

УДК 628.38

Степанов Д. В., к.т.н., доцент (Вінницький національний технічний університет)

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ НА ОСНОВІ БАЛАНСОВИХ РІВНЯНЬ

Запропонована модель процесу газифікації відходів, що побудована на рівняннях теплових та матеріальних балансів, і яка дозволяє оцінювати елементарний склад відходів або утвореного синтез-газу та адіабатну температуру в газогенераторі. Адекватність розробленої моделі підтверджена порівнянням розрахункових та експериментальних результатів.

Ключові слова: газифікація, тверді органічні відходи, математична модель, адіабатна температура.

Вступ

Пошук раціональних способів утилізації органічних відходів і екологічно чистого виробництва енергоносіїв стає першочерговою задачею в світі. Для умов України одним з найактуальніших напрямків досліджень є виробництво енергоносіїв з органічних відходів переробної промисловості та сільського господарства [1, 2].

Тверді органічні відходи перспективно спалювати в котлах з газогенераторними передтопками для виробництва теплоти або переробляти в газогенераторах із відпуском товарного палива – синтез-газу та вторинної продукції – вугілля, золи. Вироблений синтез-газ може бути використаний як безпосередньо на місці отримання, так і після трубопровідного або балонного транспортування. Сучасні системи очищення синтез-газу дозволяють видаляти вологу, смоли, шкідливі газові домішки тощо. Екологічні показники газогенераторного спалювання відходів кращі, ніж для установок прямого спалювання, крім того, за рахунок більш повного згорання відходів внаслідок ступеневого окислення досягаються значно вищі ККД [3].

Основними складовими синтез-газу з органічних відходів є окисли вуглецю CO та CO₂, водень H₂, кисень O₂, азот N₂ та волога. Якість синтез-газу визначається способом дуття окислювача та якістю відходів, відповідно, калорійність синтез-газу коливається в межах 4...12 МДж/м³.

Синтез-газ, залежно від його калорійності та енергетичних потреб споживача, можна спалювати теплогенераторах, когенераційних або холодильних установках. Таким чином, газифікація твердих органічних відходів дозволяє зменшити споживання первинних енергоносіїв та покращити екологічну ситуацію.

Кількість отриманого синтез-газу, вміст його складових і калорійність, необхідна витрата окислювача і температура в камері газогенератора можна оцінити з використанням теплових та матеріальних балансів.

Тому **мета роботи** створення математичної моделі процесу газифікації органічних відходів на основі рівнянь матеріальних та теплових балансів.

Основні дослідження

Газифікація твердих органічних відходів є складним фізико-хімічним процесом. В основі газогенерації лежать окислювальні і відновлювальні реакції сполук вуглецю і водню при високій температурі (600...1200°C) і недостатку окислювача. В роботах [4, 5] наведено перелік з 12 основних екзо- та ендотермічних реакцій, що одночасно відбуваються в камері газогенератора. Можливі схеми перетворення основних речовин та теплові баланси газифікації наведені на рис. 1.

Авторами [6] запропонована математична модель робочого процесу газогенерації вугілля, але вона не дозволяє з достатньою точністю моделювати кінетичні процеси в газогенераторі, оскільки не враховує вплив таких чинників, як конструктивні особливості камери газифікатора, фракційна нерівномірність і нерівномірність складу сировини, нерівномірність розподілу окислювача, неадіабатність процесу газогенерації через втрати в навколишнє середовище або встановлення теплообмінних поверхонь в зоні газогенерації, зміни товщини шару відходів тощо.

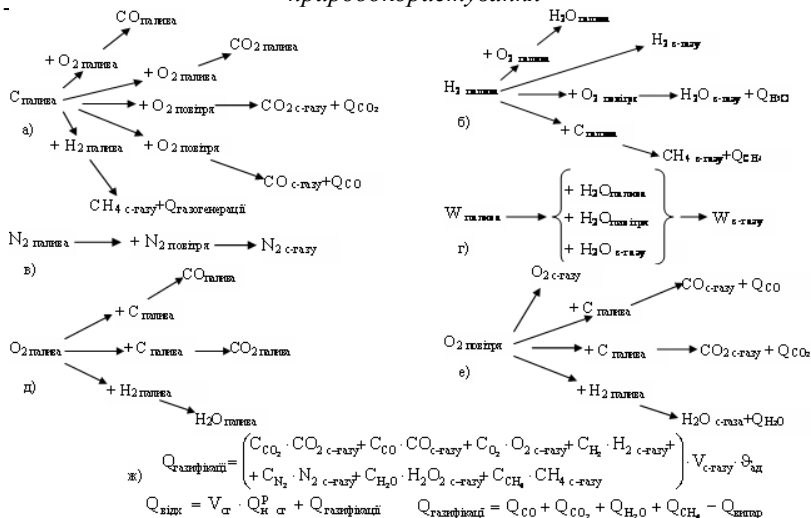


Рис. 1. Можливі реакції робочих речовин в процесі газифікації: а) баланси вуглецю; б) баланси водню; в) баланси азоту; г) баланси вологи; д) баланси кисню палива; е) баланси кисню повітря; ж) теплові баланси

Таким чином, на даному етапі досліджень, на нашу думку, створення адекватної математичної моделі процесів газифікації органічних відходів з врахуванням її кінетичних особливостей є неможливим. Натомість рівняння матеріальних та теплових балансів процесу газифікації, що складаються за осередненими параметрами, дозволяють оцінити основні показники процесу.

В роботі запропонована математична модель процесу газифікації органічних відходів, побудована із використанням наведених на рис. 1 рівнянь матеріальних та теплових балансів.

Аналіз літературної інформації [4, 7] показав, що для процесів газифікації твердих органічних відходів дисипацію енергії можна не враховувати. Тому, виходячи з теплоти газифікації і апроксимованих значень теплоємностей складових синтез-газу, може бути визначена адиабатна температура процесу газифікації $\vartheta_{\text{ад}}$.

Таким чином, з використанням запропонованої математичної моделі є можливість оцінювати склад синтез-газу при відомому складі відходів та температурі в зоні газифікації або за відомими складами відходів та синтез-газу визначати адиабатну температуру газифікації.

Для зручності використання розробленої математичної моделі створений програмний продукт у середовищі Delphi [8].

Для перевірки адекватності математичної моделі, з використанням розробленої комп'ютерної програми проведені числові дослідження процесів газифікації відходів деревини і виконано порівняння отриманих результатів із експериментальними даними, отриманими в [9] для відходів деревини тополі з вологістю 14,4% і зольністю 0,9%.

В якості вихідних даних використана наведена в [9, 10] інформація по елементарному складу відходів деревини, отриманого експериментально синтез-газу та його температурі на виході з газогенератора. Відомо, що експериментальний газогенератор має теплову ізоляцію і можна вважати втрати теплоти в навколишнє середовище в процесі роботи установки мінімальними.

Згідно результатів, показаних на рис. 2, розрахункові адиабатні температури процесу газифікації відходів деревини на 8...20% вищі, ніж експериментальні дані [9] по температурі газів на виході з газогенератора.

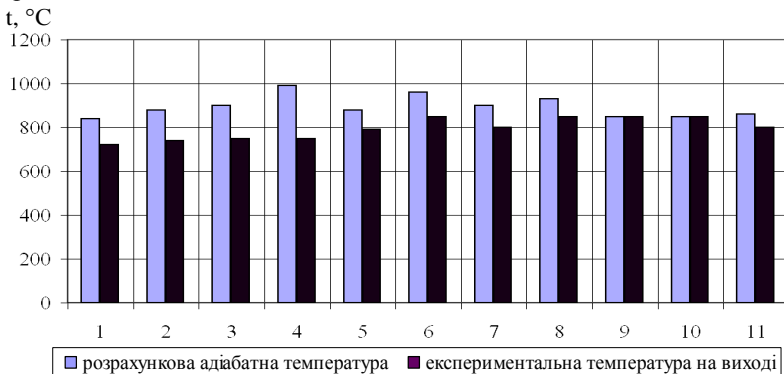


Рис. 2. Порівняння розрахункових значень адиабатної температури в газогенераторі та експериментально визначеної температури синтез-газу на виході з газогенератора

Отримані розбіжності розрахункових та експериментальних даних пояснюються неврахуванням конструктивних характеристик газогенератора, погрішностями експериментального вимірювання складу газу його температури, нерівномірністю газоутворення тощо.

Висновки

Газифікація твердих органічних відходів є екологічно чистим способом виробництва енергоносіїв з відходів.

Відомі кінетичні моделі процесів газифікації відходів не дозволя-

ють повною мірою враховувати конструктивні особливості газогенератора, нерівномірність розподілу окислювача і газоутворення в об'ємі відходів та ін.

$$Q_{відх} = V_{сг} \cdot Q_{н\ сг}^P + Q_{газифікації}.$$

В роботі запропонована модель процесу газифікації відходів, побудована на рівняннях теплових та матеріальних балансів, яка дозволяє оцінювати елементарний склад відходів або утвореного синтез-газу, а також адиабатну температуру в газогенераторі.

Адекватність розробленої моделі підтверджена порівнянням результатів числового експерименту з експериментальними даними по газифікації твердих органічних відходів.

1. Ткаченко С. Й. Синтез природо- і енергозбережних систем вироблення енергоносіїв із органічних відходів / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов, А. О. Юзюк, Н. В. Пішеніна, С. В. Дишлюк // Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. – 2011. – № 7. – С. 123-130. 2. Наукові основи мінімізації техногенних ризиків в системах виробництва енергоносіїв з органічних відходів // Звіт з НДР 82-Д-334 (проміжний звіт), 2011. – 108 с. 3. Головков С. И. Энергетическое использование древесных отходов / С. И. Головков, И. Ф. Коперин, В. И. Найденев. – М. : Лесн. Пром-сть, 1987. – 224 с. 4. Гинзбург Д. Б. Газификация твердого топлива. – М. : Государственное издательство литературы по строительству, архитектуре и строительным материалам. – 1958. – 300 с. 5. A. Klein, N.J. Themelis. Energy Recovery from Municipal Solid Wastes by Gasification [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.seas.columbia.edu/earth/wtert/sofos/NAWTEC-gasification-klein.pdf>. 6. Хлебников О. Е. Исследование двухстадийного сжигания торфа, бурого угля и их смесей с древесинной / О. Е. Хлебников, Г. В. Коваленко, А. А. Халатов // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т. 27, № 2. – С. 67-72. 7. Лавров Н. В. Физико-химические основы процесса горения топлива / Н. В. Лавров – М. : Наука, 1971. – 272 с. 8. "Комп'ютерна програма "Балансовий розрахунок процесу газогенерації відходів". Заява на реєстрацію авторського права на твір № 44090 від 31.05.2012. 9. Отработка элементов технологии газификации местных видов топлива и органических отходов в обращенном режиме / В. Н. Соловьев, Л. А. Бидя, Г. И. Фокина и др. – Минск, 2003. – 37 с. – [Препринт/НАН Беларуси. Объед. ин-т энергетич. и ядер. исслед. – Сосны; ОИЭЯИ – 9]. 10. Biomass to energy. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cgpl.iisc.ernet.in/site/Portals/0/Book/Biomass%20to%20Energy.pdf>

Рецензент: к.т.н., доцент Волошук В. А. (НУВГП)