

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ НИЗЬКОСОРТНИХ ПАЛИВ

С. С. Лис

НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна

Сьогодні у багатьох країнах активізувалися роботи зі створення та вдосконалення технології термічного перероблення твердого палива в газоподібне паливо (синтез-газ), яке є зручним для подальшого спалювання, як у пальниках котлів різного призначення, так і в камерах згорання двигунів різних типів. Головною перевагою технології газифікації твердого палива є низький рівень негативного впливу на навколишнє середовище. Тому, за результатами теоретичних та експериментальних досліджень потрібно визначити технологічні параметри роботи газогенераторної установки з визначенням раціональних параметрів процесу: розмірів частинок та вологості подрібненої деревини, кількості повітря, яке подають в камеру газифікації, та розробити практичні рекомендації щодо термічного перероблення деревини.

Ключові слова: газифікація твердого палива, газоподібне паливо, синтез-газ.

Вступ. Одним з найпотужніших альтернативних та екологічно чистих джерел енергії є деревне паливо. Істотною перевагою деревного палива є його екологічна чистота: деревина не містить сірки, хлору та інших шкідливих для атмосфери елементів. Під час згорання деревина виділяє таку саму кількість CO_2 , яку спожила у процесі зростання (Belikov, & Kotler, 2004).

Відомо чимало способів перероблення деревини та відходів з неї в енергію. Проте одним з найперспективніших є газифікація, тому що синтез-газ (який утворюється у процесі газифікації деревини) можна використовувати як паливо для котлів комунальних котельень; для зріджування; як паливо (після охолодження і очищення) для двигуна внутрішнього згорання з метою отримання механічної або електричної енергії (з використанням когенераційної установки) (Basu Prabir, 2010; Lys, & Mysak, 2012a).

Тому технологія термічного перероблення деревини в газоподібне паливо є актуальною задачею, вирішення якої дасть змогу створити екологічно чисте джерело енергії, яке є альтернативою природному газу та газифікації вугілля.

Матеріали та методи дослідження. Для проведення експериментальних досліджень та розроблення технологічного процесу газифікації деревини в газоподібне паливо розроблено газогенератор зі суцільним шаром (Lys, Vadera, & Gnatyshyn, 2009).

Сучасні відомі газогенератори зі суцільним шаром дають змогу отримувати синтез-газ з теплотворною здатністю 5,0-7,5 МДж/нм³, вимогливі до якості палива, що газифікується, та складні в обслуговуванні. Було завдання розробити таку конструкцію газогенератора, яка дала б змогу отримувати синтез-газ з більшою теплотворною здатністю, газифікувати паливо з більшою вологістю та була нескладною в експлуатації. На розробленій газогенераторній установці зі суцільним шаром це досягається завдяки тому, що камеру газифікації виконано у вигляді двох зрізаних конусів, більші основи яких розміщені навпроти з невеликим зазором між ними, що унеможливає зависання палива і його винесення у патрубок у верхній частині газогенератора, а пристрій для подачі окислювача-повітря, від нагнітача, виконаний з кожухом, всередині якого встановлено трубу для відведення синтез-газу з

верхньої частини корпусу до споживача та для зливу сконденсованих речовин, що дає змогу нагрівати повітря, яке нагнітається в камеру газифікації, і охолоджувати синтез-газ. Зрізані конуси та частини корпусу з'єднані болтами, що забезпечує простоту в обслуговуванні.

У процесі проведення експериментальних досліджень використовували суміш деревини (верба (*Salix alba* L.) в кількості 1/3 від загальної маси суміші, сосна (*Pinus sylvestris*) – 1/3 від загальної маси суміші, береза (*Betula pendula* Roth.) – 1/3 від загальної маси суміші).

Завдання полягає у визначенні залежності нижчої теплоти згорання синтез-газу від кількості повітря, розмірів частинок та вологості подрібненої деревини, яку подають у газогенератор.

Для встановлення характеру впливу змінних факторів на нижчу теплоту згорання синтез-газу застосовано трирівневий В-план (B_3). Рівні та інтервали змінювання факторів наведено в табл. 1.

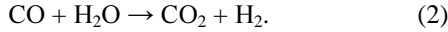
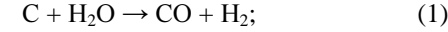
Табл. 1. Рівні та інтервали змінювання факторів

Назва фактора	Позначення фактора		Рівні зміни фактора			Інтервал зміни фактора
	натуральне	нормалізоване	Рівні зміни фактора			
			(-1)	(0)	(+1)	
Розміри частинок деревини, мм	l	x_1	10	30	50	20
Кількість повітря, нм ³ /год	G	x_2	40	65	90	25
Вологість деревини, %	W	x_3	10	30	50	20

Кількість дослідів, що дублювалися в кожній серії, $n = 6$. Дані кожного дослідів статистично обробляли з метою відшукування грубих помилок, сумнівні результати перевіряли за допомогою t -критерію Ст'юдента (Грусак, Кіжко, & Kushpit, 2002; Пулупчук, Гругоржев, Шостак, 2007). Сумнівний результат y_i тимчасово виключали із вибірки, а за даними, що залишилися, розраховували середнє арифметичне $y_{сер}$ і оцінку дисперсії S^2 .

Результати дослідження. На основі експериментальних даних процесу газифікації суміші деревини різних порід встановлено, що в розробленій експериментальній газогенераторній установці можна газифікувати деревину вологістю більше $W = 50\%$ з висо-

ким значенням нижчої теплоти згорання синтез-газу (рис.) (Lys, & Mysak, 2012b). Це пояснюють тим, що гази, які утворилися під час газифікації, повторно проходять через шар розжареного палива в зоні відновлення та окислення. Якщо в зоні відновлення є водна пара, то з високою температурою відбувається реакція її конверсії, тобто



У цьому випадку утворюється другий горючий складник газу – водень. Отже, завдяки значному вмісту водню у синтез-газі нижча теплота згорання залишається досить високою. Якщо вологість деревини буде надто високою, то якість синтез-газу знизиться внаслідок зниження температури в камері газифікації, що призведе до зниження не тільки кількості H_2 у синтез-газі, але й збільшення CO_2 , тому що за низьких температур не буде відбуватися гетерогенна реакція відновлення двоокису вуглецю:



А це, своєю чергою, призведе до зниження кількості у синтез-газі ще одного горючого газу – CO .

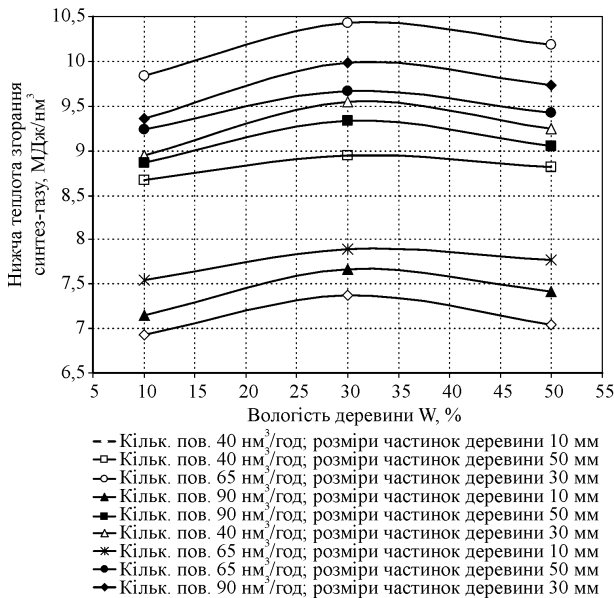


Рис. Залежність нижчої теплоти згорання синтез-газу від вологості деревини під час газифікації суміші деревини різних порід

З експериментальних даних бачимо, що найбільш оптимальними параметрами процесу газифікації суміші деревини, коли нижча теплота згорання синтез-газу досягає максимуму, є:

- кількість повітря, яке подають в камеру газифікації (65 нм³/год);
- вологість суміші деревини (30 %);
- розміри частинок подрібненої суміші деревини (30 мм).

Унаслідок реалізації В₃-плану отримано математичний опис об'єкта у вигляді полінома другого порядку, який має такий вигляд:

$$Q_{\text{сум.дер.}} = 0,8998 + 0,27185 \cdot l + 0,11416 \cdot G + 0,04415 \cdot W - 0,00375 \cdot l^2 - 0,000832 \cdot G^2 - 0,000675 \cdot W^2 - 0,00004 \cdot l \cdot G - 0,000025 \cdot l \cdot W + 0,00004 \cdot G \cdot W. \quad (4)$$

Виконавши оптимізацію рівняння регресії (Lys, & Mysak, 2012a; Lys, & Mysak, 2012b; Lys, & Mysak, 2012c) для суміші деревини, отримаємо значення вхідних параметрів, за яких нижча теплота згорання (Q_h^p) досягає максимуму (табл. 2).

Табл. 2. Раціоналізація (суміш деревини)

Кодоване значення факторів		Натуральне значення факторів	
x_1	0,287303	l	35,746 мм
x_2	0,138703	G	68,467 нм³/год
x_3	0,200620	W	34,012 %
Q_h^p	10,427 МДж/нм³		

Максимальна нижча теплотворна здатність синтез-газу за відповідних раціональних вхідних параметрів (розміри частинок деревини $l = 36$ мм, кількість повітря $G = 68,5$ нм³/год, вологість суміші деревини $W = 34$ %) становить $Q_{\text{сум.дер.}}^p = 10,427$ МДж/нм³.

Висновки. Встановлено залежності нижчої теплоти згорання синтез-газу від кількості повітря, розмірів частинок та вологості подрібненої деревини, яку подають в камеру газогенератора.

Унаслідок реалізації В₃-плану отримано математичний опис об'єкта у вигляді полінома другого порядку. Виконано раціоналізацію отриманої залежності з метою визначення значень факторів, що забезпечують максимальне значення функції $Q_{\text{сум.дер.}} = 10,4$ МДж/нм³, а саме розміри частинок деревини $l = 36$ мм, кількість повітря $G = 68$ нм³/год, вологість суміші деревини $W = 34$ %. З експериментальних даних видно, що експериментальний газогенератор дає змогу газифікувати деревину, як з низькою, так і високою вологістю (більше 50 %); при тому, що для промислових газогенераторів вплив вологості на процес газифікації є значним.

Перелік використаних джерел

- Basu Prabir. (2010). *Biomass gasification and pyrolysis: practical design*. Academic Press is an imprint of Elsevier, USA, p. 376.
- Belikov, S. E., & Kotler, V. R. (2004). Nulevye vybrosy v atmosfere. *Teplotenergetika, 1*, pp. 69–72. [In Russian].
- Grycak, S. A. Kijko, O. A., & Kushpit, A. S. (2002). *Naukovi doslidzhennja v derevoobrobci*. Lviv: UkrDLTU, p. 26. [In Ukrainian].
- Lys, S. S., & Mysak, J. S. (2012a). Fyzyko-himichna model procesu gazyfikacii derevyny. *Visnyk inzhenernoi akademii Ukrainy, 2*, pp. 301–304. [In Ukrainian].
- Lys, S. S., & Mysak, J. S. (2012b). Vplyv vologosti derevyny na proces gazyfikacii derevyny metodom sucilnogo sharu. *Shidno-Jevropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 4/8(58)*, pp. 4–6. [In Ukrainian].
- Lys, S. S., & Mysak, J. S. (2012c). Termichna pererobka derevyny metodom sucilnogo sharu v gazopodibne palyvo. *Shidno-Jevropejskij zhurnal peredovyh tehnologij, 3/8(57)*, pp. 47–49. [In Ukrainian].
- Lys, S. S., Badera, J. S., & Gnatyshyn, Ya. M. (2009). Patent Ukrainy na korysnu model № 38952, МКР С10J 3/00. Gazogenerator (Vlasnyk: NLTU Ukrainy); Zajavl. 08.09.2008.; Opubl. 26.01.2009, Bjul. # 2. [In Ukrainian].
- Pylypchuk, M. I., Grygorjev, A. S., & Shostak, V. V. (2007). *Osnovy naukovykh doslidzen*. Lviv: Vyd-vo "Znannja", p. 234. [In Ukrainian].

АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ НИЗКОСОРТНЫХ ТОПЛИВ

Сегодня во многих странах активизировались работы по созданию и совершенствованию технологии термической переработки твердого топлива в газообразное топливо (синтез-газ), которое является удобным для последующего сжигания, как в горелках котлов различного назначения, так и в камерах сгорания двигателей различных типов. Главным преимуществом технологии газификации твердого топлива является низкий уровень негативного воздействия на окружающую среду. Поэтому по результатам теоретических и экспериментальных исследований нужно определить технологические параметры работы газогенераторной установки с определением рациональных параметров процесса: размеров частиц и влажности измельченной древесины, количества воздуха, подаваемого в камеру газификации, и разработать практические рекомендации по термической переработке древесины.

Ключевые слова: газификация твердого топлива, газообразное топливо, синтез-газ.

S. S. Lys

THE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL RESEARCH OF GASIFICATION PROCESS OF LOW-GRADE FUEL

There are many ways of recycling wood and its waste into energy. But one of the most perspective is gasification. Therefore, the technology of thermal recycling of wood fuel in gaseous fuel is an urgent problem to be solved. Consequently, our objective is to find the dependence of net calorific value of synthesis gas from the amount of air, humidity and particle size of chopped wood, which is fed into the gasifier. For the experimental research and development process of gasification of wood in gaseous fuel a gasifier with a continuous layer is designed. In the process of experimental research the author used a mix of wood (willow (*Salix alba* L.) in the amount of 1/3 of the total weight of the mixture, Pine (*Pinus sylvestris*) – 1/3 of the total weight of the mixture, birch (*Betula pendula* Roth.) – 1/3 of the total weight of the mixture). From experimental data we have evaluated the most optimal parameters gasification process of mixed wood, when net calorific value of synthesis gas reaches its maximum. We also obtained mathematical description of the object in a second order polynomial. To conclude, completed rationalization derived dependence to determine the values of the factors that ensure the maximum $Q = 10.4 \text{ MJ} / \text{m}^3$, namely the size of the particles of wood $l = 36 \text{ mm}$, the amount of air $G = 68 \text{ m}^3 / \text{h}$, a mixture of wood humidity $W = 34 \%$. The experimental data show that the experimental gasifier enables gasifying wood, at low and high humidity (50 %); while the gas generators for the industrial impact of humidity on the process of gasification is significant. Therefore, the results of theoretical and experimental researches should determine the technical parameters of the gas generator installation with the definition of rational parameters of the process: particle size and humidity of chopped wood, the amount of air that is fed into the gasification chamber and to develop practical recommendations for thermal recycling of wood.

Keywords: gasification of solid fuels; gaseous fuel; synthesis gas.

Інформація про автора:

С. С. Лис, канд. техн. наук, ст. викладач, НУ "Львівська політехніка", м. Львів, Україна.

E-mail: lysss@mail.ua