



Матеріали XXIV Міжнародної науково-практичної конференції
«Екологія. Людина. Суспільство» (5 червня 2024 р., м. Київ, Україна)

Handbook of the XXIV International Science Conference
«Ecology. Human. Society» (June 5, 2024, Kyiv, Ukraine)

ISSN (Online) 2710-3315

<https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304841>

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОДЕРЖАННЯ МОТОРНОГО ПАЛИВА ІЗ ОРГАНІЧНИХ ВІДХОДІВ

Олена ІВАНЕНКО¹, Андрій ТРИПОЛЬСЬКИЙ², Данило ФАТЄЄВ¹

¹Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського

Берестейський проспект, 37, м. Київ, 03056, Україна

²Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України,

проспект Науки, 31, м. Київ, 03028, Україна

Email: danchikqwe@ukr.net

Анотація

В роботі розглядаються можливості удосконалення процесу одержання моторного палива із вуглецевмісних відходів, розглядаються основні типи сировини, стадії, основні стадії процесу BTL, обґрунтовується доцільність використання біогазової установки та бі-реформінгу для отримання синтез-газу. В процесі одержання синтез-газу аналізуються основні вихідні параметри конверсії метану, що впливають співвідношення вуглецю до водню у вихідному продукті. Описуються основні теоретичні аспекти процесу анаеробного бродіння та синтезу Фішера-Тропша. Проводиться аналіз продуктів реакції Фішера-Тропша та подальше поводження із побічними продуктами.

Ключові слова: біомаса, біопаливо, анаеробне бродіння, газифікація, бі-реформінг, біогазова установка, метаногенез, гідроізомеризація.

З огляду на сучасні екологічні виклики та необхідність зменшення залежності від викопних видів палива, розробка технологій отримання моторного палива з органічних відходів набуває особливої важливості для укріплення паливно-енергетичного комплексу України, що впливає на її загальний економічний стан. Розроблення альтернативних шляхів одержання моторних палив є визначальним вектором розвитку енергетики, оскільки традиційні джерела енергії, на яких побудована сучасна промисловість, є вичерпними та здійснюють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

Мета роботи – вдосконалення технології одержання моторного палива з органічних відходів шляхом використання біогазової установки. Це передбачає оптимізацію процесів збору, обробки та переробки органічних відходів, а також підвищення ефективності та економічної доцільності виробництва біогазу.

Наукова новизна цього дослідження полягає у розробці та впровадженні інноваційних підходів до технології переробки органічних відходів у моторне паливо. Це включає використання залізно-вмісного каталізатору, що підвищує вихід та якість моторного палива, також вдосконалення процесів анаеробного зброджування. Дослідження також охоплює оптимізацію параметрів паро-вуглецевої конверсії та процесу Фішера-Тропша для підвищення ефективності виробництва та мінімізації енергетичних затрат.

В залежності від типу сировини існує чотири покоління біопалив [1].

Перше покоління біопалива синтезується за використання традиційних технологічних процесів, що використовують харчові рослинні відходи - кукурудзу, пшениця, крохмаль та цукор, а також тваринні жири.

Сировиною для другого покоління біопалив виступають не продовольчі сільськогосподарські та лісові відходи, до яких відносять лушпиння, листя дерев, залишки рослинної сировини, деревне коріння та інші. В даній сировині присутній значний вміст лігноцелюлози.

Для третього покоління біопалив як відновлювальну сировину використовують морські водорості, в складі яких присутні олії, які подібні за властивостями до нафти, але не містять лігніну та целюлози. В результаті фотосинтезу водорості утворюють значну біомасу.

Четверте покоління біопалива використовує генну інженерію для отримання біопалива за допомогою мікроорганізмів, які під час визначених циклів фотосинтезу утворюють фото-біологічне сонячне біопаливо [2].

Що стосується технології, широкого поширення в нафтохімії набув процес Фішера-Тропша, що використовують для отримання синтетичного бензину із бурого вугілля (CTL), біомаси (BTL), природного газу (GTL). Для перероблення органічних відходів в синтез-газ ($H_2:CO$) використовуються такі методи як газифікація або піроліз, анаеробне бродіння, ферментація, екстракція та спалювання [3].

При механічній екстракції отримують біодизель із енергетичних рослинних культур, наприклад ріпак, льон, соя, арахіс, в результаті процесу переестерифікації метилового спирту із рослинними маслами. Газифікація біомаси відбувається при температурі 800–1000 °C та полягає у перетворенні органічних лігніно-целюлозних залишків у синтез газ (суміш H_2 та CO), метан CH_4 , вуглекислий газ, азот, золу та домішки. Гідротермальне зрідження біомаси відбувається при температурі 280-370 °C та тиску 4-22 МПа, вода змінює свою густину, діелектричну проникність, полярність, що сприяє підвищенню розчинності в ній органічних сполук. Це в свою чергу призводить до перетворення біосировини у синтетичне паливо [4].

Модернізований процес BTL відбувається за наступними стадіями: подрібнення, сушіння, попереднє очищення біомаси, анаеробне бродіння для утворення біометану, парова конверсія біометану до синтез газу із паралельним очищенням та збагаченням, процес Фішера-Тропша, гідрокрекінг для перетворення парафінів у рідкі вуглеводні. Принципову схему процесу перетворення біомаси у синтетичний бензин наведено на рисунку 1.

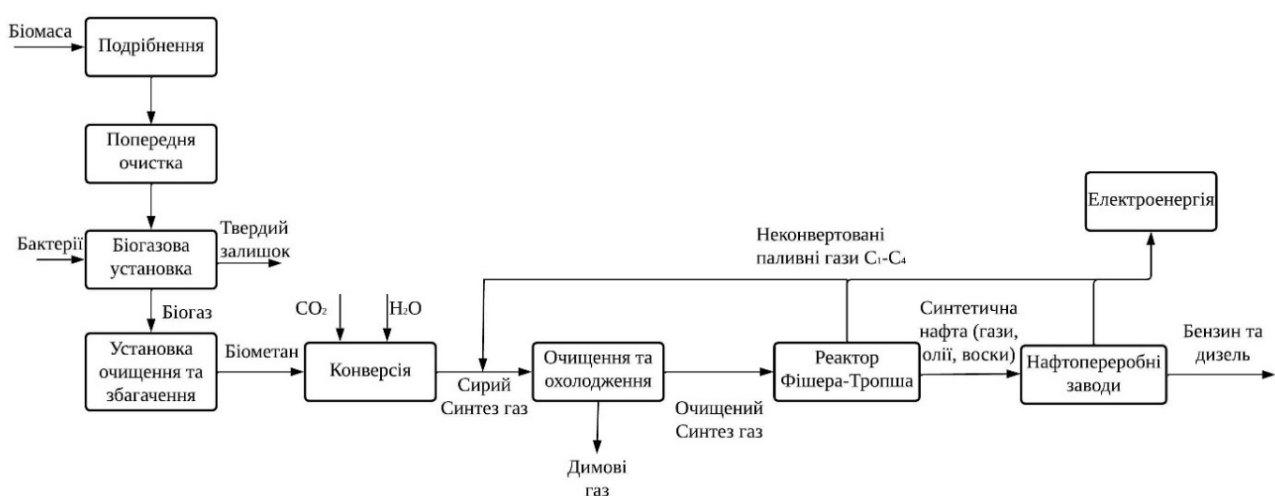


Рис.1. Блок-схема отримання моторного палива за технологією BTL

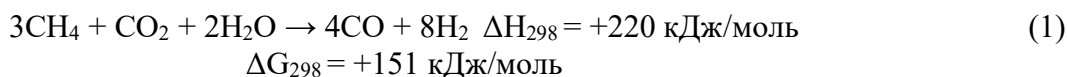
В традиційній технологічній схемі для отримання синтез-газу використовується газифікатор, але використання цього апарату має суттєві недоліки, зокрема невизначений вміст карбону у біомасі, що є результатом її різноманітного хімічного складу. На сьогодні існує можливість уникнути даного недоліку, шляхом використання біогазової установки, яка дозволяє використовувати біомасу різного хімічного складу без суттєвого впливу на результат. Суттєвим недоліком анаеробного бродіння є тривалість отримання біогазу, що становить приблизно 2 місяці, що пов'язано із циклом росту мікроорганізмів, тому виробництво біометану має бути циклічним. Це реалізується в результаті анаеробного бродіння відходів біомаси у біогаз, що містить 60 % метану та 40 % вуглекислого газу та домішки наприклад сірководень. Необхідною умовою є анаеробне середовище та наявність гідролітичних, ацетогенних, ацидогенних та метаногенних бактерій.

Для забезпечення високого виходу біогазу після біогазової установки, передбачають попередню обробку біомаси для зменшення розмірів та видаленням з неї домішок. Під час попередньої обробки біомаси застосовують механічні, термічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи [5].

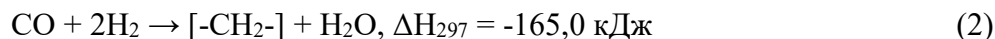
При механічній обробці біомаси здійснюють подрібнення та розмелювання біомаси, для збільшення її активної площі поверхні, об'ємної щільності, властивостей потоку. Подрібнення біомаси здійснюють за допомогою кульових, стрижневих, відцентрових, молоткових млинів, екструдерів та іншого обладнання. До фізико-хімічного очищення належить метод парового вибуху та мікрохвильове опромінення. Гідротермальний вибух парою здійснюється при температурі 160-250 °С та тиску 5-50 атм. Процес хімічної обробки біомаси полягає у використанні кислот, лугів, органічних сольвентів, поверхнево-активних речовин для руйнування кристалічної структури та збільшення ефективної площі поверхні біомаси, але такий метод утворює вторинні залишки, що потребують відновлення. При кислому очищенні біомаси використовують H_2SO_4 , H_2O_2 , HCl , HNO_3 та інші кислоти. При лужному очищенні застосовується $NaOH$, Na_2CO_3 , вапно, аміак для руйнування зв'язку лігніну та вуглеводнів, а при органо-сольвентному – суміш етанолу та сульфатної кислоти [6].

Анаеробне бродіння містить чотири основні стадії - гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез, який проводиться у безкисневому середовищі та в присутності мікроорганізмів. На стадії гідролізу гідролітичні бактерії, які виділяють ферменти, розчиняють комплексні біополімери – білки, жири, вуглеводи на більш прості вуглеводи – амінокислоти, моно- та олігомери, жирні кислоти, піридини, що доступні мікроорганізмам. На другій стадії за допомогою кислото-утворюючих бактерій відбувається розщеплення продуктів гідролізу із утворенням мурашиної, оцтової, масляної, пропіонової кислоти, низькомолекулярних спиртів та побічних продуктів, переважно газів – водень, сірководень, аміак та інші. На третій стадії летючі жирні кислоти та спирти розкладаються за допомогою ацидогенних мікроорганізмів на водень оцтову кислоту та ацетати. Стадія метаногенезу передбачає перетворення суміші, H_2 , форміатів та ацетатів в метан, вуглекислий газ та домішки в автоклавних умовах. Також після біогазових установок утворюється твердий залишок, який можна використовувати як органічне добриво [7].

Після анаеробного бродіння утворений біогаз очищають від домішок сірчаної кислоти, вуглекислого газу, аміаку, після чого подають на установки, що забезпечують поєднання вуглекислотної та парової конверсії, що має назву бі-реформінг [8]. В результаті конверсії біометану утворюється синтез-газ, що має співвідношення H_2/CO відповідно 2/1. Цей процес здійснюється за температури 800-900 °С на нікелевому, рутенієвому каталізаторі, при тиску 2-4 МПа за реакцією:



Даний процес є досить ефективним, оскільки біогаз містить значну кількість вуглекислого газу, який також можна перетворюється у синтез-газ, запобігаючи окисленню каталізатору у процесі Фішера-Тропша. Синтез газ використовуються отримання моторних палив за реакцією Фішера-Тропша, що має такий загальний вигляд:



Для гідрування монооксиду вуглецю із відходів біомаси доцільно використовувати залізовмісні каталізатори при температурі 250-350 °С та тиску 2-4 МПа, оскільки вони мають високий вихід олефінів (від 80 до 90 %) та економічну доцільність. В результаті реакції утворюються такі вуглеводні як бензин C₅-C₁₁, дизель C₁₁-C₁₄ керосин, C₁₀-C₁₄, мастила C₁₈-C₃₀ та воски C₃₀ і більше. Також як побічні продукти утворюються нижчі алкани від метану до бутану, які можуть використовуватися для генерації енергії або для конверсії у синтез-газ [9].

На останньому етапі суміш рідкої нафти, дистилляту та воску очищають і подають на нафтопереробні заводи, для отримання дизельного або бензинового палива. Даний процес реалізується за допомогою процесів гідроізомеризації, гідрокрекінгу восків для досягнення необхідного октанового числа.

Отже для отримання якісного дизельного та бензинового палива із органічних відходів із сталим якісним складом доцільно використовувати біогазові установки. В цих установка в результаті анаеробного бродіння буде утворюватися метан, який можна за допомогою паровуглецевої конверсії переводити у синтез-газ, що використовується для синтезу моторного палива за реакцією Фішера-Тропша. Подальші перспективи в даній галузі полягають у встановленні оптимальних параметрів процесу на всіх стадіях виробництва, проектування технологічної схеми, промислове розроблення нових каталізаторів та доведення економічної доцільності проекту. Це пов'язано с тим, що використання біогазової установки та бі-реформінгу підвищує вартість виробництва синтетичного бензину, однак дана технологія дозволяє комплексно використовувати відходи сільського господарства, харчової промисловості, рослинні відходи та осади стічних вод.

Література

1. Kour D. Technologies for Biofuel Production: Current Development, Challenges, and Future Prospects / D. Kour, K. L. Rana, N. Yadav // *Biofuel and Biorefinery Technologies*. – Cham, 2019. – p. 1–50. https://doi.org/10.1007/978-3-030-14463-0_1.
2. Malode S.J. Recent Advances and Viability in Biofuel Production / S. J. Malode, K.K. Pradhu, R. J. Mascarenhas, N. P. Shetty, T.M. Aminabhavi // *Energy Conversion and Management: X*. – 2021. – №10. – P. 1-17. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2020.100070>.
3. Martinelli M. An overview of Fischer–Tropsch Synthesis: XTL processes, catalysts and reactors / M. Martinelli, M. K. Gnanamani, S. LeViness, G. Jacobs, W.D. Shafer, // *Appl. Catal. A, Gen.* – 2020. – № 608. – P. 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.apcata.2020.117740>.
4. Adams P. Biomass Conversion Technologies / P. Adams, T. Bridgwater, A. Lea-Langton, A. Ross and I. Watson // *Greenhouse Gas Balances of Bioenergy Systems*, Academic Press. – Cambridge. – 2018. – P. 107-139. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101036-5.00008-2>.
5. Kainthola J. A review on enhanced biogas production from anaerobic digestion of lignocellulosic biomass by different enhancement techniques / J. Kainthola, A.S. Kalamdhad, V. V.

Goud // Process Biochemistry. – 2019. – №84. – P. 81-90.
<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.05.023>.

6. Amin F. R. Pretreatment methods of lignocellulosic biomass for anaerobic digestion / F. R. Amin, H. Khalid, H. Zhang, S. Rahman, R. Zhang, G. Liu, C. Chen // AMB Express. – 2017. – №7. – P. 1-12. <https://doi.org/10.1186/s13568-017-0375-4>.

7. Kasinath A. Biomass in biogas production: Pretreatment and codigestion / A. Kasinath, S. Fudala-Ksiazek, M. Szopinska, H. Bylinski, W. Artichowicz, A. Remiszewska-Skwarek, and A. Luczkiewicz // Renew. Sustain. Energy Rev. – 2021. – № 150. – P. 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111509>.

8. Kumar N. Catalytic bi-reforming of methane: from greenhouse gases to syngas / N. Kumar, M. Shojaee and J. Spivey // Current Opinion in Chemical Engineering. – 2015. – № 9. – P. 8-15. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2015.07.003>.

9. Teimouri Z. Kinetics and Selectivity Study of Fischer Tropsch Synthesis to C₅+ Hydrocarbons / Z. Teimouri, N. Abatzoglou, A. K. Dalai // A Review. Catalysts. – 2021. – №11, (3). – P. 1–33. <https://doi.org/10.3390/catal11030330>.

IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY FOR OBTAINING MOTOR FUEL FROM ORGANIC WASTE

Olena IVANENKO

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-6838-5400>

Andriy TRIPOLSKY

Pisarzhevskii Institute of physical chemistry of NAS of Ukraine, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0003-1682-0241>

Danylo FATEEV

Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0007-1336-307X>

DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304841>

Keywords: *biomass, biofuel, anaerobic digestion, gasification, bi-reforming, biogas plant, methanogenesis, hydroisomerization.*

Abstract

The paper discusses the possibilities of improving the process of obtaining motor fuel from carbon-containing waste, examines the main types of raw materials, stages, and key stages of the BTL process, and justifies the feasibility of using a biogas plant and bi-reforming for producing synthesis gas. In the process of obtaining synthesis gas, the main initial parameters of methane conversion that affect the carbon-to-hydrogen ratio in the output product are analyzed. The main theoretical aspects of the anaerobic digestion process and Fischer-Tropsch synthesis are described. The analysis of Fischer-Tropsch reaction products and the further handling of by-products is conducted.