

ЕНЕРГЕТИКА

УДК 674.8:662.765.1

¹С.С. Лис, ²Й.С. Мисак, д.т.н.**ФІЗИКО-ХІМІЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ ДЕРЕВИНИ
В ГАЗОГЕНЕРАТОРІ З СУЦІЛЬНИМ ШАРОМ**¹Національний лісотехнічний університет України²Національний університет "Львівська політехніка"

*Розроблено фізико-хімічну модель процесу газифікації деревини, яка дозволяє провести розрахунок параметрів робочого процесу в газифікаторі з суцільним шаром, засновану на рівняннях теплового і матеріального балансів. Складено матеріальний і тепловий баланс на основі експериментальних досліджень процесу газифікації деревини породи сосна (*Pinus sylvestris*).*

Ключові слова: газифікація деревини, фізико-хімічна модель.

Постановка проблеми. Реалізація програми розробки методів моделювання процесів термохімічної переробки деревини сприяє підвищенню екологічних показників процесів, скороченню термінів розробки агрегатів, модернізації існуючих інженерних методів розрахунку та проектування обладнання, пошуку оптимальних умов функціонування апаратів та раціональних шляхів використання палив.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогоднішній день розроблені та висвітлені в літературних джерелах та наукових статтях фізичні моделі процесу газифікації твердого палива [1-7], які дозволяють побудувати методику розрахунку параметрів робочого процесу у газифікаторі, засновану на рівняннях теплового і матеріального балансів, вигорання і газифікації вуглецю, а також теплообміну часток з шаром і з стінкою газогенератора. Проте дані фізичні моделі розроблені для конкретного типу газифікатора.

Мета

Розробити фізико-хімічну модель процесу газифікації деревини, яка дозволить провести розрахунок параметрів робочого процесу в газифікаторі з суцільним шаром, який є найбільш технологічно та конструктивно простим.

Виклад основного матеріалу

В матеріальному балансі процесу газифікації деревини в газогенераторі з суцільним шаром на основі закону збереження речовини співставляють кількість речовин введених в газогенератор і виведених з нього. Облік речовин ведеться по елементах. Для складання матеріального балансу необхідно знати склад палива, газу та відходів. При розрахунку матеріального балансу враховують, що всі складові частини палива реагують в процесі газифікації.

Вміст в газі окремих елементів визначають на основі того, що 1 кг·моль будь-якого газу займає об'єм 22,4 нм³ при температурі 0 °С і тиску 760 мм.рт.ст.. Об'єм 1 моля деяких реальних газів відрізняються від величини 22,4 нм³. Для водню, наприклад, об'єм 1 моля рівний 22,42 нм³, що враховано при визначенні вмісту водню в газах.

Вихід сухого газу визначають на основі балансу вуглецю. З C^p кг вуглецю, який міститься в 1 кг палива, в газ переходить:

$$C_D^p = C^p - (C_{ш} + C_{см} + C_n) = C^p - C_{в.в.}, \text{ кг/кг палива}, \quad (1)$$

де $C_{ш}$ – вміст вуглецю в золі і шлаці; $C_{см}$ – вміст вуглецю в смолі; C_n – вміст вуглецю в пилі; $C_{в.в.}$ – сума втрат вуглецю.

В 1 нм³ сухого синтез-газу міститься вуглецю:

$$C = 12/22,4(CO + CO_2 + CH_4), \text{ кг}. \quad (2)$$

Тоді, вихід сухого газу дорівнює:

$$V_C = 1,867(C^p - C_{в.в.})/(CO + CO_2 + CH_4), \text{ нм}^3/\text{кг}, \quad (3)$$

де вміст CO, CO₂, CH₄ виражений в % відносно об'єму газу;

C^p і $C_{в.в.}$ – в % відносно складу палива в робочому стані.

За приходом і витратою тепла в процесі газифікації можна оцінити розподіл всіх втрат тепла [3].

У витратній частині теплового балансу найбільшу величину складає теплотворність газу, що отримується під час газифікації палива. Теплотворність газу може бути визначене розрахунковим або калориметричним методом.

Для визначення теплових втрат з недопаленим вуглецем в золи, шлаку і пилі збирають за певний час відходи з газогенератора і визначають вміст в них золи A_u^c і вологи W_u^p .

Кількість недопаленого вуглецю C_u кг у відходах на 1 кг палива визначають за рівнянням:

$$C_u = \frac{g_u}{\tau \cdot G_n} \left(\frac{100 - W_u^p}{100} \right) \left(\frac{100 - A_u^c}{100} \right), \quad (4)$$

де τ – час, протягом якого назбиралося g_u кг відходів, год.; G_n – витрата палива, кг/год.

Вмістом інших горючих елементів у відходах палива нехтуємо.

Кількість тепла, що міститься в недопаленому вуглеці золи і шлаку складе:

$$Q_u = 33940 \cdot C_u, \text{ кДж/кг палива.} \quad (5)$$

Втрати тепла з пилом, що виноситься з газогенератора, незначні.

Вміст вуглецю в пилі знаходимо за рівнянням (6):

$$C_n = g_n \left(\frac{100 - W_n^p}{100} \right) \left(\frac{100 - A_n^p}{100} \right), \quad (6)$$

де g_n – кількість пилу, що виноситься з газогенератора, кг/кг палива; W_n^p – вміст вологи в пилі; A_n^p – вміст золи в сухому пилі.

Кількість пилу, що виноситься з газогенератора:

$$g_n = \frac{G_n}{\tau \cdot G_T}, \text{ кг/кг палива,} \quad (7)$$

де G_n – кількість пилу, зібраного у фільтрі за час τ , кг; τ – час накопичення пилу у фільтрі, год.; G_T – витрата палива, кг/год.

Кількість тепла, що втрачається з вуглецем, який міститься в пилі:

$$Q_n = 33940 \cdot C_n, \text{ кДж/кг палива} \quad (8)$$

Для визначення кількості пилу, що виноситься з газогенератора, зважують пил, що збирається у фільтрі.

Втратами тепла, що виноситься з газогенератора із смолою нехтують, оскільки кількість смоли невелика і не перевищує 1 г/м³ газу.

Коефіцієнтом корисної дії газогенератора знаходимо з відношення нижчої теплотворності газу до нижчої теплотворності палива, витраченого для отримання газу:

$$\eta_c = \frac{V_c Q_n^{c.z.}}{Q_n^p}, \quad (9)$$

де V_c – вихід сухого газу палива, м³/кг; $Q_n^{c.z.}$ – нижча теплотворність сухого газу, ккал/м³; Q_n^p – нижча теплотворність робочого палива, ккал/кг.

Складено матеріальний (табл. 1) і тепловий (табл. 2) баланс процесу газифікації деревини породи сосна (*Pinus sylvestris*) на основі експериментальних досліджень. Склад подрібненої деревини породи сосна (*Pinus sylvestris*) в робочому стані: C^p = 28,4 %; H^p = 5,2 %; O^p = 22,7 %; A^p = 0,7 %; W^p = 43 %. Нижча теплотворна здатність деревини породи сосна рівна 11443 кДж/кг. Під час газифікації деревини породи сосна (*Pinus sylvestris*) отриманий сухий синтез-газ наступного складу: CO = 32,8 %; H₂ = 25,9 %; CO₂ = 5,3 %; CH₄ = 7,7 %; N₂ = 28,1 %; O₂ = 0,2 %. Нижча теплота згорання синтез-газу $Q_n^{c.z.} = 9875$ кДж/м³. У фільтрі зібрано $G_n = 2,2$ кг пилу за $\tau = 5$ годин роботи газогенератора. Відсоток золи в пилі – $A_n^c = 80\%$; вологість пилу $W_n^p = 5\%$. Витрата палива $G_T = 21$ кг/год. Кількість відходів зібраних в зольнику рівна 0,011 кг/кг палива. Зольність відходів $A_u^c = 72\%$, вологість відходів $W_u^p = 2\%$.

Таблиця 1

Матеріальний баланс процесу газифікації соснової деревини

Прихід		Розхід	
Деревина	1,00 кг	Вологий газ	1,61 кг
Повітря	0,618 кг	Зола і шлак	0,011 кг
		Пил	0,02 кг
Всього	1,618 кг	Всього	1,641 кг

Розбіжність в матеріальному балансі становить 1,4 %, що знаходиться в допустимих межах.

Таблиця 2

Тепловий баланс процесу газифікації.

Прихід тепла	
Теплотворність палива	11443 кДж/кг
Розхід тепла	
Теплотворність газу	$9875 \text{ кДж/нм}^3 \cdot 1,129 \text{ нм}^3/\text{кг} = 11148,8 \text{ кДж/кг палива}$
Втрати тепла з пилом, золюю та шлаком	231,5 кДж/кг палива
Втрати в довкілля (решта)	62,7 кДж/кг палива

З теплового балансу (табл. 2) виходить, що під час газифікації соснової деревини невеликі втрати тепла виходять внаслідок винесення пилу і втрат вуглецю з золюю і шлаком.

Висновки

В результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень отримано такі висновки:

1. Розроблено фізико-хімічну модель процесу газифікації деревини, яка дозволяє провести розрахунок параметрів робочого процесу в газифікаторі з суцільним шаром, засновану на рівняннях теплового і матеріального балансів.

2. Складено матеріальний і тепловий баланс на основі експериментальних досліджень процесу газифікації деревини породи сосна (*Pinus sylvestris*). Розбіжність в матеріальному балансі становить 1,4 %, що знаходиться в допустимих межах. З теплового балансу виходить, що під час газифікації соснової деревини невеликі втрати тепла виходять внаслідок винесення пилу і втрат вуглецю з золюю і шлаком.

Список літературних джерел

1. Баштовой А.И. Математическое моделирование процесса газификации древесины / А.И. Баштовой, Е.В. Скляренко – Пром. теплотехника, т.28, №6, 2006. – С. 71-77.
2. Рохман Б.Б. Методика расчета и анализ аппаратов для газификации твердого топлива в кипящем слое под давлением. Математическая модель / Рохман Б.Б., Кесова Л.А., Шамис Л.Б. – Пром. теплотехника, т.31, № 1, 2009. – С. 28-35.
3. Юдушкин Н.Г. Газогенераторные тракторы. Теория, конструкция, расчет/ Н.Г. Юдушкин, М.Д. Артамонов – Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, Машгиз, Москва, 1955. – С. 244.
4. Визначення кінетичних параметрів процесу газифікації низькосортних палив / [Я.М. Гнатишин, А.К. Ільницький, В.Ф. Близнюк, С.С. Лис] – Теплоенергетика : зб. наукових статей. – Львів : НУ “Львівська політехніка”, 2008. – С. 232-234.
5. Кафаров В.В. Математическое моделирование основных процессов химических производств / В.В. Кафаров, М.Б. Глебов – М. : Высшая школа, 1991. – С. 399.
6. Шрайбер А.А. Математичне моделювання тепломасообмінних процесів при внутрішньовідвальній газифікації вуглевмісних відходів / А.А. Шрайбер, В.Г. Носач – 5-й Мінський міжнар. форум з тепло- і масообміну / Мінськ, 2004. – Т. 4. – С. 1-10.
7. Nosach V.G. Mathematical modeling of heat and mass transfer in a concentrated disperse system with chemical reactions / V.G. Nosach, A.A. Shraiber, E.V. Sklyarenko – Proc. 10 Workshop “Two-Phase Flow Predictions”. Halle : Martin-Luther University, 2002. – P. 412-417.