały występowanie nieprawidłowości w jego pracy. Najważniejsze różnice w stosunku do założeń projektowych to:

- niższa od projektowanej teoretyczna temperatura spalania i wyższa temperatura t'' w oknie wylotowym, a na skutek tego mała wydajność masowa parownika,
- wyższe temperatury spalin w ciągu grodziowo-konwekcyjnym w rejonie poszczególnych powierzchni ogrzewalnych,
- przekroczenia temperatury pary za I^o przegrzewacza konwekcyjnego pary pierwotnej P1B,
- przekroczenia temperatury pary za I^o przegrzewacza pary wtórnej M1,
- duży strumień wody wtryskowej do schładzacza awaryjnego S4.

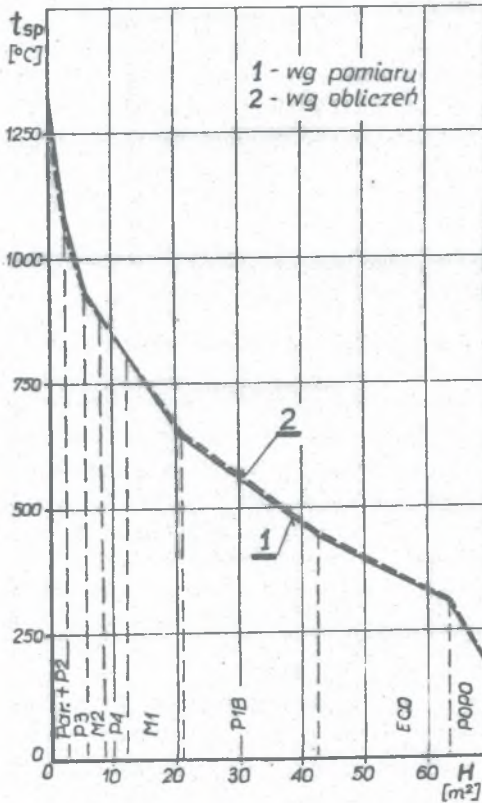
Dla opracowania odpowiedniej koncepcji modernizacji kotła, konieczne jest określenie średnich wartości temperatur spalin w rejonie poszczególnych powierzchni ogrzewalnych. Średnie wartości tych temperatur wyznaczano omawianą metodą pośrednią. Średnie wartości temperatur spalin

zakładanych przez projektanta kotła oraz określonych przed i po modernizacji kotła zestawiono w tabelicy I.

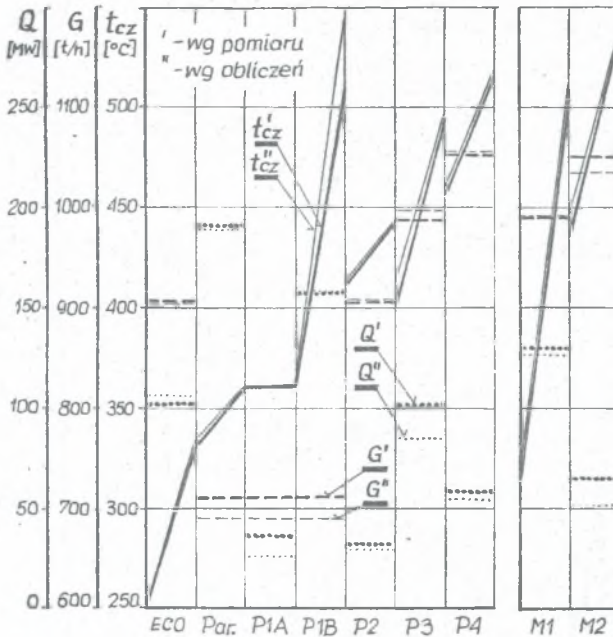
Tablica I

Rozkład temperatur spalin

	t_t	t''	t_{P3}	t_{M2}	t_{P4}	t_{M1}	t_{P1B}	t_{ECO}	t_{POPO}
	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
wg. Rafako	1423	1026	854	783	701	557	413	305	150
wg. 1 przed moder.	1322	1045	936	870	799	642	447	313	181
wg. 2 po moder.	1332	1044	920	855	778	606	442	306	169



Rys.2 Temperatury spalin w kotle wg pomiaru i wg obliczeń na emc
The flue-gas temperatures according to experimental results and numerical prediction



Rys.3 Parametry pary i wody dla powierzchni ogrzewalnych kotła wg pomiaru i wg obliczeń

t_{cz} - temperatura pary lub wody,

G - strumień masy pary lub wody,

Q - strumień ciepła przejęty przez parę lub wodę.

The parameters of steam and water flowing through heat exchangers of power boiler according to experimental results and numerical prediction

t_{cz} - temperature of steam or water

G - fluid flux of steam or water

Q - heat flux of steam or water

Dla weryfikacji określonych tą metodą temperatur spalin między poszczególnymi powierzchniami ogrzewalnymi przeprowadzono test polegający na wykonaniu obliczeń cieplnych kotła wg programu Rafako, dla którego dane zaczerpnięto bezpośrednio z opracowanych wyników pomiarów cieplnych kotła. Wyniki tych obliczeń porównano z wynikami badań i przedstawiono na rys. 2 i 3.

Zbieżność temperatur spalin w charakterystycznych przekrojach kotła określonych metodą pośrednią i obliczonych programem RAFAKO, jak również zgodność odpowiednich parametrów pary i wody, świadczą o wystarczającej dokładności stosowanych metod pomiarowych i metody opracowania wyników pomiarów.

Wyniki badań cieplnych kotła BB-1150 wykonane przez ITC, posłużyły do opracowania projektu zmian modernizacyjnych tego kotła.

LITERATURA

1. J. Pudło, K. Zygodlewicz. - "Rozszerzone badania cieplne przegrzewaczy pary kotłów w blokach o mocy 360 MW w celu korekty danych do obliczeń" - Etap III, Praca ITC nr ewid. 4664, Łódź 1983.
2. J. Pudło - "Rozszerzone badania cieplne przegrzewaczy pary kotłów w blokach o mocy 360 MW w celu korekty do danych do obliczeń" - Etap V. Praca ITC nr ewid. 4747, Łódź 1984.
3. S. Siennicki, K. Zygodlewicz - "Korekcyjne współczynniki w obliczeniach cieplnych kotła i metodyka ich pomiaru" - Prace ITC - zeszyt 74-76 PWN, Łódź 1979.
4. S. Siennicki, T. Skiepkó, K. Zygodlewicz - "Optymalizacja cieplnych badań kotła" - Prace ITC zeszyt 58 PWN, Łódź 1974.
5. Achmedov R.B., Tambarin M.L., Talibdzanov Z.S. - "K opredeleniju temperatury produktov sgoraniya na vychode iz topki parogeneratora" - Teploenergetika 1974/8

КОСВЕННЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУР ДЫМОВЫХ ГАЗОВ И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ТЕПЛОВЫХ ИСПЫТАНИЯХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОТЛОВ

Р е з ю м е

Обсуждено влияние температуры дымовых газов на выходе из топочной камеры на теплообмен в поверхностях нагрева расположенных в ширмого-конвективном тракте котла.

Представлены трудности связанные с непосредственным измерением температур дымовых газов в узловых сечениях котельных каналов, в основном в выходном окне и в сечениях находящихся близко него. Обсужден метод косвенного определения этих температур. Состоит он в: точном измерении температур и химического состава дымовых газов в канале соединяющем котёл с воздухоподогревателем; точном измерении температур, давлений и массовых расходов пара и воды и определении энтальпии дымовых газов в измерительном сечении; проведении частичных тепловых балансов для отдельных поверхностей нагрева с учётом потерь тепла в окружающую среду. Для подтверждения правильности принятого метода измерений представлено сравнение соответствующего фрагмента тепловых расчётов котла BB-1150 работающего на электростанции "Белхатов" с результатами измерений проведённых по этому методу.

На основании проведённых тепловых измерений сравнены действительные распределения температур дымовых газов по длине газохода для котла до и после модернизации с соответствующими температурами определёнными проектантом котла.

THE METHOD OF INDIRECT PREDICTION OF FLUE-GAS TEMPERATURES
AND ITS APPLICATION IN HEAT INVESTIGATION OF POWER BOILERS

S u m m a r y

An effect of flue-gas temperature at furnace-outlet transfer in heating surfaces (superheater platens and convective superheaters) arranged in main flue-gas pass, has been considered. The difficulty in experimental measurements of flue-gas temperature in nodal cross-sections of convection flue-gas pass, i.e. furnace-outlet and closely located cross-sections, has been presented. The method of indirect prediction of these temperatures has been reported.

The point of this calculation system is that:

- a) either flue-gas temperatures and chemical analyses in duct connected the boiler with its air-heater or temperatures and pressures and fluid fluxes of steam and water should be measured very exactly,
- b) the enthalpy of flue-gases in all considered cross-sections along flue-gas flow will be obtained,
- c) the partial heat balances for every heating surface with regard to radiation heat losses will be carried over.

For the purpose of attestation of the method it has been given comparison between the fragment of heat calculation of power boiler BB-1150 (performed by Rafako-Racibórz) and our experimental results. The flue-gas temperature distribution along flue-gas flow measured before and after modernization of power boiler has been compared with equivalently temperatures taking from Rafako's calculation.

Recenzent: Prof. mgr inż. Piotr Orłowski

Wpłynęło do Redakcji w marcu 1986 r.