

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ГОРІННЯ ТВЕРДОГО БІОПАЛИВА ЗАСОБАМИ МОДЕЛЮВАННЯ

*Р.І. Загородній, аспірант **

*Тернопільський національний педагогічний університет
ім. В.Гнатюка*

Наведено опис математичної моделі процесів, що проходять у камері горіння твердопаливного котла. Обґрунтовано шляхи подальших досліджень з використанням методів імітаційного та фізичного моделювання.

Математичне моделювання, горіння палива, тверде біопаливо, закони збереження маси компонентів суміші.

Енергоощадність технології спалювання у котлах значною мірою залежить від виду палива, яке використовується. Оскільки нині перспективним в усьому світі є використання біопалива, тому актуальними є дослідження процесу спалювання з метою визначення шляхів забезпечення його ефективності.

Слід зазначити, що біомаса має певні особливості, які відрізняють її від традиційних енергоресурсів. Крім того, деякі з характеристик твердого біопалива, такі як щільність, розміри часток, вологість, за допомогою подрібнення та ущільнення можуть бути змінені. Тому, в процесі експлуатації теплогенераторів з метою підвищення енергоефективності горіння твердого біопалива потрібно враховувати вказані характеристики.

Математичний опис технології спалювання твердого біопалива повинен враховувати взаємозв'язок фізико-хімічних та електро-фізичних властивостей процесу. Тому актуальним є моделювання технології спалювання з метою аналізу їх характеристик.

Мета досліджень – розробка математичної моделі процесу спалювання твердого біопалива, що відображає реальні фізико-хімічні процеси, що протікають при горінні.

Матеріали та методика досліджень. В основу процесу моделювання покладено математичні описи фізико-хімічних процесів спалювання твердого палива в камерах горіння котлів у статичному режимі, що найповніше представлені в роботах професора В.В.Померанцева [4]. Дослідження динамічних особливостей процесів горіння палива базувались на наукових працях В.В. Крашенинникова, П. Профоса і В.І. Бабія [1].

Результати досліджень. Горіння твердого палива протікає за наявності таких фізико-хімічних процесів:

- рух компонентів паливної суміші в камері горіння;

* Науковий керівник – доктор технічних наук, професор В.С. Федорейко

- наявність турбулентної та молекулярної дифузії вихідних речовин і продуктів реакції;
- теплообмін у газових потоках продуктів згорання і димових газах;
- конвективний теплообмін палаючих часток із газовим середовищем;
- процеси нагріву частинок, сублімації летючих, перенесення і горіння їх у газовому об'ємі.

У зв'язку зі складністю аеродинамічних і фізико-хімічних процесів і їх значної залежності від трьох просторових координат, при створенні математичної моделі прийнято ряд припущень, а саме:

- горіння летючих речовин і догорання продуктів неповного згорання відбувається у газовому середовищі;
- реагування протікає на поверхні вуглецевих частинок сферичної форми однакових розмірів;
- конвективним переносом теплоти з системи та дифузною теплопровідністю можна знехтувати.

Із врахуванням прийнятих припущень опис процесів горіння твердого палива базується на законах збереження маси, енергії та кількості руху, що є наслідками першого і другого законів термодинаміки.

Загальна система рівнянь законів збереження маси для компонентів суміші, що описує процеси горіння, яка включає також питомі потужності зміни мас компонентів, має вигляд (1–3):

$$\frac{\partial(\rho_j)}{\partial t} = -\text{div}(\rho_j \times v_j) + m_j; \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho_j \times e_j)}{\partial t} = -\text{div} J_e; \quad (2)$$

$$\frac{\partial(\rho_j \times v_j)}{\partial t} = -\text{div}(\rho_j \times v_j \times v_j + P); \quad (3)$$

де ρ_j – щільність потоку маси, що переноситься, i -го компонента в елементарному об'ємі, кг/м³; v_j – швидкість центра мас елементарного об'єму, м/с; e – повна енергія на одиницю маси i -го компонента, Дж/кг; J_e – повний питомо-масовий потік енергії, Вт/м²; P – тензор тисків на елементарний об'єм, Па; m_j – питома потужність зміни маси j -го компонента, (кг/с)/м³.

Рішення цієї системи рівнянь у загальному вигляді є неможливим, тому було здійснено перехід до одновимірної моделі із зосередженими параметрами.

При цьому система рівнянь (1–3) приймає такий вигляд:

$$\frac{d(M_j)}{dt} = D_j'(t) + m_j dV; \quad (4)$$

$$\frac{d(M_j \times i_j)}{dt} = D_j'(t) i_j - D_j''(t) i_j + m_j \cdot dV \cdot Q_j^P; \quad (5)$$

$$\frac{d(M_j \times v_j)}{dt} = P^i F^i - P^{ii} F^{ii}, \quad (6)$$

де D_j' і D_j'' – витрата j -го компонента суміші на вході і на виході модельованої системи, кг/с; M_j – маса j -го компонента в об'ємі, кг; dV –

об'єм модельованої елементарної області, м^3 ; i_j' і i_j'' – ентальпія j -го компонента суміші на вході і на виході модельованої системи, Дж/кг; Q_j^p – теплота згоряння j -го компонента, Дж/кг.

У результаті загальна система рівнянь, що описує процеси спалювання твердого палива, матиме вигляд:

$$\frac{d(M_j)}{dt} = D_j'(t) - D_j''(t) - \frac{dG_j}{dt} M_{\text{пош}j} F_{\text{пош}}; \quad (7)$$

$$\frac{d(M_j \times i_j)}{dt} = D_j'(t) i_j' - D_j''(t) i_j'' - \frac{dG_j}{dt} M_{\text{пош}j} F_{\text{пош}} Q_j^p; \quad (8)$$

$$\frac{d(M_j \times v_j)}{dt} = P' F' - P'' F''. \quad (9)$$

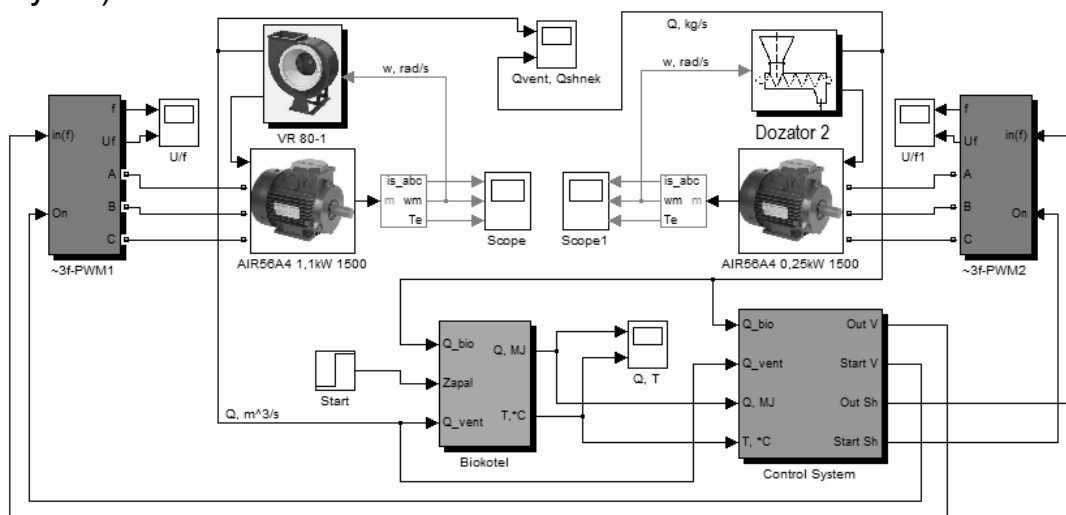
Наведена система рівнянь повинна бути доповнена рівнянням швидкості горіння компонентів вихідної суміші G_j , необхідним для розрахунку зміни маси:

$$\frac{dG_j}{dt} = C_j k_{O_j} e^{\frac{E_j}{R \times T}} = C_j k_j \quad (10)$$

та рівнянням для розрахунку концентрацій оксидів азоту у продуктах згоряння у зоні горіння:

$$\frac{dC_{NO}}{dt} = \frac{2K_O k_1}{\sqrt{C_{O_2}}} \cdot \frac{1}{K^2} (C_{(NO)}^2 - C_{NO}^2). \quad (11)$$

Аналіз наведеної системи рівнянь, що описує процес горіння твердого біопалива дозволяє стверджувати про необхідність подальших досліджень для встановлення значень вхідних та керуючих параметрів і взаємозв'язків між ними. Тому доцільним є проведення експериментальних досліджень на фізичній та імітаційній моделі твердопаливного котла (рисунок).



Імітаційна модель твердопаливного котла

Підсистема «Biokotel» (див. рисунок), яка входить у наведену імітаційну модель повинна відображати процеси, що представлені в залежностях (1)–(6).

Таким чином, у подальших дослідженнях необхідно проаналізувати динаміку процесу горіння на основі розроблених моделей з метою забез-

печення енергоощадності процесу приготування твердобіопаливної суміші для теплогенераторів.

Висновки

Наведена система диференціальних рівнянь, що описує процес спалювання твердого біопалива, враховує закони збереження маси для компонентів суміші, швидкість горіння та розрахунок концентрації оксидів азоту у продуктах згорання у зоні спалювання.

Подальші дослідження повинні проводитися на основі імітаційного та фізичного моделювання, яке дозволить проаналізувати динаміку процесу горіння.

Список літератури

1. Бабий В.И. Горение угольной пыли и расчёт пылеугольного факела / В. И. Бабий, Ю. Ф. Куваев. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
2. Зельдович Я. Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Наука, 1976. – 686 с.
3. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых электростанциях / Г.Т. Левит. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 384 с.
4. Основы практической теории горения: учеб. пособие для вузов / под ред. В. В. Померанцева. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1986. – 312 с.
5. Семёнов Н.Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности / Н.Н. Семёнов. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 686 с.

Приведено описання математическої моделі процесів, протікаючих в камері горіння твердотопливного котла. Обосновані шляхи подальших досліджень з використанням методів імітаційного та фізичного моделювання.

Математическое моделирование, горение топлива, твердое биотопливо, законы сохранения массы компонентов смеси.

The paper describes a mathematical model of the processes occurring in the combustion chamber solid fuel boiler. The ways of further studies using techniques of simulation and physical modeling.

Mathematical modeling, fuel combustion, solid biofuels, the laws of conservation of mass of the mixture components.