

УДК 536.81.5

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СПОСОБІВ ТЕРМОРЕАКЦІЙНОГО ГОРІННЯ ВИСОКОЗОЛЬНОГО ВУГІЛЛЯ У КОТЛАХ “МЕТА-ВЗВ”

*Р.С.Кирницький, молодший науковий співробітник
Первомайський державний науково-інженерний центр
з проблем ресурсо- та енергозбереження*

Проведено аналіз порівняння способів завантажень котла “МЕТА-ВЗВ” при терморекційному спалюванні високозольного вугілля шляхом порівняння завантажень дозволяє вибрати спосіб з падаючим шаром палива.

Проведенный анализ сравнения способов загрузок котла “МЕТА-ВЗВ” при терморекционной сжигания высокозольного угля путем сравнения загрузок позволяет выбрать способ с падающим пластом топлива.

Постановка проблеми. Вирішення завдання порівняння ефективності горіння рухомого і нерухомого шару палива проводиться із застосуванням імітаційного моделювання процесу терморекційного

горіння з використанням математичної і фізичної моделей, що дає можливість обґрунтувати не тільки параметри раціонального режиму процесу спалення високозольного вугілля, але і вибрати найбільш раціональний засіб керування процесом термореакційного горіння у дійсних виробничих умовах.

Аналіз останніх публікацій і досліджень. При вирішенні проектних задач використовується засіб імітаційного моделювання процесу термореакційного горіння високозольного вугілля, що забезпечує використати дані наукових досліджень. При цьому передбачається при вирішенні цільової задачі процесу спалення високозольного вугілля виконання таких етапів: математичного опису процесу термореакційного горіння з врахуванням змін стану палива [1]; формулювання фізичної моделі процесу з врахуванням взаємодії зовнішніх [2] та внутрішніх полів температури [3]; визначення алгоритму ПЕОМ імітаційної моделі за рахунок перекладу математичного опису процесу термореакційного горіння високозольного вугілля [4]; перевірка адекватності отриманого аналітичного рішення на фізичній моделі процесу [5].

Невирішена частина проблеми. У зв'язку з низькою теплотворною здатністю високозольного вугілля Львівсько-Волинського басейну необхідно вибрати для застосування раціональні режими його спалення. Для чого потрібно визначити рівень завантаження теплогенератора залежно від періодичного чи безперервного його завантаження.

Завдання досліджень. Визначення рівня завантаження теплогенератора високозольним вугіллям забезпечує визначення одного з параметрів котла “МЕТА-ВЗВ” — продуктивність. Для досягнення цього існує необхідність порівняння теплової ефективності падаючим шаром і нерухомого шару палива шляхом порівняння завантажень паливом теплогенератора.

Основна частина. Аналіз ефективності режимів термореакційного горіння високозольного вугілля проводиться з використанням поняття завантаженості котла. Ступінь “завантаженості” котла визначається, як ступінь теплової ефективності теплогенератора, представлено у вигляді відношення дійсно використаної питомої теплотворної здатності до максимально можливого значення. Така величина

називається відношенням завантаження ϵ_1 і залежить від того, як рухаються контактуючі потоки повітря дуття і шару палива відносно один одного в одному або в протилежних напрямках (рис.1).

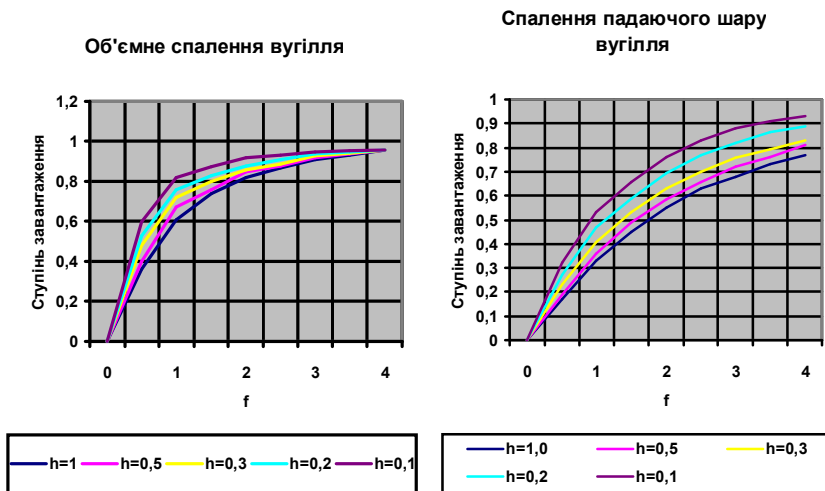


Рис.1. Залежність величини завантаження котла “МЕТА-ВЗВ” від стану шару високосольного вугілля і напрямків руху повітря дуття

Для зручності позначимо всі потоки повітря дуття і твердих часток і шару палива на вході теплогенератора: d_{10} — вологовміст повітря на вході при русі повітря і твердих часток нерухомого шару палива; d_{1Z} — вологовміст повітря на вході в падаючий шар при його надходженні до місця виходу твердих часток. Припустимо, що тверді частки шару палива подаються при співвідношенні *паливо/повітря* вище критичної норми і, таким чином, вологовміст повітря на поверхні твердих часток нерухомого шару палива d_S дорівнює вологовмісту мокрого термометра d_M . У випадку адіабатичного горіння палива величина вологовмісту повітря при температурі мокрого термометра постійна по всьому об'єму теплогенератора. У випадку повного завантаження котла вологовміст

повітря на виході з падаючого шару дорівнює відповідному вологовмісту при адіабатичному насиченні, що дорівнює вологовмісту повітря на поверхні при його виході. Так, величина вологовмісту повітря дорівнює d_{SZ} у випадку горіння нерухомого шару палива при об'ємному спаленні вугілля і d_{SO} у випадку падаючого шару палива і протитечієвого руху повітря дуття.

Отже, відношення завантаження у випадку об'ємного спалення високозольного вугілля визначається як [6]:

$$\varepsilon_1 = \frac{d_{1Z} - d_{10}}{d_{SZ} - d_{10}}; \quad (1)$$

при спаленні падаючого шару високозольного вугілля [6]:

$$\varepsilon_1 = \frac{d_{10} - d_{2Z}}{d_{S0} - d_{2Z}}. \quad (2)$$

Для визначення залежності між завантаженням і числом умовних поверхонь переносу необхідно окремо розглядати ці два режими роботи котла “МЕТА-ВЗВ”. Виведення такої залежності забезпечує аналіз завантаження котла. При цьому використовувалась явна залежність відносної швидкості горіння f від відстані h у котлі, для чого застосовується емпіричний вираз швидкості горіння шару високозольного вугілля [6]:

$$\frac{N_V}{N_{V0}} = f \exp \pm |P|, \quad (3)$$

де

$$P = [N_1 - (1 - f)N_2 \ln f]. \quad (4)$$

У рівняннях (3) та (4) N_V – швидкість горіння високозольного вугілля в теплогенераторі; f – відносна швидкість спалення; N_{V0} – швидкість горіння при об'ємному спаленні на вході твердих часток вугілля; N_1 – число внутрішніх умовних поверхонь переносу в першому періоді горіння (“розігріву”); N_2 – число внутрішніх умовних поверхонь переносу в другому періоді термо-

реакційного горіння.

Число внутрішніх умовних поверхонь переносу, обумовлене з рівняння (5), прямо пропорційне розглянутій відстані для постійної горіння вугілля $K_{\text{оф}}$. Негативний знак у рівнянні (3) вибирається для випадку об'ємного спалення, а позитивний — для падаючого шару.

Завантаження при об'ємному спаленні. З виразу рівняння (1) відношення завантаження котла отримуємо:

$$\frac{1}{(1-\varepsilon)} = \frac{d_{SZ} - d_{10}}{d_{SZ} - d_{20}}. \quad (5)$$

Вираз рівняння (2) для швидкості об'ємного спалення вугілля представлений у вигляді:

$$\frac{N_{10}}{N_V} = \frac{1}{f \exp|P|} = \frac{d_{S0} - d_{10}}{d_{SZ} - d_{2Z}}. \quad (6)$$

З врахуванням рушійних сил спалення визначено відносну швидкість горіння f , представлену рівнянням (4), можна одержати наступну тотожність:

$$f \equiv \frac{d_{SZ} - d_{2Z}}{d_{WZ} - d_{2Z}} \equiv \frac{d_{SZ} - d_{2Z}}{d_{S0} - d_{2Z}}. \quad (7)$$

За умови, що тверді частки вугілля надходять з вологовмістом при значній вологості і при цьому температура вугілля однако-ве по всій висоті теплогенератора. Таким чином, рівняння (7) обмежується адіабатичними умовами генерування тепла. Об'єднавши рівняння (5), (6) і за умов представлення процесу двома послідовними періодами "розігріву" і другому періоді терморекційного горіння одержимо вираз (9):

$$-\frac{dQ_1}{d\tau} = N, \quad Q_{\text{кр}} \leq Q_1 \leq Q_0, \quad (8)$$

$$\frac{1}{(1-\varepsilon)} - \frac{1}{f \exp|P|} = \frac{d_{SZ} - d_{S0}}{d_{SZ} - d_{2Z}} = \frac{1-f}{f}, \quad (9)$$

Вираз (9) після перетворень приводить до рівняння для відношення завантажень у вигляді [6]:

$$\varepsilon = 1 - \frac{f \exp|P|}{\{1 - (1-f) \exp|P|\}}, \quad (10)$$

де

$$|P| = [N_1 - (1-f)N_2 \ln f]. \quad (11)$$

Рівняння (10) відображує вплив швидкості спалення вугілля (величина f) і кількості умовних поверхневих переносу (величини N_1 і N_2) при завантаженні телогенератора. Якщо усі тверді частки знаходяться “розігріву”, тобто $f = 1$ і $N_2 = 0$, то рівняння (10) зводиться до залежності виду:

$$\varepsilon = 1 - f \exp[-N_1]. \quad (12)$$

Завантаження при спаленні падаючого шару. Для такого типу сушіння вирази, ідентичні рівнянням (5) – (7), можна записати у вигляді [6]:

$$(1-\varepsilon) = \frac{d_{S0} - d_{G0}}{d_{S0} - d_{2Z}}, \quad (13)$$

$$\frac{N_V}{N_{V0}} = f \exp|P| = \frac{d_{SZ} - d_{2Z}}{d_{S0} - d_{10}}, \quad (14)$$

$$f = \frac{d_{SZ} - d_{2Z}}{d_{WZ} - d_{2Z}} = \frac{d_{SZ} - d_{2Z}}{d_{S0} - d_{2Z}}. \quad (15)$$

Останнє рівняння залишається без змін. З приведених вище рівнянь будемо мати:

$$(1 - \varepsilon) f \exp|P| = f. \quad (16)$$

Рівняння (16) зводиться до виразу для

$$\varepsilon = 1 - \exp|-P|, \quad (17)$$

де P находимо з рівняння (4). Коли тверді частки знаходяться в періоді “розігріву”, рівняння (17) можна записати в такому вигляді [6]:

$$\varepsilon = 1 - \exp|-N_1|; \quad (18)$$

$$\varepsilon = 1 - \frac{f \exp|-P|}{\{1 - (1 - f) \exp|-P|\}}. \quad (19)$$

Вираз (19) ідентичний рівнянню (10) для випадку об’ємного спалення. Передбачалося одержати даний результат, тому що ступінь спалення вугілля повиненна залежати від напрямку потоку падаючого шару твердих часток при термореакційному горінні. Залежно від типу руху повітря і відношення завантажень теплогенератор буде різним для заданого числа умовних поверхонь переносу шару твердих часток на виході і для f (швидкості спалення вугілля) з рівнянь (1) і (16) знаходимо [6]:

$$\begin{aligned} \frac{\varepsilon_{\text{СПАЛЕННЯ ПАДАЮЧОГО ШАРУ}}}{\varepsilon_{\text{ОБ’ЄМНЕ ГОРІННЯ}}} &= \\ &= \frac{\{1 - \exp[-P]\}}{\left\{ \frac{1 - \exp[-P]}{1 - (1 - f) \exp[-P]} \right\}} = 1 - (1 - f) \exp[-P]. \end{aligned} \quad (20)$$

Таким чином, відношення завантажень для випадку спалення падаючого шару $\varepsilon_{\text{проти}}$ при переході до ускладненого термореакційного горіння завжди менше, що характеризує більш ефективне використання теплогенератора. У випадку горіння з низькими значеннями теплової напруги топочного простору це розходження стає більш істотним. На рис.1 наведено графіки залежності ступе-

ню завантаження котла “МЕТА-ВЗВ” при спаленні об’ємного і падаючого шару вугілля.

На рис.1 крива $f = 1$ відповідає відношенню завантажень, наприклад, для тієї ділянки котла, на якій переважає об’ємне спалення. Інші криві відповідають відношенню завантажень в умовах падаючого шару. Для теплогенераторів, в яких мають місце обидва режими спалення, сумарне відношення завантажень визначається за допомогою рівняння (16) для випадку спалення падаючого шару палива:

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_1)(1 - \varepsilon_2). \quad (21)$$

Теплову ефективність котла “МЕТА-ВЗВ” визначено з рівняння [7]:

$$\eta_{ТГ} = \sigma = Q_{п} / Q_3 = Q_{п} / W_{\min} * \Delta t_{\max}, \quad (22)$$

де $Q_{п}$, Q_3 – відповідно, корисно витрачаєма теплова енергія і вся витрачена, Дж;

W_{\min} – мінімальна кількість умовних поверхонь повітря дуття;

$\Delta t_{\max} = t'_2 - t'_1$ – різниця температур між входом і виходом повітря дуття, °С;

$$Q_3 = W_1 * t_1 = W_2 * t_2. \quad (23)$$

За умови $F \rightarrow \infty$, $N(1-Z) \rightarrow \infty$ а $Q_{п} \rightarrow Q_3$. $Z = G_{п} C_p$ – водяний еквівалент повітря дуття, Вт/град [8]. Балансова модель при спаленні високозольного вугілля у падаючому шарі має вигляд:

$$G_1 C_p^1 (t'_1 - t''_1) = G_2 C_p^2 (t'_2 - t''_2), \quad (24)$$

де G_1 , G_2 – вага повітря дуття і вага вугілля, кг; C_1 , C_2 – теплоємність повітря дуття і вугілля, Вт/град; t'_1 , t''_1 та t'_2 , t''_2 , відповідно, температура повітря дуття і вугілля на вході і виході котла, °С.

Визначено параметр котла — продуктивність за кількісними показниками — витрати палива і якісними показниками — питомим витратам палива. Проведене порівняння ефективності об'ємного горіння і спалення падаючого шару шляхом порівняння завантажень котла дозволяє стверджувати про ефективність спалення падаючого шару палива.

Висновки. Представлені залежності швидкості горіння високозольного вугілля в котлі “МЕТА-ВЗВ” дають змогу визначити пропускну здатність теплогенератора і питомі витрати палива.

ЛІТЕРАТУРА.

1. Бузников Е.Ф., Роддатис К.О., Берзъш Э.Я. Производственные и отопительные котельные. — М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. Шаганова С.Л., Шницер И.Н. Сжигание твердого топлива в топках парогенераторов. — Л.: Энергия, 1979. — 172 с.
3. Трёмбовля В.И., Фигнер Е.Ж., Авдеева А.А. Теплотехнические испытания котельных установок. — М.: Энергия, 1977. — 296 с.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов (нормативный метод). — М.: Энергия, 1973. — 295 с.
5. Вербовецкий Э.Х., Точилкин В.Н., Штольман С.Г. Исследование на огневой модели азродинамики и рециркуляции газов в верх топочной камеры котла П-67 // Теплоэнергетика. — 1979.- №5. — С.2.
6. Кей Р.Б. Введение в технологию промышленной сушки. — Минск: Наука и техника, 1983. — 261 с.
7. Кирницький С.Р. Дослідження процесу протитечієвого способу сушіння качанів кукурудзи. — Збірник наукових праць УкрНДІПВТ “Технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки для сільського господарства України”, вип. 2 (14), Дослідницьке, 1999, УкрНДІПВТ. — С. 120-127.
8. Лыков А.В. Тепломассообмен. — М.: Энергия, 1978. — 479 с.