

УДК 62-626.42

DOI: 10.18372/0370-2197.3(92).15940

І. І. ОБОДОВСЬКИЙ, В. С. МОРОЗОВ

НТУУ «КПІ» ІМ. СІКОРСЬКОГО, м. Київ

ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ ІСТОРИЧНИХ ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА НАПРЯМКІВ ВИКОРИСТАННЯ ПІРОЛІЗНОГО ГАЗУ В ПОБУТІ ТА ПРОМИСЛОВОСТІ

Стаття присвячена огляду можливостей використання піролізного газу в якості альтернативного варіанту пального в різних сферах господарства та промисловості. Власне, явище піролізації речовин та існування піролізного газу було відкрите ще в кінці XVII ст., а різноманітні методи та технології використання піролізного газу в якості палива для цюїно винайдених двигунів внутрішнього згорання успішно використовувались з кінця XIX ст. у двигунах автомобілів, кораблів та локомотивів до середини XX ст.. коли по всьому світові почали відкривати великі запаси нафти. Однак, технологія використання піролізного газу існує і в наші часи та обмежено використовується в різних сферах, що й буде детально розглянуто та проаналізовано для уточнення подальшої діяльності в цьому науковому напрямку.

Ключові слова: піроліз, газогенератор, піролізний газ, альтернативні палива, енергетика, переробка сміття, системи опалення.

Вступ. Більшість аналітиків у сфері нафтогазової та енергетичної промисловості стверджують, що світових запасів нафти та інших вичерпних видів палива, як наприклад вугілля чи торфу, вистачить населенню Землі ще приблизно на 400 років. Окрім використання нафти в якості сировини для отримання різних видів пального, з неї також виготовляються інші нафтопродукти, які використовуються для виробництва різноманітних товарів промислового та господарчого призначення, як наприклад: фарби, пластмаси, змащувальні матеріали, тощо. Темпи їх виробництва постійно зростають, незважаючи на численні спроби запровадити виробництво альтернативних речовин. Це означає, що навіть якщо вичерпні натуральні ресурси закінчаться, то людство матиме залишковий вид джерела енергії – сміття. Господарські та промислові відходи можуть бути піролізовані в спеціальних установках, що називаються піролізні газогенератори. В цих установках відходи повністю або частково можуть бути перетворені на піролізний газ, що складається переважно з чадного газу та водню, а також інших сполук цих та інших речовин. Піролізний газ є горючим та може бути використаний як додаткове джерело теплоутворення, так і в якості окремого виду пального. Термодинамічні характеристики піролізного газу залежать від сировини, з якої він утворюється, а також від конструкції газогенератора.

Аналіз існуючих досліджень та публікацій. Існує доволі об'ємна робота на тему спалювання твердих палив, виконана у 2010 р. У Санкт-Петербурзькому державному технічному університеті, РФ. [1] Ця робота включає детальний історичний огляд піролізу як фізичного явища, перших спроб використання піролізного газу в промисловості та загальну інформацію, що необхідна для розуміння технології використання піролізу. Однак, базова інформація доповнена детальним описом існуючих типів газогенераторів з поясненням доцільності використання кожного типу в залежності від завдань, які вони мають вирішувати. Автори Альошина А. С. та Сергеев В. В. також описують дві важливі речі: про-

мислове використання піролізних газогенераторів, а також кілька методів очищення піролізного газу від негорючих домішок — пилу, смол, оксидів, тощо.

Інше дослідження [2] присвячене вивченню спалювання біомаси. Автори С.Н. Кузьмін, В.І. Ляшков та Ю.С. Кузьміна крок за кроком пояснюють що таке біомаса, які є способи її спалювання. Вони наводять приклади конструкції різних печей та способи розрахунку їхніх параметрів в залежності від типу біомаси, що має бути спалена. Дослідження також містить приклади розрахунків термодинамічних параметрів печей, що є дуже цінною інформацією для майбутнього дисертаційного проекту.

Також, дана робота є логічним доповненням та продовженням оглядової роботи автора Ободовського І.І.[3] щодо вибору типу газогенератора для ГТД. Однак, дана робота більш охоплює більш широкий діапазон інформації щодо технології використання піролізного газу.

Мета роботи. Метою даного дослідження є огляд та аналіз усіх наявних на сьогоднішній день технологій застосування піролізного газу в різних цілях для того щоб на основі цих даних отримати можливість розпочати проектування ГТД, що працюватиме на піролізному газі.

Ідея роботи. Довести, що технологія використання піролізного газу не лише не є застарілою, як вважається світовою науковою спільнотою, але й цілком придатна до використання і в наш час. Але, що найголовніше — піролізація побутових відходів дозволить пришвидшити їх утилізацію водночас з економічною вигодою — отриманням дешевої електричної енергії.

Історичний огляд. Власне, саме явище піролізу [4] є вже давно відкритим та досить добре дослідженим. Перші відомі випадки спроб застосування піролізного газу в якості палива для двигунів внутрішнього згоряння зафіксовані в кінці XIX ст., тоді ж коли двигуни внутрішнього згоряння з'явилися у своєму сучасному вигляді та почали замінювати широко розповсюджені парові двигуни. Дві жахливі світові війни, що відзначилися застосуванням найновітніших видів озброєння, також показали той факт, що у сучасних бойових діях мобільність всіх одиниць військової техніки цілком залежить від наявності нафтопродуктів, а також те, що цілі армії можуть бути абсолютно небоєздатними якщо країна втрачає доступ до ресурсів нафти у випадку знищення транспортних комунікацій ворогом, або захоплення ним джерел нафти. Більш того, деякі військові операції були сплановані так, що в їх результаті будуть захоплені джерела нафти, однак, зазвичай техніці не вистачало наявних запасів пального для успішного завершення операції та отримання доступу до нафти. Саме тому вже під час Першої світової війни ідея використання альтернативних видів палива почала досліджуватись вченими, а до моменту початку Другої світової війни та під час її ходу ця ідея була технологічно відпрацьована та використана на практиці. Так, вантажівки, які були переведені на використання піролізного газу замість бензину та дизелю, стали справжніми робітниками тилу (рис. 1), розвозячи озброєння, припаси, та інші вантажі в складі збройних сил СРСР, США, Британії, Німеччини, Франції.[5]

Після закінчення війни піролізні вантажівки продовжували працювати на благо цих держав вже в мирних цілях, але й багато було побудовано легкових піролізних автомобілів, які залишались популярним видом транспорту аж до 1970-их рр., коли в СРСР, ОАЕ, Ірані та Іраку було відкрито величезні запаси нафти.



Рис. 1. Вантажний автомобіль «Уралзіс» з вмонтованим газогенератором для роботи на піролізному газі, перша половина 1940-их рр.

Огляд сучасних напрямків використання піролізного газу. Спершу потрібно розглянути що ж, власне, являє собою піролізний газ. В залежності від сировини, це суміш газів, основним компонентом серед яких є або водень, або ж (найчастіше за все) чадний газ. [6] Типовими прикладами сировини для піролізного газу є деревне вугілля, деревина, органічні відходи, в тому числі відходи харчової промисловості. Піролізація деревини дозволяє отримувати чадний газ, тоді як піролізація відходів харчової промисловості дозволяє отримувати водень, який, будучи очищеним від домішок, є ідеальним паливом для побутового та промислового використання. Але водень потребує особливо обережного ставлення при його використанні, тоді як чадний газ не детонує, а його теплотвірна здатність приблизно у 8 разів менша ніж у нафтопродуктів, що очевидно вимагає додаткових модифікацій двигунів внутрішнього згоряння, які будуть переведені на згоряння піролізного газу, а саме: збільшення робочого об'єму циліндрів/камер згоряння, встановлення систем очищення газу від домішок, регулювання часу затримки запалювання, тощо.

Піролізні котли. [7] Найбільш популярним та чи не єдиним сучасним напрямком використання технології піролізу. В таких котлах, які переважно працюють на паливних пелетах, піролізний газ є лише побічним продуктом згоряння пелет та використовується як додаткове джерело енергії для доспалювання деревини в котлі. Конструкція котла є відносно нескладною та дозволяє його виготовлення навіть в умовах приватної майстерні (рис. 2).

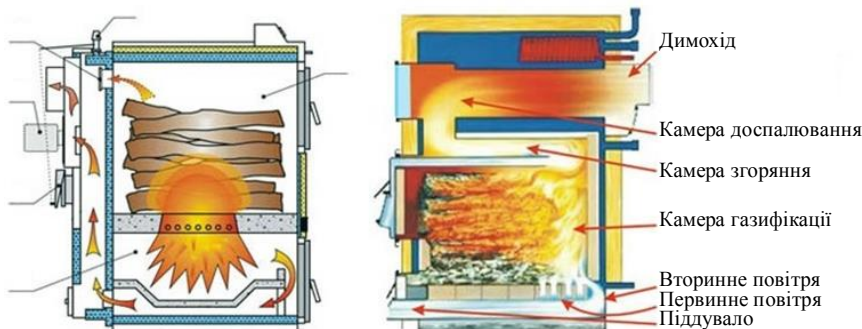


Рис. 2. Схема типового піролізного побутового котла: 1 – камера газифікації; 2 – камера згоряння; 3 – повітряний шибер; 4 – димовідсмоктувач; 5 – шибер прямого ходу; 6 – терморегулятор

Утилізація шин. Окремим видом піролізного агрегату можна вважати установку, що дозволяє піролізувати старі автомобільні та інші покриття. При нагріванні до температури $+450^{\circ}\text{C}$ гума піролізується на вуглеводні, серед яких присутній і бензин, а також вуглеводні толуольної та бензольної групи. Цікавим є те, що піролізна установка спочатку має бути нагріта за допомогою зовнішнього джерела тепла, а потім може підтримувати горіння за допомогою отриманої суміші рідких вуглеводнів. Отриману суміш вуглеводнів можна очистити до якісного бензину шляхом гідрогенізації субстрату, використовуючи певний метал-каталізатор [8].



Рис. 3. Саморобна установка для піролізації шин

Коксовий газ. Виробництво коксу достатньо давно розглядається як окремий вид промисловості, оскільки кокс є основою металургійної промисловості. В даному випадку основною відмінністю від теми, що розглядається, є те, що основною метою коксохімічної промисловості є отримання коксу — твердого продукту камінного вугілля. А продукт процесу коксування — коксовий газ на коксохімічних станціях розглядається як непотрібні відходи виробництва й в більшості випадків спалюється з метою нагрівання коксової батареї, або ж в ліпшому випадку збирається для отримання бензолів/толуолів в рідкому стані. Проте, існує необхідність розглянути коксовий газ як потенційне паливо для ГТД, які були б встановлені біля коксових батарей.

Деревний оцет та рідкий дим. Ця органічна речовина є одним з продуктів піролізу деревини та раніше використовувалась як харчова добавка. В наш час офіційно визнана канцерогеном та заборонена до використання в харчовій промисловості, проте може бути заміником натурального оцту в інших видах промисловості. Проте, концентрований деревний оцет виробляється і в наш час й відомий як рідкий дим, який дозволений до використання у харчовій промисловості в якості ароматизатора. [9]

Спалювання РДФ. РДФ (від. англ. RDF(Refuse Derived Fuels) – палива з відходів) є сумішшю у різних пропорціях мілко подрібнених та змішаних залишків паперу, пластмас, фольги, пакетів тощо. Ідея такої переробки сміття полягає в тому, що РДФ дозволений до утилізації методом спалювання на відміну від, на-

приклад, пластмас. Вважається, що різне відсоткове співвідношення компонентів РДФ, на виході дає змогу контролювати викиди в атмосферу. Саме тому РДФ різних марок може бути дозволений/заборонений до імпорту/експорту з/в країну. РДФ різних марок може слугувати сировиною для піролізного генератора або ж котла, в залежності від співвідношення його складових.[10]

Висновки. Піролізний газ є невичерпним джерелом енергії, яке може бути актуальним навіть у випадку раптового зменшення наявних об'ємів світових нафтопродуктів. Технологія використання піролізного газу цілком може використовуватись у сучасній промисловості та побуті, але потрібно вдосконалювати способи очищення піролізного газу та продуктів його горіння від шкідливих домішок, а також вирішувати питання їх безпечної утилізації.[11]. Вирішення цих проблем дозволить повернути піролізний газ до активного використання.

Список літератури

1. Алешина А. С., Сергеев В. В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
2. Кузьмин, С.Н. Биознергетика : учебное пособие / С.Н. Кузьмин, В.И. Ляшков, Ю.С. Кузьмина. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с. – 100 экз. – ISBN 978-5-8265-1047-6.
3. Ободовський І.І., Варламов Г.Б. Вибір конструкції піролізного газогенератора для живлення гту піролізним газом / Ободовський І.І. / Сучасні проблеми наукового забезпечення енергетики Матеріали XIX Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених і студентів м. Київ, 20–23 квітня 2021 року ТОМ 1
4. Бондаренко Б.І. Проблема утилізації твердих побутових відходів та знешкодження небезпечних відходів в Україні: Від проекту концепції – до державної науково-технічної програми. / Б.І. Бондаренко, В.А Жовтянський./ Энерготехнологии и ресурсосбережение, 2008, №4
5. А. А. Самылин. Автомобильный Газогенератор - Технология Будущего - <http://www.lesprom.spb.ru/> (востанне відкрито 01.06.21)
6. General information about pyrolysis – <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/wyndmoor-pa/eastern-regional-research-center/docs/biomass-pyrolysis-research-1/what-is-pyrolysis/> (востанне відкрито 31.08.21).
7. Пиролизный котел своими руками - <https://aqua-rmnt.com/otoplenie/kotly/pirroliznyj-kotel-svoimi-rukami.html> (востанне відкрито 31.08.21)
8. Описание технологии пиролизной переработки шин - <https://rcycle.net/rezina/shiny/pererabotka-pokryshek-metodom-pirroliza> (востанне відкрито 01.08.21).
9. George A. Burdock (2010), "PYROLIGNEOUS ACID", Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients(6thed.), Taylor & Francis, pp.1774–1775.
10. The Contents of Pyrolysis Gas – <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ra/c7ra08559a#!divAbstract> (востанне відкрито 31.08.21)
11. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: «Наука», 1972.

Стаття надійшла до редакції 26.08.2021.

Ободовський Іван Ігорович – аспірант, Національний технічний університет України “КПІ ім. І.І. Сікорського”, Київ, Україна; ivan.obodovsky@gmail.com.

Морозов Вячеслав Сергійович – аспірант, Національний технічний університет України “КПІ ім. І.І. Сікорського”, Київ, Україна; morozov09@ukr.net.

OBODOVSKIY I. I., MOROZOV V. S.

THE OVERVIEW AND ANALYSIS OF HISTORIC AND MODERN TECHNOLOGIES OF HOUSEHOLD AND INDUSTRIAL PYROLYSIS GAS APPLICATION

The article is dedicated to the overview of opportunities of pyrolysis gas application as an alternative kind of fuel in industry and household. The pyrolysis phenomenon itself was discovered in the end of XVII cent., while the various methods of pyrolysis gas application as a fuel for recently invented internal combustion engines were successfully used from the late XIX cent. In automotive, marine and railway engines till mid XX cent. when large oil sources were discovered all over the World. However, the technology of pyrolysis gas application still exists nowadays and applied in a limited ways in different spheres, which is going to be analyzed in the article for discovering further research opportunities on this topic.

Keywords: pyrolysis, gas generator, pyrolysis gas, alternate fuels, electricity generation, wastes recycling, heating systems.

Referenses

1. Aleshina A. S., Sergeev V. V. Gazifikaciya tverdogo topliva: ucheb. posobie. - SPb. : Izd-vo Politekhn. un-ta, 2010. [Gasification of solid fuels]. Polytechnic University Press, Saint-Petersburg (in Russian)
2. Kuz'min, S.N. Bioenergetika : uchebnoe posobie / S.N. Kuz'min, V.I. Lyashkov, YU.S. Kuz'mina. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2011. – 80 s. – 100 ekz. – ISBN 978-5-8265-1047-6. [The handbook on Bioenergy]. Tambov Technical University, (in Russian)
3. Obodovskyi Ivan, Varlamov Genadiy. Vibir konstrukcii piroliznogo gazogeneratora dlya zhivlennya gtu piroliznim gazom [The choice of the pyrolysis gas generator construction for gas turbine engine gas supply]. Problems of scientific support of energy industry. Compilation of materials of 19th International Young Scientists' Conference, Kyiv, 2021 (in Ukrainian)
4. Bondarenko V.I. Problema utilizacii tverdih pobutovih vidhodiv ta zneshkodzhennya nebezpechnih vidhodiv v Ukraïni: Vid proektu koncepcii – do derzhavnoi naukovo-tekhnichnoi programi. (The problem of getting rid of household & dangerous wastes in Ukraine. From conception to the state scientific program). "Energotekhnologii i resursosberezhenie", 2008, №4 ("Energy technologies and resources saving" magazine, year 2008, №4. (in Ukrainian)
5. A. A. Samylin. Avtomobil'nyj gazogenerator - tekhnologiya budushchego [Automobile gas generator – a technology of the future] <http://www.lesprom.spb.ru/> (in Russian, last opened 01.06.21)
6. General description of pyrolysis phenomena - <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/wyndmoor-pa/eastern-regional-research-center/docs/biomass-pyrolysis-research-1/what-is-pyrolysis/> (last opened 31.08.21)
7. Piroliznyj kotel svoimi rukami [DIY pyrolysis heater] <https://aqua-rmnt.com/otoplenie/kotly/piroliznyj-kotel-svoimi-rukami.html> (in Russian, last opened 31.07.21)
8. Opisanie tekhnologii piroliznoj pererabotki shin [The description of technology of pyrolysis tyres recycling] - <https://rcycle.net/rezina/shiny/pererabotka-pokryshek-metodom-piroliza> (in Russian, last opened 01.08.21)
9. George A. Burdock (2010), "PYROLIGNEOUS ACID", Fenaroli's Handbook of Flavor Ingredients(6thed.), Taylor & Francis, pp.1774–1775
10. Quan Xu, Jason Street. Pyrolysis gas as a carbon source for biogas production via anaerobic digestion – <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2017/ra/c7ra08559a#!divAbstract> (last opened 31.08.21).
11. Vargafik N.B. Spravochnik po teplofizicheskim svojstvam gazov i zhidkostej. M.: «Nauka», 1972.m [Reference book on heat properties of fluids]. Moscow, "Nauka" [The Science], 1972 (in Russian).