УДК 669.187.2.001.7

ТЕРМОДИНАМІКА ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ СУМІШЕВОЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В.А. Жовтянський[1], Е.П. Колеснікова[2], М.В. Остапчук-Якимович[3],

[1,3] Інститут газу НАН України, 03113, м. Київ-113, вул. Дегтярівська, 39, e-mail: zhovt@ukr.net,
[2]НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського»

Визначені показники енергетичної ефективності процесу газифікації сумішевої відновлювальної сировини з використанням плазмових технологій на прикладі суміші донних мулів і гумового кришива зношених автомобільних шин. Отримані результати свідчать на користь перспектив комерціалізації технологій переробки небезпечних відходів, якими є донні мули, та одночасно екологічно чистої утилізації зношених автомобільних шин.

Ключові слова: *енергоефективність, плазмо-парокиснева газифікація, синтез-газ, плазмотрон, мулові осади станцій аерації, зношені шини, вітрифікація.*

THERMODYNAMICS OF MIXED RENEVABLE RAW MATERIAL GASIFICATION PROCESS WITH USING PLASMA TECHNOLOGIES

V. Zhovtyansky[1], E. Kolesnikova[2], M. Ostapchuk-Yakumovych[3]

[1,3] Institute of Gas, NAS of Ukraine, 39 Degtyarivska St., 03113 Kyiv, Ukraine, e-mail: zhovt@ukr.net,
[2]NTUU " Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Indicators of the gasification process energy efficiency of renewable raw materials mixture, for example, a mixture of sewage sludge and rubber debris of old tires using plasma technologies, are determined. The obtained results testify to the prospects of processing technologies commercialization of hazardous waste, such as sewage sludge, while at the same time environmentally friendly recycling of old tires.

Keywords: *energy efficiency, plasma-steam-oxygen gasification, synthesis gas, plasma torch, sewage sludge of water treatment plants, old tires, vitrification.*

ORCID [1]0000-0002-9532-423X, [2]*0000-0001-8835-0504,*
[3]0000-0003-2331-5737.

Особливістю технологій спалювання твердих відходів є неможливість одночасного забезпечення оптимальних умов горіння для всіх їхніх численних компонент. Зовнішньою ознакою цього є неприємний запах в місцях розташування сміттєспалювальних заводів, наприклад, заводу «Енергія» в Києві. Для його усунення слід улаштовувати додаткове опалювання продуктів згорання [1].

На відміну від цього, для процесів газифікації небезпечних хлорвмісних відходів характерним є тривале (понад 2 с) перебування продуктових газів в області високих температур (понад 1100 ºС). Воно є необхідним для хімічного розкладання діоксинів та фуранів, які утворюються в області проміжних відносно низьких температур, характерних для процесів горіння [2, ч. 1]. Таким чином, майже всі компоненти в області реактора виходять на рівноважний режим. Винятком є тільки оксиди азоту NO_x, які утворюються в нерівноважно надлишковій кількості, якщо в процесі газифікації використовується повітряний плазмотрон [2, ч. 3].

Проте їхня роль з точки зору енергетики процесу є незначною, що дозволяє майже беззастережно користуватись припущенням термодинамічної рівноваги.

Розглядається така реакція плазмо-паро-кисневої газифікації сумішевої відновлювальної сировини:

$$CH_{1,586}O_{0,567} + 3,639CH_{1,495}S_{0,024} + 0,249H_2O(SS) + 0,05H_2O(T) + A_{SS} + A_T + K\,H_2O(PL) + LO_2 = 4,639CO + MH_2 + 0,087\,H_2S - (\Delta Q_R + \Delta Q_{PL}) + Q_V, \quad (1)$$

де 1-й і 2-й члени відповідають брутто-формулам донних мулів і гумового кришива, 3-й і 4-й – їхній вологості, а 5-й і 6-й – їхній зольності, відповідно; 7-й – кількості пари, яка вводиться в процес плазмотроном, 8-й – кількості кисню, який додатково вводиться в реактор; ΔQ_R – теплова енергія, яка виділяється в реакторі за рахунок хімічної реакції (1), а ΔQ_{PL} – додаткова енергія, яка вводиться в реактор для досягнення заданої температури процесу газифікації.

У реакції (1) ураховані також додаткові енерговитрати на вітрифікацію. Їх можна оцінити на основі феноменологічного співвідношення

$$Q_V\ (\text{кВт·год}) = 0,35 m_A\ (\text{кг}), \quad (2)$$

де m_A – зольна маса.

Показником енергетичної ефективності процесу газифікації є співвідношення

$$\eta = (P_{PL}^{J} + P_{O2})/\ \eta_{EE} W_{СГ}, \quad (3)$$

де ураховані витрати електричної енергії P_{PL}^{C} на продукування плазмового струменя з ККД плазмотрона на рівні ~0,8, тобто: $P_{PL}^{J} = \Delta Q_{PL}//0,8$, P_{O2} – енерговитрати на виробництво кисню, η_{EE} ~ 0,3 – ККД виробництва електроенергії, $W_{СГ}$ – енергія отримуваного в процесі синтез-газу.

Використовуючи значення калорійності донного мулу Q_{ss} = 22,6 МДж/кг, а для гумового кришива – Q_T = 42,26 і, відповідно, їхні зольності 60,6% і 23,34% та вологість 6,5%

і 1,5%, визначаємо, що показник енергетичної ефективності процесу газифікації складає у випадку реакції (1) η_M = 0,17 – 0,58 для значень К від 0 до 3,77. Якщо ж розглядати цей процес у відсутність гумового кришива, то η_{SS} = 0,29 – 0,39 для значень К, які відповідають стехіометричному режиму в цьому випадку. Дальшого поліпшення показника енергетичної ефективності процесу газифікації суміші донних мулів та гумового кришива слід очікувати при переході до нестехіометричного режиму газифікації.

Література:

1. Сігал І.Я. Приватне повідомлення.

2. Жовтянський В.А., Орлик В.М., Петров С.В., Якимович М.В. Загальні принципи переробки відходів з вилученням їхнього енергетичного потенціалу на основі плазмових технологій. Ч. 1 – 3 // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2015. – № 4. – С. 24 – 46; 2016. – № 3. – С. 25 – 42; 2018. – № 2. – С. 16 – 31.