

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДВОСТАДІЙНОГО ПРОЦЕСУ ГАЗИФІКАЦІЇ СОЛОМИ

Цивенкова Н. М., Ярош Я. Д., Голубенко А. А., Терещук М. Б

Житомирський національний агроекологічний університет

*Запропоновано вдосконалену схему процесу газифікації соломи, що дозволяє підвищити ефективність генераторного процесу та якість виробленого горючого газу.*

**Постановка проблеми.** В Україні інтенсивно розвиваються напрямки заміни традиційних викопних джерел енергії на відновлювані. Одним з таких напрямків є виробництво горючого газу з соломи. Однак, з метою ефективного ведення даного процесу слід здійснювати попередню вартісну підготовку соломи до газифікації та забезпечити умови газифікації (температуру в реакційних зонах, кількість окисника, тиск).

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** За [1] підвищення ефективності процесу газифікації досягли шляхом узгодження конструктивно-технологічних параметрів камери газифікації з газодутьовим режимом та фізико-хімічними властивостями соломи. Однак представлена схема газифікації вимагає вартісної попередньої підготовки соломи.

За [2] розглядалася можливість підвищення ефективності газифікації використанням пароповітряної газифікації. Але застосування даного технічного прийому недостатньо досліджено.

Отже, актуальним залишається питання розробки технологічної схеми виробництва генераторного газу з метою забезпечення високої ефективності процесу.

**Мега статті.** Пропонується підвищити ефективність процесу виробництва горючого газу шляхом застосування двоступеневого процесу газифікації.

**Основні матеріали дослідження.**

Дослідження виконано на лабораторній установці, спроектованій в Житомирському національному агроекологічному університеті (ЖНАЕУ), схематичне зображення якої представлено на рис. 1.

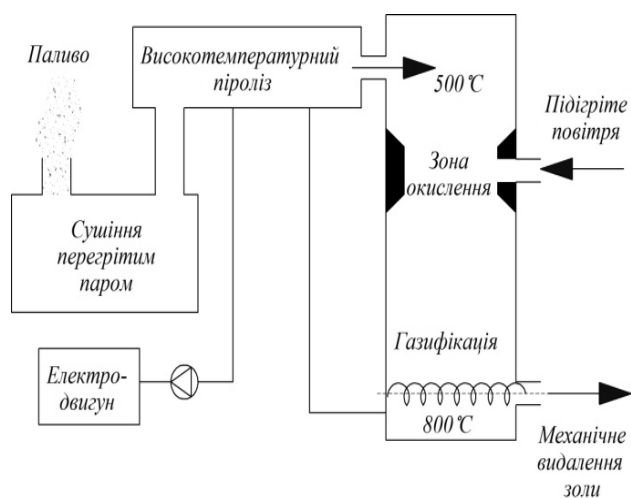


Рисунок 1 – Схема роботи газогенераторної установки двоступеневого процесу газифікації

Двоступеневий процес газифікації характеризується тим, що процеси піролізу та газифікації протікають у двох різних камерах, відокремлених між собою. У період між процесами піролізу та газифікації (в проміжній камері) летючі компоненти, отримані в процесі піролізу, частково окислюються. Завдяки цьому значна частина смол розкладається і переходить в газ.

З метою забезпечення високої енергетичної ефективності установки, тепло генераторного газу використовується для підсушування палива, нагрівання повітря та для процесу піролізу.

Двоступеневий процес газифікації забезпечує: низький вміст смоли в газі (менше 5 мг/м<sup>3</sup>); стабільність протікання процесу газифікації; високу ефективність за газом (до 90 %); високі екологічні показники.

В порівнянні з конструкціями газогенераторних установок попередників [2] двоступеневий процес газифікації, застосований до установки ЖНАЕУ, поєднав наступні переваги:

- використано розділення процесів газифікації і піролізу;
- застосовано сушіння палива перегрітим паром, що забезпечує максимальний крекінг смол в процесі газифікації, а тепло на створення парогазової суміші отримано від газу;
- на процес піролізу також використовується перегріта пара;
- в проміжок часу між періодами піролізу та газифікації забезпечується часткове окислення летючих;
- використання перегрітої пари на процес газифікації підвищує температуру в активній зоні газогенератора, а отже збільшує ефективність установки за газом.

Принципова схема процесу сушіння перегрітою паром представлена на рис. 2.

До переваг процесу сушіння перегрітою паром відноситься те, що пара підвищує теплову економічність процесу: зменшуються питомі витрати теплової енергії через можливість не тільки звести до мінімуму теплові витрати з викидами в атмосферу за рахунок замкнутої циркуляції пари, але і утилізувати більшу частину теплової енергії, витраченої на випаровування вологи з матеріалу.

В установці використано сушарку перегрітої пари продуктивністю 100 кг/год, що еквівалентно 0,5 МВт теплової енергії при використанні соломи вологістю до 50 %.

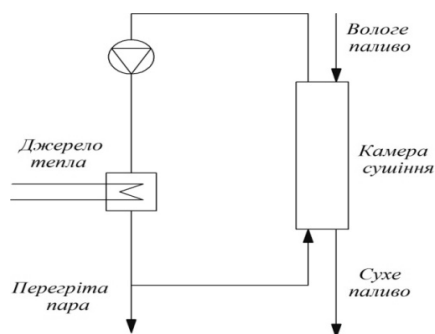


Рисунок 2 – Принципова схема процесу сушіння палива перегрітою парою

В представленому технологічному процесі перегріта пара також використовується як теплоносій для забезпечення процесу піролізу. Двоступеневий процес газифікації є придатним для палив з високим вмістом вологи. Палива з вмістом вологи понад 60 % газифікуються з максимальною ефективністю. Тому солома зернових є найкращим паливом для даного типу процесу газифікації, хоча придатним буде і використання інших видів біомаси.

При використанні в установці сухого палива, окрім перегрітої пари, до камери піролізу слід підводити енергію за рахунок інших теплоносіїв: вироблений в газогенераторі гарячий газ; додаткову вологу конденсату, яка накопичилась в системі очищення та охолодження генераторного газу та ін.

В газогенераторі даної установки в якості агента газифікації використовується перегріта пара. За [2] ефективність процесу газифікації при використанні перегрітої пари набагато вища ніж при використанні  $\text{CO}_2$ . Використання пари замість  $\text{CO}_2$  знижує температуру в активній зоні газогенератора, що зменшує ймовірність виникнення явища золошлакової агломерації.

Основні переваги застосування в процесі газифікації перегрітої пари наступні:

1. Нижча температура в зоні часткового окислення. Температура в цій зоні знижується приблизно на  $200\text{ }^\circ\text{C}$  в порівнянні з газифікацією сухого палива.
2. Менший вміст сажі в генераторному газі. Це відбувається частково завдяки нижчій максимальній температурі в реакційних зонах, а частково завдяки вищій концентрації ОН радикалів.
3. Зниження викидів у вихлопних газах двигуна. Склад генераторного газу відрізняється від газу, отриманого з сухого палива. Зростає вміст  $\text{H}_2$ , а  $\text{CO}$  – зменшується. Пришвиджується процес згорання газу, зменшуються викиди  $\text{CO}$  і  $\text{NO}_x$ .

Запропоновану двоступеневу технологічну схему виробництва генераторного газу можна реалізувати різними способами: газогенератором з суцільним та псевдозрідженим шарами.

Загальні переваги використання парової газифікації: низький вміст смол у газі; висока ефективність та стабільність процесу газифікації; система очищення газу є відносно простою та надійною; можливість використання отриманого газу для опалювальних потреб без додаткового очищення; висока вибухопожежна безпека при використанні камери сушіння палива; знижені значення максимальної температури в

газогенераторі; низькі викиди вихлопних газів при спалюванні в теплотехнічному обладнанні; висока ефективність газифікації при використанні палив з вмістом вологи 40...60 %.

Розглянемо процес парогазової газифікації з використанням газогенератора з рухомих шаром.

Для установок до 0,5 МВт камеру піролізу та газифікації доцільно виготовляти з рухомих шаром, наприклад, горизонтальну зі шнеком і вертикальним зольником.

Конструкція установки, представлена на рис. 3, містить газогенератор з суцільним шаром.

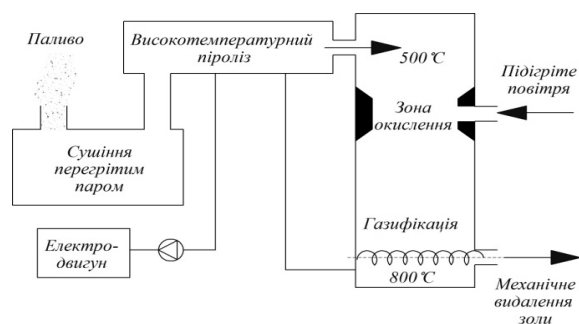


Рисунок 3 – Схема процесу двостадійної газифікації з газогенератором з суцільним шаром

Зона піролізу в даній технологічній схемі нагрівається від генераторного газу та перегрітою парою, тому час перебування біомаси в цій камері скорочується з 30...60 хв. до 5...12 хв. Відповідно, розміри камери піролізу можна значно зменшити. За результатами дослідження при використанні отриманого генераторного газу в електродвигуні електрична ефективність установки склала 35 %, а ефективність установки за виробленим газом 90 %.

Розглянемо процес парогазової газифікації з використанням газогенератора з псевдозрідженим шаром. Камери піролізу і газифікації було спроектовано зі зрідженим шаром. Такий процес двостадійної газифікації можна використовувати під установки більшої потужності.

Летючі піролізні гази (з вмістом смол) частково окислювалися в проміжній камері, що знизило вміст смол в газі до 0,2...0,5 мг/нм<sup>3</sup>. Це значно знизило вартість та експлуатаційні витрати системи охолодження та очищення газу, та підвищило її надійність. В камерах піролізу та газифікації псевдозрідження шару досягалося шляхом використання насиченої пари. Для вологих палив застосовувалася система осушення парою, де пара використовувалася в камерах піролізу та газифікації.

Було розроблено математичні моделі роботи установки з процесом двостадійної газифікації з подальшим використанням генераторного газу в: газовому двигуні; газовій турбіні прямого циклу; газовій турбіні з рекуперацією (рис. 4).

При моделюванні було прийнято наступні значення параметрів: вологість палива – 50 %; біомаса підсушується перегрітою парою до вологості 10 %; газифікація протікає при атмосферному тиску; перегріта пара використовується як при процесі піролізу, так і в процесі газифікації.

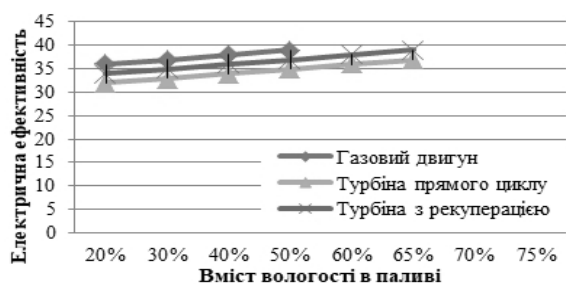


Рисунок 4 – Залежність електричної ефективності двигуна від вмісту вологості в паливі

Повітря перед подачею в камеру піролізу попередньо підігрівалося. Після проходження через систему очищення та охолодження генераторний газ мав температуру 45 °С для подальшого використання як в двигунах, так і в пальниках топкових пристроїв.

Таблиця 1 – Залежність температури в камерах газифікаційної установки від часу її роботи

Час роботи газогенератора, хв													
№	00	10	60	90	120	150	180	240	300	345	360	390	420
Температура в камері піролізу, °С													
T <sub>1</sub>	300	280	400	400	396	380	398	395	402	380	395	395	350
T <sub>2</sub>	378	460	450	450	448	470	480	478	490	445	488	488	400
T <sub>3</sub>	400	510	512	512	510	512	508	510	511	490	500	500	478
Температура часткового окислення частинок палива, °С													
T <sub>4</sub>	980	780	1080	1160	1090	1120	1100	1095	1110	1190	800	710	-
T <sub>5</sub>	995	890	990	1000	1050	1020	1020	1020	1020	1080	850	705	-
T <sub>6</sub>	920	860	900	940	980	970	980	980	990	900	800	705	-
Температура в камері газифікації, °С													
T <sub>7</sub>	710	690	805	805	805	815	810	810	803	800	750	600	550
T <sub>8</sub>	780	705	820	820	860	870	860	860	850	840	780	690	710
T <sub>9</sub>	780	705	840	840	880	890	880	880	870	860	790	740	640
T <sub>10</sub>	780	705	830	830	870	880	870	870	860	850	780	705	680

**Висновки.** Використання розділених камер піролізу і газифікації та перегрітої пари для даних процесів забезпечило стабільність процесу вироблення газу.

Отримано високу електричну ефективність 35 % і ефективність за газом до 90 %. Вміст смол в газі складає менше 5 мг/нм<sup>3</sup>.

Отримані результати можуть мати ефект масштабу при використанні більш потужних газифікаційних установок на біомасі.

#### Список використаних джерел

1. Цивенкова Н. М. Дослідження теплопродуктивності прямопотокового газогенератора на соломі / Н. М. Цивенкова, А. А. Голубенко // Вісник ЖНАЕУ. – 2016. – № 1 (53). – Т. 1. – С. 235–335.

2. Patra T. K. Biomass gasification models for downdraft gasifier: A state-of-the-art review / T. K. Patra, P. N. Sheth // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2015. – Vol. 50. – pp. 583-593.

На рис. 4. представлено залежність електричної ефективності двигуна від вмісту вологості в паливі для трьох наступних типів установок: газовий двигун з електричний к.к.д. 40 %; турбіна прямого циклу (тиск 20·10<sup>5</sup> Па та температурою горіння 1150 °С); турбіна з рекуперацією (тиск 6·10<sup>5</sup> Па, температура 950 °С).

На лабораторній установці ЖНАЕУ було підтверджено стабільність процесу газифікації, низький вміст смол і тепловий та масовий баланси процесу. Вміст смолу в неочищеному газі складав близько 1 г/нм<sup>3</sup>. Після пропускання його через елементарну систему фільтрації він зменшився до 25 мг/нм<sup>3</sup>. Після використання системи очищення і охолодження газу вміст смолу склав близько 2...3 мг/нм<sup>3</sup>.

В табл. 1 представлено температури в камерах піролізу, часткового окислення та газифікації установки двостадійного процесу газифікації.

#### Аннотация

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДВОСТАДИЙНОГО ПРОЦЕССА ГАЗИФИКАЦИИ СОЛОМЫ

Цивенкова Н. М., Ярош Я. Д.,  
Голубенко А. А., Терещук М. Б

*Предложена усовершенствованная схема процесса газификации соломы, которая позволяет повысить эффективность генераторного процесса и качество производимого горючего газа.*

#### Abstract

#### RESEARCH OF TWO-STAGE STRAW GASIFICATION PROCESS

N. Tsyvenkova, Ya. Yarosh,  
A. Golubenko, M. Tereshchuk

*An improved scheme of straw gasification process has been proposed. This scheme allows increase the generating process efficiency and the quality of produced generator gas.*