

УДК 669.187.2.001.7

## ГАЗИФІКАЦІЯ НИЗЬКОЯКІСНОЇ ВІДНОВЛЮВАЛЬНОЇ СИРОВИНИ З ВИКОРИСТАННЯМ ПЛАЗМОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ: НЕСТЕХІОМЕТРИЧНИЙ РЕЖИМ

**В.А.Жовтянський<sup>1</sup>, М.В.Остапчук<sup>2</sup>,**  
*Інститут газу НАН України,  
03113, м. Київ-113, вул. Десятниківська, 39,  
e-mail: zhovt@ukr.net*

*Ця робота є супровідною для створюваної в Інституті газу НАН України технологічної лінії для переробки небезпечних відходів. Показана доцільність використання при переробці низькоякісної сировини технологій газифікації в нестехіометричному режимі. Визначені показники енергетичної ефективності процесу газифікації в цьому режимі донних мулів і гумового криштива зношених автомобільних шин. Отримані результати свідчать на користь перспектив подальшої комерціалізації технологій переробки небезпечних відходів, якими є донні мули, та одночасно екологічно чистої утилізації зношених автомобільних шин.*

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

## GASIFICATION OF LOW-GRADE RENEWABLE FEEDSTOCK USING PLASMA TECHNOLOGY: NON-STOICHIOMETRIC OPERATION

**V.Zhovtyansky<sup>1</sup>, M.Ostapchuk<sup>2</sup>,**

*Institute of Gas, NAS of Ukraine,  
39 Degtyarivska St., 03113 Kyiv, Ukraine,  
e-mail: zhovt@ukr.net*

*This study is a companion to the technological line created at the Institute of Gas of the NAS of Ukraine for the processing of hazardous waste. The expediency of non-stoichiometric operation gasification technologies for the processing of low quality raw materials of gasification is shown. Indicators of energy efficiency of gasification process in this mode of sewage sludge and rubber roof of worn out automobile tires are determined. The results show the prospect of further commercialization of such hazardous waste technologies as bottom sludge and the environmentally friendly recycling of worn out car tires.*

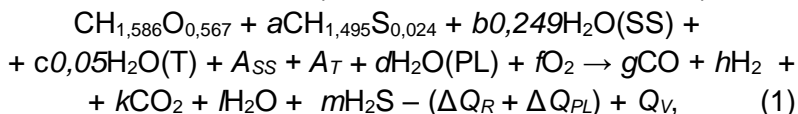
**Keywords:** *energy efficiency, plasma-vapor-oxygen gasification, non-stoichiometric mode, synthesis gas, sewage sludge of water treatment plants, worn out tires.*

**ORCID:** <sup>1</sup>0000-0002-9532-423X; <sup>2</sup>0000-0003-2331-5737.

Доцільність використання технологій газифікації для переробки небезпечних вуглецевмісних відходів нами обґрунтована неодноразово (див., наприклад, [1]). Дійсно, для процесів газифікації небезпечних хлорвмісних відходів характерним є тривале (понад 2 с) перебування продуктивних газів в області високих температур (понад 1100 °С). Воно є необхідним для хімічного розкладання діоксинів та фуранів, які утворюються в області проміжних, відносно низьких температур, характерних для процесів горіння. З іншого боку, цей режим є зручним для проведення проце-

сів газифікації таких відходів, у результаті чого крім власне утилізації самих відходів одночасно отримується цінний хімічний або енергетичний ресурс – суміш  $\text{CO} + \text{H}_2$ , яка відома як синтез-газ. У такому процесі майже всі компоненти в області реактора (за винятком невеликої кількості оксидів азоту [2]) виходять на рівноважний режим. Це дозволяє майже беззастережно користуватись припущенням термодинамічної рівноваги.

Розглядається така нестехіометрична реакція плазмо-паро-кисневої газифікації сумішевої низькоякісної відновлювальної сировини (або ж її окремих компонент):



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;  $\Delta Q_{\text{R}}$  – теплова енергія, яка виділяється в реакторі за рахунок хімічної реакції (1), а  $\Delta Q_{\text{PL}}$  – додаткова енергія, яка вводиться в реактор з плазмовим струменем для досягнення заданої температури процесу газифікації.

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

$$Q_{\text{V}} (\text{кВт} \cdot \text{год}) = 0,35 m_{\text{A}} (\text{кг}), \quad (2)$$

де  $m_{\text{A}}$  – зольна маса.

Показником енергетичної ефективності процесу газифікації є співвідношення

$$\eta = (P_{\text{PL}}^{\text{J}} + P_{\text{O}_2}) / \eta_{\text{EE}} W_{\text{CF}}, \quad (3)$$

де ураховані витрати електричної енергії  $P_{PL}^J$  на продукування плазмового струменя з ККД плазмотрона на рівні  $\sim 0,8$ , тобто:  $P_{PL}^J = \Delta Q_{PL}/0,8$ ,  $P_{O_2}$  – енерговитрати на виробництво кисню,  $\eta_{EE} \sim 0,3$  – ККД виробництва електроенергії,  $W_{CG}$  – енергія отриманого в процесі синтез-газу.

Перевагою процесу газифікації в нестехіометричному режимі є можливість вводити додаткову теплову енергію в процес за рахунок часткового спалювання сировини для компенсації, наприклад, значних енерговитрат на рідке шлаковидалення та вітрифікацію зольного залишку згідно з (2), ураховуючи, що зольність донного мулу може складати навіть 60%. У доповіді будуть представлені кількісні результати щодо ефективності такого процесу в певних межах відносно надлишкового дуття кисню, маючи на увазі, що граничним її показником є нульова ефективність, коли весь кисень витрачається на повне спалювання сировини, а відтак замість синтез газу отримується негорюча суміш  $CO_2 + H_2O$ , тобто установка переходить в режим роботи інсенерактора.

*Виконання цієї роботи підтримано в рамках Цільової програми наукових досліджень НАН України «Розвиток наукових засад отримання, зберігання та використання водню в системах автономного енергозабезпечення».*

#### **Література:**

1. Петров С.В., Жовтянский В.А. Энергоэффективные пароплазменные технологии переработки отходов/Монография. – К.: Наукова думка, 2019. – 559 с.
2. В.А. Жовтянський, Е.П. Колеснікова. Утворення оксидів азоту в процесах газифікації з використанням плазмово-повітряної технології // Див. цей збірник.