

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра екології та технології рослинних полімерів**

«На правах рукопису»
УДК

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ М.Д.Гомеля

«___» _____ 20__ р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 161 Хімічні технології та інженерія
на тему: «Утилізація твердих вуглецевмісних відходів з метою одержання
моторних палив»**

Виконав:

студент II курсу, групи ЛЦ-31мп
Фатєєв Данило Сергійович

Керівник:

доктор технічних наук, доцент
Іваненко Олена Іванівна

Консультант з розроблення стартап-проекту:

доц., к.е.н, доц.,
Юдіна Наталія Володимирівна

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно – хімічний факультет

Кафедра екології та технології рослинних полімерів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність – 161 «Хімічні технології та інженерія»

Освітня програма – «Промислова екологія та ресурсоефективні чисті технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ М.Д. ГОМЕЛЯ

«__» _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Фатєєву Данилу Сергійовичу

1. Тема дисертації «Утилізація твердих вуглецевмісних відходів з метою одержання моторних палив», науковий керівник дисертації Іваненко Олена Іванівна, д.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «01» листопада 2021 р. № 3609-с
2. Термін подання студентом дисертації – 12.12.2024 р.
3. Об'єкт дослідження: Процес виробництва моторного палива із відходів біомаси.
4. Предмет дослідження – розроблення технологічної схеми утилізації відходів біомаси, використовуючи процеси газифікації та синтез Фішера-Тропша, визначення оптимальних параметрів синтезу враховуючи походження сировини, приготування каталізатора процесу Фішера-Тропша, що забезпечує високий вихід вуглеводнів.
4. Вихідні дані: одержання залізовмісного каталізатора із використання реагентів: кристалогідрат заліза (III), кристалогідрат міді (II), кристалогідрат алюмінію (III), кальцинована сода, газоподібний аміак, водень, оксид вуглецю.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: Розробити методику отримання залізовмісного співосажденного каталізатору для синтезу Фішера-Тропша; дослідити

селективність виходу рідких вуглеводнів отриманого каталізатора на лабораторній установці; проаналізувати вміст вуглеводнів методом газової хроматографії; описати структуру та властивості каталізатора фізико-хімічними методами аналізу; розробити пілотну установку синтезу рідких вуглеводнів із відходів біомаси.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 15 слайдів.

7. Орієнтовний перелік публікацій:

1. Іваненко О. І., Трипольський А. І., Фатєєв Д. С. Удосконалення технології одержання моторного палива із органічних відходів // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції Екологія. Людина. Суспільство (м. Київ 5 червня 2024 р.): збірник тез та повідомлень. Київ, 2024. С. 130–134. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304841>

2. Іваненко О.І., Трипольський А.І., Фатєєв Д.С. Використання біогазової установки в процесі одержання моторного палива матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.): збірник тез та повідомлень. м. Чернігів, 2024. С. 320-322. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/materiali-konferentsiyi/kzyatps-2024/>

3. Спосіб одержання залізовмісного каталізатору синтезу рідких вуглеводнів / Фатєєв Д.С., Трипольський А.І., Іваненко О.І., Бичко І.Б., Столярчук І.Л., Стрижак П.Є. // Заявка на патент України на корисну модель U202405120 від 29.10.2024

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка start-up проєкту	Юдіна Н. В. доц., к.е.н, доц.		

9. Дата видачі завдання – 01.09.2024 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Провести літературний огляд за темою магістерської роботи.	01.09.24-13.09.24	
2.	Дослідження зразків каталізатору та вибір оптимального складу	14.09.24-24.09.24	
3.	Розроблення методики отримання зразків співосадженого каталізатора	25.09.24-27.10.24	
4.	Аналіз структури та хімічного складу каталізатору на основі заліза фізико-хімічними методами	28.10.24-06.11.24	
5.	Проведення гідрування оксиду вуглецю на лабораторній установці та аналіз одержаних хроматограм	07.11.24-20.11.24	
6.	Запуск пілотної установки, що включає газифікацію біомаси та гідрування оксиду вуглецю	21.11.24-28.11.24	
7.	Оформлення пояснювальної записки магістерської дисертації.	29.11.24-06.12.24	
8.	Оформлення презентаційного матеріалу.	07.12.24-12.12.24	

Студентка

Фатєєв Д. С.

Науковий керівник дисертації

Іваненко О. І.

АНОТАЦІЯ

Магістерська дисертація: 100 стор.; 21 рис.; 28 табл.; 73 джерела, 1 додаток

Мета роботи: розробити оптимальну технологію отримання синтетичного палива методом газифікації біомаси та подальшого синтезу вуглеводнів методом Фішера-Тропша.

Для досягнення мети дослідження розроблено завдання дослідження:

1. Провести літературний огляд енергетичного потенціалу відходів біомаси, методів отримання синтез-газу, зокрема газифікації біомаси та обрати оптимальні умови отримання синтез-газу;
2. Дослідити каталітичну активність різних за складом каталізаторів на установці Фішера-Тропша;
3. Розробити методику отримання залізовмісного каталізатору та дослідити його каталітичні властивості на лабораторній установці;
4. Дослідити властивості та структуру каталізатору фізико-хімічними методами аналізу – XRF, Раман-спектроскопії, TPR та методом низькотемпературної адсорбції BET;
5. Розробити технологічну схему пілотної установки синтезу рідких вуглеводів;

Об'єкт дослідження: Процес виробництва моторного палива із відходів біомаси.

Предмет дослідження: розроблення технологічної схеми утилізації відходів біомаси, використовуючи процеси газифікації та синтез Фішера-Тропша, визначення оптимальних параметрів синтезу враховуючи походження сировини, приготування каталізатора процесу Фішера-Тропша, що забезпечує високий вихід вуглеводнів.

Методи дослідження: для отримання синтез-газу було використано метод газифікації біомаси, визначення хімічної будови та структури каталізатору

використовували фізико-хімічними методами аналізу, також аналіз вуглеводнів проведено методом газової хроматографії.

Для обраного методу було розроблено пілотну установку, яка моделює процес отримання моторних палив та розроблено каталізатор, що має високу селективність до утворення рідких вуглеводнів.

В результаті реакції Фішера-Тропша утворюються вуглеводні бензинової $C_5 - C_{11}$ та $C_{12} - C_{20}$ дизельної фракції, які можна відновити до компонентів високоякісного моторного палива, використовуючи технологію гідрокрекінгу, гідроізомеризації та алкілування на нафтопереробних заводах.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ГАЗИФІКАТОР, БІОМАСА, СИНТЕЗ-ГАЗ, БЕНЗИН, ДИЗЕЛЬ, СПІВОСАДЖЕННЯ, КОНВЕРСІЯ, КАТАЛІЗАТОР, СЕЛЕКТИВНІСТЬ

ABSTRACT

Master's degree work: 100 pages; 21 figures; 28 tables; 73 sources, 1 appendix

Objective of the study: to develop an optimal technology for obtaining synthetic fuel by biomass gasification and subsequent synthesis of hydrocarbons by the Fischer-Tropsch method.

To achieve the goal of the study, the following research tasks were developed:

1. Conduct a literature review of the energy potential of biomass waste, methods for obtaining synthesis gas, in particular biomass gasification, and select optimal conditions for obtaining synthesis gas;
2. Investigate the catalytic activity of catalysts of different composition in a Fischer-Tropsch installation;
3. Develop a method for obtaining an iron-containing catalyst and investigate its catalytic properties in a laboratory installation;
4. Investigate the properties and structure of the catalyst by physicochemical methods of analysis - XRF, Raman spectroscopy, TPR and the BET low-temperature adsorption method;
5. Develop a technological scheme for a pilot plant for the synthesis of liquid hydrocarbons;

Object of the research: The process of producing motor fuel from biomass waste.

Subject of the research: development of a technological scheme for the utilization of biomass waste using gasification processes and Fischer-Tropsch synthesis, determination of optimal synthesis parameters taking into account the origin of the raw material, preparation of a Fischer-Tropsch catalyst that ensures a high yield of hydrocarbons.

Research methods: to obtain synthesis gas, the biomass gasification method was used, the determination of the chemical composition and structure of the catalyst was used

by physicochemical methods of analysis, and the analysis of hydrocarbons was also carried out by gas chromatography.

For the selected method, a pilot plant was developed that simulates the process of obtaining motor fuels and a catalyst was developed that has high selectivity for the formation of liquid hydrocarbons.

The Fischer-Tropsch reaction results in the formation of hydrocarbons of the gasoline $C_5 - C_{11}$ and $C_{12} - C_{20}$ diesel fractions, which can be restored to components of high-quality motor fuel using hydrocracking, hydroisomerization, and alkylation technology at oil refineries.

KEYWORDS: GASIFIER, BIOMASS, SYNTHESIS GAS, GASOLINE, DIESEL, COPRECIPIENTATION, CONVERSION, CATALYST, SELECTIVITY

ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ I. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД	16
1.1. Аналіз основних видів вуглецевмісних відходів. Енергетичний потенціал біомаси.....	16
1.2. Способи одержання рідких вуглеводнів та газів із відходів біомаси	20
1.2.1. Спалювання біомаси	22
1.2.2. Газифікація.....	22
1.2.3. Піроліз	23
1.3. Методи отримання синтез-газу за допомогою термokatалітичної конверсії вуглеводнів.....	24
1.3.1. Паровий реформінг метану	24
1.3.2. Парціальне окиснення метану.....	25
1.3.3. Сухий реформінг	25
1.3.4. Автотермічний реформінг та триреформінг.....	26
1.4. Вибір методу газифікації та способу руху газів	26
1.5. Очистка синтез-газу від шкідливих речовин.....	29
1.6. Теоретичні основи синтезу Фішера-Тропша.....	30
Висновки до розділу 1	34
РОЗДІЛ II. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	35
2.1. Об'єкт дослідження	35
2.2. Вибір складу каталізатора для синтезу Фішера-Тропша	36
2.3. Синтез зразків каталізаторів для отримання компонентів моторних палив з синтез-газу на основі перехідних металів	38

	10
2.4. Опис лабораторної установки синтезу рідких вуглеводнів	40
2.5. Методика приготування каталізатора Фішера-Тропша	42
2.6. Фізико-хімічні методи аналізу залізовмісного каталізатора	44
Висновки до розділу II	45
РОЗДІЛ III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА	46
3.1. Дослідження каталітичних властивостей синтезованих залізовмісних каталізаторів в процесі Фішера-Тропша.....	46
3.2. Вибір оптимального каталізатора для пілотної установки.	54
3.3. Впробування одержаного каталізатора Фішера-Тропша в лабораторній установці	55
3.4. Дослідження структури каталізатора фізико-хімічними методами аналізу	58
3.5. Результати проєктування реактора Фішера-Тропша та характеристики розробленого каталізатора	64
3.6. Опис пілотної установки для промислового синтезу вуглеводнів.....	67
Висновки до розділу III	70
РОЗДІЛ V. РОЗРОБКА START-UP ПРОЄКТУ	71
4.1. Опис ідеї стартап-проєкту.....	71
4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту	73
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту	74
4.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту	85
4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	89
Висновки до розділу V	96
ВИСНОВКИ.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	100

ДОДАТОК А.....	109
ДОДАТОК Б.....	116
ДОДАТОК В	121

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

TPR-H₂ – термопрограмоване відновлення воднем

ATR – автотермічний реформінг

FBG – газифікатор із нерухомим шаром завантаження

FTS – синтез Фішера-Тропша

BTL – конверсія біомаси в рідкі вуглеводні

ПД – полум'яно-іонізаційний детектор

RWGS – реакція водяного зсуву

XRF – рентгенфлуорисцентний аналіз

TCD – детектор по теплопровідності (катарометр)

Метод БЕТ – метод Брунауера, Еммета і Теллера

Метод ВЈН – метод Баррета-Джойнера-Халенда

ВСТУП

В умовах повномасштабного вторгнення Росії в Україну, що почалося 22 лютого 2022 року, розвиток української енергетики змінив свій курс в бік впровадження альтернативних джерел палива та електроенергії. Причини такої зміни напряму в енергетиці пов'язані з нестачею природного газу та нафти для забезпечення власних енергетичних потреб – опалення, використання в бензинових та дизельних двигунах, виробництві електроенергії, хімічній, металургійних та інших галузях промисловості в результаті відмови від імпорту російського газу та нафти, а також закупівлі відповідної паливно-енергетичної продукції.

Оскільки правильне функціонування паливно-енергетичного комплексу має прямий вплив на обсяг ВВП держави, збільшення кількості альтернативних видів палива на ринку є важливим стратегічним рішенням в умовах війни. В період всього широкомасштабного вторгнення агресора спостерігалися постійні пошкодження джерел критичної інфраструктури, які також вплинули на джерела надходження ресурсів паливної енергетики. В результаті ракетних ударів було зруйновано Кременчутський НПЗ, який на сьогодні припинив роботу. Також було зачинено Лисичанський та Шебелинський НПЗ в результаті загрози бойових дій. Одним з основних чинників, що призвели до зміни курсу на використання біологічно чистих джерел енергії, стало прагнення України дотримуватись нейтральності в енергетичній сфері. Це включає впровадження заходів для збільшення енергоефективності зменшення використання продукції, що утворює парникові гази, сприянні використанню відновлювальних джерел енергії, а також поступове зменшення кількості викопних палив, що виготовляються із вугілля [□-1, с. 12].

У зв'язку з цим перспективним напрямком розвитку енергетики є використання альтернативних джерел палива, які були отримані із відновлювальної сировини, до якої належать органічні відходи тваринного походження, енергетично-вигідні рослинні культури, відходи харчової промисловості, тверді побутові відходи,

стічних води та інші. Також широкого поширення набули технології синтезу біодизелю, який виступає в якості альтернативного палива відносно дизельного палива, отриманого з нафти.

Виготовлення відновлювального палива набуває актуальності у зв'язку із зменшенням видобутку кам'яного та бурого вугілля. Традиційні види палива, зокрема вугільне та нафтове, спричиняють значне підвищення концентрації вуглекислого газу (CO_2) в атмосферному повітрі, що посилює парниковий ефект. Натомість використання відновлюваних джерел енергії, таких як відходи рослинності, дозволяє підтримувати баланс CO_2 в атмосфері, що зумовлено утворенням такої кількості вуглекислого газу при спалюванні, яка еквівалентна тій, що була поглинута рослинами в процесі їх росту за рахунок фотосинтезу [1-2].

Утворення синтетичного палива здійснюється за технологією XTL, що передбачає використання будь-якої вуглецевмісної сировини для утворення рідких вуглеводнів. Таким чином, в залежності від використаної сировини розрізняють три основні технології отримання рідкого палива [1-39]:

- GTL (Gas to liquids) – в якості вихідної сировини використовується природний, сланцевий або біологічний газ.
- CTL (Coal to liquids) – використовують вугілля та інші тверді види викопного палива;
- BTL (Biomass to liquids) – застосовується біомаса.
- CBTL (Coal and biomass to liquids) – сумісне використання вугілля та біомаси для їх подальшого перероблення у інші види моторного палива.

Технологічний процес XTL, що базується на процесу Фішера-Тропша для синтезу вуглеводнів, проходить через такі стадії:

- На першій стадії проводиться утворення складових синтез газу, що складається з суміші оксиду вуглецю та водню. Синтез газ може бути отриманий за допомогою піролізу або газифікації біомаси;

– На другій стадії здійснюється процес Фішера-Тропша для синтезу необхідних вуглеводнів, що контролюється присутності певного каталізатора, температурного режиму та часу контакту. В результаті такого синтезу утворюються синтетичні нафтопродукти;

– На третій стадії відбувається переробка та розділення вуглеводневих фракцій, утворених в процесі Фішера-Тропша, на такі види рідкого палива як бензин та дизель та компоненти для виробництва масел.

Отже, метою даної роботи є розроблення технолоії одержання синтетичного палива із поновлювальних джерел сировини та розроблення каталізатору для їх синтезу.

РОЗДІЛ І. ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД

1.1. Аналіз основних видів вуглецевмісних відходів. Енергетичний потенціал біомаси

Якщо враховувати всі технології отримання біопалива, то для подолання проблем із зміною клімату та залежністю від нафтових ресурсів було винайдено досить значна кількість методів синтезу біопалива. Оскільки різні види біомаси відрізняються за своїм хімічним складом, то існують різні методи утворення біопалива, що класифікується за поколіннями [□-2]:

- Для отримання біопалива першого покоління, переважно біоетанолу та біогазу, використовують харчові відходи, що містить цукор або крохмаль.
- До другого покоління біопалива відносять нехарчові відходи, які представляють собою деревну біомасу, залишки рослинної сировини сільського господарства, що мають високий вміст лігноцелюлози.
- Сировиною для виробництва третього покоління біопалива є мікрроводорості, містить в своїй структурі біо-олії, що мають склад до дизельного палива.
- В якості сировини четвертого покоління біопалива використовують генетично-модифіковані мікроорганізми, що в результаті фотосинтезу утворюють органічні сполуки, які використовують для отримання біопалива [□-3, □-4].

Відповідно даних 2021 р, енергетичний потенціал України становить 26 млн т. н.е./рік (табл 1.1) [□-5]. Даний аналіз проводили для оцінки потенціалу одержання твердої біомаси, рідкого біопалива та біогазу. В результаті проведеної оцінки встановили, що найбільший енергетичний потенціал мають тверді відходи, який становить 16 млн т. н.е./рік, тобто 62% відносно загального значення. Твердими відходами вважаються залишки сільського господарства, деревні відходи та енергетичні рослини.

В таблиці 1.1 наведено енергетичний потенціал поновлювальної сировини в Україні без урахування окупованих територій:

Таблиця 1.1 Структура енергетичного потенціал біомаси в Україні (2021 р.) [□-5]

Вид сировини	Теоретичний потенціал біомаси млн м ³ CH ₄ /рік	Фактичний потенціал	
		Частка теоретичного потенціалу, %	млн т н.е./рік
Тверда біомаса:	млн т/рік		
Залишки сільського господарства	136,56	33	10,80
Відходи деревини	16,04	67	2,7
Енергетичні рослини ріпак, міскантус	6,00	100	2,58
Загальний обсяг твердої біомаси	158,60	46	16,08
РІДКЕ БІОПАЛИВО	млн л/рік		
Біодизель із с/г ріпаку, кукурудзи та олійних культур	18256	15	0,88
БІОГАЗ:	млн м ³ CH ₄ /рік		
з тваринницьких відходів	1,04	80	0,71
з залишків рослинних відходів	16,79	26	3,80
з відходів харчової промисловості	1,69	39	0,56
з твердих побутових відходів	0,7	75	45
з осадів стічних вод	0,07	100	0,06
з силосу кукурудзи в якості енергетичної рослини	3,00	100	2,57
Біогаз, всього	23,28	41	8,16
Сума			25,97

Енергетичний потенціал різних видів біомаси, а також основні складові потенціалу біомаси зображено на рисунку 1.1:

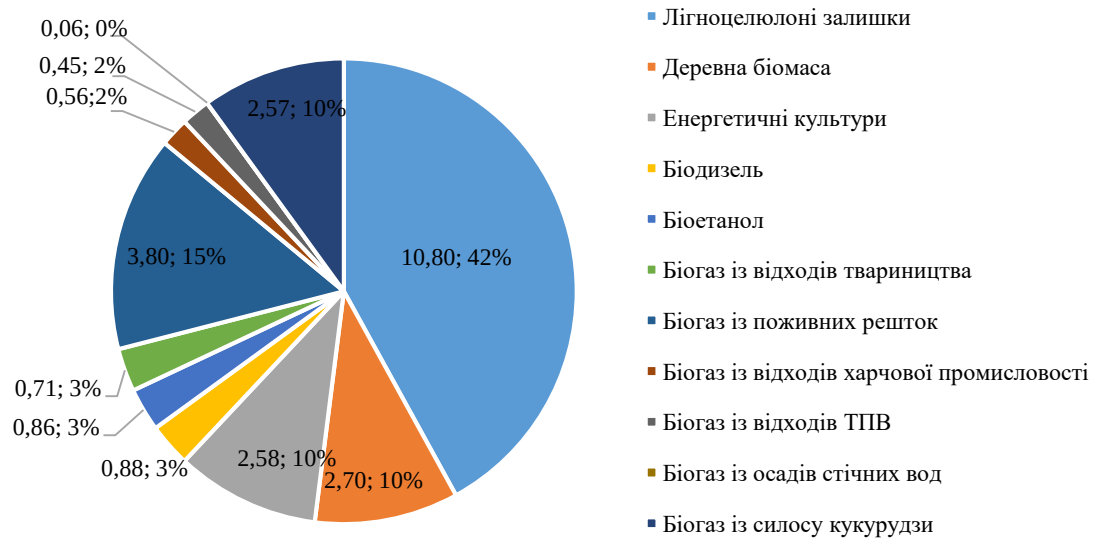


Рис. 1.1 – Структура економічного потенціалу біомаси

Для синтезу біопалива використовуються такі основні види сировини: відходи сільського господарства, наприклад солома злакових, стебло кукурудзи, соняшника 10,8 млн. т. н.е./рік, деревна біомаса (листяна та хвойна деревина) – 2,7 млн. т. н.е./рік, енергетичні рослини (ріпак, соя, сорго, щавнат міскантус (2,6 млн. т. н.е./рік). Загалом потенціал використання твердої біомаси становить близько 16 млн. т. н.е./рік, який складає 62% від загального обсягу біомаси в Україні [4-5]. До інших джерел сировини для виробництва біопалива відносять залишки цукрових, спиртових, м'ясопереробних, молочних, консервних виноробних заводів, відходи біодизелю та біоетанолу, тваринні відходи, водорості, тверді побутові відходи, забрудненні господарсько-побутові та промислові стічні води, зелені добрива, покривні культури [1]. Паливні характеристики відходів та хімічний склад відходів біомаси зображено на рисунку 1.2:

Таблиця 1.2. Хімічний склад біомаси та її енергетичні характеристики [4-6]

Показники	Міскантус	Верба	Тополя	Солома	Деревні тріски
Вологість, %	15-23	40-53	50-55	8-15	35-55

Показники	Міскантус	Верба	Тополя	Солома	Деревні тріски
Вологість, %	15-23	40-53	50-55	8-15	35-55

Продовження табл. 1.2

Насипна щільність, кг/м ³	200-220	220-300	220-300	100-180	240-350
Нижча теплота згоряння Q _п ^н , МДж/кг	14-10	10-8		15-13,5	12-8
Елементарний склад, %:					
С	38-50				
Н	4,5-6				
Cl	0,04	0,02-0,03	0,03-0,04	0,14-0,97	0,02
N	0,16-1,37	0,5-1,0	0,77-0,9	0,4-0,6	0,3
S	0,28	0,03-0,34	0,03-0,2	0,05-0,2	0,05
Зольність, %	2,3-2,37	1,5-2	0,5-1,9	2-8	0,5-1,5
Температура плавлення золи, °С	1250-1385	>1500	1160-1500	850-1050	1000-1400

За даними таблиці 1.2. встановлено, що найменший вміст шкідливих домішок міститься в сухих деревних пелетах.

На 2030 рік виробництво об'єм виробництва українського біопалива повинен сягнути 8,5 млн. т н.е., або 10% від загальної кількості первинної енергії. З даного виробництва 4,5 млн. т н.е. становлять тверді палива, 1 млн. т. – рідкої палива та 3 млн. т. – виробництво біогазу. Таким чином найбільше використання біомаси випадає на отримання твердих палив, що на 2030 має становити 52,9% серед інших видів палива. Таким чином прогнозування виході біопалива на 2025 рік становить 6,2 млн т. н.е., а на 2035 – 11,8 млн. т. н.е., яке має дорівнювати приблизно 30% загального виробництва енергетичних ресурсів. [□-7]. Прогноз енергетичного потенціалу біопалива України в 2050 році має становити 16,53 тис.т.не, серед яких виробництво біоетанолу становить 2530, а біометану – 14000 тис. т. н.е [□-9, □-10].

Для виробництва синтетичного палива із відновлювальної сировини, слід використовувати такі сировинні ресурси, які мають відносно постійний хімічний

склад та низький вміст домішок сірки, азоту, хлору оскільки їх наявність підвищує економічну вартість технології одержання рідких палив, за рахунок встановлення додаткового очисного обладнання. Відходи соломи зазвичай мають підвищений вміст лугів та оксидів магнію, що сприяють підвищеному утворенню золи [1-8]. Також в соломі міститься значна кількість хлору, що при спалюванні утворює діоксани. Проаналізувавши паливні характеристики біомаси (табл. 1.2) можна встановити, що найбільш доцільною сировиною для отримання високо-якісного палива є деревні пелети, оскільки вони містять невелику кількість сполук азоту, сірки та хлору.

1.2. Способи одержання рідких вуглеводнів та газів із відходів біомаси

Методи перероблення біомаси в синтез-газ залежать від фізичних параметрів та хімічного складу вихідної органічної сировини. Для цільового отримання синтез-газу виділяють два основних шляхи перероблення біомаси – термохімічні та біологічні шляхи конверсії біомаси [1-13].

Для біологічної конверсії біомаси в біогаз та етанол застосовують методи анаеробного бродіння та ферментацію. В основі термохімічних методів перероблення біомаси лежать процеси піролізу, газифікації, зрідження та пряме спалювання.

На рис. 1.3 наведено технологічні шляхи використання біомаси для одержання енергетичних ресурсів.

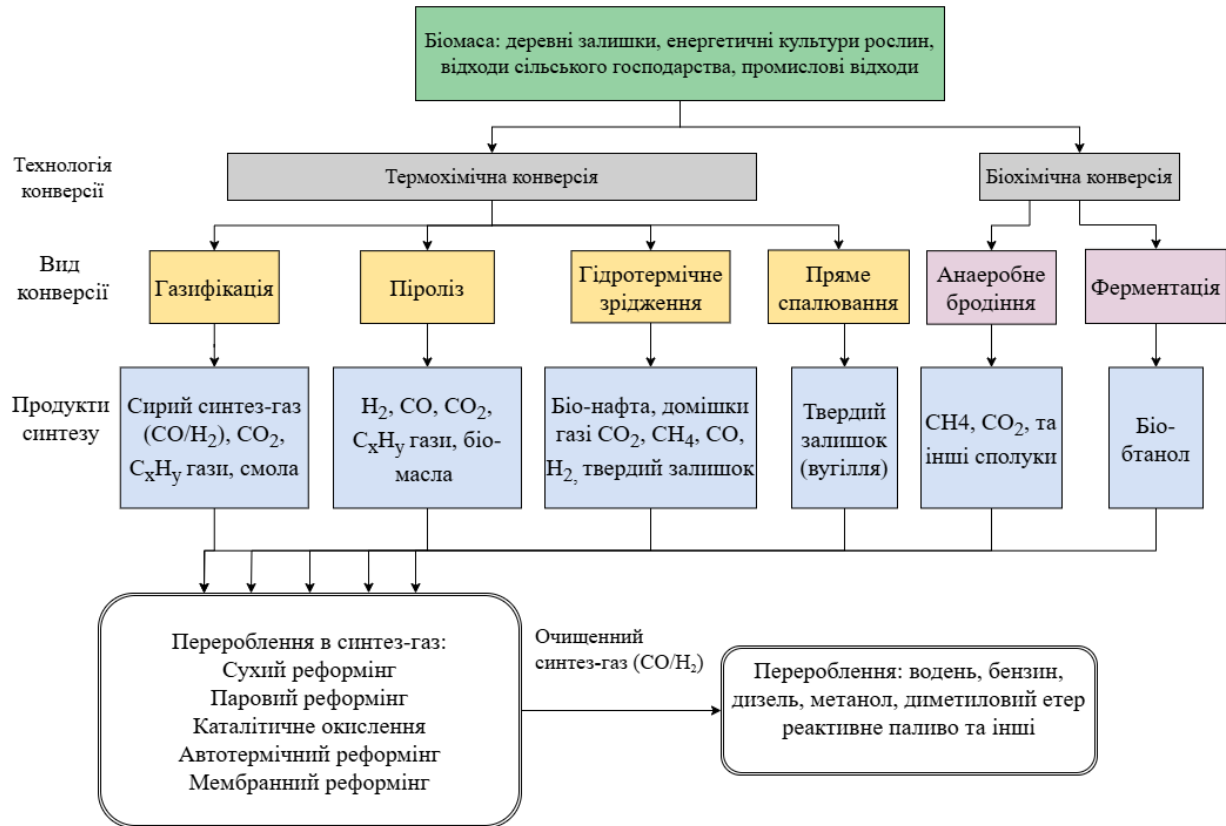


Рис. 1.3 – Методи утилізації біомаси в цільовий продукт [□-13]

За даною схемою видно, що одержаний в результаті перероблення синтез-газ можна використовувати для синтезу водню, бензину, керосину, етанолу, та інших вуглеводнів із подальшим доведенням до певного складу на нафтопереробних заводах.

Серед сучасних технологій отримання синтез-газу переважно застосовуються термо-хімічні процеси, такі як газифікація, піроліз і пряме спалювання біомаси. Такі процеси як гідротермічне зрідження, анаеробне бродіння, ферментація та естерифікація використовуються для отримання інших цільові продукти. Наприклад цільовим продуктом анаеробного бродіння є біогаз (CH_4 та CO_2), ферментації – біоетанол ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$), а гідротермічного зрідження – біонафта [□-11, □-12].

Також, у порівнянні з термохімічними методами, біохімічне перетворення біомаси в синтез-газ характеризується значною тривалістю процесу, що зумовлено

біологічною природою реакцій та необхідністю створення специфічних умов для діяльності мікроорганізмів.

1.2.1. Спалювання біомаси

Для отримання тепла, електричної енергії та їх комбінування на когенераційних установках використовують процес спалювання біомаси, що включає такі варіанти, як карбонізація, торефікація або повне спалювання деревини за наявності повітря. Цей процес може застосовуватися як у побутових умовах, так і на складних енергетичних установках, обладнаних системами очищення димових газів [□-14]

Основними перешкодами для впровадження цього процесу в хімічній промисловості є низька екологічність, що пов'язано з високим рівнем викидів оксидів азоту (NO_x), оксидів сірки (SO_2) та вуглекислого газу (CO_2). Крім того, контроль подачі реагентів у процесі спалювання є технічно складним або неможливим.

1.2.2. Газифікація

Газифікація – це високотемпературний термохімічний процес, який полягає у перетворенні твердої або рідкої органічної сировини (вугілля або біомаси) у генераторний газ, а також інші гази та твердого неконвертованого залишку в результаті неповного окислення. Процес газифікації органічної сировини проводять під дією газифікуючого агенту, яким може бути кисень, водяна пара або вуглекислий газ, які впливають на вихід продуктів. Газифікація здійснюється при температурі 800 – 1000 °C [□-14, □-15].

В залежності від газифікуючого агенту газифікатори поділяють на повітряні, кисневі та парові [□-14]. Процес газифікації біомаси характеризується складною

хімічною структурою, яка включає в себе наступні процеси: сушення, піроліз/дегазація, горіння/окиснення та відновлення.

Внаслідок процесу газифікації утворюється газова суміш, що складається з горючих компонентів, серед яких переважають оксид вуглецю та водень. Додаткове утворення водню та оксиду вуглецю в межах газифікатора також відбувається за реакціями парового (1.3), кисневого (1.6) та вуглекисневого реформінгу (1.7).

До побічних продуктів газифікації відносять метан CH_4 , вуглекислий газ CO_2 , леткі вуглеводнів складу $\text{C}_2\text{-C}_4$, водяна пара H_2O , азот N_2 та домішки, що включають смоли, золу та твердий залишок. Присутність небажаних домішок, таких як H_2S , COS , HCl залежить від хімічного складу газифікованої сировини [17]. В джерелі [16] автори зазначили, що при температурі $1200\text{ }^\circ\text{C}$ спостерігається підвищення ефективності виходу основних компонентів синтез-газу, та зменшення кількості смоли та твердого залишку в продуктах газифікації біомаси. Однак, у таких умовах виникає інтенсивне окислення внутрішніх стінок газифікатора, що спричиняє їх прискорене зношування та підвищує ризик поломок обладнання.

Тому процес газифікації слід проводити в температурному діапазоні в межах $800\text{--}1000\text{ }^\circ\text{C}$, при якому утворюються смоли в наслідок конденсації смолистих сполук [14].

1.2.3. Піроліз

Піроліз належить до термохімічного розкладу органічної сировини для синтезу летких газів (H_2 , CO , CO_2 , CH_4 , C_2H_4 та C_2H_6), біо-нафти та твердого вугільного залишку, при відсутності кисню. Під час піролізу біомаси розглядають її хімічний склад, тобто вміст целюлози, геміцелюлози, лігніну та золи, оскільки від нього залежать хімічні властивості кінцевих продуктів піролізу. При високих температурах та незначному часу перебування сировини утворюються конденсовані продукти – газоподібні та рідкі, при довгому часі перебування – неконденсовані продукти в

результаті вторинних реакції. Проведення процесу при низьких температурах призводить до утворення твердих продуктів [□-18, □-19].

Основною проблемою застосування піролізу для виробництва синтез-газу є утворення піролізної смоли, яка в залежності від виду біомаси має різноманітний хімічний склад, що ускладнює очищення синтез-газу та підвищує технічні вимоги до його використання.

1.3. Методи отримання синтез-газу за допомогою термокаталітичної конверсії вуглеводнів

Існує велика кількість методів одержання синтез-газу, який представляє собою суміш монооксиду вуглецю CO та водню H_2 , широко використовується для синтезу метанолу, аміаку, водню та рідких вуглеводнів. На сьогодні в промисловості використовуються наступні методи одержання синтез-газу [□-22]:

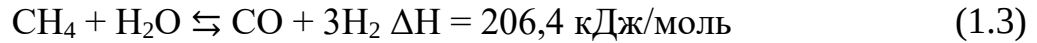
1. Паровий реформінг або парова конверсія метану (Steam Methane Reforming, SMR)
2. Часткове окиснення або киснева конверсія метану (Partial Oxidation, POX)
3. Сухий реформінг або вуглецева конверсія метану (Dry Reforming, DMR)
4. Автотермічний реформінг (Auto Thermal Reforming ATR,)

В подальшому синтез-газ використовують для отримання широкого спектру хімічних речовин, наприклад метанолу, синтетичного палива за реакцією Фішера-Тропша, диметилового етеру та інших.

1.3.1. Паровий реформінг метану

Парова конверсія (паровий реформінг, SMR) є досить найбільш відпрацьованим методом одержання синтез-газу вуглеводнів, переважно із природного газу в присутності каталізатора. В результаті конверсії метану

утворюється синтез-газ (суміш CO та H₂), CO₂ та вихідні речовини, що не вступили в реакцію – пари води та метан [□-23]. Для парової конверсії характерна реакція реформінгу метану, заміщення водяного газу (WGS) та метанування:



Конверсія метану в синтез-газ становить 65-95%, а співвідношення H₂/CO становить 3. Для контролю співвідношення оксиду вуглецю до водню змінюють концентрації вихідних речовин або продуктів реакції. Зменшення температури парового реформінга призводить до утворення метану [□-25].

1.3.2. Парціальне окиснення метану

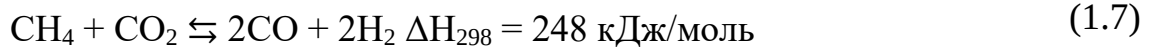
Киснева конверсія (парціальне окислення POx) також відомий метод одержання синтез-газу, який полягає у використовують використанні невеликої кількості кисню для часткового окислення метану. При надлишковому вмісті O₂ утворюється вуглекислий газ та вода. Реакція неповного окислення метану має вигляд [□-14]:



Впроцесі часткового окислення метану не використовують каталізатори, оскільки висока температура у зоні полум'я реактора забезпечує високий вихід синтез-газу, в якому співвідношення H₂/CO становить 1,7-2.

1.3.3. Сухий реформінг

Сухий реформінг – це високо ендотермічна реакції, при якій отримують синтез-газу в результаті взаємодії метану та вуглекислого газу за наступним рівнянням [□-14]:



Співвідношення H_2/CO для сухого реформінгу становить 1,0, але паралельно вказаній реакції відбувається реакція водяного зсуву (RWGS):

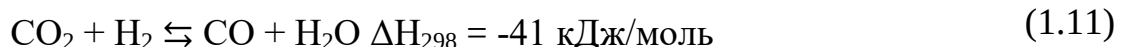
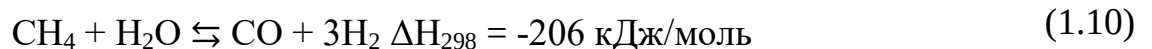
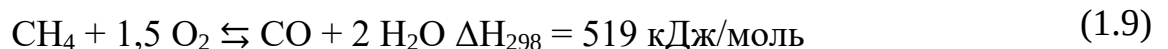


В результаті реакції водяного зсуву співвідношення H_2/CO становить менше 1. [□-21].

1.3.4. Автотермічний реформінг та триреформінг

Процес автотермічного реформінгу метану поєднує в собі технології POX та SMR в межах одного реактора [□-23].

В результаті реакції ATR отримують синтез-газ із співвідношенням H_2/CO від 1,6 до 2,6. Процес ATR описується реакціями окиснення, реформінгу та водяного зсуву [□-24]:



Вихід синтез газу залежить від термодинамічної рівноваги реакцій парового реформінгу (1.20) та водяного зсуву (1.21), а також показника температури та тиску системи.

1.4. Вибір методу газифікації та способу руху газів

Для утилізації відходів біомаси з метою отримання синтез-газу розроблено значну кількість конструкцій газифікаторів та технологій газифікації. Біомаса, на відміну від викопного палива, характеризується наявністю лігноцелюлозних структур зі змінним хімічним складом і високим вмістом домішок, що ускладнює її газифікацію та потребує спеціалізованих підходів до процесу [□-26].

Газифікатори з нерухомим шаром здобули найбільший комерційний успіх завдяки простій конструкції та ефективності процесу. У таких газифікаторах газифікація відбувається в циліндричному реакторі, де горючі гази проходять через нерухомий шар біомаси, що підтримується на постійному рівні [□-27]. Перевага даних газифікаторів у порівнянні із іншими полягає в їх економічній вигідності для малих та середніх підприємств та високою чистотою синтез-газу. Недоліки – низька теплопередача, неоднорідний розподіл температури в реакторі, складність впровадження на великих підприємствах та необхідність дотримання вологості в сировині не більше 20%.

В залежності від напрямку руху газифікуючого агенту газифікатори із нерухомим шаром поділяють на реактори із висхідною, низхідною, перехресною та горизонтальною тягою, які зображено на рисунку 1.8 [□-28].

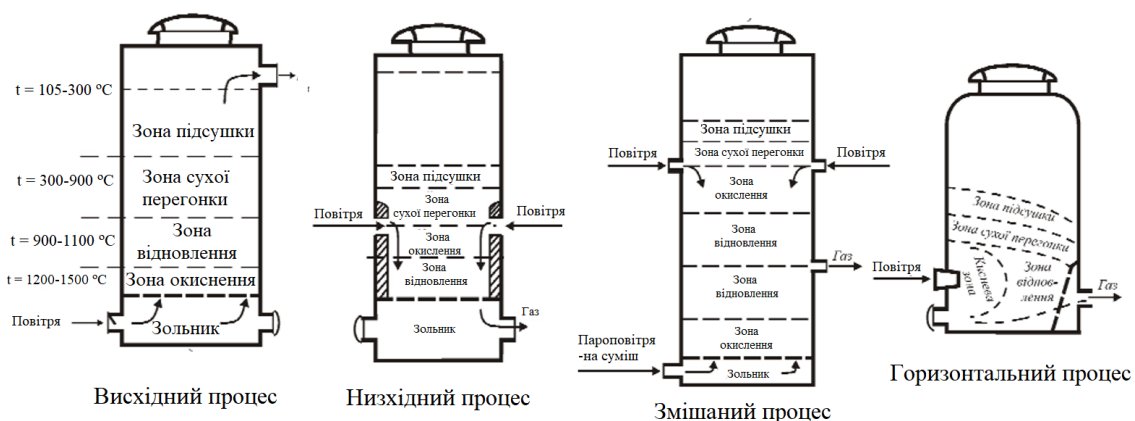


Рис. 1.8 – Типи газифікаторів із нерухомим шаром в залежності напрямку перебігу процесу

а) прямого процесу; б) оберненого процесу; в) двозонного процесу; г) горизонтального процесу.

Газифікатори із висхідним рухом повітря характерні тим, що подачу повітря здійснюють із нижньої частини газифікатора. Гарячий потік генераторного газу рухається до гори через зону окислення, відновлення, піролізу та підсушення, для газифікації верхніх шарів біомаси. В зоні окиснення зазвичай встановлюють колосникову решітку. На дні газифікатора утворюється пірогенна вода, яка виникає внаслідок реакції водяної пари з коксом. Вугілля, що утворюється в активній зоні, спускається до зони окиснення, де відбувається його реакція з газифікуючим агентом. Зазвичай активна зона газифікації знаходиться між зонами окислення та відновлення. В результаті спалювання вугілля утворюється вуглекислий газ та вода. Генераторний газ, що утворився в активній зоні піднімається вище до зони піролізу, де відбувається видалення гігроскопічної води. Після видалення вологи збільшують температуру для видалення вуглекислого газу із палива [□-28]. Недоліком газифікації із висхідним потоком газів є високий вихід смол, які утворюються в зоні піролізу, тому даний метод використовувати не рекомендовано.

До газифікатора із низхідним процесом подачу повітря здійснюють вище зони окиснення. Сировину та газифікуючий агент подають одночасно, при цьому вихід генераторний газ відбувається із низу реактору. В даному реакторі біомаса рухається із верхньої частини до зони сушіння, в якій відбувається видалення вологи, після чого потрапляє до зони піролізу, в якій висушена біомаса перетворюється на вугілля та гази. Перевагою газифікації із низхідним потоком газів є зменшена концентрація смол у сирому синтез-газі, що робить його придатним для подальшого отримання синтетичного палива [□-27-□-29].

Однак цей процес має специфічні вимоги, наприклад вміст води має становити не більше 20%, а розмір часток – 10 – 300 мм. Газифікатор із низхідним потоком газів зображено на рис.1.9:

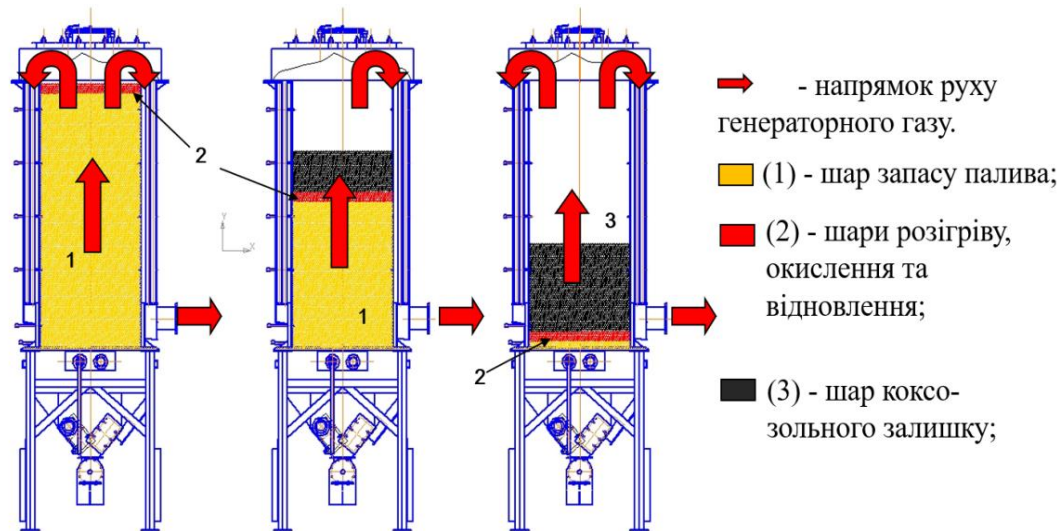


Рис. 1.9. Принципова технологічна схема роботи газогенератора із низхідним потоком газів

Газифікатори із змішаним потоком вихід газу здійснюється у протилежному каналі відносно газифікуючого агенту, як зображено на рис. 1.8. Переваги таких газифікаторів полягають у здатності до газифікації біомаси із високою вологою, швидкістю процесу, досить низьким виходом смол. Недоліком цих газифікаторів є висока температура в зоні окиснення газифікатора, що становить понад 1773 К, що призводить до зношення робочих частин апарату.

1.5. Очистка синтез-газу від шкідливих речовин

Кінцевим продуктом газифікації є генераторний газ або сирий синтез газ, який переважно складається із оксиду вуглецю CO та водню H_2 , а також інших домішок. Найбільш отруйними для каталізаторів Фішера-Тропша вважають сполуки, що

містять компоненти нітрогену, сірки та хлору, наприклад NH_3 , HCN , H_2S та HCl [□-31].

Процес видалення CO_2 необхідний підвищення кінетичних та екологічних параметрів процесу, наприклад зменшення кількості парникових газів. Видалення H_2S , COS , CS_2 здійснюють для уникнення отруєння каталізатора, корозії обладнання, та виділенням SO_2 [□-32].

Очищення від шкідливих домішок може бути здійснено гарячими та холодними методами. Холодні методи поділяють на вологі та сухі. До вологих відноситься розпилювальні та промивні башні, скрубери вентурі, електронні осаджувача та циклони. До сухих відносять процеси очищення механічного, електростатичної сепарації, наприклад циклони, адсорбуючі фільтри. З іншого боку до гарячих методів очищення належать процеси, що відбуваються при температурі більше $300\text{ }^\circ\text{C}$, наприклад високотемпературне розщеплення смоли, каталітичне очищення, використання сорбентів ZnO та інші [□-33].

Найбільшого успіху в процесах очищення синтез-газу від кислих газів CO_2 , H_2S , COS набуло використання охолодження газу в системах рідких скрубєрів або адсорберів. Для видалення домішок H_2S і COS використовуються абсорбенти, такі як метилдіетаноламін (MDEA) або фізичні розчинники (SelexolTM, Rectisol[®]) [□-34].

Система Rectisol працює при тиску 20-70 бар та використовує в якості робочого середовища метанол охолоджений до температури $-62\text{ }^\circ\text{C}$, що дозволяє видаляти CO_2 , а також видаляти сполуки сірки із синтез-газу до концентрації $<0,1$ мл/л. В процесі SelexolTM використовують суміш диметиллових ефірів поліетиленгліколю $(\text{CH}_3\text{O}(\text{C}_2\text{H}_4\text{O})_n\text{CH}_3)$, де n знаходиться в межах від 3 до 9 [□-35].

1.6. Теоретичні основи синтезу Фішера-Тропша

Технологія BTL передбачає перетворення відходів біомаси у синтез-газ, очищення від отруйних компонентів та подальше чистого синтез-газу в широкий

спектр вуглеводнів. Отримання рідких вуглеводнів із відходів біомаси за технологією BTL зображено на рис.1.12:

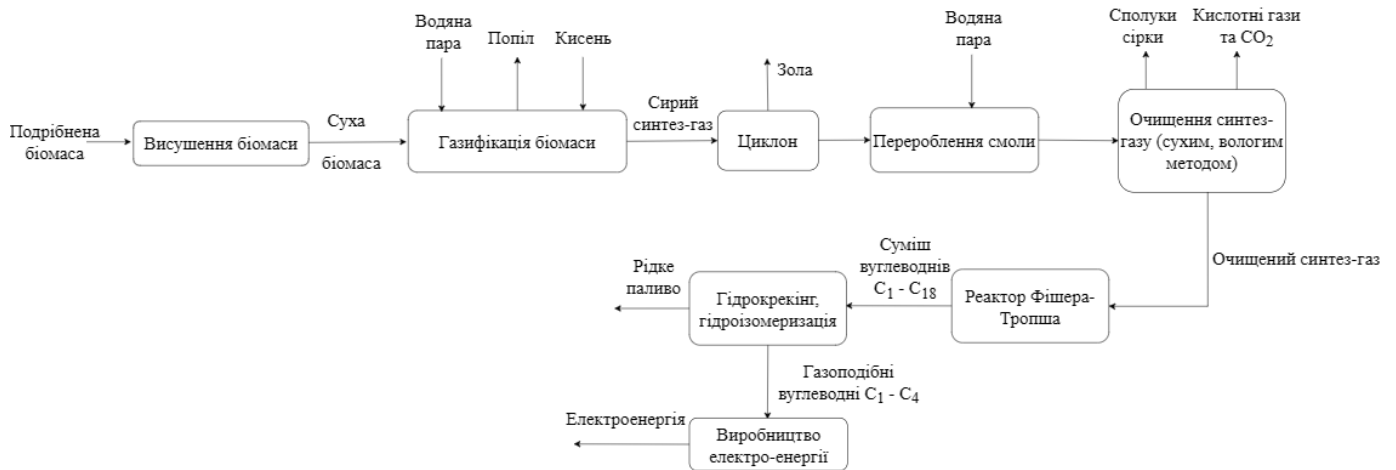
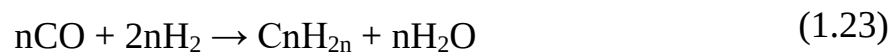
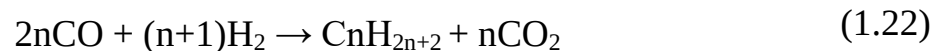
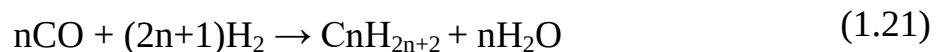


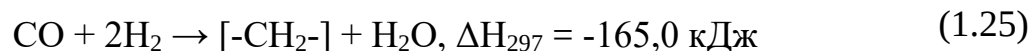
Рис. 1.10. Головні стадії отримання рідких вуглеводнів із відходів біомаси[36, 37].

Процес Фішера-Тропша – це каталітичне гідрування монооксиду вуглецю, що призводить до утворення лінійних вуглеводнів, які в результаті подальшого брекінгу, гідроізомеризації та алкілування перероблюють мастильні матеріали та воски в хімічно-чисте бензинове, дизельне та керасинове паливо.

Синтезу насичених (реакція 1.21-1.22) і ненасичених вуглеводнів (реакція 1.23 – 1.24) методом Фішера-Тропша відбувається за наступними рівняннями:



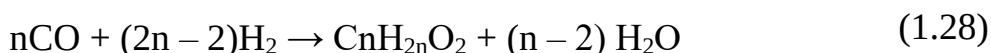
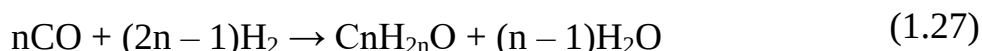
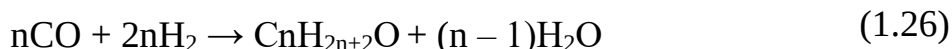
Сумарна реакція процесу має наступний вигляд:



Зазвичай в результаті реакції Фішера-Тропша утворюються н-алкани та α -олефіни. Температурний режим проведення процесу Фішера-Тропша має діапазон

150-350 °С для уникнення інтенсифікації реакції метанування. Робочий тиск в реакторі встановлюють на рівні від 1 МПа до 6 МПа для формування довголанцюгових алканів [137-138].

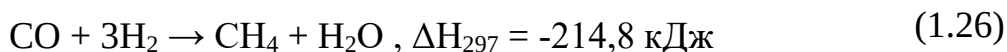
Також за механізмом Фішера-Тропша утворюються первинні спирти (1.26), альдегіди або кетони (1.27), а також карбонові кислоти (1.28) за наступними реакціями:



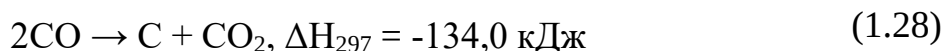
Ступінь перетворення продуктів Фішера-Тропша у альдегіди та карбонові кислоти – досить низький. Оксигенати утворюються при використанні залізних каталізаторів, при підвищеному тиску та температурі.

Досить важливим фактором, що впливає на селективність продуктів та ступінь перебігу реакції Фішера-Тропша, які пов'язані із термодинамікою процесу. До інших побічних реакцій FTS відносять:

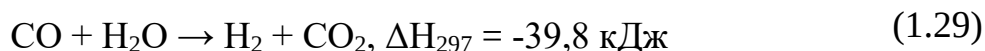
А) пряме гідрування СО в метан, що відбувається при високих температурах із використанням кобальтових та нікелевих каталізаторів, оскільки залізні каталізатори майже не утворюють метан в результаті синтезу:



б) Реакція Белл-Будуара, що характерна диспропорціонуванням СО, що спричинює блокування активної поверхні каталізатора вуглецевими залишками [140]:



в) Реакція водяного зсуву (Water gas-shift reaction)



Низьке співвідношення оксиду вуглецю до водню, що становить $H_2:CO < 2$ може компенсуватися в результаті реакції водяного зсуву, що має високу активність для залізовмісних каталізаторів.

В залежності від температурного режиму процес Фішера-Фропша може бути низькотемпературним (LT-FTS = 200-280 °C) та високотемпературним (HT-FTS = 300-350 °C). Високотемпературний процес FTS проводиться для отримання твердих та рідких вуглеводнів складу C_{5+} , а низькотемпературний – для отримання низьковуглецевих алкенів та рідких вуглеводнів [□-51, □-52]. Збільшення загального тиску в системі сприяє утворенню більш важких продуктів, а підвищення парціального тиску водню в синтез-газі приводить до переважного утворення алканів [□-54-□-55]. Активність синтезу метану при гідруванні оксиду вуглецю зменшується для каталізаторів в наступному ряді $Ru > Fe > Ni > Co > Rh > Pd > Pt > Ir$.

Розподіл компонентів в результаті процесу Фішера-Тропша описує рівняння Адерсона-Шульца-Флорі в результаті процесу полімеризації. Відповідно до даного розподілу вагова частка M_n вуглеводню із певним числом атомів карбону n залежить від ймовірності зростання ланцюга (α), яка визначає швидкість зростання та розриву карбонового ланцюга, що визначається за наступним рівнянням [□-56]:

$$W_n = (1 - \alpha)\alpha^{n-1} \quad (1.30)$$

де W_n - масова частка вуглеводнів з числом атомів вуглецю n , α - ймовірність вуглеводневого ланцюга.

В такому випадку селективність виходу вуглеводнів певного складу залежить від величини α , де при низькому значенні α утворюються легкі вуглеводні складу $C_1 - C_4$, а при великому значення – рідкі $C_5 - C_{17}$ та тверді вуглеводні складу C_{17+} . Селективність отримання компонентів бензинової фракції $C_5 - C_{11}$ становить 45% ($\alpha = 0,76$), а вуглеводнів дизельної фракції – 30% ($\alpha = 0,89$) [□-57].

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного літературного огляду було проаналізовано сучасні технології перероблення відходів біомаси для одержання рідкого синтетичного палива за технологією BTL. Аналіз видів відходів біомаси показав, що для виробництва біо-палива зазвичай використовують лігноцелюлозні залишки, однак більш перспективним варіантом є використання деревних відходів, оскільки вони не містять значної кількості кислотних домішок та вуглекислого газу.

За наведеними літературними даними одержання синтез-газу здійснюють термо-хімічними методами конверсії біомаси, до яких відноситься пряме спалювання, газифікація та піроліз. Серед даних методів одержання синтез-газу найбільш перспективним є газифікація біомаси, оскільки при її використанні не утворюється значна кількість піролізної смоли, а також процес одержання синтез-газу із необхідним співвідношенням H_2 до CO можна контролювати в необхідних межах за рахунок реакції парової та кисневої конверсії.

Також було проаналізовано процес газифікації біомаси, зокрема тип газифікатора та спосіб газифікації біомаси. Найефективнішим газифікатором для встановлення на пілотній установці визначено газогенератор із нерухомим шаром біомаси, що мав низхідне направлення потоку газів та газифікуючого агенту. Даний газифікатор забезпечує високий вихід синтез-газу із сталим хімічним складом та низьким вмістом парів смоли, фенолів та органічних кислот у вихідному синтез-газі.

Перед подачею синтез-газу до реактору здійснювали його попереднє очищення від вуглекислого газу CO_2 методом адсорбції на активованому вугіллі. Процес очищення синтез-газу від домішок сірки та аміаку в лабораторних умовах не проводився, оскільки в якості біомаси було обрано деревні пелети, які мають низький вміст отруйних домішок.

РОЗДІЛ II. ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Об'єкт дослідження

Технологія BTL є сучасним інноваційним підходом до переробки біомаси, що включає кілька етапів, зокрема: термічну конверсію (піроліз або газифікацію), очищення та перетворення синтез-газу, а також синтез рідких вуглеводнів. Цей метод дозволяє отримати високоякісні синтетичні моторні палива з низьким вмістом домішок, що відповідають сучасним екологічним вимогам.

Досліджуваний процес спрямований на розв'язання проблеми накопичення твердих відходів біомаси, таких як відходи сільського господарства, деревини, харчової промисловості та інші органічні залишки. Використання BTL-технології забезпечує ефективну утилізацію цих матеріалів та сприяє створенню екологічно чистих джерел енергії. Особливу увагу у дослідженні приділено оптимізації технологічних параметрів на кожному з етапів переробки, аналізу властивостей вхідної сировини та впливу цих параметрів на якість отриманих моторних палив.

Отже, об'єктом дослідження є розроблення найбільш оптимальної технології твердих відходів біомаси з метою одержання моторних палив. Дана технологія включає метод газифікації біомаси для отримання синтез-газу, синтез-рідких вуглеводнів за методом FTS та подальше удосконалення суміші вуглеводнів до відповідної якості бензинового палива, що не має подібні властивості до палива виготовленого із нафти. Особливість дослідження полягає у модифікації ключових етапів технологічного процесу, наприклад використання унікальної технології синтезу залізовмісного каталізатора, який має високу селективність до утворення рідких вуглеводнів в процесі FTS, використанні газифікатора із низхідним потоком газів.

2.2. Вибір складу каталізатора для синтезу Фішера-Тропша

Оскільки синтез Фішера-Тропша починається з одночасної хемосорбції CO і H_2 на атомах металів каталізатора, для утворення хемосорбційного зв'язку. В якості каталізаторів процесу Фішера-Тропша використовують перехідні метали III та VI групи або їх сполуки (карбідами, нітридами тощо) [54]. Відомо, що найбільш вживаними каталізаторами процесу Фішера-Тропша є перехідні метали VIII групи: Fe, Co, Ni, Ru [1-39]. Також встановлено певну активність інших металів групи VIII та металів груп VI, VII щодо перетворення синтез-газу. Існує думка, що метали, які сприяють дисоціативній хемосорбції CO, каталізують утворення вуглеводнів, тоді як метали, що сприяють недисоціативній хемосорбції - утворенню спиртів й альдегідів. З таких металів тільки залізо, кобальт, рутеній і в деяких випадках нікель сприяють утворенню високомолекулярних вуглеводнів.

У великотоннажному виробництві основними металами для каталізаторів синтезу Фішера-Тропша використовують тільки кобальт і залізо. За участю нікелю синтез відбувається переважно до метану, що практично не представляє інтересу для синтезу Фішера-Тропша. Найбільшу каталітичну активність в процесі FTS показав рутенієвий каталізатор, але він занадто дорогий та не використовується у промисловому синтезі. Платина та іридій окрім значної вартості є малоактивними в утворенні високомолекулярних вуглеводнів. Титан, ванадій, хром, марганець поки не знайшли застосування в синтезі Фішера-Тропша, оскільки їх оксиди важко або зовсім не відновлюються до металу за температур виробництва каталізаторів. Інформація про активність молібдену є тільки в патентній літературі. Нікелеві каталізатори мають високу селективність до метану, що пояснюється їх високою гідрогенізаційною активністю. В області каталізу газофазних процесів запропоновано надзвичайно велику кількість каталітичних систем, які забезпечують максимальний вихід продуктів та високу селективність кінцевих сполук.

Для підвищення селективності та швидкості реакції використовують промотори, що впливають на текстуру каталізатора (поверхню, пористість тощо). В залежності від впливу характеру впливу на властивості каталізатора розрізняють хімічні та структурні промотори. Хімічні промотори підвищують селективність каталізатора в результаті зміни його хімічного складу, а структурні промотори - стабілізують доступну площу поверхні активного металу, тобто надають матриці каталізатора структурній стійкості та пористості. Також використання лужного промотора підвищує активність реакції водяного зсуву. До хімічних промоторів відносять лужні метали, наприклад карбонат натрію та карбонат калію та до лужноземельні метали – карбонат магнію та карбонат кальцію, а також метали побічної підгрупи I та II групи – солі міді, цинку та інші. До структурних промоторів можна віднести оксиди елементи IIIA або IVA групи, наприклад Al_2O_3 , SiO_2 , а також оксиди титану, цирконію та цеоліти. Використання структурних промоторів сприяє зменшенню вірогідності спікання каталізатора [□-42].

Залізовмісні каталізатори синтезу Фішера-Тропша характеризуються такими особливостями як: функціонування при підвищених температурах (250-300 °C, іноді вище); утворення переважно низькомолекулярних вуглеводнів ($\alpha = 0,6-0,7$, рідко досягає 0,8); підвищений вміст олефінів в продуктах реакції (до 80-90 %); більша селективність у формуванні ізоструктури вуглеводнів (до 5-10 % порівняно з 2 % для кобальтовмісних каталізаторів) [□-52] значна активність у перетворенні водяного газу, через що рекомендується співвідношення $\text{CO}:\text{H}_2=1:1$, щоб уникнути різкого падіння виходу цільових вуглеводнів; утворення значної кількості спиртів і альдегідів.

Застосування лужних промоторів, зокрема K_2O збільшує ефективності адсорбції CO та CO_2 , що підвищує селективність до утворення вищих вуглеводнів. Для забезпечення розвиненої поверхні, низького виходу легких вуглеводнів складу $\text{C}_2\text{-C}_4$ доцільно використовувати оксид алюмінію, оскільки він збільшує розміру пор Fe_2O_3 , що впливає на розмір пор та активну поверхню каталізатору. Серед хімічних

промоторів часто для залізних каталізаторів використовують оксид міді, що сприяє ефективному відновленню заліза до металічного стану, однак використання міді знижує активність реакції водяного зсуву (WGS) [□-52]. Найбільш оптимальне співвідношення міді до заліза становить 4:1 або 2:1 для залізовмічних каталізаторів.

Каталізатори на основі заліза є найдешевшими, і тому їх використовують для виробництва широкого спектра продукції, зокрема в багатьох існуючих промислових процесах синтезу Фішера-Тропша. Залізні каталізатори мають високу активність до реакції водяно-зсуву, тому їх доцільно використовувати для технологій BTL та CTL, у яких отриманий синтез-газ має низьке співвідношення $H_2/CO = 0,5-2,5$. Однак кобальтові каталізатори мають вищу ефективність для гідрування вуглецю, що містить співвідношення $H_2/CO \geq 2$. Кобальтові каталізатори доцільно використовувати, якщо вихідною сировиною є природний газ [□-53].

При температурі вище 250 °C переважно перебігають реакції водяного газу і диспропорціонування CO. В результаті реакції водяного газу утворюється додаткова кількість водню. Тому при синтезі за участю каталізаторів на основі заліза співвідношення $H_2:CO$ в середньому трохи нижче (не більше 1,8), ніж за присутності кобальтовмісного каталізатора (1,8-2). Тобто залізні каталізатори краще використовувати в процесах отримання синтез-газу з вугілля. Синтез Фішера-Тропша є високоекзотермічною реакцією, оскільки її проведення супроводжується виділенням тепла, що становить до 35 % від теплотворної здатності синтез-газу, що створює технічні проблеми при реалізації процесу.

2.3. Синтез зразків каталізаторів для отримання компонентів моторних палив з синтез-газу на основі перехідних металів

Процес приготування каталізатора визначає структуру активного металу, розподіл його частинок на поверхні носія та взаємодію між металом і промотором. Каталізатори на основі оксидів перехідних металів можна виготовити різними

методами, такими як співосадження, просочення, механічне змішування, термічне розкладання тощо.

Одним із найпоширеніших методів синтезу каталізаторів для процесу Фішера-Тропша є осадження металів із розчинів їхніх солей, зокрема нітратів, за допомогою аміачної води або карбонату калію. Процес осадження відбувається у гарячому розчині при інтенсивному перемішуванні та контролі значення рН. Отриманий осад фільтрують, висушують і прожарюють на повітрі при температурі 300–500 °С, у результаті чого формується оксидна фаза активного металу.

Для активації каталізатора його піддають відновленню, іноді одночасно з карбідуванням, обробляючи воднем або синтез-газом за температурами, близькими до температур прожарювання. Перед відновленням каталізатор, якщо потрібно, подрібнюють для отримання частинок необхідного розміру.

Принципову схему одержання співосадженого залізного каталізатора синтезу Фішера-Тропша можна представити наступним чином:

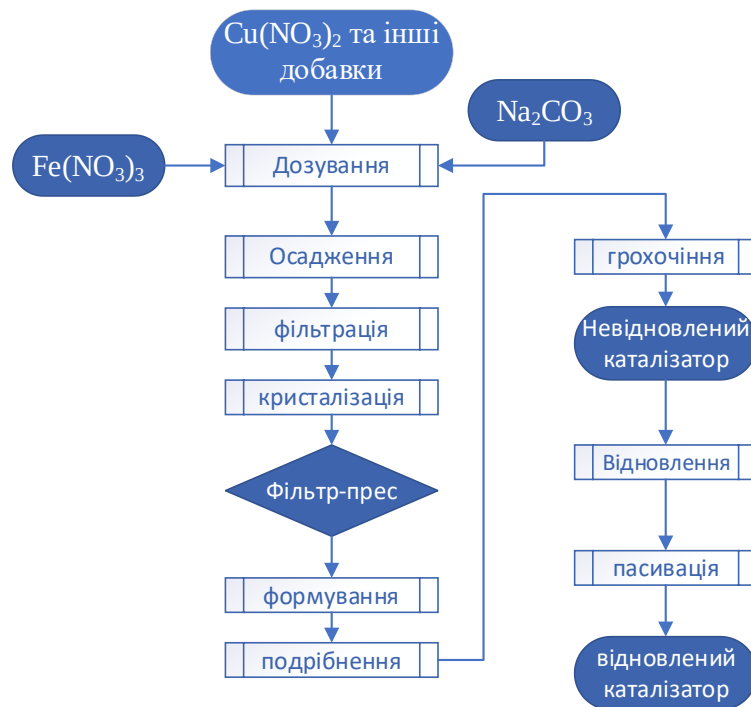


Рис. 2.1 – Технологія отримання співосаджених каталізаторів

Недоліком методу співосадження є значні витрати реактивів та утворення значної кількості стічних вод. Для вирішення даного недоліку, для одержання каталізатора слід використовувати водорозчинні солі наприклад нітрати, оксалати та інші органічні солі.

Ще одним популярним методом приготування каталізаторів синтезу Фішера-Тропша є метод просочення. У цьому випадку активні компоненти наносять на пористий носій із розчинів їхніх солей. Зазвичай носієм виступає інертний або неактивний матеріал. Однак існують системи, у яких носій взаємодіє з активними компонентами, що може впливати на каталітичні властивості отриманого каталізатора.

2.4. Опис лабораторної установки синтезу рідких вуглеводнів

Дослідження активності приготованих залізовмісних каталізаторів проводили в проточній установці, що схематично зображена на Рисунку 1.1.

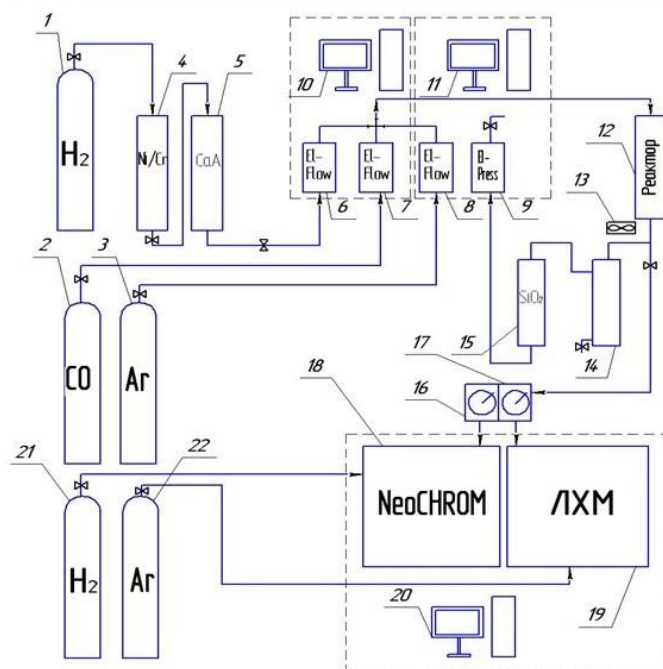


Рис. 2.2 - Установка для дослідження процесу синтезу Фішера-Тропша під тиском.

Згідно зі схемою установки газовий потік (H_2 , CO і Ar) формують подачею з балонів (1-3). Водень з балону потрапляє в колонку (4), завантажену Ni-Cr каталізатором, для очищення від домішок кисню. При взаємодії кисню з воднем на Ni-Cr каталізаторі утворюється вода, яка вловлюється в колонці (5), що завантажена цеолітом CaA. Колонка з Ni-Cr каталізатором оснащена нагрівальним кожухом та терморегулятором. Колонка з CaA також знаходиться в нагрівальному кожусі, що дозволяє регенерувати цеоліт при потребі.

Регулятори потоків Bronkhorst El-Flow (6-8) дозволяють формувати та регулювати об'ємні потоки газів H_2 , CO і Ar в cm^3/xv відповідно. За допомогою регулятора потоку Bronkhorst El-Flow (9) задають тиск потоку, що подається на реактор (12). Управління даними регуляторами здійснюється за допомогою персонального комп'ютера (10-11).

Контроль та управління температурним режимом у реакторі (12) здійснюється за допомогою терморегулятора, до якого під'єднані термопари. Частина потоку, що містить продукти реакції Фішера-Тропша, перед надходженням у регулятор тиску (9) проходить очищення. Для цього газова суміш надходить у повітряний холодильник (13), де відбувається конденсація продуктів реакції, після чого вони потрапляють в пастку (14). Можливі залишки вуглеводнів видаляються в колонці (15), завантаженій SiO_2 .

Інша частина потоку, що містить продукти реакції, надходить по трубці на крани-дозатори (16-17). Для запобігання конденсації трубка та крани-дозатори оснащені нагрівальними елементами, що дозволяє керувати температурним режимом. Крани-дозатори встановлені послідовно. Проба після кранів-дозаторів потрапляє на аналітичний блок.

Аналітичний блок складається з двох хроматографів: ЛХМ (19) та NeoCHROM (18). Хроматограф ЛХМ оснащено насадковою колонкою та детектором по теплопровідності. Цей аналітичний вузол дозволяє виявляти неорганічні продукти:

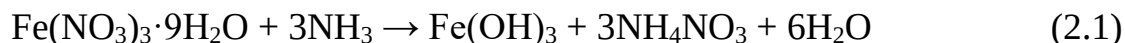
CO, CO₂, H₂ і CH₄. Хроматограф NeoCHROM оснащено полум'яно-іонізаційним детектором та капілярною колонкою, що на відміну від ЛХМ, дозволяє аналізувати вміст вуглеводнів. Під час аналізу для ЛХМ як газ-носії використовують Ar (22), а для NeoCHROM - H₂ (21). Керування аналітичним блоком здійснюється за допомогою персонального комп'ютера (20).

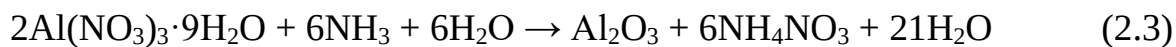
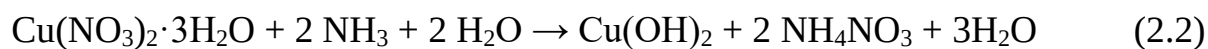
Дослідження процесу Фішера-Тропша проводили в металевому проточному реакторі з нерухомим шаром каталізатора в установці високого тиску. У реактор завантажували 1 см³ каталізатору. Відновлення проводили при температурі 350⁰С і тиску 1 атм. протягом 6-8 год. до постійності вмісту водню в газовій суміші на вході і виході з реактора.

2.5. Методика приготування каталізатора Фішера-Тропша

Процес приготування співосадженого каталізатора полягає у тому, що солі перехідного металу і матеріалу носія осаджуються за допомогою лужного агента, наприклад аміачну воду або сечовину, до гідроксидів металів. Каталізатор, що використовується в процесі перетворення синтез-газу, отримують співосадженням водорозчинних солей основного металу - Fe - і промоторів - солей Si, Cu, Mn, K.

Методика приготування залізовмісного каталізатора полягає у наступному. Для виготовлення було взято 10,66 кг нонагідрату нітрату заліза (III), 1,82 кг тригідрат нітрату міді(II), 2,56 кг нонагідрат тринітрат алюмінію (III). Суміш розмістили в термостійкий реактор з мішалкою, який нагрівали до температури 100 °С плавлення цих солей для видалення із їх структури кристалічну воду. Через утворений розплав солей барботували газоподібний аміак протягом 4-6 годин із ретельним перемішуванням та контролем значення рН. Процес осадження солей за допомогою газоподібного аміаку здійснювався за наступними реакціями:





Наприкінці процесу осадження до отриманої суспензії додали 0,44 кг порошкоподібного K_2CO_3 . Визначальною ознакою завершення процесу є формування густої гелеподібної пасти та нейтральне значення рН розчинку на рівні 7-8.

Осаджену суспензію розмістили в муфельну піч і витримували за температури 120 °C протягом 12 годин для видалення залишкового аміаку та вологи із розплаву. Після висушування здійснювали програмоване нагрівання зі швидкістю 2-3°C/хв до температури 400°C для повільного розкладання гідроксидів металів, де внаслідок термічної дисоціації утворювалась активна речовина каталізатора у формі дрібних частинок відповідних оксидів із розвиненою поверхнею. Після досягнення температури 400°C каталізаторну масу прожарювали 4 години. Залишковий вміст вологи в каталізаторній масі після прожарювання складав 3%. Синтезований каталізатор подрібнювали в шаровому млині для одержання дрібнодисперсного матеріалу, проводили просіювання, для отримання дрібного матеріалу. Після цього порошкоподібний матеріал таблетували на спеціальній таблетувальній машині до розміру зерен 2-5 мм. Таблетки каталізатора зображено на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Залізовмісний каталізатор: а – пресований; б – після подрібнення

В результаті проведеного процесу співосадження був синтезований каталізатор, що містить оксиди заліза, міді, алюмінію та калію, який має наступне співвідношення компонентів мас. %: Fe_2O_3 - 70%, CuO - 10%, K_2O - 5%, Al_2O_3 - 15%. Даний каталізатор буде мати високий показник селективності відносно рідких вуглеводнів в процесі Фішера-Тропша та добре розвинену поверхню.

2.6. Фізико-хімічні методи аналізу залізовмісного каталізатора

Отриманий співосаджений каталізатор співосадження було проаналізовано такими фізико-хімічними методами аналізу:

- рентгенофлуоресцентний аналіз (XRF spectroscopy)
- спектроскопія комбінаційного розсіювання (Raman spectroscopy)
- низькотемпературна адсорбція-десорбція азоту на поверхні матеріалу (BET, VJH)
- температурно-програмне відновлення воднем (TPR- H_2)

Висновки до розділу II

Об'єктом дослідження є технологія отримання BTL, що полягає у отриманні рідких вуглеводнів із відходів біомаси із подальшим удосконаленням їх якості до моторного палива.

В даному розділі було обрано найбільш ефективний каталізатор, що в якості основного компоненту містить оксид заліза, а до промоторів відносяться оксиди міді, алюмінію та калію. Для визначення необхідного співвідношення компонентів в каталізаторі було розроблено чотири зразки каталізатора різного складу методом співосадження водорозчинних солей. Наведено спосіб приготування каталізатору методом співосадження.

Отриманий каталізатор було проаналізований наступними фізико-хімічними методами – рентгенофлуорисцентною, раманіською спектроскопією, термопрограмним відновленням водню, а також адсорбцією та десорбцією водню.

Для аналізу продуктів синтезу Фішера-Тропша використовували метод газової хроматографії, використовуючи детектор по теплопровідності та полум'яно-іонізаційний детектор.

При розрахунку продуктів гідрування оксиду вуглецю використовували молекулярно-масовий розподіл вуглеводнів та співвідношення компонентів в реакції.

РОЗДІЛ III. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Дослідження каталітичних властивостей синтезованих залізовмісних каталізаторів в процесі Фішера-Тропша.

В лабораторних умовах було синтезовано наступні зразки каталізаторів, що складались із металів Fe, Cu та оксидів K_2O , Al_2O_3 , MnO_2 . Склад приготованих зразків залізовмісного каталізатора наведено в Таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Склад зразків співосадженого залізовмісного каталізатора

Зразок	Склад каталізатора, % мас.				
	Fe	Cu	K_2O	Al_2O_3	MnO_2
C1	65	5	5	25	-
C2	80	15	5	-	-
C3	70	10	5	15	-
C4	75	10	5	-	10

Дослідження каталітичної активності виготовлених каталізаторів проводили таким чином. Через відновлений каталізатор безперервно пропускали синтез-газ з молярним співвідношенням $CO:H_2 = 1:3$ за умов процесу: об'ємна швидкість 2400 год^{-1} , тиск - 2 атм. в інтервалі температур $280-300^\circ\text{C}$. Гарячі продукти реакції на виході з реактора (температура 150°C) за допомогою системи кранів-дозаторів поступали на хроматографічний аналіз.

Результати проведених досліджень каталітичних властивостей приготованих залізовмісних каталізаторів наведено в Таблицях 3.2-3.5 та Рисунках 3.1-3.4.

Таблиця 3.2 - Активність каталізатора С1 в реакції синтезу вуглеводнів
за процесом Фішера-Тропша
(CO:H₂=1:3, об'ємна швидкість - 2400 год.⁻¹, тиск - 2 атм., температура - 300 °C)

Компонент	Мольна частка	Масова частка	Продуктивність каталізатора, г/(Г _{кат} ·год)
Метан	0,008090025	0,014194944	0,004354072
етилен	0,00164247	0,005043352	0,001546968
етан	0,00067968	0,002236091	0,000685885
пропан	0,001299419	0,006269973	0,001923214
бутан	0,000618046	0,003931086	0,001205798
пентен	0,000182679	0,001402334	0,000430144
пентан	0,000340674	0,002689899	0,000825083
C6	0,000444286	0,004190101	0,001285246
C7	0,000276697	0,003034366	0,000930743
C8H	0,000239566	0,002994981	0,000918662
C9	0,000183375	0,002574033	0,000789543
C10	0,000121056	0,001885115	0,000578229
C11	0,000103549	0,001771479	0,000543373
C12	0,000200119	0,0037308	0,001144363
C13	9,81912E-05	0,001981319	0,000607738
C14	0,000115198	0,002501336	0,000767245
C15	0,00013095	0,003044417	0,000933826
C16	8,09752E-05	0,002006893	0,000615582
C17	6,33533E-05	0,001667419	0,000511454
C18	2,52968E-05	0,000704634	0,000216135
Ступінь перетворення CO X, %			10,0
Вихід рідких вуглеводнів, г/(Г _{кат} ·год)			0,006797898
Селективність за рідкими вуглеводнями, %			38,3

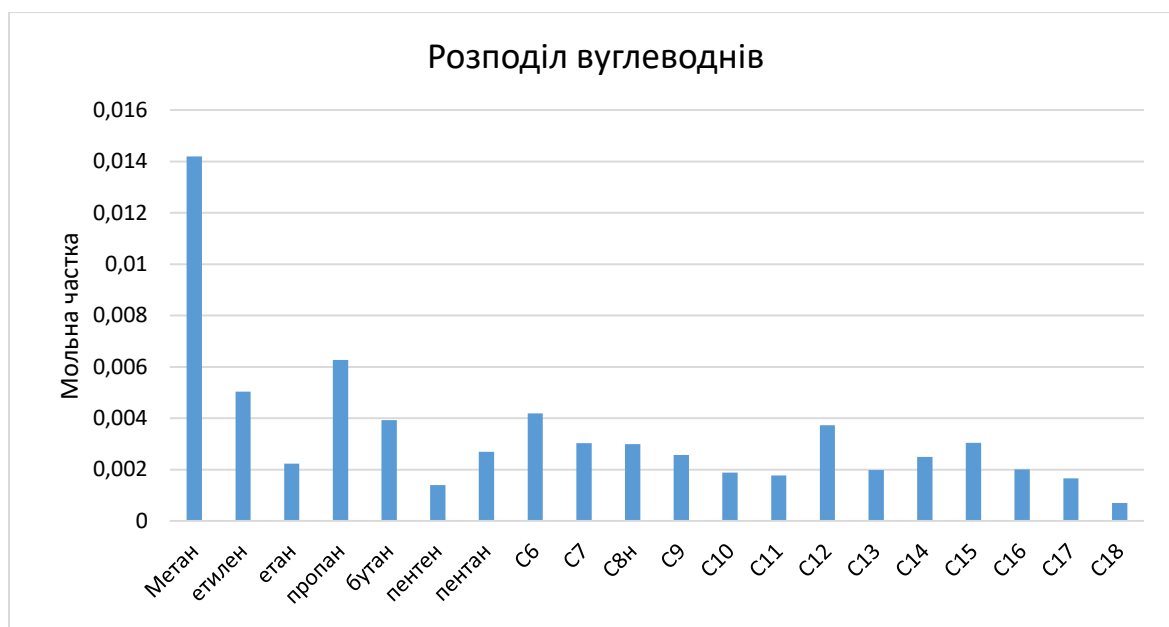


Рисунок 3.1 - Розподіл продуктів реакції Фішера-Тропша за участю каталізатора C1.
Умови проведення реакції як в Таблиці 3.2.

Таблиця 3.3 - Активність каталізатора C2 в реакції синтезу вуглеводнів
за процесом Фішера-Тропша
(CO:H₂=1:3, об'ємна швидкість - 2400 год.⁻¹, тиск - 2 атм., температура - 300 °C)

Компонент	Мольна частка	Масова частка	Продуктивність каталізатора, г/(г _{кат} ·год)
Метан	0,010959264	0,017461219	0,00535595
етилен	0,004091616	0,011408436	0,003499355
етан	0,00057553	0,001719343	0,000527381
пропан	0,002822325	0,012366105	0,003793105
бутан	0,001635271	0,00944476	0,002897029
пентен	0,000591786	0,004125112	0,001265312
пентан	0,001022872	0,007333765	0,002249515
C6	0,000968844	0,008297084	0,002544998
C7	0,001016505	0,010122377	0,003104877
C8H	0,000791979	0,008990668	0,002757744
C9	0,000540507	0,006889449	0,002113228
C10	0,000421433	0,005959235	0,0018279
C11	0,000434699	0,006752836	0,002071324
C12	0,000558347	0,009452061	0,002899268
C13	0,000360037	0,006596879	0,002023487
C14	0,000322844	0,006365483	0,00195251
C15	0,000356432	0,00752465	0,002308066
C16	0,000257548	0,005796158	0,001777879
Ступінь перетворення CO X, %			23,10
Вихід рідких вуглеводнів, г/(г _{кат} ·год)			0,019342827
Селективність за рідкими вуглеводнями, %			49,7

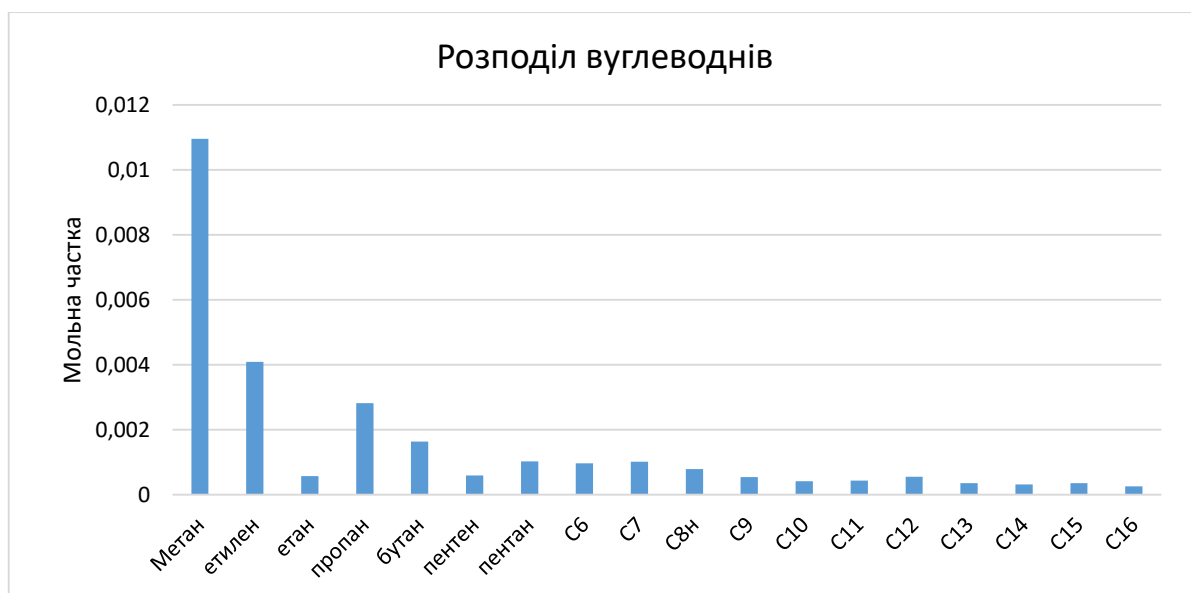


Рисунок 3.2 - Розподіл продуктів реакції Фішера-Тропша за участю каталізатора C2.
Умови проведення реакції як в Таблиці 3.3.

Таблиця 3.4 - Активність каталізатора С3 в реакції синтезу вуглеводнів
за процесом Фішера-Тропша
(CO:H₂=1:3, об'ємна швидкість - 2400 год.⁻¹, тиск - 2 атм., температура - 300 °С)

Компонент	Мольна частка	Масова частка	Продуктивність каталізатора, г/(Г _{кат} ·год)
Метан	0,046049668	0,061327769	0,018811312
етилен	0,01115759	0,026003939	0,007976292
етан	0,00276066	0,006893581	0,002114496
пропан	0,007081137	0,025933811	0,007954782
бутан	0,003647042	0,01760676	0,005400592
пентен	0,00085091	0,004957839	0,001520738
пентан	0,002446573	0,014662273	0,004497418
C6	0,002717177	0,019450335	0,005966079
C7	0,002330649	0,019399363	0,005950444
C8н	0,001842925	0,017487319	0,005363955
C9	0,001462651	0,015583369	0,004779949
C10	0,001134574	0,013410093	0,004113332
C11	0,000862169	0,011195088	0,003433914
C12	0,000831739	0,011769189	0,00361001
C13	0,000562455	0,008614234	0,002642278
C14	0,000658043	0,010845011	0,003326534
C15	0,000321522	0,005673588	0,001740282
C16	0,000153047	0,002879023	0,000883094
Ступінь перетворення CO X, %			57,0
Вихід рідких вуглеводнів, г/(Г _{кат} ·год)			0,035859963
Селективність за рідкими вуглеводнями, %			42,6

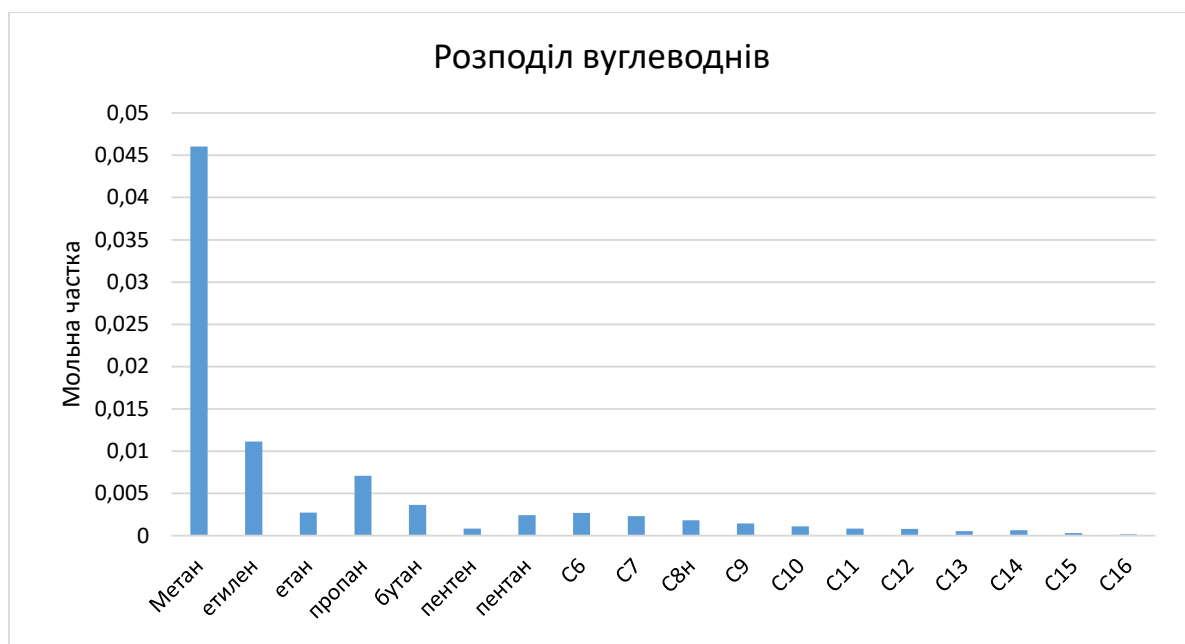


Рисунок 3.3 - Розподіл продуктів реакції Фішера-Тропша за участю каталізатора С3.
Умови проведення реакції як в Таблиці 3.4.

Таблиця 3.5 - Активність каталізатора С4 в реакції синтезу вуглеводнів
за процесом Фішера-Тропша
(СО:Н₂=1:3, об'ємна швидкість - 2400 год.⁻¹, тиск - 2 атм., температура - 300 °С)

Компонент	Мольна частка	Масова частка	Продуктивність каталізатора, г/(Г _{кат} ·Год)
Метан	0,007288474	0,013094681	0,004016584
етилен	0,000785244	0,002468885	0,000757291
етан	0,000782982	0,002637613	0,000809046
пропан	0,000829487	0,004098272	0,001257079
бутан	0,000353717	0,002303682	0,000706618
пентен	0,000120023	0,000943415	0,000289377
пентан	0,000265708	0,002148205	0,000658927
С6	0,000289092	0,002791731	0,000856319
С7	0,000177323	0,001991148	0,000610753
С8н	0,000130921	0,001675919	0,000514061
С9	9,66306E-05	0,001388875	0,000426015
С10	7,78946E-05	0,001242036	0,000380975
С11	5,84628E-05	0,0010241	0,000314126
С12	6,41202E-05	0,001224002	0,000375443
С13	4,60916E-05	0,00095231	0,000292106
С14	4,00035E-05	0,000889409	0,000272812
С15	7,43713E-05	0,001770434	0,000543052
С16	4,79432E-05	0,001216673	0,000373195
С17	6,79546E-05	0,001831338	0,000561734
С18	4,17928E-05	0,001191994	0,000365625
С19	6,59245E-06	0,00019839	6,0853E-05
Ступінь перетворення СО X, %			6,8
Вихід рідких вуглеводнів, г/(Г _{кат} ·Год)			0,003769798

Селективність за рідкими вуглеводнями, %	30,7
--	------

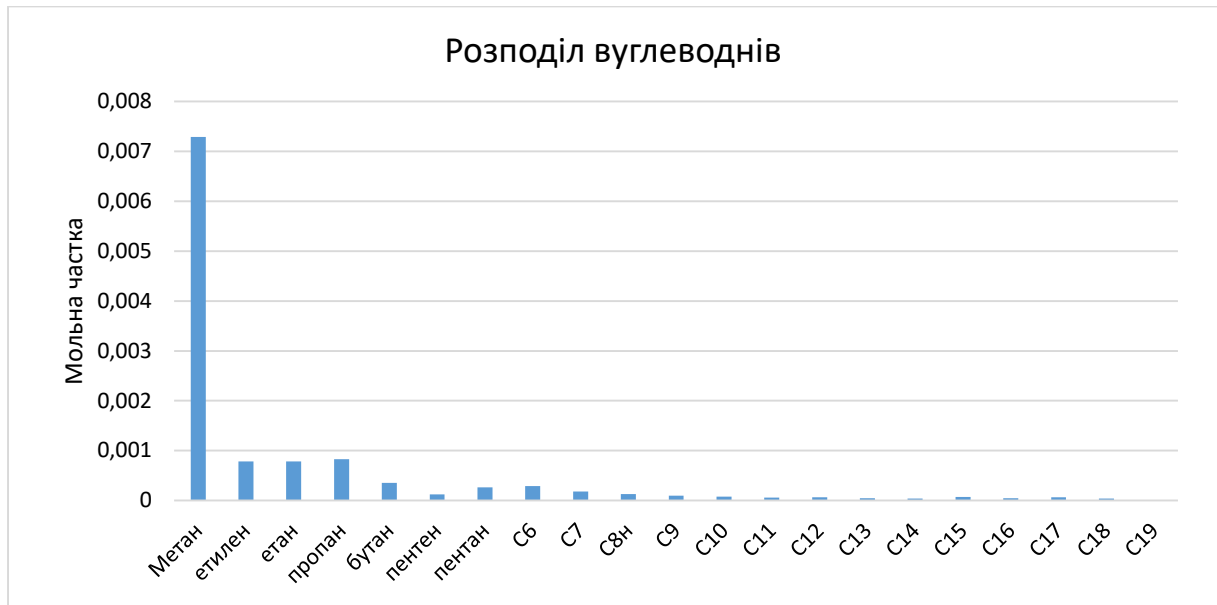


Рисунок 3.4 - Розподіл продуктів реакції Фішера-Тропша за участю каталізатора C_5 .
Умови проведення реакції як в Таблиці 3.5.

3.2. Вибір оптимального каталізатора для пілотної установки.

На базі літературних даних та попередніх досліджень активним компонентом каталізатора синтезу рідких вуглеводнів (C_{6+}) методом Фішера-Тропша вибрано залізо. Для процесу гідрування монооксиду вуглецю з одержанням рідких вуглеводнів синтезовано 4 зразки поліфункціональних каталітичних систем на основі заліза, що відрізнялись за хімічним та кількісним складом промоторів.

Налагоджено лабораторну каталітичну установку для проведення процесу синтезу Фішера-Тропша з синтез-газу різного складу за тисків до 50 атм. Відпрацьовано методики хроматографічного аналізу компонентів реакції Фішера-Тропша. Проведено дослідження впливу температури, тиску та промоторів (Cu , K_2O , Al_2O_3 , MnO_2) на активність та селективність за вуглеводнями процесу Фішера-Тропша за участю нанорозмірних залізовмісних каталізаторів. Виявлено, що промотування каталізатора веде до збільшення його продуктивності, а також

дозволяє істотно змінити склад продуктів синтезу. Підвищення температури сприяє підвищенню загальної активності каталізатора та зменшенню селективності за рідкими вуглеводнями (C6+).

Дослідження активності синтезованих зразків поліфункціональних каталітичних систем на основі заліза для процесу одержання рідких вуглеводнів з синтез-газу за умов: $\text{H}_2:\text{CO}=3:1$, об'ємної швидкості 2400 год^{-1} , тиску 2 атм. в інтервалі температур 280 - 300 °C показало, що каталізатори, отримані методом співосадження мають досить високу каталітичну активність.

Проведені дослідження дозволили встановити оптимальний склад каталізатора - Fe - 70%; Cu - 10%; K_2O -5%; Al_2O_3 - 15% (надалі зразок C3) - та розробити технологію приготування каталізатора синтезу рідких вуглеводнів з синтез-газу, в присутності якого досягнуто виходу рідких вуглеводнів $0,036 \text{ г}/(\text{г}_{\text{кат}} \cdot \text{год})$ за ступенем перетворення CO 57% за один прохід. Синтезовано дослідну партію каталізатора C3 в кількості 8 кг для використання в пілотній установці перетворення вуглецевмісної сировини у рідкі вуглеводні.

На базі вибраного каталізатора (зразок C3) запропоновано базовий варіант технологічного оформлення процесу синтезу Фішера-Тропша, розроблено конструктивний дизайн реактора. Визначено матеріальний та енергетичний баланс процесу Фішера-Тропша.

3.3. Впробування одержаного каталізатора Фішера-Тропша в лабораторній установці

Визначення вмісту вуглеводнів в аналізованій пробі здійснювали методом газової хроматографії, використовуючи хроматограф NeoCHROM, який обладнаний полум'яно-іонізаційним детектором. Хроматограф оснащений неполярною капілярною колою HP-5, що містить нерухому фазу 5% феніл-меліполісілоксан. Довжина колонки становить 30 м, внутрішній діаметр 0,32 мм,

внутрішній діаметр колонки 0,25 мкм. В якості газу носія використовується водень із швидкістю подачі 30 см/с, температурою детектора 290 °С, випарника 290 °С та швидкістю надходження газу носія – 40 см³/хв.

Мінімальний рівень що детектується: < 1.8 пгС/сек. Лінійний динамічний діапазон > 107 (±10 %). Частота збору даних - до 500 Гц. Максимальна температура - до 450°С. В якості газу носія використовувався водень. Температура термостата становила 150°С, детектора – 180°С, випарювача 200°С. В якості газу носія використовувався аргон. Для одержаного каталізатора було проведено процес одержання рідких вуглецевмісних вуглеводнів було в лабораторній установці при температурі 280 °С, наведено в табл 3.6. Розподіл вуглеводневих фракцій за ступенем виходу зображено на рис. 3.5.

Таблиця 3.6 – Результати хроматографічного аналізу процесу гідрування вуглецю вуглеводнів (СО:Н₂=1:3, об'ємна швидкість - 2400 год.⁻¹, тиск - 5 атм., температура - 280 °С)

Компонент	Час виходу, t _{вих} хв	Мольна частка, n моль	Площа піку, S _п , па·хв	Масова частка, г	Продуктивність каталізатора, г/(Г _{кат} ·год)	Вихід вуглеводнів, %
C1	1,41	0,0316	2,66	0,0433	0,05885	16,1
C2	1,43	0,0092	1,451	0,0236	0,03211	8,8
C3	1,47	0,0088	1,716	0,0332	0,04510	12,4
C4	1,59	0,0056	1,177	0,0277	0,03764	10,3
C5	1,75	0,004519	0,868	0,0279	0,03793	10,4
C6	1,87	0,003212	0,860	0,0237	0,03220	8,8
C7	2,53	0,002695	0,846	0,0231	0,03141	8,6
C8	3,8	0,002114	0,688	0,0207	0,02810	7,7
C9	5,6	0,001339	0,549	0,0147	0,01998	5,5
C10	7,6	0,000788	0,374	0,0096	0,01304	3,6

C11	9,58	0,0006	0,302	0,0080	0,01090	3,0
C12	11,47	0,000444	0,241	0,0065	0,00881	2,4
C13	13,4	0,000223	0,049	0,0035	0,00477	1,3
C14	14,97	0,000111	0,058	0,0019	0,00257	0,7
C15	21,85	0,0000233	0,011	0,0004	0,00058	0,2
C16	24,88	0,00000493	0,006	0,0001	0,00013	0,0
C17	27,39	0,0000251	0,034	0,000517	0,00070	0,2
Сума		0,0712	11,89	0,2683	0,36482	100,0
Ступінь перетворення CO X, %				49,8		
Вихід рідких вуглеводнів, г/(г _{кат} ·год)				0,153		
Селективність за рідкими вуглеводнями, %				42		

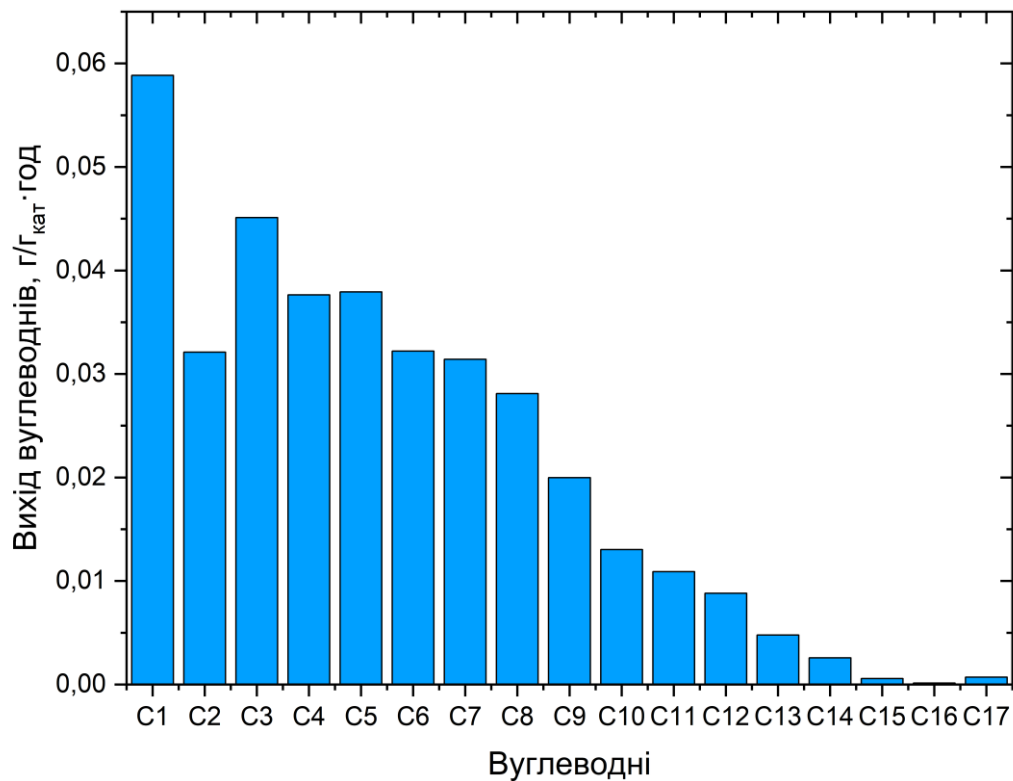


Рисунок 3.5 - Графічна залежність відсоткового виходу виходу широкої фракції вуглеводнів

Результати хроматографічного аналізу дають змогу сказати, що найбільший сумарний вихід спостерігався для рідких вуглеводнів складу $C_6 - C_{16}$, який становив 42 %, із масовим виходом рідких вуглеводнів $0,15 \text{ г/г}_{\text{кат}} \cdot \text{год}$ при конверсії монооксиду вуглецю 49,8 % та ентальпії процесу $7,38 \text{ кДж/моль}$.

3.4. Дослідження структури каталізатора фізико-хімічними методами аналізу

Структурну характеристику каталізатора було досліджено методом раманівської спектроскопії, використовуючи конфокальний спектрометр RENISHAW inVia. Для аналізу складу зразка каталізатора використовували інфрачервоний лазер He-Ne із довжиною хвилі 633 нм та дифракційною ґраткою, що має густину штрихів 1200 штр/мм . На рис 3.8. були ідентифіковані типові моди, які пов'язані із структурою альфа-гематиту $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ із довжиною смуги $227, 411,3 \text{ см}^{-1}$ [□-58] та присутність CuO або гетероструктури оксиду купруму альфа-гематиту ($\text{CuO}/\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$), що має смугу $293,6 \text{ см}^{-1}$ [□-59]. Досить чітко виражено типові моди, що пов'язують із наявністю магнетиту Fe_3O_4 із довжиною смуги $665,6 \text{ см}^{-1}$ [□-60]. Також присутня смуга 492 см^{-1} , яка може бути пов'язаною із модою T_{2g} (482 см^{-1}) наявністю фериту міді (II), що має структуру шпинелі CuFe_2O_4 [□-61].

Раманівських піків, які характерні альфа-оксиду алюмінію (III) не було помічено, що можна пояснити присутністю в каталізаторі лише $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, який характеризується слабо вираженими піками на раманіському спектрі, що зазвичай має смуги, довжиною 315, 410, 520, 713 нм^3 , 835 нм [□-62, □-63]. Також була помічна смуга довжиною 1319 см^{-1} , що показує sp^2 -гібридизовані атоми вуглецю та пов'язана із утворенням карбіда заліза в результаті завуглецювання, який має загальну формулу Fe_xC [□-64]. Раманіський спект синтезованого каталізатора зображено на рис. 3.6.

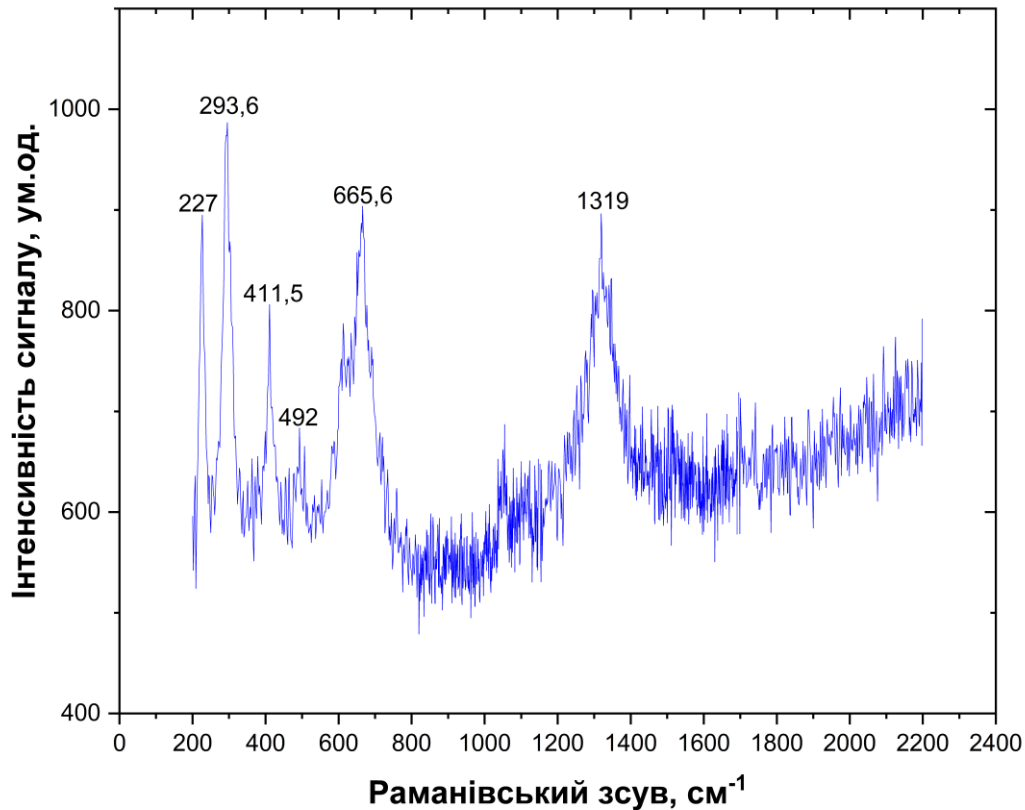


Рисунок 3.6 – Раманівський спектр залізовмісного каталізатора

В процесі відпарцювання залізовмісних каталізаторів утворюються карбіди заліза Fe_xC за наступною реакцією:



Процес відновлення оксидів заліза до карбідів починається із відновлення гематиту Fe_2O_3 до магнетиту Fe_3O_4 , що спричинено перенесенням водню від промоторів до відповідних залізних оксидів. Потім відбувається взаємодія Fe_3O_4 із лужними металами для збагачення Fe_3O_4 . В подальшому магнетит відновлюється воднем до метастабільного FeO , який відновлюється металічного заліза $\alpha\text{-Fe}$. Металічне залізо реагує із монооксидом вуглецю, що призводить до утворення карбідів заліза, що відбувається при низькотемпературному FTS. Зазвичай,

утворюються п'ять основних карбідів заліза, що мають форму $\chi\text{-Fe}_5\text{C}_2$, $\theta\text{-Fe}_3\text{C}$, $\varepsilon\text{-Fe}_{2,2}\text{C}$, $\varepsilon\text{-Fe}_{2,2}\text{C Fe}_7\text{C}_3$, [41, 42].

Для визначення молекулярного складу зразків каталізатора проводили рентгенофлуоресцентний аналіз, використовуючи спектрометр Elvax Plus, який в зони дифракції укомплектований Rh-анодом, фільтром Al-800, напругою 50 кВ та коліматором (7.4 мм). Апарат мав напругу на аноди

Напруга на аноді складала 35 кВ, а напруга випромінювача 10-15 кВ, сила струму від 50 до 100 мкА. Кількісний аналіз вмісту компонентів в зразках каталізатора проводили із встановленою концентрацією компонентів. Елементарний склад каталізатора, визначений рентгенофлуоресцентним методом аналізу наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7. Результати рентгенофлуоресцентного аналізу каталізатора

Речовина	Молярна маса, г/моль	Інтенсивність сигналу, ум.од	Вміст, %
Fe ₂ O ₃	160	2475507	67,62
CuO	80	633029	21,00
Al ₂ O ₃	102	42367	9,88
K ₂ O	94	35114	1,50

Визначення розміру пор, питомої поверхні та об'єму пор проводили ізотерму низькотемпературної адсорбції азоту зразка каталізатора за допомогою приладу : Micro300C-02-Analysis Station3, який здатний визначати діаметр пор порошкового матеріалу від 0,35 до 500 нм та питому поверхню менше $1 \cdot 10^{-4}$ м²/г. Спочатку каталізатор підігрівали гелієм при температурі 300°C протягом 5 годин. Для визначення питомої поверхні адсорбції використовувався метод Брунауера-Еммета-Тейлора (БЕТ). Визначення розміру пор здійснювалося методом Баррета-Дойнера-Халлінді (BJH). Ізотерму адсорбції та десорбції для залізовмісного каталізатора зображено на рисунку 3.8

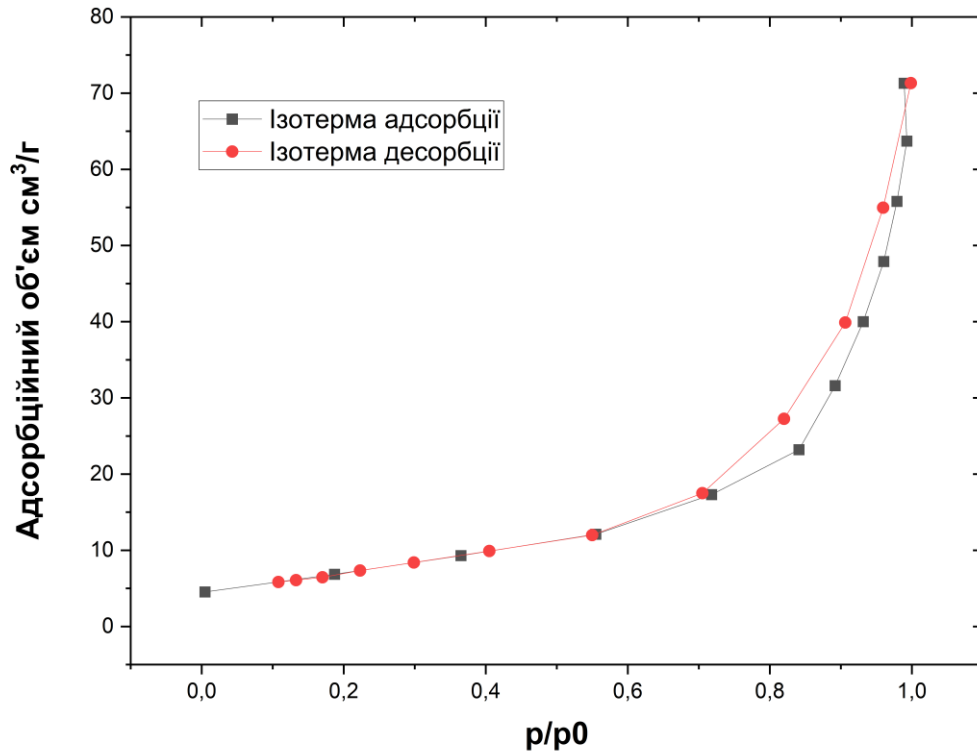


Рис.3.8. Ізотерма адсорбції/десорбції азоту на поверхні каталізатора

За результатами низькотемпературної ізоТЕРМИ адсорбції, були визначені наступні характеристики поверхні каталізатора: площа питомої поверхні каталізатора $23,76 \text{ м}^2/\text{г}$, середній розмір пор – $16,35 \text{ нм}$ та об'єм пор $0,096 \text{ см}^3/\text{г}$.

Отримана ізоТЕРМА, що зображена на рис.3.4. відноситься до ізоТЕРМИ IV типу за класифікацією ІЮПАК, оскільки має петлю гістерезису між гілками адсорбції та десорбції, що вказує на середній розмір пор матеріалу (від 2 до 50 нм). В таких матеріалах характерний процес капілярної конденсації та утворення багат шаровості. В якості результатів низько-температурної ізоТЕРМИ адсорбції/десорбції (табл. 3.8) було визначено відношення праціального тиску газу p до тиску насиченої пари адсорбату p_0 при визначенній температурі та об'єм адсорбованого газу.

Адсорбція		Десорбція	
Відношення p/p_0	Об'єм адсорбованого газу $V, \text{см}^3/\text{г}$	p/p_0	Об'єм адсорбованого газу $V, \text{см}^3/\text{г}$
0,00457	4,54	0,9985	71,32
0,187	6,85	0,9596	54,96
0,365	9,3	0,9062	39,9
0,555	12,1	0,82	27,26
0,718	17,3	0,705	17,5
0,841	23,2	0,5498	12
0,892	31,6	0,405	9,896
0,9316	40	0,2987	8,386
0,9605	47,9	0,223	7,338
0,979	55,8	0,17	6,46
0,993	63,7	0,133	6,082
0,989	71,3	0,108	5,824

Визначення температури відновлення оксидів металів воднем здійснювали методом термопрограмного відновлення воднем (TPR- H_2) з використанням приладу AMI-300Lite (Altamira Instruments). Для проведення аналізу було використано детектор теплопровідності (TCD), що забезпечує реєстрацію змін концентрації водню у газовому потоці під час відновлення зразків.

Для проведення відновлення оксидів металів в реактор було завантажено 0,1001 г каталізатора, який було попередньо оброблено інертним аргоном (15 мл/хв) підвищуючи із поступовим підвищенням температуру до 70 °C. В подальшому здійснювали нагрівання каталізатору до температури 600 °C швидкістю нагрівання – 10 °C/хв. Для стабілізації реактору зменшували його температуру до 50°C, після чого надходив 10% H_2 зі швидкість потоку газу 30°C/хв. Після цього здійснювали нагрівання реактору від 50 до 1000°C із швидкістю нагрівання 10 °C/хв із паралельним фіксуванням вихідного сигналу. Профіль співосадженого залізовмісного каталізатору наведено на рис. 3.9.

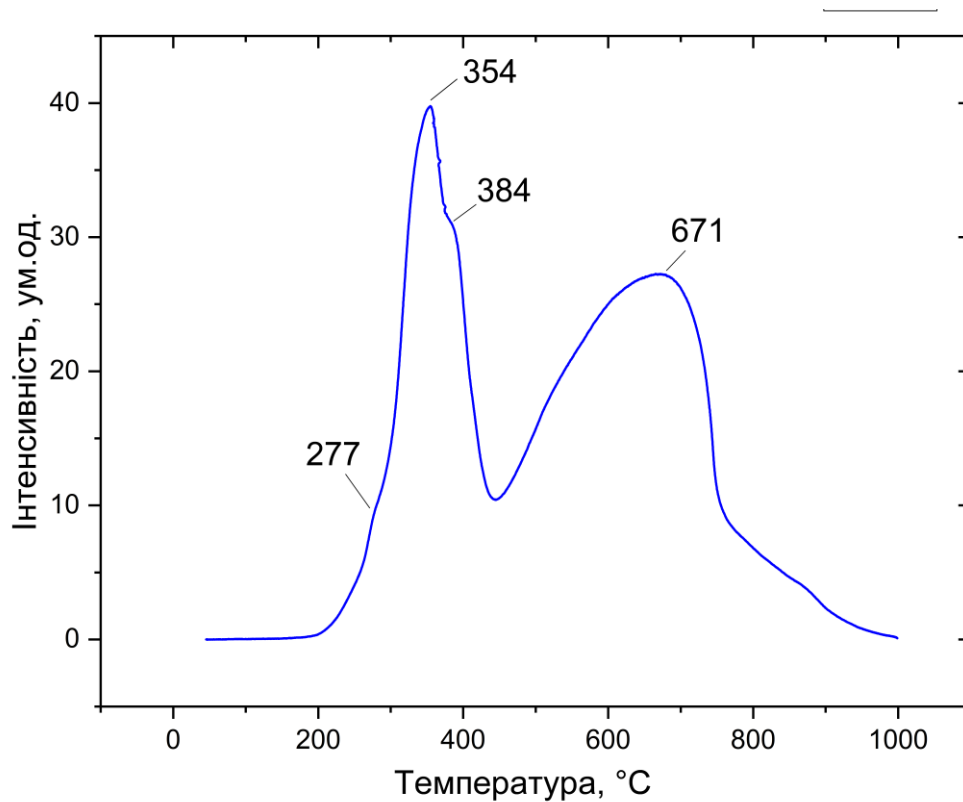


Рисунок 3.9 – Профіль ТПВ співсадженого залізовмісного каталізатора

На отриманому профілі ТПВ присутній пік із 277 та 354 °C, який характеризує процес відновлення воднем оксидів міді CuO можна описати наступною одностадійною реакцією [□-45]:



Однак, процес відновлення оксиду міді воднем здійснюється в два етапи, де на першому відбувається утворення субоксидів міді (Cu_4O_3 , Cu_2O). Подальше відновлення субоксидів міді призводить до утворення металеві міді [□-43-□-44].

За допомогою методу TPR складно окремо визначити присутність оксидів міді та заліза, оскільки дані оксиди контактують між собою. Таким чином зображені піки 277-354 °C (рис 3.11.) відповідають процесу відновлення гематиту Fe_2O_3 до магнетиту Fe_3O_4 [□-46]. В літературних даних [□-47] температура відновлення оксиду міді становить 550-600°C, гематиту – 600-650°C, а магнетиту – 650 – 1000°C. Однак відновлення оксидів міді воднем відбувається при дещо менших

температурах ніж для оксиду заліза. Подальше відновлення магнетиту Fe_3O_4 до метастабільного вюстити FeO зображено на межі піків 354 та 384 °C [□-48]. Відновлення метастабільного FeO до металічного заліза Fe^0 відбувається між наступними піками 384 та 677 °C відповідно [□-49].

При температурі 440 – 671°C відбувається поглинання водню, що призводить до початку реакції відновлення FeO до металічного Fe . При подальшому відновленні воднем при температурі більше 671 °C кількість продовжується поглинання водню активною поверхнею каталізатора. Вагому роль у відновленні оксидів заліза до металічного стану має присутність $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ в складі каталізатора, що сприяє уповільненню відновлення FeO до металічного заліза Fe^0 [□-50].

3.5. Результати проєктування реактора Фішера-Тропша та характеристики розробленого каталізатора

Для реалізації процесу Фішера-Тропша було вибрано модель багатотрубчастого реактора з нерухомим шаром каталізатора, однією з головних переваг якого є його легке масштабування при наявності проєктних та експериментальних даних для однієї трубки.

Оскільки отриманий в процесі газифікації біосировини синтез-газ має низьке співвідношення H_2/CO , відносно велику концентрацію CO_2 та в цілому нестабільний склад, оптимальним є каталізатор на основі заліза. Нами було розроблено каталізатор такого складу: Fe – 70%, Cu - 10%, K_2O - 5%, Al_2O_3 - 15%. Каталізатор виявив високу активність та селективність за рідкими вуглеводнями на модельній суміші синтез-газу. Залізовмісний каталізатор мав наступні фізичні характеристики, які наведено в табл 3.9:

Таблиця 3.9 Фізичні параметри каталізатора

Продуктивність за рідкими ВВ, г/год*гкат. (5атм, $\text{H}_2/\text{CO}=3$, $\omega=2400$ год ⁻¹)	0,2
Селективність за рідкими ВВ, %	42%
Механічна міцність, кг/см ²	2,2 (≥ 6)

	кг/гранула)
Питома густина пор каталізатор, г/см ³	1,92
Загальна густина каталізатора, г/см ³	8,4
Уявна густина, г/см ³	2,07
Пористість, ε	0,23
Площа питомої поверхні, м ² /г	23,47
Об'єм пор, см ³ /г	$9,59 \cdot 10^{-2}$
Діаметр пор, нм	16,35
Розмір вихідних гранул, мм	8x5
Об'єм гранули, см ³	0,27
Питома густина, г/см ³	1,92
Уявна густина, г/см ³	2,07
Відношення діаметрів реактора і каталізатора	≥ 3
Термічна стійкість, °C	400
Робоча температура, °C	180 ÷ 300
Робоча фракція, мм	2-3

Лабораторні кінетичні дослідження реакції Фішера-Тропша за участю запропонованого каталізатора дозволили розробити конструкцію реактора (див. Рисунок 1.28) Фішера-Тропша на основі математичного моделювання і провести оптимізацію параметрів для досягнення найвищої продуктивності та запобігання значного перегріву шару каталізатора. За основу було взято одновимірну гетерогенну модель в апроксимації ізотермічних гранул, що враховує як дифузію з газової фази на поверхню гранул, так і дифузію в порах каталізатора. Теплоносій (вода) безперервно циркулює через стаціонарний пучок трубок. Киплячий теплоносій заповнює сорочку реактора. За рахунок різниці щільностей у водостічній трубці та сорочці реактора встановлюється циркуляційний потік. Температуру насиченої пари регулюють, змінюючи її тиск.

Результати моделювання реактора синтезу Фішера-Тропша наведено в Таблиці 3.10.

Таблиця 3.10 - Результати модельного розрахунку конструктивних параметрів реактора синтезу Фішера-Тропша

Параметр	Значення
Тиск, МПа	0,5
Час перебування, с	7,2
Температура, °C	280
Перепад температури, °C	50
Довжина, м	1,5
Діаметр, м	0,1
Площа поперечного перерізу, м ²	0,00785398
Загальний об'єм реактора, м ³	0,011781
Кількість трубок нагріву/охолодження	7
Діаметр трубки для нагріву/охолодження, м	0,02
Загальна площа поперечного перерізу труби, м ²	0,00219911
Загальний периметр труби, м	0,439823
Площа поперечного перерізу, м ²	0,00565487
Повний об'єм реактора, м ³	0,0084823
Гідравлічний діаметр, м	0,03
Завантаження каталізатора, кг/м ³	8000
Насипна пористість каталізатора	0,3
Діаметр частинок каталізатора, м	0,002
Напрямок потоку	низхідний потік

3.6. Опис пілотної уставки для промислового синтезу вуглеводнів

Пілотну установку виробництва синтетичного палива із відходів біомаси зображено на рис.3.11:

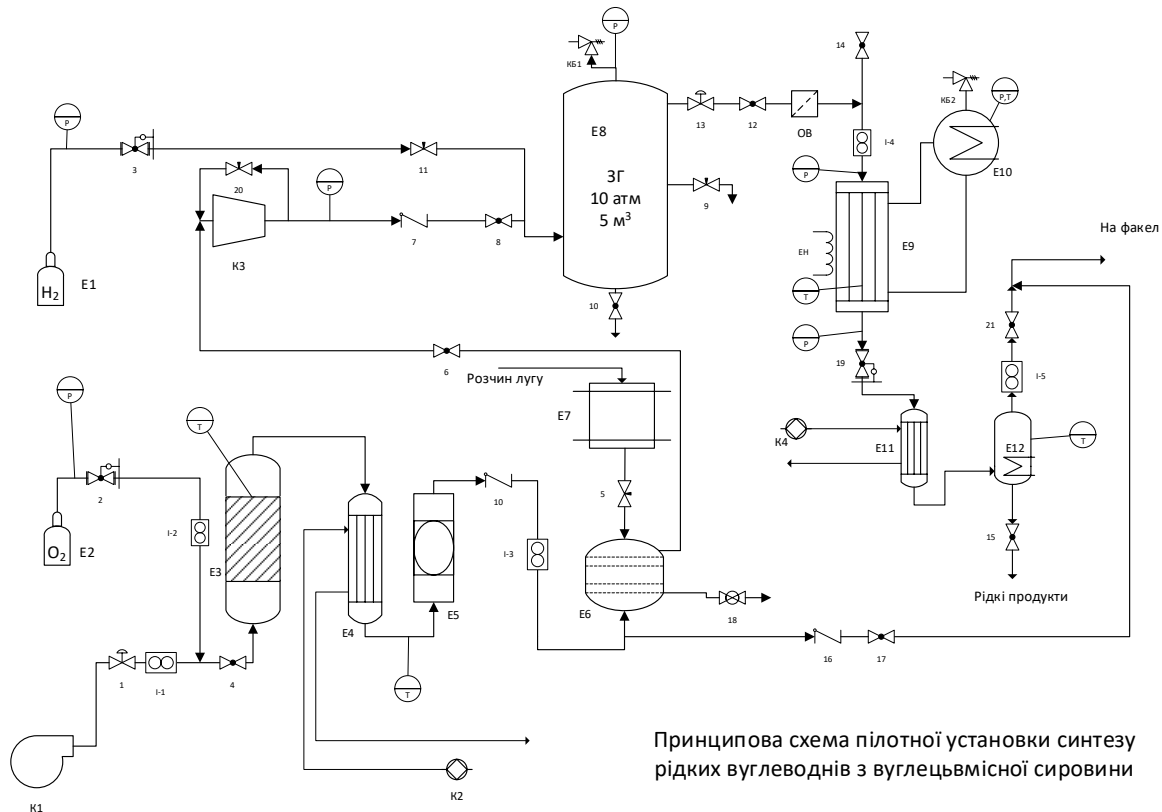


Рис. 3.11 – Принципова схема пілотної установки синтезу рідких вуглеводнів із вуглецьвмісної сировини

Повітряно-киснева суміш для виробництва генераторного газу подається через кран (4) в нижню частину газогенератора (1). Повітря нагнітається газодувкою (K1) проходить регулятор потоку (1), ротаметр (I-1) та змішується з киснем, який подається з балону (E2), через регулятор (2) і ротаметр (I-2). Передбачається робота газогенераторної установки під надлишковим тиском 10...15 кПа. з газогенератору (E1) отриманий генераторний газ проходить послідовно теплообмінник (E4), до охолоджується до кімнатної температури та фільтр тонкої очиски газу (E5) від механічних домішок та залишку смол піролізу. Генераторний газ після генерації,

охолодження та попереднього очищення в газогенераторній установці проходить через зворотній клапан (10) і лічильник (І-3) подається в ємність-газгольдер (Е6), основна функція якого - вирівнювання генерації та відбору газу перед компресором (К3) та очистка генераторного газу від «кислих» компонентів – в основному від CO_2 . Ємність (Е6) частково заповнена водою з розчиненим в ній лугом, що забезпечує зв'язування CO_2 та сірководню. Верхній бак (Е7) використовується для збереження свіжого розчину лугу, який подається у (Е6) через кран (5). Використаний розчин лугу зливається через кран (18). Накопичення газу у (Е6) приводить до витіснення розчину у верхній бак (Е7). Після витіснення близько половини об'єму води з нижнього баку починається відбір газу з ємності (Е6) через кран (6). За допомогою грану (20) на байпасному трубопроводі забезпечується регулювання витрати газу, який відбирається газовим компресором (К3) і подається в газгольдер (Е8) (ЗГ) об'ємом 5 м³. Зворотній клапан (7) та шаровий кран (8) унеможливають рух газу від ємності запасу у зворотному напрямку. Максимальний тиск газу в газгольдер (Е8) складає 10 атм. Величина тиску контролюється манометром (Р2). Перевищення заданого рівня призводить до спрацьовування клапану скидного (КБ1), розрахованого на 11 атм. Контроль складу газу ведеться шляхом його відбору через відбірний патрубок, який перекривається краном (9). Передбачено можливість зливання конденсату з газгольдеру (Е8) через скидний трубопровід, який перекривається краном (10). В разі невідповідності складу синтез-газу заданому співвідношенню H_2 до CO передбачено додавання водню з газового балону (Е1) через редуктор (3) та голчастий крану точного регулювання (11). Потрібна кількість водню визначається розрахунковим методом. Відбір підготовленого синтез-газу здійснюється з верхньої частини газгольдера (Е8), що мінімізує в ньому кількість крапельної вологи. Відбір забезпечується відкриттям крану (12). Тиск газу регулюється регулятором (після себе) (13) і контролюється манометром (Р3), витрата визначається ротаметром (І-4) і регулюється голчастим краном (19) після реактора. Видалення залишкових парів води з синтез-газу перед подачею в реактор

(E9) забезпечується осушувачем (ОВ), який є колоною заповненою з силікагелем. Підготовлений синтез-газ подається в реактор (E), який є трубчастим теплообмінником в трубах якого через шари каталізатору прокачується синтез-газ під тиском 5 атм. Підтримання заданої температури в реакційній зоні забезпечується розігрітою до 300°C водою в міжтрубному просторі реактору під тиском до 100 атм. Тиск в забезпечується природним розширенням води, яка повністю заповнює цей простір перед початком випробувань і підвищує тиск через нагрівання. Температура води на заданому рівні підтримується шляхом нагрівання зовнішніх стінок реактору електронагрівачем (ЕН) та, в разі необхідності, - охолодженням пари/води на виході з парового барабану в теплообміннику (E10). Після проходження через реактор продукти хімічних перетворень в газоподібному стані потрапляють в холодильник продуктів (E11), де охолоджуються. Рідка фаза збирається в нижній частині холодильника продуктів і час від часу зливається шляхом відкривання крану (15). Газоподібні продукти реакції або скидаються шляхом відкриття крану (21) і спалюються в атмосфері. Кількість газоподібних продуктів контролюється газовим лічильником (I-5).

Висновки до розділу III

Проведено дослідження каталітичної властивості синтезованих зразків каталізаторів при температурі 280 °С та тиску 5 атм, що склалися із оксидів заліза, міді, алюмінію та калію. Серед розроблених каталізаторів найбільша селективність до рідких вуглеводнів, що становила 42% належить каталізатору С₃ із наступним хімічним складом Fe₂O₃ - 70%, CuO - 10%, K₂O - 5%, Al₂O₃ - 15%. Для розробленого каталізатору було розроблено методику приготування.

Активність синтезованого залізовмісного каталізатора дослідили на установці Фішера-Тропша, та проаналізували утворені вуглеводні методом газової хроматографії. Вихід рідких вуглеводнів складу C₆-C₁₇ становив 42%, а летких вуглеводнів – 58%. Продуктивність каталізатора становила 0,15 г/Г_{кат}·год, а конверсія СО становила 49,8%.

За допомогою методу ренгєфлуорисцентного аналізу було визначено молекулярний склад каталізатора, де вміст заліза становив 67,6 %, міді – 21%, алюмінію – 9,88 та калію 1,5%. Результати раманівської спектроскопії дали змогу виявити характерні піки гематиту α-Fe₂O₃ – 227, 411,3 см⁻¹, магнетиту Fe₃O₄ – 665,6 см⁻¹, оксиду міді CuO – 293,6 см⁻¹, залізної шпинелі CuFe₂O₄ – 492 см⁻¹, а також карбіди заліза Fe₃C – 1319 см⁻¹. Використовуючи метод низькотемпературної адсорбції БЕТ було визначено питому площу поверхні – 23,47 м²/г, об'єм пор 0,096 см³/г та середній розмір пор – 16,35 нм.

За термопрограмним відновленням водню було визначено температуру відновлення, оксиду міді до металічної міді, а також Fe₂O₃ до Fe₃O₄, 277 – 354 °С. Температура 384 °С характеризується відновленням до FeO, а температура 671 – відновлення до металічного заліза.

В результаті розрахунку та проєктування було розроблено багототрубний реактор із нерухомим шаром завантаження, довжиною 1,5 м та діаметром 0,1 м.

РОЗДІЛ V. РОЗРОБКА START-UP ПРОЄКТУ

4.1. Опис ідеї стартап-проєкту

Не враховуючи проблеми пов'язані із війною, Україна має низький рівень забезпеченості нафти, що становить до 0,04% від всіх запасів світу посилання на джерела даних [□-65]. Наприклад для країни близького сходу даний показник становить більше 47%. Тому паливно-енергетичний сектор України залежить від імпорту бензинового та дизельного палива.

Відмінність відносно відомих аналогів полягає в тому, що за дана технологія полягає у масовому виробництві синтетичного палива із відходів біомаси із використанням унікального залізного каталізатора. Основними елементами установки є газифікатор оберненої теплової хвилі для отримання синтез-газу (суміш H_2 та CO), та реактор Фішера-Тропша із нерухомим шаром каталізатора. Для даної установки було виготовлено унікальний залізовмісний каталізатор методом співосадження солей нітратів газоподібним аміаком.

Зміст ідеї стартап-проєкту наведено в табл. 4.1

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Масове виробництво синтетичного палива з відходів біомаси та організації подальшого постачання готової продукції паливним компаніям.	1.Паливна промисловість	Зменшення залежності від викопних видів палива.
	2. Енергетика	Забезпечення додаткового генерації електроенергії
	3. Екологічна утилізація відходів.	Використання твердих біовідходів з низькою вартістю

Для забезпечення конкурентоспроможності технології та її подальшої ефективної реалізації необхідно провести детальний аналіз сильних, слабких та нейтральних сторін розробленого проєкту в порівнянні з потенційними конкурентами, що дозволить знизити ризики та забезпечити оптимальне використання ресурсів для досягнення максимального ефекту при мінімальних витратах. Порівняння сильних, слабких та нейтральних сторін проєкту представлено в таблиці 4.2, виявити її конкурентні переваги, відносно технологій конкурентів.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

№ п/ п	Техніко- економічні характери- стики ідеї	(потенційні) концепції конкурентів				W (слаб ка сторо на)	N (нейт- ральна сторон а)	S (сильн а сторон а)
		Мій Проект «Синтез- паливо»	Конку- рент 1 (ТОВ «Віко- нафта»	Конку- рент 2 (ТОВ КЛО)	Конку- рент 3 (ПАТ "Нафтохі мік Прикарп аття"			
1	Вартість технології, тис. грн	200	100	120	150	+		
2	Викид CO ₂ , г/ГДж	60-80	80-90	75-95	70-90			+
3	Чиста теплота згоряння, МДж/кг	40-45	44-46	42-46	44-46		+	
4	Доступніст ь сировини, млн т/рік	2	1	0,3	1,5			+
5	Екологічніс ть при спалюванні	+	-	-	-			+

Висновок: Для впровадження проєкту «Синтез-паливо» слід оцінити його переваги та недоліки. До суттєвих переваг даної технології можна віднести

доступність сировини, низький викид CO₂ в при спалюванні та показник чистої теплоти згоряння, який близький до традиційного бензинового палива, що становить 40-45 МДж/кг. Україна має високу локальну доступність відходів біомаси, зокрема деревних пелетів та відходи сільськогосподарської сировини. До слабких сторін проєкту відноситься висока вартість технології.

4.2. Технологічний аудит ідеї проєкту

Для успішного впровадження технології отримання моторного палива із відходів біомаси слід провести детальний технологічний аудит, розглянувши ключові аспекти реалізації технології [□-66] та її доступності, які зображено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№ п/п	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Масове виробництво синтетичного палива з відходів біомаси та організації подальшого постачання готової продукції паливним компаніям.	Поєднання технології Газифікація біомаси для отримання синтез-газу та процесу Фішера-Тропша для синтезу рідких вуглеводнів	Технологію BTL використовують компанії Shell, Neste, але необхідно розробити специфічну технологію для українського ринку	Технологія BTL є доступною, але потребує адаптації до використання біомаси.
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: Газифікація біомаси, синтез Фішера-Тропша				

Висновок: Оскільки технологічний процес перетворення біомаси у рідкі вуглеводні через метод BTL (Biomass to Liquids), що включає використання

технології Фішера-Тропша, вже є на ринку виробництва альтернативних видів палива та застосовується в ряді країн, таких як Німеччина, Швеція, Фінляндія, США, ЮАР, тому реалізація даного проєкту є технологічно можливою. Проте для досягнення максимальної ефективності та оптимізації цього процесу необхідно розробити спеціалізований каталізатор, який буде відповідати вимогам конкретного процесу, а також провести оптимізацію параметрів газифікації біомаси та синтезу Фішера-Тропша.

Крім того, для конвертування отриманих високовуглецевих вуглеводнів у компоненти моторного палива, необхідно буде застосувати процеси гідрокрекінгу та гідроізомеризації, що дозволять отримати стабільне та якісне паливо.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Необхідність аналізу ринкових можливостей ринку необхідна для визначення економічної ефективності, враховуючи потенційних конкурентів. Характеристику ринку альтернативних видів палива наведено в таблиці 4.4 [□-68]:

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4 основні конкуренти
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Вартість синтетичного бензин 45 грн/л Ціна на 1 тону синтетичного бензину становить: $1250 \text{ л} \cdot 45 \text{ грн/л} = 56250 \text{ грн/т}$ Підприємство виготовляє 1000 тон бензину, тоді річний обсяг продажу становить: $1000 \text{ т} \cdot 56250 \text{ грн/т} = 56,25 \text{ млн. грн на рік}$
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмеження щодо доступу до сировини та ліцензування, висока вартість виробництва

Продовження табл. 4.4

5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність сертифікації за міжнародними стандартами якості палива та екологічної безпеки
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	12-15%

Висновок: Ринкові можливості для запуску стартапу з виробництва синтетичного бензину методом BTL є перспективними, оскільки тенденція ринку до альтернативних палив зростає, що зумовлено попитом екологічними ініціативами та попитом на альтернативні види палива в умовах дефіциту вугілля та нафти. Попри певні обмеження, такі як вимоги до стандартизації та залежність від доступу до сировини, середня рентабельність галузі в 12–15% свідчить про привабливість проєкту. Реалізація залежить від адаптації технологій та оптимізації виробничих процесів. Для розуміння необхідності розроблення стартап-проєкту важливо провести детальний аналіз потенційних споживачів та їхніх потреб. Дані фактори наведено в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№ п/п	Потреби, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Отримання синтетичного моторного палива із доступної сировини	Компанії з логістики, сільського господарства, організації, автозаправні станції (АЗС), авіаційні компанії	Високі стандарти до якості палива, надійність постачання, низький екологічний слід	До продукції: Висока якість, відповідність стандартам якості бензинового палива, низька ціна До компанії-постачальника: Надійність постачання

Висновок: До потенційних клієнтів стартап-екту відносяться автозаправні станції, логістичні компанії, авіація, сільське господарство та енергетика, які потребують екологічного, енергоефективного та доступного палива з гарантованою якістю. Для успішного запуску необхідно адаптувати пропозицію до вимог кожного сегмента ринку та забезпечити гнучкість і конкурентоспроможність.

В умовах нестабільного розвитку альтернативних технологій отримання моторних палив та складних геополітичних обставин, важливою складовою оцінки життєздатності проєкту є визначення факторів, що становлять загрози (табл. 4.6) та можливості (табл. 4.7), які можуть суттєво впливати на його подальшу реалізацію.

Таблиця 4.6 – Аналіз факторів загроз та можливостей розробленого проєкту

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Високі капітальні витрати на впровадження	Високі початкові інвестиції на закупівлю виробничого обладнання, його подальше встановлення	Залучення грантів на розвиток відновлювальних джерел енергії, фінансування «зеленої» економіки
2	Нестабільність цін на сировину	Збільшення собівартості проєкту в результаті підвищення ціни на біомасу.	Диверсифікація джерел сировини, укладання довгострокових контрактів.
3	Конкуренція із іншими видами палив	Висока конкуренція із боку традиційних видів палива (нафта, природний газ) та альтернативних палив, наприклад біодизель, біометан.	Підвищення якості продукції, шляхом оптимізації технологічних процесів, розширення ринку збуту
4	Вплив війни	Руйнування підприємства у наслідок обстрілів	Виділення коштів на відбудову країни після війни
5	Логістичні труднощі	Порушення ланцюгів постачання сировини	Локалізації джерел сировини, диверсифікації постачальників

Продовження таблиці 4.6

6	Процес мобілізації робочої сили	Скорочення кваліфікованого персоналу	Автоматизація процесу виробництва
7	Стан енергосистеми	Зниження критичної інфраструктури	Диверсифікація джерел енергії

Висновок: Згідно з аналізом факторів загрози для проєкту, основними викликами є високі капітальні витрати на впровадження, нестабільність цін на сировину та конкуренція з іншими видами палива. Для подолання цих загроз компанії слід здійснювати пошук джерел фінансування через гранти, диверсифікувати джерела сировини та укладати довгострокові контракти. Також важливо підвищувати якість продукції та розширювати ринки збуту. Маркетингові заходи та оптимізація технологічних процесів можуть стати ключовими для успішної конкуренції на ринку альтернативних видів палива.

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Зниження залежності від імпорту енергетичних ресурсів	Використання місцевих ресурсів (біомаси) для виробництва палива, що сприяє зменшенню залежності від імпорту нафти та газу.	Розвиток національних виробничих потужностей, зростання частоти використання біомаси, як додаткової сировини
2	Підтримка "зеленої" енергетики з боку держави та міжнародних організацій	Отримання державних грантів, субсидій та пільг для розроблення «зелених» технологій	Використання державних програм підтримки, міжнародних грантів фінансування проєкту
3	Збільшення екологічної свідомості населення	Підвищення важливості використання екологічно чистих продуктів, для зменшення емісії CO ₂	Маркетингова кампанія, спрямована на підвищення попиту на екологічно чисте паливо

Висновок: Враховуючи зазначені фактори можливостей реалізації проєкту отримання синтетичного палива з біомаси, можна констатувати, що для даного проєкту існують сприятливі умови для його успішної реалізації. Зниження залежності від імпорту енергоресурсів, підтримка державними та міжнародними організаціями "зеленої" енергетики, а також зростання екологічної свідомості громадян можуть сприяти значному розвитку даної технології. Це дозволить забезпечити енергетичну незалежність, зменшити викиди CO₂ та створити нові робочі місця в секторі відновлювальних джерел енергії.

Потім було проведено ступеневий аналіз конкурентного середовища, який дозволяє визначити конкурентні переваги, потенційні загрози та можливості адаптації для проєкту. Результати ступеневого аналізу ринку конкурентів [□-69] зображено в табл 4.8.

Таблиця 4.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції – олігополія	Відсутність конкурентів на державному ринку альтернативних видів палив, але існує конкуренція із традиційними видами палива (нафта, газ)	Удосконалення технологій для підвищенні якості продукції, що відповідає традиційним видам палива. Використання маркетингових механізмів для підвищення обізнаності споживачів.
2. За рівнем конкурентної боротьби – національний	Розглядається поєднання цінових факторів, що залежать від ціни на відходи біомаси. Нецінові полягають у забезпеченні високою екологічністю палива, енергетичній безпеці країни та іноваційності.	Конкурування на національному рівні передбачає покращенні показників біопалива для часткового витіснення традиційних видів палива із ринку, що призводить до охоплення значної частини ринку..

Продовження табл 4.8

3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція між компаніями, що спеціалізуються на виробництві моторного палива	Необхідно впроваджувати нові технологічні рішення та процеси для покращення продуктивності та зниження витрат.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-видова	Відбувається конкуренція між продуктами одного виду палива, наприклад дизель, бензин, біоетанол)	Необхідно забезпечити виробництво широкого спектра продукції високої якості та налагодити співпрацю з великою компанією для ефективного просування її продукції на ринку екологічного палива.
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Впровадження іновативного продукту, який не сприяє емісії CO ₂ та може бути одержаних в умовах сільського господарства.	Так як, ціна реалізованого проєкту є вищою відносно традиційних палив, тому треба зосередитись на екологічних та технічних перевагах свого продукту.
6. За інтенсивністю – марочна	Продукція конкурує своїм технічними характеристиками, екологічними перевагами, оскільки паливо відноситься до ВДЕ	Оптимізація виробничих витрат для зниження собівартості продукції, за рахунок оптимізації параметрів процесу та розроблення компактних установок.

При аналізі конкурентного середовища було визначено, що проєкт виробництва синтетичного палива характеризується внутрішньогалузевою та олігополістичною конкуренцією та високим потенціалом у контексті глобального переходу до відновлюваних джерел енергії. Основними конкурентними перевагами є цінові показники та технічна ефективність продукції, а конкуренція має немарочний

характер. Для успішної реалізації проєкту необхідно зосередитись на зниженні виробничих витрат, підвищенні якості продукту та ефективному просуванні екологічних переваг палива, що дозволить стійку позицію на ринку та підвищити конкурентоспроможність технології.

Для оцінки можливих загроз від конкурентних компаній було проведено аналіз за моделлю М.Портера [17-70], який наведено в таблиці 4.9. В даній моделі були розглянуті ключові показники такі як головні конкуренти, потенційні виклики, присутність на ринку товарів-замінників, конкурентних постачальників та споживачів.

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	1.ТОВ "Віко-нафта". 2. ПАТ "Нафтохімік Прикарпаття" 3. ТОВ "КЛО"	Бар'єри входження в ринок: - економічні; - сировинні; - маркетингові.	Головні фактори сили постачальників: - Широкий обсяг сировини; - Не залежність від виду сировини;	Фактори сили споживачів: - відповідність стандартам якості палива;	Фактори загроз з боку замінників: - традиційні види палива; - конкуренція в ціні продукту; - Консервативні погляди споживачів.
Висновки:	Невисока конкуренція на етапі впровадження, оскільки технологія використовується як додатковий ресурс, а не як замінник	Великі можливості входу на ринок Потенційні конкуренти на відчизняному ринку відсутні, але присутні виробники традиційних палив.	Постачальники мають наступні вимоги: Оптимальна ціна на біомасу, зручні умови постачання, наявність зворотного зв'язку з компанією	Клієнти мають наступні умови: Низька цінова політика, відповідність палива встановленим стандартам, сервіс та обслуговування.	Обмеження для роботи на ринку через товари замінники. На вітчизняному ринку товарів-замінників відсутні, тому існують лише конкуренти,

Висновок: В результаті аналізу роботи товару в конкурентному середовищі, було визначено що технологія має високу конкуренцію з боку традиційних відів палива. Потенційними загрозами є також високі бар'єри входження в ринок, зокрема великі капітальні витрати та необхідність розвиненої інфраструктури. Однак, наявність державної підтримки "зеленої" енергетики, дефіцит нафтового та газового палива створюють сприятливі умови для реалізації проєкту. Для забезпечення конкурентоспроможності товару він повинен відповідати встановленим вимогам щодо якості палива, характеризуватися низькою ціною на ринку, а також забезпечувати високий рівень обслуговування споживачів.

Враховуючи аналіз конкуренції, який було проведено в таблиці 4.9, та урахування ключових факторів успіху проєкту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6 та 4.7) було здійснено визначення факторів конкурентоспроможності проєкту (табл. 4.10) [□-70].

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проєктів значущим)
1	Вартість технології	Вартість технології має високий вплив на конкурентоспроможність, окупність проєкту, можливість залучення зовнішніх фінансувань
2	Викид CO ₂	Необхідність зниження викидів парникових газів для відповідності продукції цілям сталого розвитку та екологічним нормативам
3	Чиста теплота згоряння	Забезпечує ефективне використання палива, що підвищує економічну вигоду для кінцевих споживачів
4	Доступність сировини	Підвищення стабільності виробництва та зниження вартості кінцевого продукту
5	Екологічність при спалюванні	Зменшення викидів сполук сірки та азоту забезпечує відповідність екологічним стандартам якості палива, що сприяє отриманню необхідних дозволів і ліцензій, а також підвищує довіру споживачів.

Продовження табл. 4.10

6	Ціна кінцевого продукту	Збільшення попиту та привабливості продукції для потенційних споживачів. Забезпечення конкурентоспроможності серед виробників палива.
7	Технологічна інноваційність	Зменшення вартості виробництва та підвищення привабливості проєкту для потенційного інвестора. Забезпечення енергетичної незалежності від вугілля та нафти.
8	Довіра до компанії	Забезпечення підвищення лояльності серед існуючих споживачів продукції та інвесторів, а також залучення нових інвесторів та клієнтів.

Висновок: раховуючи наведені фактори конкурентоспроможності, для успішної реалізації проєкту важливо зосередитися на забезпеченні високої якості продукції, ефективному обслуговуванні клієнтів та надійних партнерських відносинах. Сприятливими для компанії є наявність широкого асортименту сировини, що забезпечить стабільність виробництва, а також висока довіра до компанії, яка сприятиме зміцненню ринкових позицій та розвитку довгострокових відносин із клієнтами і постачальниками.

Потім було проаналізовано сильні та слабкі сторони стартап-проєкту (табл. 11) [□-71].

Таблиця 4.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Синтез-паливо»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали /1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з традиційними моторними паливами						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Вартість технології	8	C		AB				
2	Викид CO ₂	1							ABC
3	Чиста теплота згоряння	7			A	CB			
4	Доступність сировини	9	A	B	C				
5	Екологічність при спалюванні палива	12	AB		C				

Продовження табл. 4.11

6	Ціна кінцевого продукту	7			BC			A	
7	Технологічна інноваційність	8	AB	C					
8	Довіра до компанії	3						B	AC

A – перший конкурент (Віко-нафта)

B– другий конкурент (Нафтохімік Прикарпаття)

C – третій конкурент (КЛО)

Висновок: В результаті порівняння сильних та слабких сторін проєкту було визначено, що розроблений стартап-проєкт має наступні сильні сторони: технологічна інноваційність, екологічність при спалюванні, доступність великої сировинної бази та мінімальний викид CO₂. Слабкими сторонами стартап-проєкту є нижча ціна кінцевого продукту, менша довіра клієнтів до компанії, оскільки технологія знаходиться на стадії впровадження.

Наприкінці аналізу можливості впровадження проєкту проводять SWOT-аналізу, де аналізують сильні, слабкі сторони проєкту, а також можливості за загрози, які наведено в табл. 4.12 [□-71].

Таблиця 4.12 – SWOT – аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони: 1. Технологічна інноваційність 2. Екологічність при спалюванні, 3. Доступність сировини 4. Мінімальний викид CO₂	Слабкі сторони: Ціна кінцевого продукту Довіра до компанії
Можливості: 1. Зростання попиту на альтернативні види палива. 2. Отримання державної підтримки та міжнародних грантів 3. Імпортозаміщення нафти та природного газу	Загрози: 1. Нестабільна ціна на біопаливо 2. Конкуренція із традиційними паливами 3. Необхідність великих капітальних вкладень

Продовження табл. 4.12

4. Зростання екологічної свідомості серед споживачів. 4. Розширення ринку збути 5. Підвищення енергетичної безпеки України 6. Збільшення конкурентоспроможності технології за рахунок екологічності та іноваційності проєкту 7. Налагодження партнерських відносин із паливними компаніями 8. Розширення асортименту сировини	4. Проблеми з популяризацією нової технології 5. Зміни у законодавстві, що зменшують фінансування екологічних проєктів 6. Недостатня кількість кваліфікованого персоналу 7. Нестабільне забезпечення електроенергією 8. Порушення логістичних маршрутів постачання сировини 9. Загрози обстрілів та воєнних дій
--	--

Висновок: до сильних сторін проєкту можна віднести: технологічну інноваційність, екологічність технології, низький викид вуглекислого газу та наявність широкої сировинної бази, що сприяє зменшенню залежності від нафти та природного газу. Серед слабких сторін проєкту варто зазначити високу кінцеву ціну проєкту, низьку довіру до компанії, залежність від коливань цін на сировину, конкуренція серед традиційних видів палива, консервативність поглядів споживачів.

Розроблений SWOT-аналіз дає можливість здійснити аналіз ринкової поведінки для оцінки строків виконання та здатність отримати ресурси. Альтернативи ринкового стартап-проєкту [□-72] наведено в табл 4.13.

Таблиця 4.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Вихід на міжнародні ринки з екологічно чистим паливом	Висока, з огляду на попит на альтернативні види палива в ЄС, США та інших країнах	3-5 років

Продовження табл. 4.13

2	Використання партнерств з великими енергетичними компаніями	Фінансові ресурси, команда з екологічних експертів та фахівців	від 5 міс до 2 років
3	Виробництво палива для промислових потреб (компанії, заводи) або транспортних потреб сільського господарства	Розробники мобільних додатків, дизайнери інтерфейсу, маркетингова компанія	від 4 до 10 міс.

Висновок: В якості альтернативних напрямків використання проєкту пропонується виходити на міжнародні ринки торгівлі екологічним паливом, укладати довгострокові партнерські угоди із енергетичними компаніями, та виробляти паливо для промислових потреб або для забезпечення транспортних потреб сільського господарства.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проєкту

Вирішальним етапом будь-якого стартап-проєкту є розроблення ринкової стратегії, що надає можливість проаналізувати попит споживачів [□-73] для енергетичної сфери. Для цього було обрано п'ять груп потенційних клієнтів та проаналізовано їх готовність використовувати продукт, їх орієнтовний попит, інтенсивного впливу конкурентів та простоту виходу проєкту на ринок (табл. 4.14)

Таблиця 4.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
-------	--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

Продовження табл. 4.14

1	Енергетичні компанії, зацікавлені у використанні альтернативних джерел енергії, наприклад ДТЕК, Укрнафта	Висока готовність до впровадження нових технологій та екологічно чистих рішень	Стабільний попит на альтернативні джерела енергії, середня частка ринку	Висока конкуренція з боку інших постачальників альтернативних джерел	Складно, вимагає сертифікації та значних інвестицій
2	Агропромислові підприємства, що потребують пального для техніки, наприклад МХП, Агропродсервіс	Помірна готовність, залежить від вартості та ефективності	Високий попит на екологічні та економічно вигідні палива в сільському господарстві	Середня конкуренція з боку традиційних видів палива	Середній рівень входу, але потребує налагодження постачання
3	Автозаправні станції, що хочуть збільшити асортимент ОККО, WOG	Середня готовність до впровадження нового виду палива	Високий попит на альтернативні палива серед екологічно свідомих споживачів	Середня конкуренція від інших постачальників пального	Достатньо легкий вхід, залежить від регулюючих норм
4	Споживачі, зацікавлені у використанні екологічно чистих палив	Висока готовність, особливо серед екологічно свідомих споживачів	Поступовий ріст попиту на «зелене» паливо, низька частка ринку	Низька конкуренція з боку традиційних палива	Легкий вхід, особливо за підтримки державних програм

Які цільові групи обрано: 1) Енергетичні компанії; 2) Агропромислові підприємства; 3) автозаправні станції (АЗС); 4) Транспортні компанії та зацікавлені споживачі екологічного палива.

Висновок: З огляду на обрані цільові групи для реалізації проекту синтетичного палива з біомаси, можна зробити висновок, що агропромислові підприємства, які потребують пального для техніки, є одними з основних споживачів даної продукції. Ці компанії можуть не тільки використовувати готове паливо, але й інвестувати в технології для його синтезу із відходів біомаси, що відкриває додаткові можливості для впровадження інноваційних рішень у галузі та сприяє зниженню залежності від традиційних джерел енергії.

Для забезпечення функціонування в даному сегменті було розроблено наступну стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Виробництво та постачання синтетичного палива із біомаси для агропромислових підприємств	Стратегія диференціації: надання екологічно чистого палива для техніки сільськогосподарських підприємств	Висока якість палива, конкурентоспроможна ціна в порівнянні з традиційними видами палива, розширення асортименту продукції відповідно до потреб сільського господарства	Стратегія диференціації

Висновок: в якості базової стратегії проекту обрана стратегія виробництва синтетичного палива з біомаси для агропромислових підприємств, яка передбачає створення стабільної логістики постачання, інвестування в модернізацію технологій, встановлення партнерських угод та активне просування на ринку. Також розглядається можливість встановлення мобільних установок в межах агропромислових підприємств. Також було обрано базову стратегію для конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Так, оскільки технологія синтезу палива з біомаси є новою та інноваційною для українського ринку	Компанія буде шукати нових споживачів, орієнтуючись на агропромислові підприємства та організації, які потребують альтернативного палива для техніки.	Так, однак компанія може аналізувати характеристики традиційних видів палива (ціна, доступність, якість) для забезпечення умов конкурентоспроможності	Стратегія зайняття конкурентної ніші

Висновок: З огляду на обрану стратегію, проєкт синтезу палива з біомаси є інноваційним і має потенціал стати першопрохідцем на ринку. Компанія буде орієнтуватися на нових споживачів, зокрема агропромислові підприємства, що потребують альтернативного палива. Стратегія конкурентної поведінки передбачає зайняття конкурентної ніші, що дозволить ефективно реалізувати проєкт. Для забезпечення конкурентоспроможності компанія має враховувати основні характеристики традиційних видів палива.

Для задоволення потреб вибраного сегменту споживачів до розробленої технології та до виготовленої продукції було застосовано стратегію позиціонування (табл. 4.17) із врахуванням базової стратегії розвитку (табл. 4.15), що допомагає споживачам обрати необхідний продукт [□-68, □-72].

Таблиця 4.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Висока якість палива	Стратегії диференціації	Унікальність продукту, екологічність, надійність	Якість, Інновації, Екологічність
2	Наявність легкодоступної сировини	Стратегія спеціалізації	Ефективне використання місцевих ресурсів	Доступність, Вартість, Логістика
3	Низькі витрати та адаптивність	Стратегія диференціації та спеціалізації	Оптимізація процесів, зниження витрат	Економічність, Гнучкість, Технології
4	Підтримання іміджу компанії	Стратегії диференціації	Будівництво довіри через якість, екологічність, стабільність	Репутація, Довіра, Партнерства

Висновок: В якості стратегії позиціонування проєкту було обрано поєднання стратегії диференціації та спеціалізації. Стратегія диференціації спрямована на подальше просування продукту на ринку бензинового палива за рахунок унікальних характеристик, таких як екологічність, інноваційність та великий запас сировини. Водночас стратегія спеціалізації передбачає концентрацію на задоволенні потреб агропромислового сектору, для забезпечення роботи техніки та виробничих процесів. Таким чином, на основі визначених вимог цільової аудиторії та обраних стратегій розвитку, проєкт фокусується на високій якості продукції, доступності сировини, зниженні витрат та підтриманні позитивного іміджу компанії.

4.4. Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Спочатку було розроблено програму стартап-проєкту за рахунок утворення маркетингової концепції товару, що надходить до споживача (табл. 4.18).

Таблиця 4.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Часткове імпортозаміщення традиційного палива альтернативним	Зниження залежності від імпортованих енергоносіїв та стабільність постачання	Інноваційна технологія передбачає використання відходів біомаси для синтезу моторного палива, що забезпечує зниження енергетичної залежності від нафти та вугілля, а також зменшення собівартості продукції.
2	Потреба в екологічно чистому паливі високої якості	Зменшення викидів CO ₂ та шкідливих речовин, та інших шкідливих речовин відповідно екологічним стандартам	Вуглецевонеїтральне паливо забезпечує екологічну перевагу, що відповідає глобальним трендам декарбонізації та потребам екологічно свідомих споживачів.

Висновок: ключові переваги концепції потенційного товару полягають у здатності забезпечити часткове імпортозаміщення традиційного палива за рахунок використання біомаси та відповідати сучасним екологічним вимогам завдяки вуглецевонеїтральності. Запропоновані вигоди дозволяють знизити енергетичну залежність та сприяти переходу до чистих технологій, що створює конкурентну перевагу на ринку.

Потім було розроблено маркетингову модель товару, яка складалась із наступних трьох рівнів: ідея продукту або послуги, фізичні складові, особливості його процесу надавання (табл. 4.19) [□-70].

Таблиця 4.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	До базової потреби споживача можна віднести забезпечення доступу до альтернативного, екологічно чистого та економічно вигідного палива для потреб агропромислового сектору та інших споживачів. Основною функціональною вигодою є забезпечення ефективного використання місцевих відходів біомаси, зменшення витрати на паливо, а також зниження викидів CO ₂ та шкідливих речовин в атмосферу.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Газифікація 2. Температура реактору 3. Вологість сировини 4. Хімічний склад синтез-газу 4. Селективність до рідких вуглеводнів 6. Робочий тиск в реакторі	М Нм	Вр Тх Тл Е Ор
II. Товар у реальному виконанні	Якість: Відповідність до міжнародних нормативних вимог до якості, зокрема ДСТУ, EN та ISO, мінімізація шкідливих викидів (CO ₂ ,Nox) відповідно стандартам Євро-6, відповідність фізико-хімічних параметрів, наприклад теплотворній здатності, в'язкості, октановому числу, сумісність із автомобільною технікою.		
	Пакування: Балон, контейнери, автозаправні колонки		
	Марка: «Синтез-паливо» - організація розробника, «БіоЕнергія 360» - назва товару, Neochrom – газовий хроматограф		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Екологічний бензин, що відповідає стандартам якості бензинового палива, має слабкий запах при зорянні, майже утворює викиди вуглекислого газу, товар є сертифікований.		
	Після продажу: Забезпечення зворотнього зв'язку з клієнтом та сервісна підтримка, повернення або заміна товару в результаті виявлення дефектів та невідповідності вимогам, знижки на товар, консультація на рахунок сумісності палива із автомобільними двигунами.		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Товар буде захищено за допомогою авторського права, а саме патенту на винахід та на корисну модель, отримання міжнародних сертифікатів якості які підвищують довіру до продукту. Також буде підписано договір між компанією та працівниками про нерозголошення комерційної таємниці.			

Висновок: Розроблена технологія та продукція буде захищена від копіювання за рахунок використання авторського права, а саме технологій патентування корисної моделі та винаходів, а також укладення договору між підприємством та працівниками про нерозголошення комерційної таємниці.

Потім було проведено визначення цінових меж (табл. 4.20) потенційного товару, що передбачає проведення аналізу цінової політики товарів-аналогів у ринковому середовищі, а також порівняння доходів цільової групи споживачів.

Таблиця 4.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники бензин ТОВ «КЛО»	Рівень цін на товари-аналоги біодизель ПАТ «Укрнафта»	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	54-65	45-52 грн/л	Середній	44-64 грн/л

Висновок: Визначення меж встановлення ціни на синтетичне паливо з біомаси демонструє, що для забезпечення конкурентоспроможності ціна на продукт повинна бути в межах 44 грн/л до 64 грн/л, із врахування середнього рівню доходу. Вартість синтетичного бензину для розробленого проєкту було встановлено конкурентним методом ціноутворення. Це дозволить залучити агропромислові підприємства, забезпечивши їм вигоду від використання альтернативного палива. Встановлення ціни вище або нижче визначених меж, тобто за межами верхньої та нижньої цінових границь, буде неефективним з фінансової точки зору.

Наступним етапом є визначення оптимальної системи збуту, що сприятиме ефективному прийняттю рішень щодо реалізації продукції (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
-------	---	---	----------------------	--------------------------

Продовження табл. 4.21

1	Забезпечення агропромислових підприємств, державних та місцевих органів влади, автозаправних станцій екологічним паливом	Поставка палива, логістика або генерація біопалива на агропромислових підприємствах	Прямий канал збуту, але можливий непрямий канал збуту за рахунок дистриб'юторської мережі	Прямий продаж через власні канали (філії, партнерські мережі).
---	--	---	---	--

Висновок: Найбільш ефективною стратегією надходження товару до споживача є прямий канал збуту, який буде реалізований за рахунок створення власних магазинів та онлайн сервісів. Прямий канал збуту забезпечує більший контроль над якістю обслуговування, можливість налаштування персоналізованих умов для кожного клієнта та зниження витрат на посередників.

Завершальним етапом маркетингової програми є розроблення потенційних маркетингових комунікацій (табл. 4.22), які будуть використовуватися для зворотнього зв'язку із клієнтом та рекламою виготовленої продукції [□-67].

Таблиця 4.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Надання споживачам палива, що відповідає стандартам якості бензинового палива та має низький викид CO ₂	Галузеві виставки, агропромислові конференції Онлайн-платформи, вебінари, рекламні банери.	Економічна ефективність, екологічність, незалежність від традиційних джерел сировини	Підкреслити економічну вигоду та екологічну безпеку продукту.	«Перше в Україні екологічно чисте паливо із відновлювальної сировини»

Висновок: В результаті аналізу ключових факторів успіху та можливості просування товару на ринку було розроблено ринкову програму, що включає пілотну установку, що використовує метод газифікації та синтез Фішера-Тропша для отримання вуглецевого палива із відходів біомаси, яка містить наступні концепції:

1) Концепція товару

Отримання синтетичного вуглецевого палива із відходів біомаси за допомогою методів газифікації та синтезу Фішера-Тропша. Цінність проєкту полягає у його екологічності, незалежності від нафти та природного газу та відповідності стандартам якості бензинового палива.

2) Концепція збуту

Обрана концепція збуту товару передбачає прямого каналу збуту, тобто через власний інтернет-ресурс, що реалізується в результаті:

- Укладення вигідних партнерських відносин із агропромисловими комплексами, енергетичними компаніями, автозаправними станціями.
- Поширення інформації про продукт за рахунок інтернет-магазину, соціальних мереж, тематичних форумів та виставках.
- Можливості замовлення великих об'ємів товару, його швидкої доставки та надання технічної підтримки споживачу на інтернет-порталі компанії.

3) Концепція просування

- маркетингова стратегія передбачає використання сучасних і традиційних методів просування проєкту: агропромислові та виставочні конфесії, реклама через ЗМІ, соціальні мережі та через вебіари.
- необхідність розроблення рекламних кампаній проводиться для підвищення довіри споживачів до використання вуглецевого палива.

Попередній аналіз можливостей ціноутворення

Ціноутворення базується на наступних показниках:

- Конкуrentне середовище – відносяться компанії, що виготовляють традиційні та альтернативні моторні палива.

- цінова стратегія полягає у визначенні оптимальної ціни на отримане паливо, враховуючи собівартість відповідної продукції та загальну ціну палива на ринку.

- Рівні цін на товари-замінники (компанія ТОВ «КЛО») [□-77]: ціна на традиційне бензинове паливо 54-65 грн/л

- Рівні цін на товари-аналоги (компанія ПАТ «Укрнафта») [□-78]: біодизельне паливо 45-52 грн/л.

- Верхні та нижні межі ціни: оптимальний діапазон цін на продукт становить 44-64 грн/л, що забезпечує конкурентоспроможність на ринку та покриття витрат виробництва.

- альтернатива ринкової поведінки – виробництво біопалива на транспортні потреби сільського господарства, вихід продукції на міжнародні ринки торгівлі біологічним моторним паливом.

Таким чином, стратегія розвитку проєкту спирається на чітке позиціонування продукту як економічно вигідного, екологічно чистого та високоякісного рішення для агропромислового сектору та інших цільових споживачів. Обрана стратегія диференціації та спеціалізації дозволить зайняти конкурентну нішу на ринку альтернативних палив.

Висновки до розділу V

1. Проєкт має значний потенціал для ринкової комерціалізації завдяки наступним факторам:

- Присутністю високого попиту на альтернативні види палива, що пояснюється успішним впровадження даних проєктів на міжнародному рівні;

- Підвищення інтересу до використання відновлювальних джерел енергії, що пояснюється розробленням відповідних екологічних законів. На вітчизняному ринку широкого поширення набув «зелений» тариф, який сприяє залученню додаткових інвестицій для реалізації проєктів у сфері відновлювальної енергетики. Однією з актуальних проблем українського енергоринку є значна залежність від імпорту традиційних енергоресурсів, зокрема нафти та природного газу. Цю проблему можна вирішити шляхом впровадження альтернативних видів палива, зокрема тих, що використовують біомасу як основний ресурс.

- Рентабельність проєкту, яка забезпечується завдяки державному фінансуванню та наданню міжнародних грантів для розробки інноваційного продукту.

2. Проєкт має високі перспективи до впровадження, як іноваційний продукт. До головних клієнтів можна віднести: агропромислові підприємства, енергетичні компанії та оператори ринку пального. Основними конкурентами на ринку є виробники традиційних видів палива, а також – виробники альтернативного палива. Конкурентоспроможність проєкту формується за рахунок екологічності, високій якості палива та можливості до часткового імпортозаміщення традиційних джерел палива.

3. Оптимальним альтернативним варіантом реалізації проєкту є стратегія прямого збуту через співпрацю з агропромисловим сектором, що забезпечить швидке впровадження технології. Додатково необхідно розглянути вихід на

міжнародні ринки для масштабування бізнесу у середньостроковій перспективі, як альтернативний варіант розвитку проєкту.

4. Доцільність подальшої імплементації проєкту є необхідною, оскільки, проєкт є інноваційним на держаному рівні, має низький викид вуглекислого газу в атмосферу, використання відходів біомаси в якості сировини, що має значно нижчу вартість у порівнянні із імпоротною нафтою та дизельним паливом. Використання відходів біомаси призводить до зменшення імпорту на нафту та природний газ, що збільшує конкурентоспроможність проєкту.

ВИСНОВКИ

Таким чином головною метою даного проєкту є дослідження селективні каталізатору в умовах синтезу морного палива із відходів біомаси. В процесі роботи було синтезовано співосаджений заловмісний каталізатор складу Fe_2O_3 - 70%, CuO - 10%, K_2O - 5%, Al_2O_3 - 15%. Даний каталізатор показав високу селективність до рідких вуглеводнів, що становить 42% із продуктивністю $0,153 \text{ г/г}_{\text{кат}} \cdot \text{год}$ та ступенем конверсії CO – 49,8%. Процес гідрування оксиду вуглецю був проведений при температурі 280° , тиску 0,5 МПа та об'ємній швидкості 2400 год^{-1} зі співвідношення CO/H_2 – 1/3. Також, у процесі Фішера-Тропша було отримано леткі вуглеводні з виходом 58%, які можуть бути в подальшому використані для отримання теплової та електричної енергії.

Перевагою розробленого залізовмісного каталізатора є здатність функціонувати при низькому співвідношенні водню до оксиду вуглецю, що становить від 0,5 до 2, що пояснюється високою активністю реакції RWGS, що має вирішальне значення для синтез-газу утвореного із відходів біомаси. Також залізовмісні каталізатири мають низьку вартість виготовлення, демонструють високу механічну міцність та термічну стійкість, що становить відповідно $2,2 \text{ кг/см}^2$ та 400°C . Також каталізатор має досить розвинену площу питомої поверхні – $23,76 \text{ м}^2/\text{г}$, діаметр пор – 16,35 нм та об'єм пор, що сприяє ефективній адсорбції оксиду вуглецю та водні та підвищення кінетики процесу Фішера-Тропша. Синтезований каталізатор має наступні фізичні характеристики. Питома густина становить $1,92 \text{ г/см}^3$, пористість 0,23, розмір робочої фракції 8x5 мм.

За отриманим профілем ТПВ було визначено температуру відновлення Fe_2O_3 до Fe_3O_4 , що становить 354°C , а при температурі 667°C утворюється металічне залізо Fe^0 . З даних міркувань можна зробити припущення, що в процесі Фішера-Тропша відбувається гідрування за участю металічних частинок заліза та міді.

Подальше впровадження описаної технології є доцільним переважно для невеликих модульних установок, призначених для експлуатації на територіях агропромислових комплексів або об'єктів сільського господарства. Проте розроблення установок для масового виробництва потребує підвищення тиску в системі, а також застосування реакторів із псевдозрідженим або суспензійним шаром каталізатора. Це, у свою чергу, вимагає розроблення нових промоторів, здатних забезпечити необхідну ефективність процесу та стабільність каталізаторів в умовах інтенсифікованого масообміну та теплопередачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гламаздін В.П., Мельник О.В., Тонкоголосюк В.М. Аналіз роботи паливно-енергетичного комплексу України в умовах військової агресії та визначення перспективних напрямів розвитку. Наука, технології, інновації. 2023. № 2. С. 11-19.
2. Матвєєва І. В., Яковлева А. В., Зубенко С. О., Гудзь А. В. Перспективи розширення сировинної бази для виробництва біодизельного палива в Україні. Наукоємні технології. 2019. № 1 (41). С. 69-76.
3. Золотавська О. В. Теплоенергетична оцінка біопалива рослинного походження. Colloquium-journal. Technical science. – Дніпро. – 2021. – №13. – С. 43-45.
4. Mat Aron NS, Khoo KS, Chew KW, Show PL, Chen WH, Nguyen THP. Sustainability of the four generations of biofuels—A review. Int J Energy Res 2020; 44:9266–82.
5. Вишняков, К. О. Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції / К.О. Вишняков, Н.О. Бублієнко // III міжнародна науково-практична конференція. – Кам'янець-Подільський: ПДАТУ. – 2016. – С. 83 – 85.
6. Що таке біомаса? URL: <https://uabio.org/news/7609/> (дата звернення: 04.12.2024).
7. Роїк М.В., Сінченко В.М, Бондар С.В., Фурса А.В, Гументик М.Я. Концепція розвитку біоенергетики в Україні до 2035 року. Біоенергетика. 2019. 2(14). 4-10.
8. Antonenko V. O., Zubenko V. I., Epik O. V. FUEL PROPERTIES OF UKRAINIAN CORN STOVER. Industrial Heat Engineering. 2018. Vol. 40, no. 3. P. 85 URL: <https://doi.org/10.31472/ihe.3.2018.11>
9. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Кучерук П.П., Драгнєв С.В. Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України

// Теплофізика та теплоенергетика. – 2023, т. 45, № 2, с. 77-86. URL: <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023>.

10. Бондар В. С., Гуменюк М. Я., Фурса А. В. Пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. Біоенергетика, 2018. № 2 (12), С. 4–7.
11. J. Liebetrau, H. Strauber, J. Kretzschmar, V. Denysenko, M. Nelles, Anaerobic Digestion, Adv. Biochem. Eng. Biotechnol. – 2019, Vol. 166. – 281–299.
12. Ramos M., Dias A. P. S., Puna J. F, Gomes J., Bordado J. C. Biodiesel Production Processes and Sustainable Raw Materials. Energies. – 2019. – Т. 12, №23. – P. 30.
13. Adams P. Biomass conversion technologies. In: Greenhouse gas balances of bioenergy systems. Academic Press. 2018. P. 107-139.
14. Bolívar Caballero, J.J.; Zaini, I.N.; Yang, W. Reforming processes for syngas production: A mini-review on the current status, challenges, and prospects for biomass conversion to fuels. Appl. Energy Combust. Sci. 2022, 10, 100064
15. W. M. Lewandowski, M. Ryms and W. Kosakowski Thermal Biomass Conversion: A Review, Processes, 2020, 8, 516.
16. Ong HC, Chen W-H, Singh Y, Gan YY, Chen C-Y, Show PL. A state-of-the-art review on thermochemical conversion of biomass for biofuel production: a TGFTIR approach. Energy Convers Manage 2020;209:112634.
17. Safarian S., Unnpörsson ´ R., Richter C. A review of biomass gasification modelling. Renew Sustain. Energy Rev. 2019. – № 110. – P. 378–391.
18. Molino, A.; Chianese, S.; Musmarra, D. Biomass gasification technology: The state of the art overview. J. Energy Chem. 2016. – №25. – P. 10–25.
19. Hu X., Gholizadeh M. Biomass pyrolysis. A review of the process development and challenges from initial researches up to the commercialization stage. Journal of Energy Chemistry. – 2019. – №39. – P. 109 – 143.
20. Bridgwater, A. V. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. Biomass Bioenergy. – 2012. – № 38. – P. 68–94.

21. M. Usman, W. M. A. Wan Daud and H. F. Abbas, Dry reforming of methane: Influence of process parameters – A review, *Renewable Sustainable Energy Rev.*, 2015, 45, 710–744
22. Wilhelm DJ, Simbeck DR, Karp AD, Dickenson RL. Syngas production for gas to liquids applications: technologies, issues and outlook. *Fuel Process Technol* 2001; 71(1-3):139–48.
23. Baltrusaitis, J.; Luyben, W. L. Methane Conversion to Syngas for Gas-to-Liquids (GTL): Is Sustainable CO₂ Reuse via Dry Methane Reforming (DMR) Cost Competitive with SMR and ATR Processes? *ACS Sustainable Chem. Eng.* 2015, 3, 2100–2111
24. Aasberg-Petersen K, Christensen TS. Synthesis gas production for FT synthesis. In: Steynberg A, Dry M, editors. *Fischer–Tropsch technology*. Amsterdam: Elsevier; 2004. p. 258–352.
25. Song X, Guo Z. Technologies for direct production of flexible H₂/CO synthesis gas. *Energy Convers Manag* 2006;47:560–9.
26. Samiran, N.A.; MohdJaafar, M.N.; Ng, J.-H.; Lam, S.S.; Chong, C.T. Progress in biomass gasification technique—With focus on Malaysian palm biomass for syngas production. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 62, 1047–1062.
27. Singh Siwal S, Zhang Q, Sun C, Thakur S, Kumar Gupta V, Kumar Thakur V. Energy production from steam gasification processes and parameters that contemplate in biomass gasifier- A review. *Bioresour Technol* 2019:122481.
28. Mishra S, Upadhyay RK (2021) Review on biomass gasification: gasifiers, gasifying mediums, and operational parameters. *Mater Sci Energy Technol.* <https://doi.org/10.1016/j.mset.2021.08.009>
29. Patra TK, Sheth PN. Biomass gasification models for downdraft gasifier: a state of the art review. *Renew Sustain Energy Rev* 2015;50:583–93.
30. Woolcock PJ, Brown RC. A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas. *Biomass Bioenergy* 2013;52:54–84.

31. Dayton, D.C., Turk, B., Gupta, R., 2019. Syngas Cleanup, Conditioning, and Utilization, in: C Brown, R. (Ed.), *Thermochemical Processing of Biomass*. John Wiley & Sons, Ltd, Chichester, UK, pp. 125–174. doi: 10.1002/9781119417637.ch5.
32. Qayyum A., Ali U., Ramzan N. Acid gas removal techniques for syngas, natural gas, and biogas clean up – a review. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*. 2020. P. 1–24. URL: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1800866>
33. J. Rey, A. Longo, B. Rijo, C. Pedrero, L. Tarelho, P. Brito, et al., A review of cleaning technologies for biomass-derived syngas, *Fuel* 377 (2024) 132776.
34. Abdoulmoumine N, Adhikari S, Kulkarni A, Chattanathan S. A review on biomass gasification syngas cleanup. *Applied Energy* 2015;155:294–307.
35. Frilund, C. Adsorption-based deep syngas purification. Ph.D. thesis, Aalto University School of Chemical Engineering, 2022.
36. Li P, Yuan Z, Eden MR. A comparative study of Fischer-Tropsch synthesis for liquid transportation fuels production from biomass. In: Zdravko K, Milos B, editors. *Computer aided chemical engineering*. Elsevier; 2016. p. 2025–30.
37. Luque, R., de la Osa, A. R., Campelo, J. M., Romero, A. A., Valverde, J. L., & Sanchez, P. (2012). Design and development of catalysts for Biomass-To-Liquid-Fischer-Tropsch (BTL-FT) processes for biofuels production. *Energy Environ. Sci.*, 5(1), 5186–5202. doi:10.1039/c1ee02238e
38. J. Horáček, “Fischer-Tropsch synthesis, the effect of promoters, catalyst support, and reaction conditions selection,” *Monatsh Chem*, vol. 151, no. 5, pp. 649–675, 2020, doi: 10.1007/s00706-020-02590-w.
39. 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>.

40. Ma W., Jacobs G., Sparks D. E., Todici B., Bukur D. B., Davis B. H. Quantitative comparison of iron and cobalt based catalysts for the Fischer-Tropsch synthesis under clean and poisoning conditions. *Catalysis Today*. – 2019. – P. 12.
41. 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>.
42. Gholami, Z.; Gholami, F.; Tišler, Z.; Hubáček, J.; Tomas, M.; Bačiak, M.; Vakili, M. Production of Light Olefins via Fischer-Tropsch Process Using Iron-Based Catalysts: A Review. *Catalysts* 2022, 12, 174.
43. Wang, Z.P.; Niu, Z.Z.; Hao, Q.A.; Ban, L.J.; Li, H.T.; Zhao, Y.X.; Jiang, Z. Enhancing the ethynylation performance of CuO-Bi₂O₃ nanocatalysts by tuning Cu-Bi interactions and phase structures. *Catalysts* 2019, 9, 35.
44. Cobb, J. B. C., Bennett, A., Chinchin, G. C., Davies, L., Heaton, B. T., & Iggo, J. A. (1996). The characterisation of distinct adsorption sites for hydrogen on copper in copper/alumina catalysts by in situ ¹H NMR spectroscopy. *Journal of Catalysis*, 164(2), 268–275.
45. Ahmadi SJ, Outokesh M, Hosseinpour M, Mousavand T (2011) A simple granulation technique for preparing high-porosity nano copper oxide(II) catalyst beads. *Particuology* 9:480–485
46. J.M. Cho, M.H. Jeong, J.W. Bae, Fischer-Tropsch synthesis on potassium-modified Fe₃O₄ nanoparticles, *Res Chem Intermed*. 42 (2016) 335–350.
47. Lox, E. S.; Marin, G.; de Graeve, E.; Buissiere, P. Characterisation of a promoted precipitated iron catalyst for Fischer Tropsch synthesis. *Appl. Catal.* 1988, 40, 197
48. Fadlalla, M.I.; Nyathi, T.M.; Claeys, M. Magnesium as a Methanation Suppressor for Iron-and Cobalt-Based Oxide Catalysts during the Preferential Oxidation of Carbon Monoxide. *Catalysts* 2022, 12, 118.

49. A.S. Portnyagin, A.P. Golikov, V.A. Drozd, V.A. Avramenko, An alternative approach to kinetic analysis of temperature-programmed reaction data, RSC Adv. 8 (2018) 3286–3295, <https://doi.org/10.1039/c7ra09848k>.
50. Pena ~ D, Jensen L, Cognigni A, Myrstad R, Neumayer T, van Beek W, Rønning M. The Effect of Copper Loading on Iron Carbide Formation and Surface Species in Iron-Based Fischer-Tropsch Synthesis Catalysts. ChemCatChem 2018;10(6): 1300–12. <https://doi.org/10.1002/cctc.201701673>.
51. Chun D. H., Rhim G. B., Youn M. H., Deviana D., Lee J. E., Park J. C., Jeong, H. Brief Review of Precipitated Iron-Based Catalysts for Low-Temperature Fischer–Tropsch Synthesis. Topics in Catalyst. – 2020. – Vol. 63. – P. 793-809.
52. Shafer, W. Fischer–Tropsch: Product Selectivity–The Fingerprint of Synthetic Fuels / M. K. Gnanamani, U. M. Graham, J. Yang, C. Masuku, G. Jacobs, B. Davis // Catalyst. – 2019. – №3. – P. 259.
53. Jahangiri, H.; Bennett, J.; Mahjoubi, P.; Wilson, K.; Gu, S. A review of advanced catalyst development for Fischer–Tropsch synthesis of hydrocarbons from biomass derived syn-gas. Catal. Sci. Technol. 2014, 4, 2210–2229.
54. Gholami, Z. Recent advances in Fischer-Tropsch synthesis using cobalt-based catalysts / Z. Gholami, Z. Tišler, V. Rubáš // Catalysis Reviews. – 2020. – Vol. 63, №3. – P. 512–595.
55. Van Der Laan, G.P., and Beenackers, A.A.C.M. (1999). Kinetics and selectivity of the Fischer–Tropsch synthesis: a literature review. Catal. Rev. 41, 255–318.
56. Zhang, Q.; Deng, W.; Wang, Y. Recent advances in understanding the key catalyst factors for Fischer–Tropsch synthesis. J. Energy Chem. 2013, 22, 27–38.
57. Zhang, Q.; Cheng, K.; Kang, J.; Deng, W.; Wang, Y. Fischer–Tropsch Catalysts for the Production of Hydrocarbon Fuels with High Selectivity. ChemSusChem 2014, 7, 1251–1264..
58. De Jesús Ruíz-Baltazar, Á.; Reyes-López, S.Y.; de Lourdes Mondragón-Sánchez, M.; Robles-Cortés, A.I.; Pérez, R. Eco-friendly synthesis of Fe₃O₄ nanoparticles:

Evaluation of their catalytic activity in methylene blue degradation by kinetic adsorption models. *Results Phys.* 2019, 12, 989–995

59. E.C. Pastrana, V. Zamora, D. Wang, H. Alarcón, Fabrication and characterization of α -Fe₂O₃/CuO heterostructure thin films via dip-coating technique for improved photoelectrochemical performance, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 10 (3) (2019) 035012–035021, <https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab3d2f>.

60. de Jesús Ruíz-Baltazar Á, Reyes-López SY, Pérez R. Magnetic structures synthesized by controlled oxidative etching: structural characterization and magnetic behavior. *Results Phys* 2017;7:1828–32. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2017.05.001>.

61. E.C. Pastrana, V. Zamora, D. Wang, H. Alarcón, Fabrication and characterization of α -Fe₂O₃/CuO heterostructure thin films via dip-coating technique for improved photoelectrochemical performance, *Adv. Nat. Sci.: Nanosci. Nanotechnol.* 10 (3) (2019) 035012–035021, <https://doi.org/10.1088/2043-6254/ab3d2f>

62. Photoluminescence and Raman spectroscopy studies of low-temperature γ -Al₂O₃ phases synthesized from different precursors, *Optical Materials*, 53 (2016) 87-93.

63. Koichumanova K, Sai Sankar Gupta KB, Lefferts L, Mojet BL, Seshan K. An in situ ATR-IR spectroscopy study of aluminas under aqueous phase reforming conditions. *Phys Chem Chem Phys* 2015;17:23795e804. <http://dx.doi.org/10.1039/C5CP02168E>.

64. Ding, M.; Yanga, Y.; Wu, B.; Xua, J.; Zhang, C.; Xiang, H.; Li, Y. Study of phase transformation and catalytic performance on precipitated iron-based catalyst for fischer-tropsch synthesis. *J. Mol. Catal. A Chem.* **2009**, 303, 65–71.

65. Zakharchuk O., Matsybora T. Development trends of the fuel and energy resources market in agricultural sector of Ukraine. *Ekonomika APK.* 2020. Vol. 313, no. 11. P. 80–89. URL: <https://doi.org/10.32317/2221-1054.202011080>

66. Маркетинг стартап-проектів [Електронний ресурс] : навчальний посібник для усіх спеціальностей другого освітнього ступеню «магістр» / С. О. Солнцев, О. В. Зозульов, Н. В. Юдіна, Т. О. Царьова, Н. В. Язвінська ; за заг. ред.

С.О. Солнцева ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,2 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 218 с. URL : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27437>

67. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

68. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode : <http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

69. Yudina. N. Economic “Butterfly” and Futurology of the War in Ukraine. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty of National Technical University Of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, 2022. №23 (2022). PP. 77-82. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/264637>

70. Semeniuk, S., Levytskyi, V., Fomina, O., Fedorchenko, K., Yudina, N., Ratynskiy, V., Shcherbatiuk, O., Bendiih, V., & Zhurakivska, Y. (2024). Overcoming barriers to digitalization of small and medium-sized enterprises under martial law. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 3(13 (129), 57–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.304997> [Scopus / Web of Science] <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/304997>.

71. Yudina Nataliya. Business Forecasting of Marketing Activity Riskiness of Companies in Markets. Economic Bulletin of National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute". №17(2020). P. 372-383. URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/216380/>

72. Nataliya Yudina, Olena Pidlisna Marketing Perception Of Technological Uncertainty By Decision-Makers. Economic Bulletin Of National Technical University Of

Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of

73. National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2021. №18 (2021). PP. 1-10 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/238105>

74. Nataliya Yudina Future Study Implementation Into Marketing Activity Of Companies. Economic Bulletin Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute". Kyiv: Management And Marketing Faculty Of National Technical University Of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 2021. №18 (2021). PP. 1-9 URL : <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/240315>

75. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>

76. Юдіна Н. В. «Дорожня карта» підприємства у контексті футурології техногенної економіки. Традиції і інновації. [Електронний ресурс] / Н. В. Юдіна // Інновації та фундаментальні науки в умовах техногенної економіки : зб. матеріалів міждисциплінар. наук.-практ. конф., Київ, 25 листоп. 2016 р. / [уклад. Л. І. Юдіна]. – К., 2016. – Режим доступу : <http://futuolog.com.ua/publish/2/Zbirnyk.pdf#page=6>.

77. Ціни на пальне на заправках KLO (травень 2023). Ставки, індекси, тарифи. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/tm/klo/2023-05/>

78. Ціни на пальне на заправках Укрнафта. Ставки, індекси, тарифи. URL: <https://index.minfin.com.ua/ua/markets/fuel/tm/ukrnafta/>

ДОДАТОК А

Іваненко О. І., Трипольський А. І., Фатєєв Д. С. Удосконалення технології одержання моторного палива із органічних відходів // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції Екологія. Людина. Суспільство (м. Київ 5 червня 2024 р.): збірник тез та повідомлень. Київ, 2024. С. 130–134. DOI: <https://doi.org/10.20535/EHS2710-3315.2024.304841>



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)

КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ігоря Сікорського
2024



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 ТЕХНОЛОГІЙ 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 технологій 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.

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

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 фотобіологічне 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.

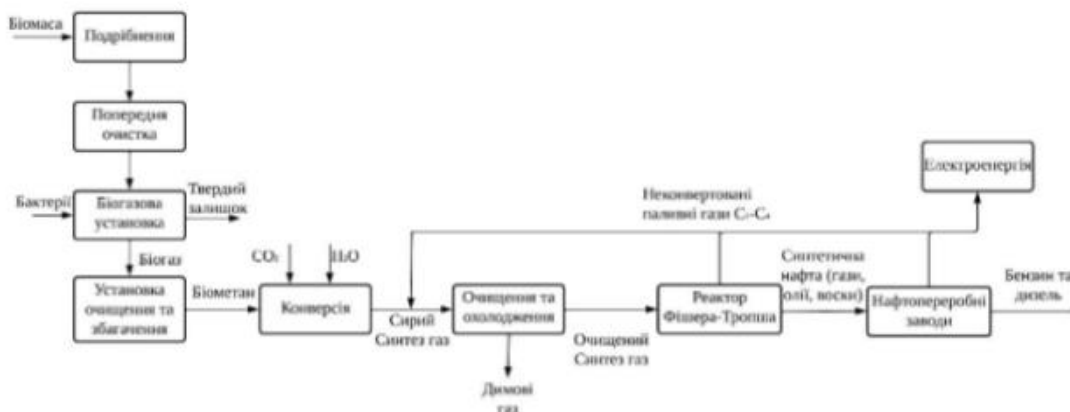


Рис.1. Блок-схема отримання моторного палива за технологією BTL

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

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.

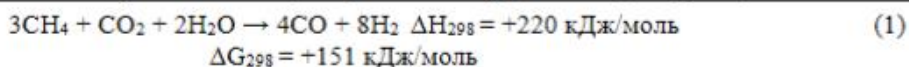
Для забезпечення високого виходу біогазу після біогазової установки, передбачають попередню обробку біомаси для зменшення розмірів та видаленням з неї домішок. Під час попередньої обробки біомаси застосовують механічні, термічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні методи [5].

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 °C 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 орґано-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 °C на нікелевому, рутенієвому каталізаторі, при тиску 2-4 МПа за реакцією:

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



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 каталізatori при температурі 250-350 °C 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, дистилату 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 з тим, що використання біогазової установки та біореформування 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.

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

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. Shojaei 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.

ДОДАТОК Б

Іваненко О.І., Трипольський А.І., Фатєєв Д.С. Використання біогазової установки в процесі одержання моторного палива матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.): збірник тез та повідомлень. м. Чернігів, 2024. С. 320-322. <https://conference-chernihiv-polytechnik.com/materiali-konferentsiyi/kzyatps-2024/>



Матеріали XIV міжнародної науково-практичної конференції
**«КОМПЛЕКСНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ
 ЯКОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ
 ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ»**

Том 1

23 - 24 травня 2024 р.
 м. Чернігів

УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004
К63

*Рекомендовано до друку вченою радою Національного університету
«Чернігівська політехніка» (протокол № 6 від 27.05.2024)*

К63 Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем (КЗЯТПС – 2024) : матеріали тез доповідей XIV Міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернігів, 23–24 травня 2024 р.) : у 2 т. / Національний університет «Чернігівська політехніка» [та ін.] ; відп. за вип.: Єрошенко Андрій Михайлович [та ін.]. – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2024. – Т. 1. – 336 с.

ISBN 978-617-7932-63-4

ОРГАНІЗАЦІЙНИЙ КОМІТЕТ

Андрій Єрошенко, канд. техн. наук, доцент
Ірина Прибисько, канд. техн. наук, доцент
Анатолій Приступа, канд. техн. наук, доцент
Микола Корзаченко, канд. техн. наук, доцент
Сергій Степенко, канд. техн. наук, ст. дослідник
Ольга Сапон, студентка

Відповідальний координатор конференції:

канд. техн. наук, доцент Сергій Сапон, тел. (097) 3844197, e-mail: s.sapon@gmail.com або
kzyatps@gmail.com
<https://www.facebook.com/kzyatps/>
www.conference-chernihiv-polytechnik.com

*За зміст матеріалів, викладених в тезах доповідей персональну відповідальність несуть автори



УДК 621; 624; 674; 684; 621.22; 621.51-54; 661; 664; 620.268; 621.791; 004

ISBN 978-617-7932-63-4

© Національний університет
«Чернігівська політехніка», 2024

УДК 621.436:665.75

Іваненко О.І., докт. техн. наук, професор

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

olenka.vasaynovich@gmail.com

Трипольський А.І., канд. хім. наук

Інститут фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України, atripolski@gmail.com

Фатєєв Д.С., студент

Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»,

danchikqwe@ukr.net

ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ПРОЦЕСІ ОДЕРЖАННЯ МОТОРНОГО ПАЛИВА

Пошук альтернативних джерел енергії та способи її одержання є одним із основних напрямків розвитку науки, оскільки традиційні джерела енергії, на яких побудована сучасна промисловість, є вичерпними та здійснюють шкідливий вплив на навколишнє середовище.

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 [1].

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 [2].

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.

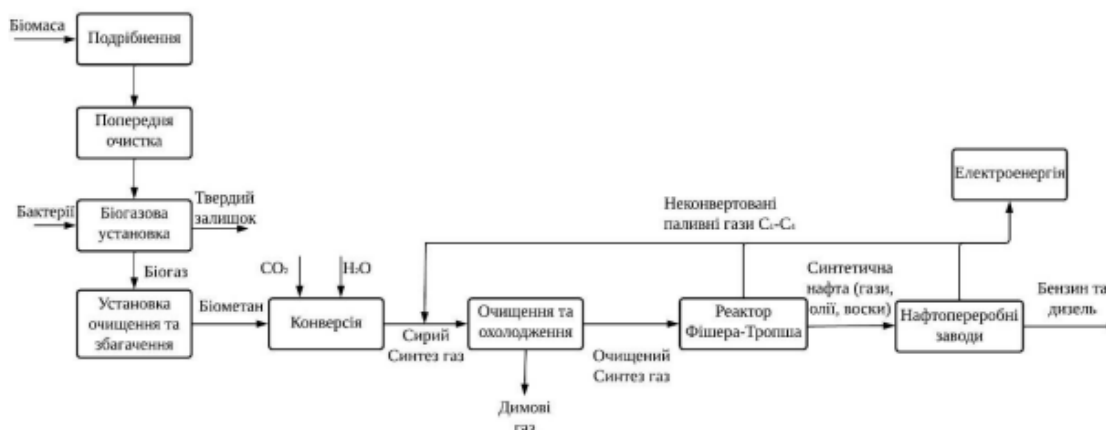
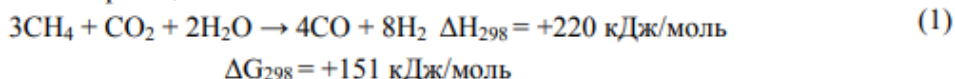


Рис.1 - Блок-схема отримання моторного палива за технологією BTL

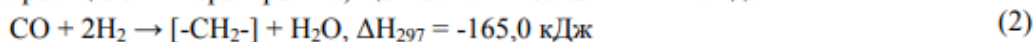
В традиційній технологічній схемі для отримання синтез-газу використовується газифікатор, але використання цього апарату має суттєві недоліки, зокрема невизначений вміст карбону у біомасі, що є результатом її різноманітного хімічного складу. На сьогодні існує можливість уникнути даного недоліку, шляхом використання біогазової установки, яка дозволяє використовувати біомасу різного хімічного складу без суттєвого впливу на результат. 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 гідролізуючих, дигістуючих, травних, ацетогенних та гомоацетогенних, сульфоредакуючих та метаногенних бактерій.

Анаеробне бродіння включає в себе чотири основні стадії - гідроліз, ацидогенез, ацетогенез, метаногенез. На стадії гідролізу гідролітичні бактерії, які виділяють ферменти, розчиняють білки, жири, вуглеводи на більш прості вуглеводи, тобто амінокислоти, моно- та олігомери, жирні кислоти, 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 та оцтову кислоту. 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 органічні добрива [3].

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 [4]. В результаті конверсії біометану утворюється синтез-газ, що має співвідношення H_2/CO відповідно 2/1. Цей процес здійснюється за температури 800-900 °C 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 °C 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 C_5-C_{11} , дизель $C_{11}-C_{14}$ керосин, $C_{10}-C_{14}$, мастила $C_{18}-C_{30}$ та воски C_{30} 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 [5].

На останньому етапі суміш рідкої нафти, дистилату 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 влаштування біогазової установки в процесі отримання екологічно-чистого бензинового та дизельного палива високої якості є виправданим, оскільки це дає змогу використовувати майже всі види органічних відходів та вуглекислий газ як побічний продукт в процесі паро-вуглекислої конверсії.

Список посилань

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Kumar, N. Catalytic bi-reforming of methane: from greenhouse gases to syngas / N. Kumar, M. Shojaei and J. Spivey // *Current Opinion in Chemical Engineering.* – 2015. – № 9. – P. 8-15.
5. 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.

UDC 677.055

Mykola Rubanka, Candidate of Sciences in Engineering, associate professor

Kyiv National University of Technologies and Design, nikolayrubanka@ukr.net

Oleh Polishchuk, Doctor of Sciences in Engineering, professor

Khmelnytskyi National University, opolishchuk71@gmail.com

Svitlana Demishonkova, Candidate of Sciences in Engineering, associate professor

Kyiv National University of Technologies and Design, mashuk2007@ukr.net

KEYLESS CONNECTION OF LIGHT INDUSTRY MACHINE PARTS TO SHAFTS

It is known that the main drawback of existing designs for connecting machine parts to shafts is the presence of keyways or splines on the working surface of the shaft and the part, which are necessary for installing a key or splines. These keyways weaken the shaft and the part, leading to reduced reliability and durability of the connection's operation [1-3]. Another drawback is the inability or difficulty in adjusting the position of the part relative to the shaft (both axial and angular), which is necessary for the setup and operation of light industry machines, particularly knitting machines [4-6].

Considering the feasibility of enhancing the efficiency and durability of light industry machines by improving the designs of their connections with shafts, the problem of developing new connection designs and selecting their working parameters remains relevant for modern light machine building [7, 8].

The authors propose a new design for connecting a part to a shaft [9], which includes a shaft with a working surface and a part with a hub that has an internal surface. The part is mounted on the shaft, additionally equipped with a split tapered bushing installed between the working surface of the shaft and the inner surface of the hub and a disc connected to the hub and installed on the shaft from the side of the larger diameter of the split tapered bushing. The inner surface of the hub is conical, matching the taper of the split tapered bushing and the disc is mounted on the shaft.

Equipping the connection of the part to the shaft with a split tapered bushing, installed between the working surface of the shaft and the inner surface of the hub and a disc connected to the hub and installed on the shaft from the side of the larger diameter of the split tapered bushing with the inner surface of the hub being conical and matching the taper of the split tapered bushing and the disc being mounted on the shaft, allows for adjusting the axial position of the part relative to the shaft. This ensures increased durability of the part-to-shaft connection.

Figure 1 shows the proposed keyless connection design of a part to a shaft.

The connection includes a shaft 1 with a working surface 2, a part 3 with a hub 4 having an inner surface 5, mounted on the shaft 1, a split tapered bushing 6 installed between the working surface 2 of the shaft 1 and the inner surface 5 of the hub 4, and a disc 7 connected to the hub 4

ДОДАТОК В

Спосіб одержання залізовмісного каталізатору синтезу рідких вуглеводнів / Фатєєв Д.С., Трипольський А.І., Іваненко О.І., Бичко І.Б., Столярчук І.Л., Стрижак П.Є. //

Заявка на патент України на корисну модель U202405120 від 29.10.2024

Порядковий номер заявки, визначений заявником		Дата одержання		
[22] Дата подання заявки	Пріоритет	[51] МПК	ЕВ	[21] Номер заявки
[86] Реєстраційний номер та дата подання міжнародної заявки, установлені відомством, що одержує [87] Номер і дата міжнародної публікації міжнародної заявки)				
ЗАЯВА про державну реєстрацію винаходу (корисної моделі) МІНЕКОНОМІКИ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ "УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ" (УКРНОІВІ) вул. Дмитра Годзенка, 1 (вул. Глазунова, 1), м. Київ-42, 01601				
Подаючи нижчезазначені документи, прошу (просимо) видати: ☐ патент України на винахід ☒ патент України на корисну модель				
[71] Заявник(и) Інститут фізичної хімії ім.Л.В.Писаржевського НАН України (UA)			Код за ЄДРПОУ (для українських заявників)	
03028, проспект Науки, 31, Київ, Україна (UA)			05417213	
(зазначається повне ім'я або найменування заявника(ів), його (їх) місце проживання або місцезнаходження та код держави згідно із стандартом BOIV ST.3. Дані про місце проживання авторів - заявників наводяться за кодом (72))				
Прошу (просимо) встановити пріоритет ☐ заявки ☐ пунктів формули винаходу за заявкою № за датою: подання попередньої (їх) заявки (ок) в державі-учасниці Паризької конвенції (навести дані за кодами (31),(32),(33) подання до НОІВ попередньої заявки, з якої виділено цю заявку (навести дані за кодом (62) подання до НОІВ попередньої заявки (навести дані за кодом (66))				
[31] Номер попередньої заявки	[32] Дата подання попередньої заявки	[33] Код держави подання попередньої заявки згідно із стандартом BOIV ST.3	[62] Номер та дата подання до НОІВ попередньої заявки, з якої виділено цю заявку	[66] Номер та дата подання до НОІВ попередньої заявки
[54] Назва винаходу (корисної моделі) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ЗАЛІЗОВМІСНОГО КАТАЛІЗАТОРУ СИНТЕЗУ РІДКИХ ВУГЛЕВОДНІВ				
[98] Адреса для листування, прізвище або найменування адресата Железнякова Г.Я. Відділ інформаційного забезпечення, Інститут фізичної хімії ім.Л.В.Писаржевського НАН України, Проспект Науки, 31, Київ, 03028				
Телефон (044)525-66-98		E-mail zheliezniakova@inphyschem-nas.kiev.ua		Факс 525-62-16
[74] Повне ім'я та реєстраційний номер представника у справах інтелектуальної власності прізвище або повне ім'я іншої довіреної особи				

☒ Прошу (просимо) прискорити публікацію заявки

Перелік документів, що додаються	Кількість аркушів	Кількість примірників	Підстави щодо виникнення права на подання заявки і одержання патенту (без подання документів), якщо винахідник(и) не є Заявником(ами):
☒ опис винаходу	6	3	☐ є документ про передачу прав винахідником(ами) або роботодавцем(ями) правонаступнику(ам) ☐ є документ про право спадкування
☒ формула винаходу	1	3	
☐ креслення та інші ілюстративні матеріали			
☒ реферат	1	3	
☐ документ про сплату збору за подання заявки			
☒ документ, який підтверджує наявність підстав для зменшення збору або звільнення від сплати збору	1	1	
☐ документ про депонування штаму			
☐ копія попередньої заявки, яка підтверджує право на пріоритет			
☐ переклад заявки українською мовою			
☐ документ, який підтверджує повноваження довіреної особи (довіреність)			
Інші документи:			
☐ міжнародний звіт про пошук			
[72] Винахідник(и) Винахідник(и)-заявник(и) (повне ім'я)	Місце проживання та код держави згідно із стандартом BOIV ST.3 (для іноземних осіб - тільки код держави)		Підпис(и) винахідника(ів))- заявника(ів)
Фатєєв Данило Сергійович	03057, м. Київ, вул. Михайла Брайчевського, 8, кв. 3-36 (UA)		
Трипольський Андрій Іккйович	04116, м. Київ, вул. Богдана Гаврилишина, 13/2, кв. 6 (UA)		
Іваненко Олена Іванівна	04112, м. Київ, вул. Авіаконструктора Ігоря Сікорського, буд.1, кв. 454 (UA)		
Бичко Ігор Богданович	03115, м. Київ, вул. Депутатська, 32, кв. 61 (UA)		
Столярчук Ірина Леонідівна	03028, Київська обл., Києво-Святошинський р-н, с. Новосілки, вул. Боженко, 14, кв. 2 (UA)		
Стрижак Петро Євгенович	03049, м. Київ, вул. Антоновича, 160, кв. 49 (UA)		
Я (ми) прошу (просимо) не згадувати мене (нас) як винахідника(ів) при публікації відомостей стосовно заявки на видачу патенту Підпис(и) винахідника(ів)			
Підпис(и) заявників(ів) Заступник директора Інституту фізичної хімії ім. Л.В. Писаржевського НАН України чл.-кор. НАН України, д.х.н. _____ Сергій КОЛОТІЛОВ			
Дата підпису М.П.	Якщо заявником є юридична особа, то підпис особи, яка має на це повноваження, із зазначенням посади скріплюється печаткою. Якщо всі автори виступають заявниками, то їх підписи наводяться за кодом (72)		