

Ключевые слова: *электрическое поле высокой напряженности, срок отлежки, всхожесть семян*

STUDY OF INFLUENCE OF SEED TREATING BY HIGH ELECTRIC FIELD ON SEED GERMINATION

**S. Usenko ,
O. Naumenko**

Abstract. *The results of studies of the impact of seed treatment cereals in the electric field of high tension on germinations on seeds. The efficiency of the electric field of high intensity on seed germination by depend of bining time.*

Keywords: *the electric field of high intensity, bining time, seed germination*

УДК 662.613.12:62.112

ТЕРМОДИНАМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ БІОМАСИ

В. А. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
А. Г. КОЛІЄНКО, кандидат технічних наук
Полтавський політехнічний університет
О. В. ШЕЛІМАНОВА, кандидат технічних наук
*Національний університет біоресурсів
і природокористування України*
e-mail: shelemanova@ukr.net

Анотація. *Наведено результати дослідження термодинамічної ефективності процесу газифікації біомаси та оптимізації факторів, які впливають на роботу газогенератора.*

Ключові слова: *газифікація біомаси, генераторний газ, термодинамічна ефективність, диверсифікація природного газу*

Постійне підвищення ціни на традиційні види палива та дефіцит природного газу, який є основним енергоносієм для вироблення теплоти в комунальній енергетиці, гостро ставить питання про економію та диверсифікацію природного газу в Україні.

Важливим енергетичним ресурсом, за допомогою якого можна здійснити заміну значної кількості традиційних видів палива, що використовуються в системах комунального теплозабезпечення та в теплоенергетиці, є біомаса, у тому числі низькокалорійні відходи. Україна

© В. А. Колієнко, А. Г. Колієнко, О. В. Шеліманова, 2016

має значний потенціал сухої горючої біомаси, що оцінюється у 16 млн т. у. п. та може замінити близько 80% природного газу що спалюється для потреб комунального теплопостачання. Найпоширенішим видом біомаси на сьогодні є деревина. Але переважна частина доступної деревини вже використовується як паливо. Значний енергетичний потенціал, згідно з оцінкою експертів [1, 2], мають відходи сільськогосподарського виробництва та інші відходи.

Але при використанні традиційних технологій прямого спалювання такого палива виникають фактори, які призводять до зменшення ККД паливних установок, підвищення токсичності продуктів згорання та ускладнення процесу експлуатації установок, а саме:

- змінний склад і висока вологість палива;
- високий уміст хлору, сірки та висока зольність (за винятком деревини);
- низька температура плавлення золи біопалива.

Крім того, близько 70 % котлів в Україні працюють на природному газі [3], і перехід на пряме спалювання низькокалорійних твердих видів палива означає повну реконструкцію котельних та систем паливopідготовки і спалювання. Важливо також мати можливість дублювання палива, оскільки в Україні поки що відсутня інфраструктура для надійного швидкого переведення роботи котлів з біомаси на природний газ. Здійснити такий перехід у котельних із твердопаливними котлами проблематично. Більшість із недоліків прямого спалювання відсутні при переході на інший спосіб використання біомаси – її газифікації, отриманні генераторного газу та його використання як палива.

Мета досліджень – вибір оптимальних технічних способів використання біомаси як палива в котельних, аналіз роботи пристроїв для газифікації задля підвищення їх ефективності, визначення факторів впливу на утворення генераторного газу, термодинамічна оцінка роботи газогенераторів.

Матеріали і методика досліджень. Експериментальні дослідження процесу газифікації біомаси було проведено на газогенератор зі зрідженим киплячим шаром в лабораторії кафедри хімічних технологій Королівського технологічного інституту (КТН), м. Стокгольм, Швеція. Склад генераторного газу, отриманий при газифікації біомаси з використанням повітряного дуття з різних типів твердого палива, наведено в табл. 1.

Під час експериментальних досліджень змінювали склад твердого палива, вологість у зоні реакції шляхом введення в газогенератор водяної пари, температури що підтримується в реакторі за допомогою електронагрівальних елементів, типу дуття, коефіцієнт надлишку повітря у зоні реакції.

Генераторний газ після газогенератора очищували від пилу й рідкої фракції (смоли) та охолоджували перед хімічним аналізом і подальшим використанням у паливоспалювальному обладнанні.

1. Склад синтез-газу, одержаного з різних видів твердого палива

Вихідне паливо	Склад синтез-газу							Джерело	Теплота згорання $Q_{н}^p$, ккал/нм ³
	H ₂	CO ₂	CO	CH ₄	C _m H _n	O ₂	N ₂		
Деревина суха	7,8	6	29,5	1,7	-	0,8	54,2	[4]	1240
Деревина волога, (W ^p до 20%)	16	9	20	2	0,2	1,5	41,3	[5]	1550
Солома житня	14,8	13,3	15,4	3,2	0,1	0,2	53	[6]	1121
Сухий гній	13,2	12,8	16,1	1,8	0,21	0,4	55,49	[6]	1017
Деревне листя	15,1	13,08	15,8	0,8	0	0,6	54,62	[6]	883

Результати досліджень. Процес газифікації та подальшого використання генераторного газу в котельних має ряд переваг порівняно з прямим спалюванням біомаси:

- можливість використання твердого палива з високою вологістю та низькою теплою згорання;
- зручне зберігання й транспортування генераторного газу;
- спрощення систем контролю та автоматизації процесу горіння й подачі палива;
- зменшення рівня утворення і концентрацій забруднюючих речовин у складі продуктів згорання – екологічні переваги;
- можливість більш точного підтримання співвідношення "паливо-повітря" в усьому діапазоні регулювання теплової потужності паливного обладнання; зменшення втрат теплоти з відхідними газами;
- можливість використання генераторного газу для отримання електричної енергії в когенераційних установках із тепловими двигунами;
- генераторний газ може бути використаний як сировина для вироблення чистих рідких видів палива;
- простота переходу роботи котлів із генераторного на природний газ без суттєвої реконструкції котельні, можливість роботи на суміші природного та генераторного газів.

Важливим є питання про оцінку ефективності роботи газогенератора. Зустрічаються різні способи оцінки результативності процесу газифікації:

- за складом і властивостями отриманого генераторного газу;
- за кількістю отриманого газу;
- за енергетичним потенціалом генераторного газу.

В основу запропонованої методики оцінки ефективності роботи газифікаційної установки було покладено тепловий і матеріальний баланс газогенератора.

Оцінку ефективності установки з газифікації пропонується здійснювати на основі поняття ефективності використання підведеної зовнішньої енергії. Запропонована величина враховує всі відмінності газифікаційного процесу від інших теплових процесів та особливості його реалізації.

Для формування рівняння визначення ефективності процесу було складено рівняння теплового балансу процесу у вигляді:

$$\sum_{i=1}^n Q_i^{\text{in}} = \sum_{i=1}^n Q_i^{\text{out}}, \quad (1)$$

де Q_i^{in} – енергетичний потік на вході до газифікаційної установки, Вт;

Q_i^{out} – енергетичний потік на виході з газифікаційної установки, Вт.

Якщо фізична теплота генераторного газу втрачається під час його очищення від пилу і смоли, а будь-яких відборів газу немає, то ефективність пропонується визначати згідно із залежністю:

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot Q_{\text{H sg}}^{\text{p}}}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + (Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}}} \cdot 100, \quad (2)$$

де V_{sg} – загальний вихід генераторного газу з 1 кмоль біомаси, кмоль;

$Q_{\text{H bio}}^{\text{p}}, Q_{\text{H bio}}^{\text{p}}$ – нижча теплота згорання твердого палива (біомаси) та синтез-газу, відповідно, кДж/кмоль;

$Q_{\text{ex}}^{\text{bio}}, Q_{\text{ex}}^{\text{air}}, Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}$ – енергія, що витрачається на підігрівання твердого палива, дуттєвого повітря (суміші кисню та азоту), генерування водяної пари, відповідно, що припадає на 1 кмоль біомаси що газифікується, кДж/кмоль;

Q_{ex} – додаткова енергія, що надходить до газогенератора від зовнішніх джерел, кДж/кмоль.

Якщо фізична теплота генераторного газу використовується корисно, то ефективність слід визначати за залежністю (3):

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot (Q_{\text{H sg}}^{\text{p}} + Q'_{\text{sg}})}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + (Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}}} \cdot 100, \quad (3)$$

де Q'_{sg} – фізична теплота генераторного газу, кДж/кмоль.

Виразимо загальну енергію, що підводиться до газогенератора у вигляді:

$$(Q_{\text{ex}}^{\text{bio}} + Q_{\text{ex}}^{\text{air}} + Q_{\text{ex}}^{\text{steam}}) + Q_{\text{ex}} = \Sigma Q_{\text{ex}}^{\text{i}}. \quad (4)$$

Частина додаткової енергії, що необхідна для роботи газогенератора, може бути отримана безпосередньо з генераторного газу, що при ньому утворюється. При цьому потенціал палива, що відбирається для потреб газифікації, буде більший на величину ефективності використання цього газу. Тоді рівняння (3) набуде вигляду:

$$\eta = \frac{V_{\text{sg}} \cdot (Q_{\text{H sg}}^{\text{p}} + Q'_{\text{sg}}) \cdot (1 - r)}{Q_{\text{H bio}}^{\text{p}} + \Sigma Q_{\text{ex}}^{\text{i}} \cdot (1 - r \cdot \eta_r)} \cdot 100, \quad (5)$$

де r – частка газу, що витрачається на власні потреби, част. од.;

η_r – ефективність використання енергії, на власні потреби, част. од.

Якщо в системі використовують рециркуляцію генераторного газу чи продуктів його згорання, то ефективність слід визначати за залежністю:

$$\eta = \frac{V_{sg} \cdot (Q_{H\ sg}^p + Q'_{sg}) \cdot (1 - q - f - r)}{Q_{H\ bio}^p + \sum Q_{ex}^i \cdot (1 - r \cdot \eta_r)} \cdot 100, \quad (6)$$

де q – частка рециркуляції генераторного газу в системі, част. од.;

f – частка генераторного газу що спалюється для рециркуляції продуктів згорання, част. од.

Для випадку, коли процес газифікації підтримується за рахунок зовнішнього джерела енергії (η_{ext}), величина частки газу на власні потреби $r = 0$. Якщо ж для підтримання процесу використовують безпосередньо вироблений генераторний газ (η_{int}), то $r > 0$.

У випадку повної самозабезпеченості процесу газифікації має бути виконана така умова:

$$\sum Q_{ex}^i = B_{sg}^p \cdot Q_{H\ sg}^p \cdot r \cdot \eta_r. \quad (7)$$

Для оцінки окремих факторів процесу газифікації на запропоновану величину термодинамічної ефективності роботи газогенератора було виконано експериментальні дослідження процесу газифікації деревини. Для отримання моделі використовувався метод планування експерименту.

Незалежними факторами – параметрами роботи газогенератора, було вибрано наступні:

X_1 – коефіцієнт надлишку повітря, у процесі газифікації (α_{bio});

X_2 – температура в реакційній зоні газогенератора, підтримувалася за рахунок компенсації втрат теплоти від газогенератора зовнішніми або внутрішніми джерелами енергії (t_{react} , °C);

X_3 – відносна вологість біомаси, яка надходить у газогенератор (W_{bio} , %).

Як параметр оптимізації вибрано термодинамічний коефіцієнт корисної дії газифікаційної установки (η).

Після вибору варіантів повного факторного експерименту типу 2^3 було побудовано матрицю планування експерименту 2^3 , вибрано основний рівень, інтервали варіювання, максимальне та мінімальне значення факторів у натуральних і кодованих значеннях у межах експериментальної області факторного простору. Характеристика факторів наведена в табл. 2.

2. Характеристика факторів експерименту 2^3

Характеристика факторів	Фактори		
	X_1 (α_{bio})	X_2 (t_{react} , °C)	X_3 (W_{bio} , %)
Основний рівень	0,275	900	27,5
Інтервал варіювання	0,225	100	22,5
Максимальний рівень фактора	0,5 (+1)	1000 (+1)	50 (+1)
Мінімальний рівень фактора	0,05 (-1)	800 (-1)	5 (-1)

Опрацювання отриманих результатів і визначення коефіцієнтів, які характеризують вплив окремих факторів, а також їх спільний вплив на параметр оптимізації, дають можливість отримати функцію відклику –

математичну модель, за якою можна оцінювати залежність основного термодинамічного показника ефективності роботи газогенераторів у межах прийнятої області факторного простору від вибраних параметрів роботи газогенератора. Перевірка адекватності отриманої лінійної функції відгуку за критерієм Фішера дала позитивний результат.

Під час аналізу виду залежності факторів впливу на параметр оптимізації було визначено, що найбільш точно такий взаємозв'язок відображує рівняння другого порядку. Тому така модель вибрана за основу.

Загальне рівняння, що враховує вплив усіх факторів впливу має вигляд:

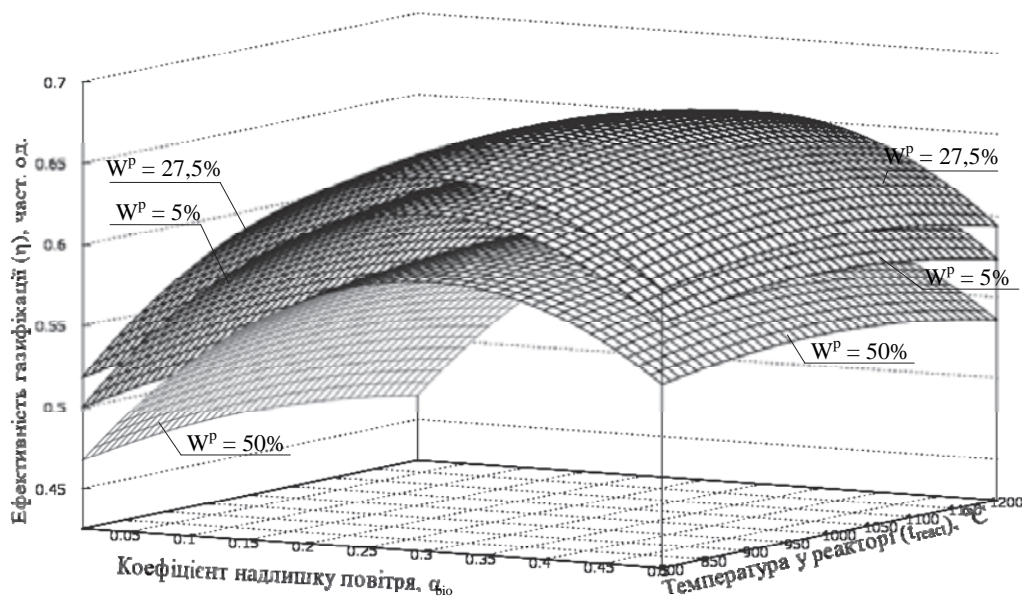
$$\eta = 0,5923 \cdot (-2,5822 \cdot \alpha_{\text{bio}}^2 + 1,5792 \cdot \alpha_{\text{bio}} + 0,833) \cdot (-0,000137 \cdot W^{\text{p}^2} + 0,00605 \cdot W^{\text{p}} + 0,9801) \cdot (0,0000005 \cdot t_{\text{react}}^2 + 0,0010706 \cdot t_{\text{react}} + 0,4778).$$

За допомогою методу "крутого сходження" виконано аналіз отриманого рівняння та пошук оптимальних умов газифікації для досягнення максимальної ефективності процесу. Обмежуючі умови були прийняті наступними: $\alpha_{\text{bio}} = 0,01 \dots 0,5$; $W^{\text{p}} = 5 \dots 50$ % мас.; $t_{\text{react}} = 800 \dots 1000$ оС [4].

Результати аналізу свідчать, що оптимальними умовами газифікації є наступні: $\alpha_{\text{bio}} = 0,3$; $W^{\text{p}} = 22$ % мас.; $t_{\text{react}} = 990$ ° С. Відповідно до розробленої та використаної моделі, ефективність процесу газифікації біомаси за таких умов становитиме 71 %.

Необхідної температури можна досягти за рахунок підведення теплоти до реактора з використанням генераторного газу, що утворюється у процесі. Необхідної вологості можна досягти за рахунок додаткового зволоження чи попереднього висушування біомаси.

На рисунку подано залежність ефективності процесу газифікації від температури процесу та коефіцієнта надлишку повітря за різної вологості біомаси.



Графік зміни ефективності газифікації біомаси вологістю 5 %, 27,5 %, 50 % у діапазоні температур 800 °С...1200 °С

Висновки

У роботі запропоновано залежність для визначення коефіцієнта корисної дії установки з газифікації, що враховує додаткові надходження та втрати теплоти у процесі. Такий спосіб визначення ККД газогенератора враховує неадіабатні умови протікання процесу й значно розширює перелік параметрів, що можуть бути використані для підвищення ефективності отримання генераторного газу.

За допомогою методу планування експерименту виконано аналіз впливу основних параметрів газифікації на його ефективність.

На основі отриманих даних складено рівняння регресії для визначення ефективності процесу газифікації залежно від вологості біомаси, коефіцієнта надлишку повітря й температури процесу.

За допомогою методу "крутого сходження" визначено оптимальні умови протікання газифікаційного процесу в заданих межах розгляду задачі, що гарантує досягнення максимальної ефективності установки.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 р. : схвалено Кабінетом Міністрів України 24.07.2013. – К., 2013. – 166 с.
2. Гелетуха Г. Г. Енергетичний потенціал біомаси в Україні / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна, М. М. Жовмір, Ю. Б. Матвеев // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – 2012. – Вип.153. – С. 36–41.
3. Про основні показники роботи опалювальних котелень і теплових мереж України : статистичний бюлетень. – К. : Державна служба статистики України, 2012. – 20 с.
4. Колієнко В. А. Підвищення ефективності газифікації біомаси і використання генераторного газу в теплових установках : дис. ... канд. техн. наук : 27.06.2015 / Колієнко Володимир Анатолійович. – Полтава, 2015. – 164 с.

References

1. Energy Strategy of Ukraine till 2030. Available at: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-13>.
2. Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Zhovmir, M. M., Matvieiev, Iu. B. (2010). Energetychnyi potentsial biomasy v Ukrayini [The energy potential of biomass in Ukraine]. Scientific Journal NUBiP Ukraine, 153, 36–41.
3. Pro osnovni pokaznyky roboty opalyvalnykh kotelen i teplovykh merezh Ukrainy : statystychnyi byuleten [On the main indicators of heating boilers and heating systems Ukraine: statistical bulletin] (2012). Kyiv, Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy, 20.
4. Koliienko, V. A. (2015). Pidvyshchennya efektyvnosti gazyfikatsiyi biomasy i vykorystannya generatornogo gazu v teplovykh ustanovkakh [Improving the efficiency of biomass gasification and the use of generator gas in thermal plants]. Poltava, 164.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ БИОМАССЫ

**В. А. Колиенко,
А. Г. Колиенко
Е. В. Шелиманова,**

Аннотация. Представлены результаты исследований термодинамической эффективности процесса газификации биомассы и оптимизации факторов, которые влияют на работу газогенератора.

Ключевые слова: газификация биомассы, генераторный газ, термодинамическая эффективность, диверсификация природного газа

THERMODYNAMIC EFFICIENCY OF BIOMASS GASIFICATION

V. Koliyenko,
A. Koliyenko
E. Shelimanova,

Abstract. The results of investigation of the thermodynamic effective operation of biomass gasification process and optimization of the factors that affect the gas generator's performance are given.

Keywords: gasification of biomass, syngas, thermodynamic efficiency, diversification of natural gas

УДК 621.3.067

АНАЛІТИЧНИЙ АНАЛІЗ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ РЕГУЛЯТОРА З ШІП ПІД ЧАС РОБОТИ НА АКТИВНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

I. М. ГОЛОДНИЙ, кандидат технічних наук
О. В. САНЧЕНКО, аспірант*
e-mail: golodnyi@ukr.net

Анотація. Наведено результати аналізу спектрального складу вихідної напруги регулятора на базі широтно-імпульсного перетворювача для асинхронного електропривода.

Ключові слова: вищі гармоніки, напруга, широтно-імпульсний перетворювач, спектральний склад, форма кривої напруги

Згідно з основами теорії кіл дослідження періодичних несинусоїдальних напруг і струмів, легше досліджувати, якщо криві розкласти в тригонометричний ряд Ейлера-Фур'є. Відомо, що будь-яка періодична функція $f(\omega t)$, що задовольняє умови Діріхле, може бути описана тригонометричним рядом [1]:

$$f(\omega t) = a_0 + \sum_n a_n \cos(n\omega t) + b_n \sin(n\omega t),$$

де $\omega = 2\pi/T$ – основна частота, якщо період функції $T = 2\pi$, то $\omega = 1$;

n – номер вищої гармоніки;

a_0 , a_n , b_n – коефіцієнти, відповідно, постійної, косинусної та синусної складових.