

Krzysztof Badyda, Andrzej Miller

Instytut Techniki Ciepłej

Politechnika Warszawska

MODELOWANIE EKSPANSJI CIŚNIENIOWEGO ZŁOŻA FLUIDALNEGO

Streszczenie: W pracy podjęto próbę prostego opisu zjawiska ekspansji i zmiany stosunku objętości faz stałej i gazowej w warstwie fluidalnej. Opisane postępowanie wykorzystano w modelu dynamiki traktu spaliniowego kotła z ciśnieniowym paleniskiem fluidalnym.

1. WSTĘP

Do chwili obecnej nie zostały opublikowane zależności pozwalające na wiarygodne określenie porowatości złoża fluidalnego w warunkach spalania, w szczególności zaś spalania pod podwyższonym ciśnieniem. Modelowanie pracy paleniska fluidalnego w warunkach zmiennych, w tym w warunkach nieustalonych oparto, wobec braku innej możliwości, na postępowaniu pozwalającym na swobodny wybór dowolnego modelu zmian porowatości. Podejście takie umożliwia korzystanie z najbardziej wiarygodnych spośród dostępnych danych i ewentualną prostą i szybką zmianę przyjętego modelu ekspansji złoża w przypadku pojawienia się nowych, pewniejszych danych.

2. OPIS ZJAWISKA

W modelu warstwa fluidalna potraktowana została jako element kotła posiadającego palenisko ciśnieniowe o niezmiennym wzdłuż wysokości przekroju, tzn. $s(H_{z1}) = \text{const}$. Wysokość H_{z1} i masa M_{z1} złoża są zmienne w czasie, na M_{z1} składają się masa paliwa M_{pal} i masa inerty M_S . Paliwo i inert mogą być dostarczane do złoża, a odprowadzane są w materiale przelewającym (zgodnym co do składu z materiałem złoża), lub wywlewanym poza strefę. Faza gazowa stanowi mieszaninę gazów o udziałach masowych u_i .

Z definicji porowatość warstwy fluidalnej określana jest jako stosunek objętości fazy gazowej do objętości złoża:

$$\epsilon = \frac{V_g}{V_{zł}} \quad (1)$$

Z analizy zjawiska fluidyzacji oraz stosowanego w literaturze jego opisu wynika, że (przy niezmiennych własnościach materiału złoża) na porowatość wpływają gęstość i prędkość czynnika fluidyzującego:

$$\epsilon = f(\rho_g, u_f) \quad (2)$$

Z uwagi na równanie stanu czynnika fluidyzującego

$$\rho_g = f(p_g, T_g, \bar{u}_1) \quad (3)$$

przy czym \bar{u}_1 oznacza wektor udziałów masowych jego składników; oraz zależność prędkości fluidyzacji u_f od stanu 1 gazu napływającego do złoża i stanu 2 gazu je opuszczającego można ostatecznie ustalić, że:

$$\rho_g = f(p_{1g}, T_{1g}, p_{2g}, T_{2g}, \bar{u}_{11}, \bar{u}_{21}) \quad (4)$$

Zmiany wysokości złoża jako funkcji porowatości i masy fazy stałej daje się jednoznacznie określić jako

$$\frac{dH_{zł}}{dt} = \left(\frac{\partial H_{zł}}{\partial \epsilon} \right) \frac{d\epsilon}{dt} + \left(\frac{\partial H_{zł}}{\partial M_{zł}} \right) \frac{dM_{zł}}{dt} \quad (5)$$

Przy założonym stałym przekroju paleniska wysokość strefy związanej ze złożem fluidalnym można wyznaczyć na podstawie zależności:

$$H_{zł} = \frac{V_{zł}}{s \epsilon_w} = \frac{V_g + V_{st}}{s \epsilon_w} = \frac{\epsilon}{1-\epsilon} \frac{V_{st} + V_{st}}{s \epsilon_w} \quad (6)$$

gdzie: V_{st} - objętość fazy stałej,

ϵ_w - współczynnik wypełnienia paleniska rurami wymiennika.

Z równania (6) wynika, że:

$$\left(\frac{\partial H_{zł}}{\partial \epsilon} \right) = \frac{1}{(1-\epsilon)^2} \frac{V_{st}}{s \epsilon_w} \quad (7)$$

Wysokość strefy złoża możliwa jest do określenia także ze związku:

$$H_{zł} = \frac{M_{zł}}{\rho_{st} s \epsilon \epsilon_w} \quad (8)$$

pozwalającego wyznaczyć pochodną:

$$\left(\frac{\partial H_{zł}}{\partial M_{zł}} \right) = \frac{1}{\rho_{st} s \epsilon \epsilon_w} \quad (9)$$

przy czym ρ_{st} oznacza gęstość materiału stałego warstwy obliczaną z

równań:

$$\rho_{st} = \frac{\rho_s \rho_{pal}}{\rho_s u_{zmp} + \rho_{pal} u_{zp}} \quad (10)$$

$$u_{zmp} = \frac{M_{pal}}{M_{zł}} \quad u_{zp} = \frac{M_s}{M_{zł}} \quad (11)$$

$$(12)$$

Jak widać z przytoczonych rozważań, zależności (7) i (9) otrzymane zostały przy założeniu o niewielkich zmianach udziału masowego u_{zmp} paliwa i u_{zp} masy inertnej w złożu.

Pochodna $\frac{dM}{dt} z_{ł}$ w modelu dynamiki paleniska wyznaczana jest na podstawie równania bilansu masy materiału stałego złoża. Pochodna $\frac{u_{zmp}}{dt}$ nie może zostać określona z różniczkowania zależności (3) wobec braku jej jawnej postaci analitycznej w funkcji wskazanych argumentów.

W pracach [1],[2] oparto się na modelu kotła z ciśnieniowym paleniskiem fluidalnym, w którym wykorzystano następujący sposób określania pochodnej $\frac{d\varepsilon}{dt}$:

- z równania (3) wynika, że:

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{1g}} \right) \frac{dp_{1g}}{dt} + \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{1g}} \right) \frac{dT_{1g}}{dt} + \dots + \sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial u_{2i}} \right) \frac{du_{2i}}{dt}$$

- pochodne $\frac{dp_{1g}}{dt}$, $\frac{dT_{1g}}{dt}$, ..., $\frac{du_{2n}}{dt}$ wyznaczane są na podstawie równań modelu całej rozważanej instalacji;

- pochodne cząstkowe $\frac{\partial \varepsilon}{\partial p_{1g}}$, $\frac{\partial \varepsilon}{\partial T_{1g}}$, ..., $\frac{\partial \varepsilon}{\partial u_{2n}}$ określone są poza modelem.

Wartości wspomnianych pochodnych cząstkowych aproksymowane są wielomianami zgodnie z wynikami obliczeń dowolnie przyjętego modelu zmian porowatości, na przykład na bazie dostępnych zależności kryterialnych [3], [4] pozwalających określić postać związku (3).

3. ZASTOSOWANIE

Wskazany tok postępowania został wykorzystany w budowie modelu dynamiki ciągu powietrza i spalin ciśnieniowego kotła fluidalnego [2]. Ciąg ten podzielony został w modelu na cztery strefy, jedna z nich związana jest ze złożem fluidalnym. Została ona potraktowana jako element o stałych skupionych i zmiennej objętości związanej z wysokością $H_{zł}$. Mechanizm zmian wysokości złoża przyjęto zgodnie z modelem przedstawionym w niniejszej pracy.

Wspomniany model dynamiki kotła przewidziany został do zastosowania w

pracach nad badaniem współpracy cieplnych maszyn wirnikowych z ciśnieniowym kotłem fluidalnym w warunkach nieustalonych. Częściowe wyniki tych prac dotyczące zachowania instalacji w trakcie zrztu obciążenia turbozespołu gazowego opublikowano w [2]. Pierwotna, wstępna wersja modelu dynamiki układu [5] nie uwzględniała zjawisk będących przedmiotem rozważań w niniejszej pracy.

LITERATURA

- [1] Badyda K., Miller A.: Model dynamiki traktu spalinowego ciśnieniowego kotła fluidalnego. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria Energetyka, w druku.
- [2] Badyda K., Miller A.: Współpraca cieplnych maszyn wirnikowych z ciśnieniowym kotłem fluidalnym w warunkach zrztu obciążenia. Materiały XIV Zjazdu Termodynamików. Wydawnictwo AGH, Kraków 1990.
- [3] Razumow I.M. i inni: Fluidyzacja i transport pneumatyczny. WNT, Warszawa 1974.
- [4] Muchlenow I.P. i inni: Rasczety apparatow kipjaszczewo sloja. Chimia, Leningrad 1988.
- [5] Badyda K., Lewandowski J., Miller A., Szczap J.: Model matematyczny dynamiki układu parowo-gazowego z ciśnieniowym kotłem fluidalnym. Zeszyty Naukowe Politechnik Śląskiej, seria Mechanika, z. 99/1990.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКСПАНСИИ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

Резюме

В работе представлена проба простого описания явления экспансии и перемена отношения обемов стальной и газовой фазы в кипящем слое. Описанное производство использовано в динамической модели газового тракта котла с кипящим слоем под давлением.

MODELLING OF FLUIDIZED BED EXPANSION

Summary

In the paper it has been undertaken a trial of simple discription of phenomenon of expansion and variation of volume ratio of solid and gaseous phases inside fluidized layer. Procedure described has been utilized in dynamics model of flue gas route of pressurized fluidized bed boiler.