

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ІЗ РІЗНИХ ВИДІВ БІОМАСИ

Філіпова Г.А., кандидат технічних наук
Криворот А.І.

Постановка проблеми у загальному вигляді. Проблема економії традиційних нафтових палив на транспорті залишається однією з найгостріших проблем для всього світу. Збільшення споживання рідкого палива супроводжується виснаженням добре освоєних і зручно розташованих нафтових родовищ, внаслідок чого доводиться освоювати нові родовища, зазвичай у складно досяжних районах. Це у свою чергу призводить до подорожчання як самої нафти, так і нафтопродуктів.

Високий попит на енергію, а також спричинюване використанням традиційних нафтових палив забруднення навколишнього середовища спонукає до пошуку нових, поновлюваних і екологічно чистих джерел енергії, наприклад, палив, отримуваних з біомаси. Дослідження у сфері виробництва та застосування таких палив, зокрема генераторних газів із біомаси, є актуальними і останнім часом активно ведуться у багатьох країнах світу.

Переведення двигунів внутрішнього згоряння (як стаціонарних, так і транспортних) на генераторні гази дозволить значно зменшити забруднення атмосфери відпрацьованими газами (менші викиди і безпечніший їх склад). Також, оскільки генераторні моторні палива отримують на основі твердих горючих копалин або відновлювальних та місцевих видів палива (відходи деревообробки, сільськогосподарського виробництва, рослинна біомаса і т.д.), енергетична складова в собівартості продукції (у тому числі транспортної) знижується приблизно в 2...3 рази у порівнянні з паливами нафтопереробки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Генераторний газ утворюється в результаті газифікації твердого палива у спеціальних установках – газогенераторах. Газифікації може бути піддана більшість відомих видів твердих горючих копалин (вугілля, торф та ін.), а також відходи від виробництва (органічні відходи) [1, 2]. При цьому можна отримати газ із тими заданими параметрами, які значною мірою впливають на роботу двигуна внутрішнього згоряння: компонентним складом та теплотою згоряння.

Використання газу як палива для теплових двигунів має давню історію. Ще у тридцять роки XIX століття англієць Барнетт одержав патент на газовий двигун, а у 1860 році француз Е. Ленуар побудував двигун, що працював на суміші повітря й газу. Такий вибір палива нікого не здивував – бензину ще не було. Бензин як паливо для ДВЗ був використаний через два десятиліття: роком народження бензинового автомобільного ДВЗ вважається 1882. У XX столітті створення газогенераторних автомобілів було обумовлене бажанням замінити дефіцитний бензин твердим недефіцитним місцевим паливом. Зокрема в СРСР дослідні конструкції газогенераторних автомобілів з'явилися у 1923 – 1926 р.р., а серійний випуск таких автомобілів розпочато у 1936 р. А вже у 1941 р. СРСР за кількістю газогенераторних автомобілів посідав перше місце у світі [3].

Сьогодні генераторний газ розглядається як альтернативне паливо як для автомобільного транспорту, так і для децентралізованих електростанцій. У 1980-х і на початку 1990-х років були реалізовані важливі проекти електрифікації країн, що розвиваються [4, 5], застосуванням електростанцій із живленням ДВЗ, використовуваних для виробництва електроенергії, генераторним газом. В Індії у даний час з метою поліпшення енергетичних послуг у країні впроваджуються державні програми електрифікації сільських районів із застосуванням дрібних стаціонарних газогенераторних установок. Протягом останнього десятиліття у всьому світі постійно зростає інтерес до отримання газу для ДВЗ

електростанцій шляхом газифікації біомаси у газогенераторах із низхідним потоком [6]. Найчастіше використовують установки з реактором із відкритим верхом, легким доступом до активної зони та ручним завантаженням біомаси [7]. Дослідженням у сфері газифікації приділяють велику увагу з метою підвищення продуктивності виходу газу, випробування різних видів біоресурсів, а також пошуку інших способів застосування генераторного газу, крім живлення ДВЗ (наприклад, для виробництва рідкого палива).

Постановка завдання. Метою даної статті є висвітлення результатів експериментальних досліджень виходу та компонентного складу генераторного газу із різної біомаси, температурного характеру протікання реакції у генераторі та теплотворності отриманого газу. Дослідження проводились в лабораторії енергетики на базі Королівського технологічного університету (Стокгольм, Швеція).

Виклад основного матеріалу дослідження

Експерименти виконувались на стенді (рисунок 1), до складу якого входять стаціонарна газогенераторна установка із низхідним потоком (рисунок 2), витратоміри повітря (рисунок 3) та газу, газовий хроматограф та калориметр (рисунок 4).

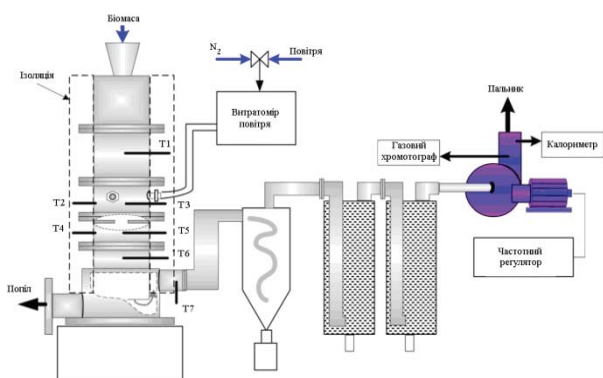


Рисунок 1. – Схема стенду для проведення експериментів



Рисунок 2. – Газогенераторна установка



Рисунок 3. – Витратомір повітря



Рисунок 4. – Калориметр

Реактор установки складається із п'яти циліндричних секцій \varnothing 150 мм. Реакційна зона звужена до \varnothing 90 мм. Рух газів через газогенератор здійснюється за допомогою відцентрового вентилятора з регульованою частотою обертання (рисунок 5). Повітря надходить у реактор через три сопла. Кількість повітря, що надходить, його температура та тиск фіксуються витратоміром повітря.



Рисунок 5. – Відцентровий вентилятор

Сопла для повітря розташовані на одному рівні по висоті та рівномірно по колу через 120°. Горіння починається на рівні надходження повітря. Продукти горіння пропускаються через реакційну зону, де проходить реакція газифікації. Реактор покритий ізоляцією з високою стійкістю (Isofrac), щоб підтримувати потрібну температуру всередині його (див. рис. 1). Температури в реакторі вимірюються термопарами, придатними до короткочасного використання у температурному діапазоні від -270°C до $+1300^{\circ}\text{C}$. Чотири термопари, розміщені безпосередньо над та під реакційною зоною (T2, T3, T4, T5), призначені для вимірювання температури біомаси в процесі газифікації, інші три (T1, T6, T7) – для вимірювання температури стін реактора (див. рис. 1).

Для того, щоб уникнути спікання золи і полегшити проходження газів, у газогенераторі відсутня колосникова решітка. Велика частина пилу при газифікації виходить разом із потоком газу і потрапляє у фільтр, тому зольна кришка потрібна тільки для видалення попелу між періодами роботи.

Отриманий газ очищається у трьох фільтрах: перший – пиловловлювач типу «циклон», два наступні – фільтри тонкого очищення, які складаються із металевих дисків з виступами та отворами, зібраних у пакети. За фільтрами встановлені вентилятор і пальник трубчастої форми. Проходячи через фільтри, газ одночасно охолоджується до потрібної температури, щоб уникнути надмірного нагрівання вентилятора і збільшити коефіцієнт наповнення циліндрів у випадку, коли газ одразу подається у ДВЗ. Після вентилятора (ще до пальника) частина газу за допомогою гнучких патрубків може відводитися до газового хроматографа Varian 4900 Micro GC (перед цим проходячи через додатковий фільтр надтонкого очищення із відведенням конденсату) або до калориметра. Перед роботою хроматограф калібрується і встановлюється на аналіз вмісту в отримуваному газі N_2 , CO_2 , CO , H_2 і CH_4 – основних компонентів генераторного газу. Калориметр слугує для вимірювання нижчої теплоти згорання отриманого газу. Також за його допомогою можна визначати швидкість горіння газу, але такі вимірювання при проведенні експерименту не виконувалися. Продуктивність газогенераторної установки визначали за допомогою витратоміра газу, встановлюваного всередині трубки пальника.

В експериментах використовувались гранули з деревини, цукрової тростини та відходів від фруктів (empty fruit bunch – EFB). Як видно із таблиці 1, в якій наведено вищу (ВТЗ) та нижчу (НТЗ) теплоту згорання різної біомаси, із всіх видів вихідної сировини найбільшу теплотворність має деревина.

Таблиця 1. – Теплотворність біомаси, використовуваної в експериментах

Запас енергії	Метод аналізу	Цукрова тростина	EFB	Деревина
ВТЗ, МДж/кг сухої речовини	SS-ISO 1928:1	$19,26 \pm 0,39$	$19,35 \pm 0,39$	$20,27 \pm 0,41$
НТЗ, МДж/кг сухої речовини	SS-ISO 1928:1	$17,93 \pm 0,36$	$18,05 \pm 0,36$	$18,99 \pm 0,38$

Геометричні та масові параметри гранул, використовуваних в експериментах, та їх фізичні характеристики наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Характеристики гранул, використовуваних в експериментах

Показники	Вид біомаси			
	EFB	EFB	Цукрова тростина	Деревина
	(Ø 8 мм)	(Ø 6 мм)	(Ø 6 мм)	(Ø 6 мм)
Діаметр гранул, мм	7,89 ± 0,36	6,05 ± 0,09	6,16 ± 0,1	6,29 ± 0,2
Довжина гранул, мм	11,0 ± 0,96	12,0 ± 2,3	11,7 ± 2,6	13,3 ± 5,8
Маса гранули, г	0,56 ± 0,08	0,40 ± 0,11	0,37 ± 0,1	0,42 ± 0,2
Вміст вологи, %	11,3	11,0	9,7	7,5
Густина гранул, кг/м ³	1040 ± 62	1152 ± 154	1049 ± 143	1013 ± 74
Насипна густина, кг/м ³	близько 580	близько 630	близько 590	близько 600

Перед завантаженням у реактор свіжі гранули ретельно зважувалися. Всі експерименти розпочиналися із холодним реактором, тобто без зовнішнього нагріву. Завершення роботи проводилось азотом для того, щоб швидко зупинити термохімічні процеси всередині реактора. Після використання кожного окремого виду гранул газогенератор та фільтруючі елементи прочищалися. Для кожного процесу газифікації визначалися та записувалися: кількість повітря, що надійшла у генератор; температури всередині реактора та температура його стін; кількість отриманого газу, його компонентний склад та нижча теплота згоряння.

Горючі гази, отримувані із деревини та цукрової тростини, можна було побачити на пальнику менш ніж через хвилину після запуску установки. Стабільність продукування горючого газу (рівномірність горіння полум'я без відриву) досягалася через 3...4 хв. після запуску установки на гранулах із деревини, 5...7 хв. – на гранулах із цукрової тростини. Гранули EFB були більш повільними на початку процесу.

Як видно із таблиці 3, в якій наведено кількісні характеристики результатів газифікації різної сировини, найбільша продуктивність спостерігається при використанні гранул із деревини, найменша – із цукрової тростини. Натомість гранули із EFB більшого діаметру показали максимальний середній питомий вихід газу.

Таблиця 3 – Продуктивність газогенератора на різних видах біомаси

Вид біомаси	Витрата біомаси, кг/год	Продуктивність газогенератора, нм ³ /год	Середній питомий вихід газу, нм ³ /кг
Деревина, Ø 6 мм	2,7 – 3,2	5,2 – 6,8	2,0 – 2,1
Цукрова тростина, Ø 6 мм	2,7 – 3,5	4,8 – 6,1	1,6 – 1,8
EFB, Ø 6 мм	2,4 – 3,3	5,0 – 6,2	1,8 – 2,1
EFB, Ø 8 мм	2,0 – 2,7	5,0 – 5,6	2,1 – 2,5

У таблиці 4 представлено компонентний склад газу (в об'ємних частках у відсотках кожного компонента) та нижчу теплоту згоряння сухого газу із різної сировини.

Таблиця 4 – Середні показники складу та нижча теплота згоряння отриманого газу

Сорт гранул	Компонентний склад газу, %					Запас енергії НТЗ (МДж/нм ³ сухого газу)
	N ₂	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	
Цукрова тростина, Ø 6 мм	52,6 ± 0,9	23,3 ± 1,2	9,9 ± 0,6	2,8 ± 0,3	11,4 ± 0,9	5,0 ± 0,1
Деревина, Ø 6 мм	50,4 ± 1,7	25,7 ± 1,7	11,9 ± 1,1	2,6 ± 0,2	9,9 ± 1,0	5,4 ± 0,3
EFB, Ø 6 мм	53,3 ± 2,2	17,0 ± 0,9	13,5 ± 0,8	1,9 ± 0,4	14,5 ± 1,2	4,3 ± 0,2
EFB, Ø 8 мм	55,0 ± 1,0	17,4 ± 1,5	12,9 ± 0,3	1,5 ± 0,2	13,7 ± 0,6	4,1 ± 0,2

З таблиці видно, що деревина як переробний матеріал у порівнянні з цукровою тростиною та фруктовими відходами дає найбільший вихід горючих газів, а склад газу після газифікації EFB найбідніший серед порівнюваних. Газ з цукрової тростини і деревини мають аналогічні склади з високим вмістом CO і CH₄ і низьким вмістом CO₂ і N₂. Якщо порівнювати НТЗ газів із різних сортів гранул, то побачимо відповідну залежність: через те, що у газі із EFB більше негорючих компонентів, НТЗ газу із цієї сировини нижча, ніж у газу із деревини та цукрової тростини. Гранули EFB дали більш високий вміст N₂ і CO₂, але, з іншого боку, в отриманому із них газі більше Н₂, характеристики якого позитивно впливають на величину НТЗ. Впливає на склад та НТЗ отриманого газу також і розмір гранул: газ, що генерувався з гранул EFB Ø 8 мм, має дещо меншу НТЗ, ніж газ, отриманий із гранул того ж матеріалу меншого діаметру (хоча, як вже відмічено вище, середній питомий вихід газу більший із крупніших гранул).

На рисунку 6 представлено температури (середні значення за декілька процесів газифікації) для кожного виду біомаси у відповідних зонах реактора (зверху вниз): температура біомаси над звуженням (над реакційною зоною) та після звуження (під реакційною зоною), а також температура стіни реактора після реакційної зони. Чим вища температура протікання реакції, тим вище вірогідність того, що у отриманому газі буде менше вуглецевих смол, які збільшують корозію і зношуваність тертьових деталей ДВЗ, для живлення якого використовується газ. Тому газ з деревини та цукрової тростини, отримуваний при вищих температурах, безпечніший для двигунів.

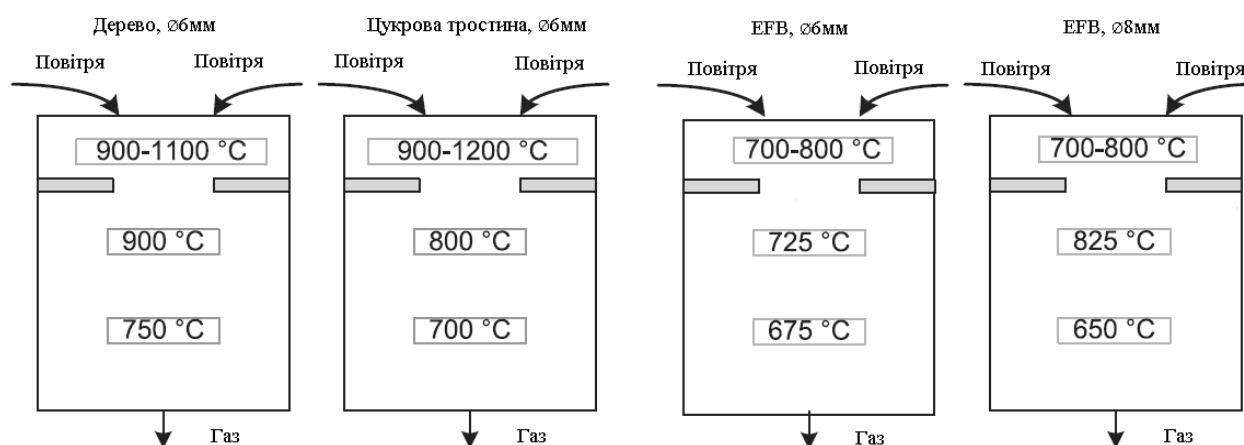


Рисунок 6. – Вертикальний розподіл температур у реакторі для різних видів біомаси

Висновок. Експерименти підтвердили, що кількість отриманого генераторного газу, його питомий вихід, компонентний склад та теплота згоряння безпосередньо пов'язані з видом вихідної сировини. Деревина забезпечує найбільшу серед порівнюваних видів біомаси продуктивність газогенератора та високий питомий вихід газу; отриманий із деревини газ має найбільшу НТЗ, а також з великою вірогідністю матиме мінімальний вміст вуглецевих смол.

Попри загальновідомі переваги застосування генераторних газів, цей вид палива має серйозний недолік, який полягає у його низькій НТЗ, набагато нижчій, ніж, наприклад, НТЗ природного газу (31...38 МДж/нм³), що в черговий раз підтверджено описаними дослідженнями. Зменшення НТЗ палива впливає на показники роботи ДВЗ, а при використанні генераторних газів для живлення автомобільних двигунів – на тягово-швидкісні властивості автомобіля.

Подальші експериментальні та теоретичні дослідження будуть присвячені підвищенню ефективності роботи ДВЗ на генераторному газі та поліпшенню тягово-швидкісних властивостей автомобіля з ДВЗ, який працює на цьому виді палива.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Терентьев В.М. Моторные топлива из альтернативных сырьевых ресурсов / В.М. Терентьев, В.М. Тюков, Ф.В. Смаль. – М. : Химия, 1989. – 272 с.
2. www.biogasportalen.se
3. Токарев Г.Т. Газогенераторные автомобили / Г.Т. Токарев. – М. : Машгиз, 1955. – 207 с.
4. Stassen HE. Small-scale biomass gasifiers for heat and power: a global Review. World bank technical paper no 296; 1995.
5. FAO (food and agricultural organisation of the United nations). Wood gas as engine fuel. FAO forestry papers no 72; 1986.
6. Reed T, Das A. Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems. The Biomass Energy Foundation Press; 1985.
7. Sharma AK. Experimental study on 75 kWth downdraft (biomass) gasifier system. Renew Energy 2009;34:1726–33.

РЕФЕРАТ

Філіпова Г.А., Криворот А.І. Експериментальне дослідження генераторного газу із різних видів біомаси. / Галина Андріївна Філіпова, Анатолій Ігорович Криворот // Вісник Національного транспортного університету. – К.: НТУ – 2013. – Вип. 27.

У статті представлені результати експериментів щодо отримання генераторного газу із різних видів біомаси.

Об'єкт дослідження – генераторний газ, який газифікується із різної біомаси.

Мета роботи – визначення виходу та компонентного складу генераторного газу із різної біомаси, температурного характеру протікання реакції у генераторі та теплотворності отриманого газу.

Метод дослідження – проведення експериментальних досліджень та аналіз їх результатів.

Експериментальними дослідженнями газифікації гранул із різної біомаси та різних розмірів встановлено вихід, компонентний склад та теплотворність генераторного газу, отриманого із деревини, цукрової тростини та фруктових відходів. Показано температурний характер протікання реакції в газогенераторі. Проаналізовано склад отриманих генераторних газів.

Отримані результати будуть використані у подальших експериментальних та теоретичних дослідженнях.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук та розробка технічних заходів з підвищення ефективності роботи ДВЗ на генераторному паливі та поліпшення показників тягово-швидкісних властивостей автомобіля з ДВЗ, який працює на цьому виді палива.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГАЗИФІКАЦІЯ, БІОМАСА, ГАЗОГЕНЕРАТОРНЕ ПАЛИВО, ТЕПЛОТВОРНІСТЬ.

ABSTRACT

Filipova G.A., Kryvorot A.I. Experimental investigation of generating gas from different biomass types. / Galyna Filipova, Anatolii Kryvorot // Herald of the National Transport University. – K.: NTU – 2013. – Issue. 27.

In the article are presented the results of experimental research regarding generator gas which was prepared from different biomass types.

The object of study – the generator gas which was prepared from different biomass types.

The purpose of study – determining the output gas and component composition generator gas from various biomass types, the temperature in the reactor and reaction character and lower heating value from derived gas..

Methodology – conducting experimental researches and analysis of their results.

By experimental researches of pellets gasification from different and various sizes biomass was determined: output, composition and lower heating value generator gas which was prepared from wood, sugar cane and empty fruit bunch. The temperature in the reactor and reaction character was shown. Obtained composition gases have been analyzed.

Received results will be used in further experimental and theoretical researches.

Forecasts assumptions about the object of study – searching and developing technical measures aimed at improving the efficiency of internal combustion engines that is using generator fuel and the improvement of tractive and velocity characteristics of vehicles operating on generator gas fuel.

KEYWORDS: GASIFICATION, BIOMASS, GENERATOR GAS, LOWER HEATING VALUE.

РЕФЕРАТ

Филиппова Г.А., Криворот А.И. Экспериментальное исследование генераторного газа из разных видов биомассы. / Галина Андреевна Филиппова, Анатолий Игоревич Криворот // Вестник Национального транспортного университета. – К.: НТУ – 2013. – Вып. 27.

В статье представлены результаты экспериментов по получению генераторного газа из разных видов биомассы.

Объект исследования – генераторный газ, который газифицируется из разной биомассы.

Цель работы – определение выхода и компонентного состава генераторного газа из разной биомассы, температурного характера протекания реакции в генераторе и теплотворности полученного газа.

Метод исследования – проведение экспериментальных исследований и анализ их результатов.

Экспериментальными исследованиями газификации гранул из разной биомассы и разного размера установлены выход, компонентный состав и теплотворность генераторного газа, полученного из древесины, сахарного тростника и фруктовых отходов. Показан температурный характер протекания реакции в газогенераторе. Проанализирован состав полученных генераторных газов.

Полученные результаты будут использованы в дальнейших экспериментальных и теоретических исследованиях.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – поиск и разработка технических мероприятий по повышению эффективности работы ДВС на генераторном топливе и улучшению показателей тягово-скоростных свойств автомобиля с ДВС, работающим на этом виде топлива.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГАЗИФИКАЦИЯ, БИОМАССА, ГАЗОГЕНЕРАТОРНОЕ ТОПЛИВО, ТЕПЛОТВОРНОСТЬ.