

ІНСТИТУТ ГАЗУ НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

СЕЗОНЕНКО ОЛЕКСІЙ БОРИСОВИЧ

УДК 662.7

**ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕРМІЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ ВІДХОДІВ
ТА ЕФЕКТИВНЕ ВИРОБНИЦТВО АЛЬТЕРНАТИВНИХ
ЕНЕРГОНОСІЇВ**

05.14.06 Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Науковий керівник
академік НАН України Ігор Миколайович Карп

Київ, 2024 р.

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Інституті газу Національної академії наук України, м. Київ

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор, академік НАН України

Карп Ігор Миколайович,

Інститут газу Національної академії наук України
головний науковий співробітник

Офіційні опоненти:

Чернявський Микола Володимирович,

доктор технічних наук, професор,
завідувач лабораторією паливних проблем енергетики
Інституту теплоенергетичних технологій НАН України,
м. Київ

Марчук Юрій Васильович,

кандидат технічних наук, старший науковий
співробітник відділу термохімічних процесів і
нанотехнологій Інституту газу НАН України,
м. Київ

Захист відбудеться 11 червня 2024 р. о _____ на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д 26.225.01 Інституту газу Національної академії наук України за
адресою: 03164, м. Київ, вул. Дегтярівська, 39.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Інституту газу Національної
академії наук України за адресою: 03164, м. Київ, вул. Дегтярівська, 39.

Автореферат розіслано «__» _____ 2024 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.225.01,
к.т.н.

О.І.Ховавко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Сьогодення України характеризується стабільною залежністю від експорту основних груп енергоносіїв (вугілля, газового палива та рідких палив вуглеводневої групи). Конструктивна побудова газотранспортної системи України ставить її в пряму залежність від постачання блакитного палива зі Східно-Сибірських родовищ. Реекспортні схеми постачання не вирішують головного питання – забезпечення енергетичної незалежності та самодостатності України. Щорічне споживання природного газу за останні передвоєнні роки державою оцінюється на рівні 26,7...30 млрд. м³, потужності власного видобування складають 18,7...19,3 млрд. м³.

Що стосується рідкого палива, власний видобуток нафти у 2020 році склав 2,4 млн. т, при цьому власне виробництво бензинів становило 1,03 млн. т, а дизпалива – 1,19 млн. т. Імпорт бензинів – 74% від споживання, дизпалива – 80%. Основні держави походження – Литва, Росія та Білорусь.

Для забезпечення можливості існування України як незалежної, економічно міцної держави є надзвичайно важливим широкий розвиток альтернативної енергетики з впровадженням лояльних до навколишнього середовища технологій використання відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Україна, в рамках рішення Ради Міністрів Енергетичного Співтовариства D/2012/04/МС-EnC від 18.10.2012 р., на підставі Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів щодо виконання у 2013 році Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу» № 157-р від 25.03.2013 р., зобов'язалася довести частку ВДЕ у валовому кінцевому енергоспоживанні до 11%, але поки що не змогла цього досягти. Енергетична стратегія України до 2035 р. у концепції сталого розвитку передбачає забезпечення до 25% ВДЕ у загальному постачанні первинної енергії.

Відходи побутові та промислові, що містять в своєму складі вуглець та водень, можуть бути віднесені до ВДЕ. За попередніми оцінками, їх річна кількість дозволяє компенсувати щонайменше 10% від річного видобутку в Україні природного газу та нафти.

Практичні результати з термічної деструкції вуглеводневмісних відходів (вуглеводневмісних полімерів штучного походження, мастил та інших відходів, до складу молекул яких входять атоми вуглецю та водню) дозволяють отримати вихід енергоносіїв в рідкому та газоподібному стані на рівні 70...94% від ваги відходів, що переробляються (без урахування баласту). При цьому об'єм таких відходів для депонування на полігонах скорочується в 5...6 разів. Результатом термічної деструкції відходів є висококалорійна горюча рідина з питомою вагою від 0,79 до 0,91 кг/м³ та горючий газ, що складається переважно з Н₂, СН₄ та СО.

Залишком процесу термічної деструкції є інертна золо-шлакова суміш, що складається переважно з силікатів, вуглецю та оксидів металів. Вуглець в її складі також може розглядатись як потенційний корисний продукт.

Таким чином, дослідження процесів термічної деструкції відходів з ефективним отриманням енергоносіїв, розробка нового обладнання та вдосконалення технологій є актуальними напрямками в забезпеченні енергетичної незалежності України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась в рамках основної бюджетної тематики відділу проблем промислової теплотехніки Інституту газу НАН України, а саме: НДР № III-10-16 «Дослідження енерготехнологій та розробка устаткування для утилізації вторинних і скидних енергоресурсів», НДР № III-2-19 «Розвиток наукових засад інтенсифікації теплообміну в промислових агрегатах та створення новітніх технологій при використанні палив різного походження», 2019-2022 рр., відповідає основному напрямку діяльності відділу щодо енерго- та ресурсозбереження та раціонального енерговикористання та загальній стратегії Інституту.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження процесів та існуючих технологій термічної деструкції вуглеводневмісних відходів з метою отримання максимальної кількості альтернативних палив, зокрема рідких моторних та пічних, та зниження впливу таких процесів на навколишнє природне середовище.

Для реалізації цієї мети були поставлені такі задачі:

1. Здійснити порівняльний аналіз існуючих процесів та технологій термічної деструкції відходів, що мають у своєму складі атоми вуглецю та водню, проаналізувати основні недоліки, можливості їх усунення та напрямки удосконалення.

2. Дослідити та проаналізувати процес термічної деструкції окремих складових побутових та промислових відходів аналітичним методом, для визначення оптимальних фізичних параметрів.

3. З метою перевірки та підтвердження розрахункових параметрів, розробити та створити лабораторну та дослідну установки, наближені по параметрах до робочих умов технологічного процесу. Дослідити динаміку фізико-хімічних процесів термічної деструкції вуглеводневмісних складових різних груп відходів.

4. Визначити залежність процесів термічного розкладання відходів від температури при завданих значеннях тиску за умови завданого значення вологості, дослідити хімічний склад та основні характеристики отриманих енергоносіїв.

5. Здійснити впровадження розробленої технології термічної деструкції відходів у відповідності з технічними вимогами профільного спеціалізованого підприємства – оператора по поводженню з відходами.

6. Запропонувати шляхи скорочення шкідливого впливу на навколишнє природне середовище процесів термічної деструкції відходів.

Об'єктом дослідження є процес термічної деструкції вуглеводневмісних відходів з отриманням альтернативних енергоносіїв.

Предметом дослідження є показники ефективності процесу вироблення альтернативних енергоносіїв.

Методи дослідження. В роботі використовувались розрахункові та експериментальні методи досліджень, а також методи промислових випробувань. Розрахункові методи використовувались для кількісного визначення виходу та складу паливних компонентів з побутових та промислових відходів з урахуванням обмежень технології. Експериментальні методи застосовувались для дослідження процесу термодеструкції поліетилену, поліпропілену, полістиролу, відходів мастил та інших відходів на лабораторній та дослідній одноретортних стаціонарних установках. Для промислових випробувань використовувались стандартні теплотехнічні методи.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше експериментально встановлено температурну залежність виходу і складу рідких, твердих та газоподібних продуктів термічного розкладу вуглеводневих полімерів зі складу вітчизняних ТПВ та медичних відходів, знайдено оптимальні умови періодичного процесу термічної деструкції відходів поліетилену різного походження за критерієм сполучення максимальної повноти деструкції та максимального виходу рідкої фракції.

2. Експериментально доведено збільшення повноти деструкції та виходу рідкої фракції при додаванні відходів мастил до відходів поліетилену різного походження.

3. Для промислового реактору термічного розкладу відходів поліетилену різного походження вперше запропоновано та доведено випробуваннями можливість термічного знешкодження шкідливих викидів за рахунок їх подачі до камери зовнішнього нагрівання реактора.

Практичне значення одержаних результатів:

1. Створено лабораторну установку для фізичного моделювання технології термічної деструкції речовин з початковою вологістю до 40 %, зольністю до 30 %, та розроблено методику експериментальних досліджень.

2. Розроблено нові технічні рішення щодо оптимізації температурних режимів та продуктивності процесу термічної деструкції вуглеводневмісних відходів з використанням механізованого реактора нової конструкції з керованими параметрами температурного режиму для отримання оптимального співвідношення енергоносіїв у вигляді паливного газу та рідкого вуглеводневого палива.

3. Сконструйовано та впроваджено на спеціалізованому підприємстві з перероблення відходів дослідно-промислові установки зі стаціонарними та роторним реакторами, продуктивністю від 12 до 24 тон товарного продукту за добу у вигляді рідкого пального.

4. На підставі промислових випробувань визначено та відпрацьовано оптимальні за критерієм сполучення максимальної повноти деструкції та максимального виходу рідкої фракції параметри запропонованої технології термічної деструкції відходів з отриманням альтернативних енергоносіїв.

5. Розроблену технологію, що реалізує процеси ефективного виробництва альтернативних енергоносіїв, впроваджено на спеціалізованому ліцензованому підприємстві Республіки Казахстан ТОО «Агайындар KZ», м. Астана, що підтверджено відповідним актом.

На території Республіки Казахстан, м. Астана, запущено в дослідно-промислову експлуатацію комплекс по утилізації вуглеводневмісних твердих побутових та інших відходів з виробленням в якості товарного продукту ВДЕ-дизеля. Видатність комплексу по переробленню відходів – до 24 тон за добу. Після виходу комплексу на проектну потужність річна планована виробнича програма склала близько 11100 тон/рік перероблених відходів, при цьому отримано 7260 тон палива середньою вартістю 3 267 тис. \$ за тону.

Практичну цінність результатів дисертаційної роботи підтверджено двома патентами України на винахід і одним – на корисну модель.

Особистий внесок здобувача. Дисертація містить результати власних досліджень. Особистий внесок здобувача полягає в участі у постановці задач дослідження, в аналізі літературних даних, у розробці та впровадженні лабораторного і технологічного дослідного обладнання, експериментальних методів дослідження, у проведенні розрахункових та експериментальних досліджень та обробленні їх результатів, в розробленні, впровадженні технічних рішень на дослідно-промислових установках та в їх налагодженні.

Внесок у роботи, написані в співавторстві, вказаний у списку публікацій.

Апробація результатів роботи. Основні положення та результати роботи доповідались на 5 міжнародних та національних науково-практичних конференціях, серед яких міжнародна науково-практична конференція “Енергоефективність-2010” (м. Київ, 19-21 жовтня 2010 р.), Національний форум "Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології" (м. Слов'янськ, 7-8 листопада 2019 р.), ІХ-й міжнародна науково-практична конференція «Проблеми природокористування, сталого розвитку та техногенної безпеки регіонів» (м. Дніпро, 6-7 жовтня 2021 р.) та ін.

Публікації. Основний зміст роботи викладено в 14 публікаціях, з яких 1 стаття у виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою даних Scopus, 7 статей у наукових фахових виданнях України. За результатами проведених досліджень отримано 3 патенти на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 157 сторінках, складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел, додатків. Обсяг основного тексту дисертаційної роботи становить 121 сторінок, включно 31 рисунок, 26 таблиць, 3 додатки. Списки використаних джерел містять __ найменувань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі наведено актуальність дисертаційної роботи, обґрунтовано вибір теми досліджень, сформульовано мету та завдання наукових досліджень, викладено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено зв'язок роботи з науковими темами, апробацію результатів роботи, впровадження та публікації.

У першому розділі наведено огляд проблематики поводження з відходами у країнах Євросоюзу й окремо в Україні з точки зору законодавчої бази, Європейських тенденцій, сучасного стану технологій і техніки. Проаналізовано структуру загальноприйнятих технологій для здійснення процесу утилізації.

Беручи до уваги актуальність в світовій енергетичній сфері питань пошуку відновлюваних альтернативних джерел енергії, багато дослідницьких установ і організацій приділяють пильну увагу пошуку та розробці ефективних технологій отримання енергоносіїв відходів.

У сучасній сфері перероблення відходів виділяють три основні напрямки: термохімічні, фізико-хімічні та біологічні. Виходячи з термінології, суть перших полягає в забезпеченні хімічних реакцій деструкції та перебудови шляхом підігріву до певного рівня температур, з присутністю (або без) допоміжних речовин, які називаються «агентами»; других – в екстрагуванні зі зміною агрегатного стану з залученням хімічно активних речовин; третіх – в бактеріологічному перетворенні відходів в групи речовин з певним цільовим призначенням.

Однією з умов, що зумовлюють перевагу того чи іншого способу перероблення відходів, є універсальність корисного застосування результатів, отриманих в процесі перероблення. Структурна схема (рис. 1) наочно демонструє, що термохімічний процес піролізу дозволяє отримати три корисних цільових продукти: тверде паливо, рідке паливо (узагальнююча назва якого - рідке вуглеводневе синтетичне паливо), газоподібне паливо, наприклад, паливний або синтез-газ. Будь-яке з цих палив може бути використане через хімічну екзотермічну реакцію окислювання для отримання теплової або електричної енергії. Важливо, що такі корисні цільові продукти можуть бути прямим аналогом природних викопних палив та придатні до еквівалентної заміни, з урахуванням наявної теплоти згоряння.

В роботі розглянуті технології термічного перероблення відходів зі складу «відсіву» сміттесортувальних комплексів (плівкових полімерів, тари, упаковки, рідких відходів нафтового походження). Перелічені вище відходи, за умови досить широкої морфології, мають низку спільних властивостей – неможливість використання в якості вторинної сировини, високий ступінь засміченості речовинами органічного та неорганічного походження, відносно високу початкову вологість та (окрім рідин) невисоку насипну щільність. Калорійність їх становить щонайменше 21...43 МДж/кг.

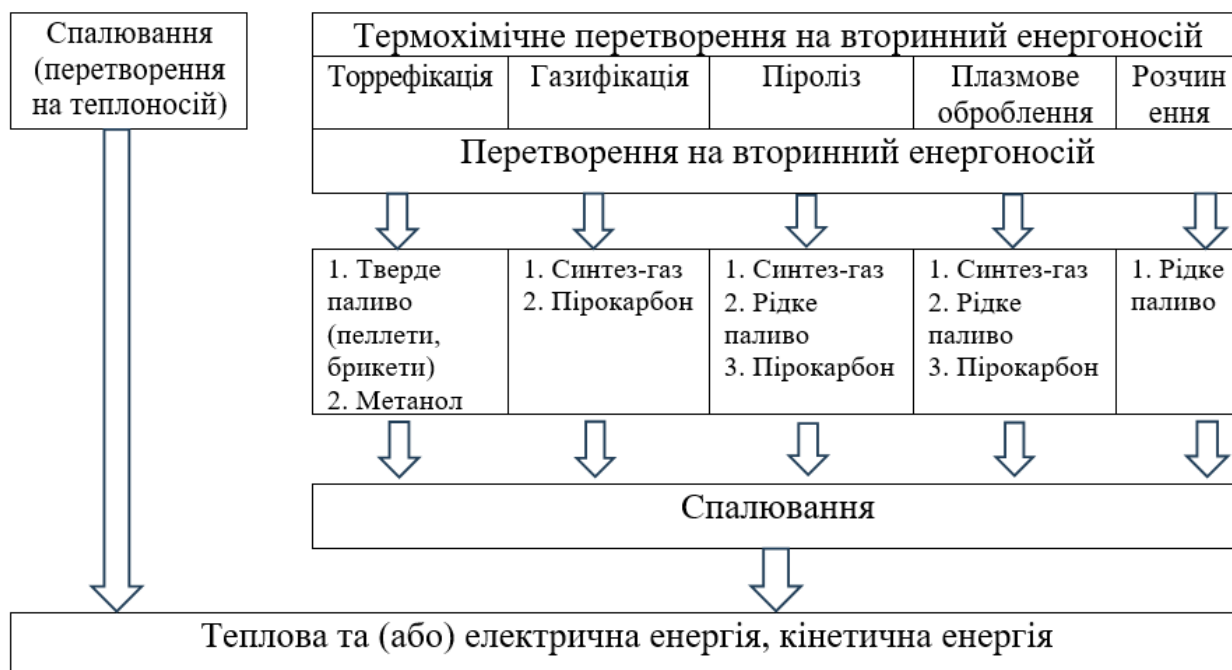


Рис. 1. Структурна схема існуючих термічних способів перероблення відходів

До того ж, будь-який термохімічний процес перероблення органічних речовин, в залежності від складу речовин реакції, параметрів процесу і використання (чи не використання) кінцевих цільових продуктів процесу, здійснює вплив на навколишнє природне середовище в кількісному і якісному аспектах. Тому екологічний аспект роботи обладнання перероблення відходів повинен обов'язково враховуватись.

Основним завданням роботи є пошук шляхів та напрямків оптимізації технології термічної деструкції вуглеводневмісних відходів.

Зведені технічні характеристики технологічних систем для термічного перероблення відходів проаналізовано автором роботи та узагальнено в табл. 1.

З аналізу літературних джерел зроблено наступні висновки:

- за даними багатьох досліджень вуглеводневмісні відходи - полімери, пластики, відходи мастил - складають суттєву частку в загальному балансі утворення муніципальних та промислових відходів (від 10 до 30 %);

- в сучасних умовах приблизно половина вуглеводневмісних відходів не відносяться до таких, що біологічно швидко розкладаються в природних умовах, тобто потребують ефективного та екологічно безпечного перероблення;

- сучасна інтернаціональна практика розвитку технологій поводження з відходами передбачає поступове зменшення депонування таких відходів на полігонах твердих побутових відходів (ТПВ);

- при спільному збиранні та транспортуванні неможливо уникнути забруднення полімерів хлорвмісними сполуками, що може бути причиною викидів у навколишнє природне середовище токсичних речовин;

- вуглеводневмісні відходи є цінним ВДЕ, для виготовлення яких витрачені природні ресурси (викопні вуглеводні). Утилізація таких відходів з виробленням синтетичних видів палив певною мірою компенсує видобуток рівнозначної кількості нафти і природного газу.

Таблиця 1 – Порівняння установок і систем термічного перероблення відходів

Найменування термічної установки	Печі-інсинератори (газифікація, піроліз, спалювання)	Установки термо-деструкції (піроліз і газифікація)	Енергетичні установки (спалювання)	Установки комбінованої дії (торефікація, газифікація)	Технологічні установки (пірометалургійні тощо)
Кількість технологічних зон	2	1-2	1-3	2-3	3-5
Рівень робочих температур, °С	850...1200	250...850 (1100)	1100...1400	150...250	1450...1500
Найпопулярніші види палива	Природний газ, дизельне пальне	Синтез-газ, рідке вуглеводневе пальне	Відсів ТПВ, RDF, синтез-газ	Синтез-газ	Природний газ, синтез-газ
Рекуперація теплоти відхідних газів	Рекуператори радіаційні щілинні	Ні	Економайзер	Так	Підігрів сировини, підігрів повітря спалювання
Тип пальника, що ефективно використовується	Дифузійні блочні, двопровідні	Дифузійні блочні,	Дифузійні блочні, двопровідні	Попереднього змішування коротко-плоскофакельні	Пальники часткового попереднього змішування
Виробництво додаткових цільових продуктів	Ні	Синтез-газ, рідке вуглеводневе пальне	Ні	Тверде паливо з характеристиками вугілля	Відновлені метали, мінеральний шлак, сірка

З урахуванням наведеного вище, для подальшої роботи обрано два види вуглеводневмісних матеріалів: пластики, які не є швидко біорозкладаними, та відходи мастил. Визначено основні задачі досліджень.

Сформульовано гіпотезу досліджень, яка полягає в наступному: процес термічної деструкції вуглеводневмісних відходів повинен бути повним та енергетично самодостатнім; може і повинен бути економічно вигідним за рахунок виробництва додаткової кількості енергоносіїв; має потребу в практичній реалізації з прийнятними термінами окупності, або, іншими словами, повинен мати комерційну привабливість для практичної реалізації.

У другому розділі досліджені особливості процесів термічної деструкції полімерів. Виходячи із завдання роботи, важливо було розглянути механізми фазових, хімічних, термохімічних перетворень та прогнозувати зміни складових хімічних елементів багатокомпонентної вихідної сировини в залежності від температурного рівня. Враховуючи складний, змінний у часі та непередбачуваний заздалегідь склад відходів, важливо було отримати попередні оцінки щодо цільових кінцевих продуктів термічної деструкції, їхніх кількісних та якісних показників в широкому діапазоні складу відходів, створити умови, максимально наближені до реальних промислових щодо відбору репрезентативних проб відходів та методів їх термодеструкції.

Розглянуті наступні складові компоненти зі складу ТПВ:

- поліетилен високого тиску (PE-LD), в ході виробництва якого здійснюють радикальну полімеризацію етилену при тиску до 300 МПа при температурі 200-260 °С. Щільність матеріалу складає 0,91-0,93 г/см³. Хімічна формула: $(-\text{CH}_2-)_n$, де n – ступінь полімеризації.

- поліетилен низького тиску (PE-HD), отриманий полімеризацією етилену у гетерогенному середовищі при тиску до 0,5 МПа і температурі 70-80 °С. Щільність поліетилену складає близько 0,95 г/см³. Хімічна формула: $(-\text{C}_2\text{H}_4-)_n$, де n – ступінь полімеризації.

- поліпропілен - синтетичний полімер, продукт полімеризації пропілену. Щільність при температурі 20 °С складає 920—930 кг/м³, температура плавлення 172 °С. Хімічна формула: $(-\text{CH}_2-\text{CH}(\text{CH}_3)-)_n$, де n - ступінь полімеризації.

Задача моделювання процесу термічної деструкції суміші полімерів ускладнена наступними особливостями досліджуваного об'єкту:

1. Значна кількість органічних і неорганічних домішок (засміченість) непрогнозованого складу, властивостей, та, відповідно, з непрогнозованим впливом на перебіг процесу термічної деструкції.

2. Велика відмінність властивостей окремих компонентів сировинної суміші. Так, при розгляді сортового вторинного поліетилену, як найбільш простої для моделювання системи, виявляються значні розбіжності як в структурі окремих фракцій, так і в їх хімічному складі, а також суттєві розбіжності в так званій технологічній історії – сукупності процесів та технологій, які застосовує конкретний виробник полімеру при виготовленні товарного продукту.

3. Одночасна присутність у складі сировинної суміші полімерів з різним ступенем старіння. Широко відомо, що полімери не є абсолютно невразливими до дії різноманітних зовнішніх впливів. Серед найбільш агресивних факторів зовнішнього середовища слід виділити ультрафіолетову компоненту сонячного світла, кисень атмосфери та вологу. Зрозуміло, що неможливо встановити умови експлуатації кожного полімерного фрагменту в складі сировинної суміші. Проте, результати старіння можуть мати суттєвий вплив на перебіг процесу термодеструкції. Насамперед, йдеться про зміни в будові полімерних ланцюгів під дією світла та часткове окиснення полімеру протягом тривалої експлуатації та зберігання, що призводить до накопичення кисневих функціональних груп (С-ОН, С-О-С, С=О, СООН), які радикально змінюють картину термічного розкладання.

Було проаналізовано ряд існуючих методик розрахунків термодинамічно рівноважного стану процесів термічної деструкції органічних сполук, в тому числі Chemical WorkBench, MTDATA, ThermoChemical Calculator (TCC), TERRA. Хоча жодна з них нездатна враховувати наведені вище особливості вуглеводневмісних відходів, вони виявляються корисними при розрахунках більш простих систем, наприклад, зміни складу газоподібних продуктів за рахунок вторинних реакцій термічного розкладу. З урахуванням наявного досвіду моделювання термодинаміки процесів термічної деструкції твердих палив різних складів та доступності програмного ресурсу, для розрахунку

вторинного гомогенного розкладу продукту первинного термічного розкладу твердої речовини – етилену – було обрано програмний комплекс TERRA.

Залежність утворення основних компонентів термічної деструкції від температури наведено на графіку (рис. 2). При значенні рівнів температур в реакторі ≥ 525 К метанові групи починають розкладатися, за рахунок чого підвищується масова доля водню. В точці, що відповідає значенню температур 780 К, концентрації метану та водню стають рівними.

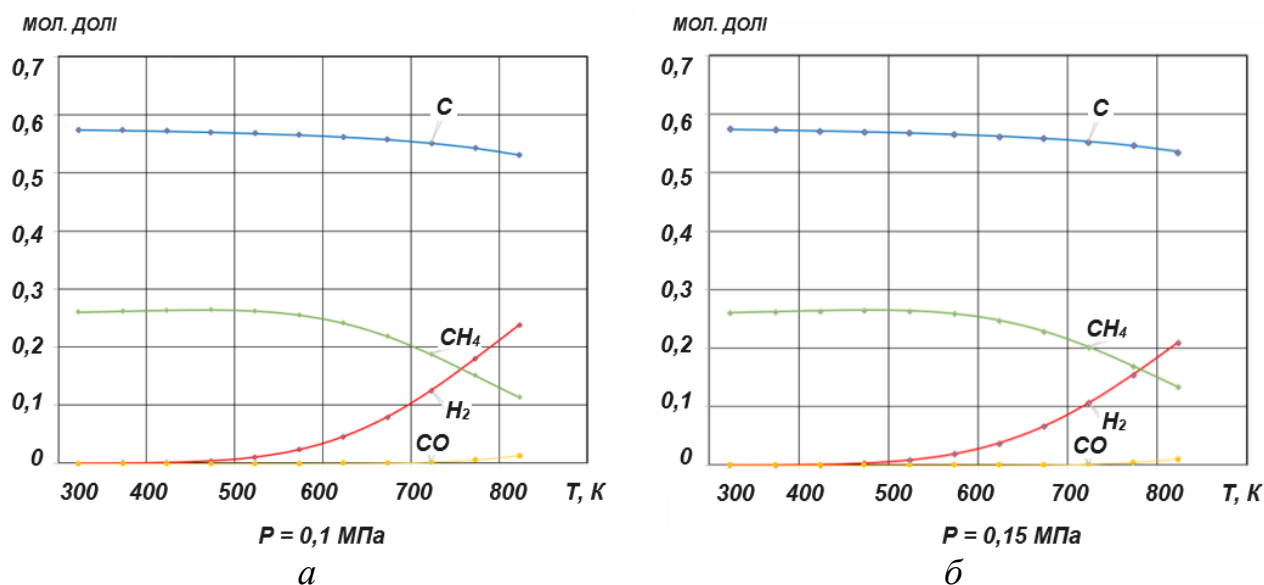


Рис. 2. Залежність утворення основних продуктів термічної деструкції етилену від температури при тиску 0,1 МПа і 0,15 МПа

Наближену оцінку теплоти згоряння продуктів термічного розкладу з відомим елементним складом дозволяє виконати відома емпірична формула Менделєєва. Для вуглеводнів та полімерів на їх основі перевага цієї формули полягає в тому, що результат розрахунку не залежить від величини n .

У формулі $(C_2H_4)_n$ маси елементів: $C = 24n$ $H = 4n$, сумарна маса: $28n$, звідки витікає:

$$C = 24n/28n = 85,71, H = 4n/28n = 14,29 (\% \text{ по масі});$$

тоді розрахункова (теоретична) середня максимальна калорійність паливного газу становить:

$$Q_H^p = 30,527 (\text{МДж/кг}).$$

Разом з тим, вторинний гомогенний розклад призводить до збільшення об'єму, а значить, до зменшення калорійності одиниці об'єму газоподібних продуктів, що ускладнює їх використання в пальникових пристроях, розрахованих на природний газ. На підставі розрахункових досліджень встановлено оптимальний температурний діапазон процесу, - не більше 430°C.

Визначення основних параметрів процесу первинного термічного розкладу вуглеводневих полімерних відходів потребувало експериментальних лабораторних досліджень на представницьких зразках. План досліджень враховував наведені вище розрахункові та аналітичні дані та був спрямований на підтвердження допустимості прийнятих припущень.

У третьому розділі обґрунтовано вибір методу експериментальних досліджень. Наводиться опис експериментальних установок, призначених для дослідження технології термічної деструкції відходів, з використанням отриманих енергоносіїв на підтримання процесу, розглянуто принцип дії, прилади та методи вимірювання досліджуваних величин.

Для дослідження технології термічної деструкції вуглеводневмісних відходів було створено лабораторну установку (рис. 3), склад і структура якого дозволили, по-перше, змодельовати розкладання органічних речовин під впливом температури з обмеженою кількістю остаточного повітря в реакторі, по-друге – визначити ступінь повноти деструкції органічної складової відходів за обраних режимних умов. При цьому забезпечувалась газощільність реактору з підтриманням всередині надлишкового тиску газової фази продуктів розкладу. Установку встановлено в лабораторному приміщенні теплотехнічного корпусу Інституту газу НАН України.

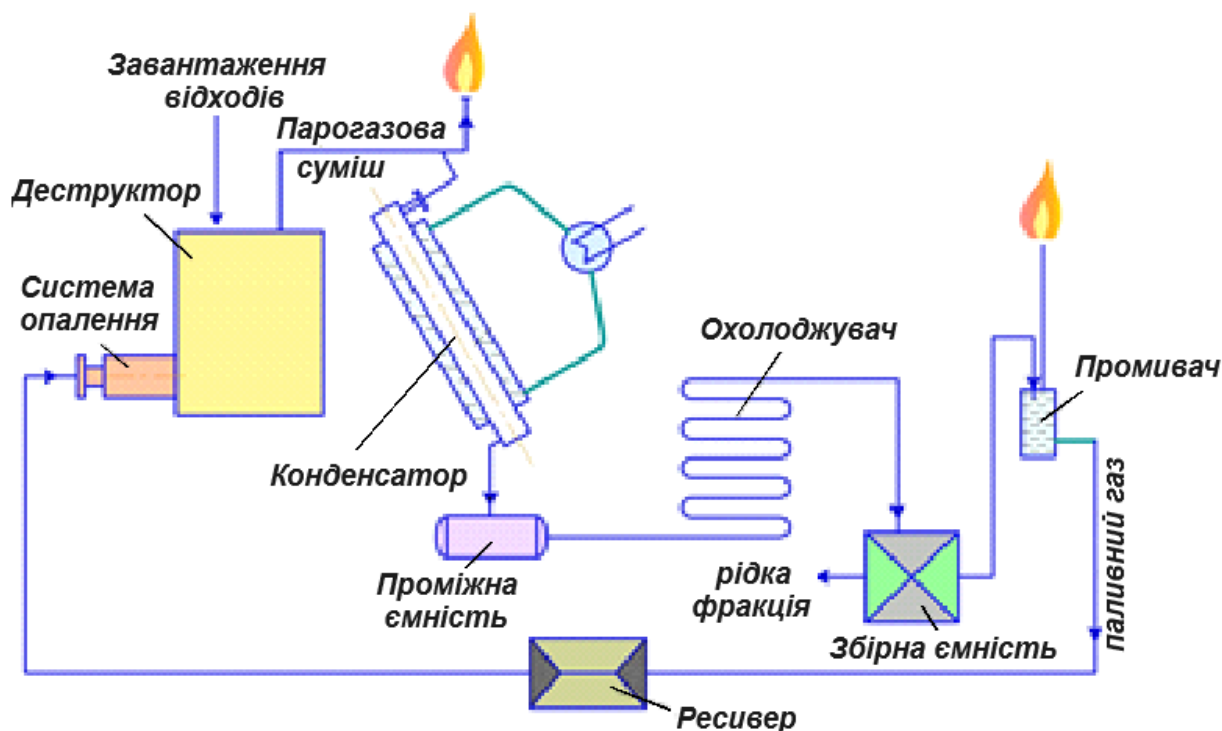


Рис. 3. Лабораторна установка для дослідження процесу термічного розкладу полімерних відходів

Всього було здійснено три цикли досліджень по 12 завантажень реактору: шість з початковим компонентом з відходів №1 - полімери із ТПВ, та шість з початковим компонентом з відходів №2 - полімери із медичних відходів. Зразки відходів показано на рис. 4.

Для підвищення репрезентативності, вибірки робилися з різних партій відходів, що надходили на сортувальний майданчик одного з київських підприємств. Відходи брались в стані «як були привезені» - з наявністю атмосферних забруднень, що викликані відкритим зберіганням (у випадку № 1) і з наявністю залишків рідких медпрепаратів (у випадку № 2). Слід зауважити,

що в початковому компоненті № 2 потрапили виключно прострочені кювети, системи переливання крові, шприці, упаковки з ліками і фізрозчинами, т.е. такі, що не були у використанні або в контакті з хворими. Фактично, такі відходи не відносяться до небезпечних.



Рис. 4. Відібрані зразки: а – полімери з ТПВ, б – полімери з медичних відходів

Дослідження складу газоподібних продуктів в динаміці процесу термічної деструкції полімерів здійснювалися з використанням методів газової хроматографії. Встановлено, що повне завантаження реактору, поступовий нагрів зі швидкістю орієнтовно $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ за годину до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$ дає змогу отримати паливний газ з калорійністю до 24 МДж/м^3 . Узагальнені залежності складових паливних газів від температури наведено на рис. 5.

Отримані результати вказують на те, що основний вплив на склад ТДВВ-газу чинять температура процесу та склад сировини. Температурна залежність співвідношення між вмістом метану та водню з урахуванням наявності в реакторі залишкового повітря корелює з рівноважними термодинамічними розрахунками, наведеними в другому розділі.

Результати досліджень зміни маси відходів наведені в табл. 2.

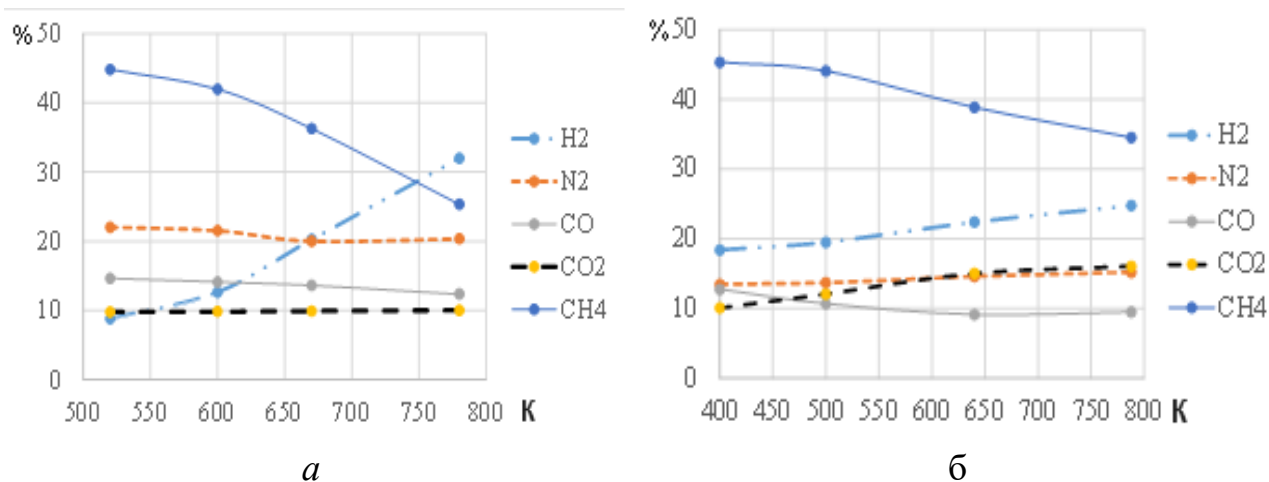


Рис. 5. Масова частка продуктів термічної деструкції поліетилену як функція температури: *a* – для полімерів з ТПВ, *б* – для полімерів з медичних відходів

Таблиця 2 - Результати дослідження фізичних характеристик продуктів та зміни маси при термічній деструкції відходів

Найменування показника	Значення		Примітки
	Полімери з ТПВ	Полімери з медичних відходів	
Діапазон температур процесу термічного розкладання, °С	170-380		
Вага відходів, що завантажують в реактор, г	1500		
Фракція, мм	15-50	10-100	Пластики, поліпропілен, ПВХ, мінеральна вата, метали
Отримано в процесі піролізу, г:			
Вода	219	48	Температура процесу 110...120 °С
Рідка горюча фаза вуглеводнів (без розподілу на фракції)	498	815	Температура процесу 170...360 °С
Зола з вуглецем та залишками органічних речовин:			З включеннями металів
- мінеральні речовини	151	71	
- вуглець (пірокарбон)	73	41	
- залишки органічних речовин	70	9	
РАЗОМ:	294	121	
Горючий газ (розрахований як залишок маси)	489	516	Горить стабільно на типовому пальнику ZAI (Кромшредер)

В ході досліджень було встановлено, що лабораторна установка з робочим об'ємом реактора 1,5 дм³ має наступні недоліки:

1. Низька теплоінерційність теплоізольованої камери, що не дозволяє з високим ступенем вірогідності організувати належну витрату паливного газу на власні потреби, а саме – на підтримання температури в реторті на рівні 210...480 °С.

2. Неможливість фізично завантажити в реактор відходи в такому вигляді, в якому вони поступають зі станції сортування ТПВ або з фармацевтичних підприємств, тобто без попереднього подрібнення.

Подальші дослідження проводилися із застосуванням розробленої автором дослідної одноретортної стаціонарної установки періодичної дії, з об'ємом реторти 1,5 м³. Принципова схема дослідної установки наведена на рис. 6. Установка була побудована на одному з підприємств м. Києва – ліцензованого оператора щодо поводження з відходами.

Для досліджень були отримані репрезентативні зразки відходів - відсівів або «хвости» ТПВ. Було отримано зразки поліетилену високої щільності, низької щільності, поліпропілену та відходів моторних та трансмісійних

мастил. Дослідні зразки відходів розміщували всередині реторти. Зверху реторту щільно закривали кришкою, на якій розташовані вихідний патрубок паро-газової суміші деструкції, термопара в захисному чохлі, система механічного перемішування відходів в реторті. Реторта встановлювалась в реактор із універсальною системою опалення, та патрубком відведення продуктів згорання. Вихідний патрубок з реторти з'єднаний перепускним шлангом із газовим охолоджувачем із водяною сорочкою, який, у свою чергу з'єднаний трубками із системою очищення, охолодження та фільтрації газів.

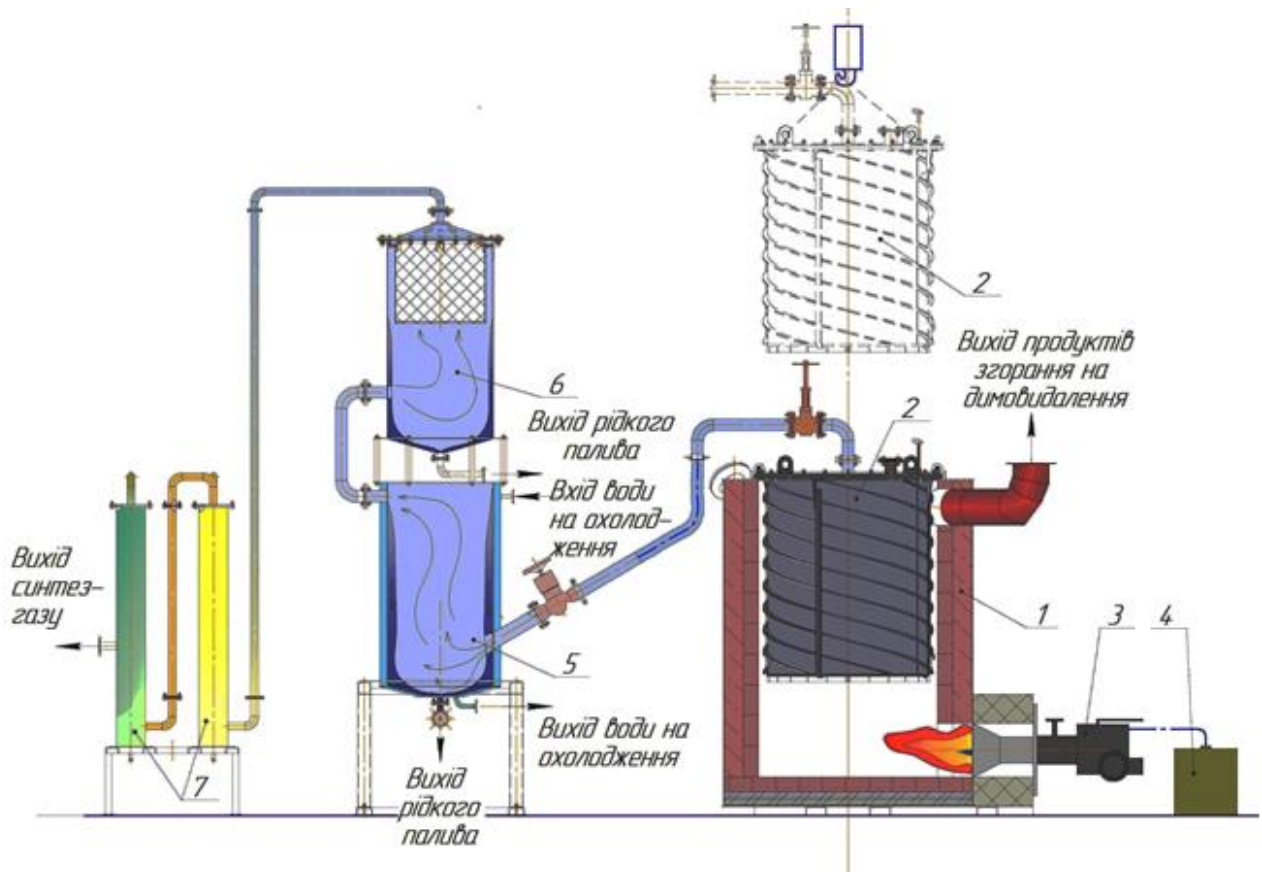


Рис. 6. Схема дослідної одноретортної піролізної установки: 1 - реактор, 2 - реторта з зовнішнім оребренням, 3,4 - форкамера з двопаливною системою опалення, 5,6 - система конденсації, 7 - система охолодження та очищення паливного газу

В ході дослідів встановлено граничні значення температур в реторті, що характеризують послідовність стадій термічної деструкції відходів, а саме: від 20 °C до 110 °C – розігрів та початок випарювання води; від 110 до 170 °C – повне випарювання води з відходів; від 170 до 280 °C – процес термічного розкладання полімерів в складі відходів; від 280 до 420 °C – процес розкладання та переводу в парову фазу відходів масел та суміші масел з іншими групами відходів; від 420 до 500 °C – завершення процесів розкладання органічних речовин та «прокалювання» залишку.

В табл. 3 узагальнені результати досліджень для різних груп відходів. Вони свідчать, що вміст води у відходах становив від 8 % для мастил до 18,5 % для RDF з відкритого місця зберігання, вихід рідкого палива - від 80 % до 30 %,

вихід паливного газу від 9,8 % до 21 %, твердий залишок – від 2 до 30,5 %, відповідно. При цьому при спільній термічній деструкції відходів мастил і твердих відходів було отримано води 9,5%, рідкого палива 74%, паливного газу 11,5%, твердого залишку 5%. Це доводить збільшення повноти деструкції та виходу рідкої фракції при додаванні відходів мастил до відходів поліетилену різного походження.

Таблиця 3 - Результати балансових досліджень для різних груп відходів

Найменування параметру	Значення для певного виду відходів					
	Відходи мастил	Відходи LDPE, HDPE	Відходи PP, PPC	RDF EBS-22	RDF EBS-11	Відходи мастил+суміш різних твердих відходів
Діапазон температур термічного розкладання, °C	310...480	190...320	255...380	180...380	170...360	310...490
Тривалість циклу термо-деструкції, год	4					
Вага відходів, що завантажували в реактор, кг	200					
Фракція, мм	Рідина	10...150	10...70	10...20	30...70	Рідина + крупна (від 150 мм)
Отримано в процесі термічної деструкції, кг:						
- води	16	12	9	37	24	19
- рідкої горючої фази вуглеводнів	160	119	146	60	70	148
-твердий залишок, в тому числі						
а) вуглець	---	7,2	3,1	30,8	19,2	4,2
б) мінеральна частка	4,5	3,8	1,5	21,3	17,4	5,8
в) органічна частка	---	3	0,4	8,9	7,4	---
- паливний газ	19,5	55	40	42	62	23
РАЗОМ:	200					

Результати досліджень середнього складу і калорійності паливного газу, отриманого на дослідній установці, наведені в табл. 4. Дані свідчать, що паливний газ містить три горючі компоненти – водень, оксид вуглецю та метан в комбінації з іншими важкими вуглеводневими сполуками, що дає можливість визначення калорійності розрахунковим методом.

Таблиця 4 - Результати аналізу середнього складу паливного газу

№ п/п	Найменування компоненту	Значення, об. %
1.	Водень H ₂	22,404
2.	Азот N ₂	4,681
3.	Оксид вуглецю CO	10,675
4.	Діоксид вуглецю CO ₂	3,737
5.	Метан CH ₄ + важкі вуглеводні	58,503
РАЗОМ:		100,000

Розрахована за формулою Менделєєва нижча теплота згоряння паливного газу для відходів в складі поліетилену низької та високої щільності становить $Q_p^H=24\ 758\ \text{кДж/м}^3\ (5914\ \text{ккал/м}^3)$.

В ході дослідів на отриманих зразках паливних газів практично підтверджена можливість їх спалювання на штатних газових пальниках без додаткового переобладнання та переналагоджування. Отримані зразки рідкого палива в сукупності можуть бути віднесені до ДСТУ 3868-99 «Паливо дизельне. Технічні умови». У відповідності до проведених сертифікаційних аналізів, середня калорійність склала – 39...41 МДж/кг.

Одночасно виявлено, що термічний розклад в стаціонарній реторті не дає змоги досягти повного розкладання органіки з відходів, це можливо тільки при спільній термодеструкції рідкої та твердої фракції відходів.

В четвертому розділі представлена інформація щодо впровадження технології термічної деструкції промислових та побутових відходів на прикладі розроблених за технічними рішеннями автора дослідно-промислових установок зі стаціонарним та обертовим реакторами.

Впровадження було запропоновано виконати на території діючого підприємства - сміттесортувальної станції м. Астана, Республіка Казахстан. Автор, як представник Інституту, брав участь у реалізації даного проекту в якості наукового консультанта, здійснював авторський нагляд та пуско-налагодження.

Для підтвердження економічної доцільності реалізації проекту на основі запропонованої технології термічної деструкції було виконано техніко-економічний розрахунок. У відповідності з робочою документацією на території РК було здійснено виготовлення, монтаж і пуско-налагодження обладнання, комплектуючих і елементів дослідно-промислової установки з трьома стаціонарними ретортами (рис. 7).



Рис. 7. Загальний вигляд виробничої лінії з трьома реакторами

На заключному етапі було виконано відпрацювання режимів, підбір оптимальних режимів роботи за критерієм сполучення максимальної повноти деструкції та максимального виходу рідкої фракції, лабораторні дослідження показників отриманих енергоносіїв (в тому числі рідкого палива – як цільового товарного продукту для реалізації стороннім споживачам), виконано аналіз повноти перероблення відходів, що завантажуються, та оптимізація вагового співвідношення відходів. Отримано результати лабораторних досліджень, які підтвердили можливість використання рідкого вуглеводневого палива в якості альтернативи дизельному пальному та мазуту. На протязі 6 місяців здійснювалось «напрацювання на відмову», визначались недоліки та слабкі місця, проводилось оперативне конструктивне вдосконалення обладнання.

Впровадження технології термічної деструкції відходів дозволило оптимізувати роботу сміттесортувальної станції, зменшити вивезення відсіву полімерів на полігон для депонування, отримати сертифікований продукт для реалізації у вигляді рідкого палива. За рік було отримано 7260 тон товарної продукції, яке мало комерційну вартість на рівні 0,45 \$/літр та реалізовувалось різним споживачам, переважно для використання на теплоенергетичних об'єктах. Всього за перший рік роботи було реалізовано продукції на суму 3,156 млн. \$. Це дозволило вже за перший рік експлуатації повністю виправдати усі фінансові витрати на реалізацію проекту. Найбільша ефективність роботи забезпечувалась за рахунок спільної утилізації твердих та рідких груп відходів.

Для забезпечення повноти термічного розкладання переробці «відсіву» полімерів із зменшенням залежності від наявності рідкої сировини, на базі існуючого конструктиву роторних піролізерів було розроблено та реалізовано на практиці універсальну установку з обертовим реактором (рис. 8, 9).

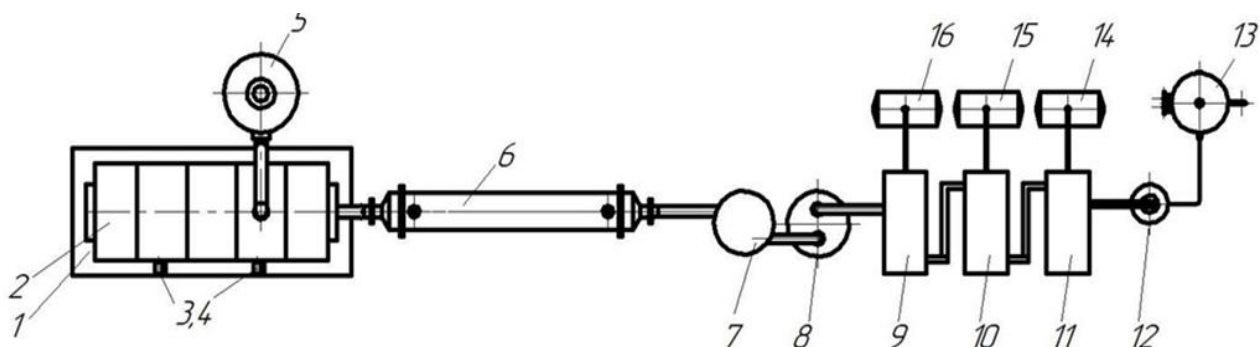


Рис. 8. Схема роторної установки: 1 - камера згоряння з високотемпературним допалювачем, 2 - обертовий реактор з вбудованим воружителем та зовнішнім ребруванням, 3, 4 - двопаливна універсальна система опалення, 6-8 - система конденсації, 9-12 - система охолодження паливного газу, 13 - газовий ресивер, 14-16 - ємності для збирання рідкого палива

В роторній установці задача швидкої та повної утилізації твердих вуглеводневмісних відходів вирішується завдяки спеціальній конструкції. Перевагою перед аналогами стала конструкція обертового реактора з

вбудованими ворушителями та розвиненими ребрами зовнішньої поверхні теплообміну. Це дало змогу здійснити рівномірне омивання димовими газами поверхні реактора.



Рис. 9. Загальний вигляд роторної установки

В процесі термічної деструкції стабільно вироблявся паливний газ для власних потреб установки та для забезпечення газовим паливом іншого обладнання (парові та водогрійні котельні, технологічне обладнання тощо). Оскільки склад паливного газу відрізняється від природного, має змінний склад (в залежності від морфології відходів) і може включати небезпечні речовини, при його спалюванні використовують системи газоочищення та нейтралізації. Наявність в конструкції високотемпературного допалювача з системою очищення димових газів дозволила використовувати спалювання отриманих газоподібних продуктів для обігріву реактора. За рахунок цього не лише зменшуються витрати на енергоносії; випробуваннями доведено можливість термічного знешкодження шкідливих викидів за рахунок їх подачі до камери зовнішнього нагрівання реактора без витрачання додаткового палива.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичне завдання дослідження і удосконалення процесів та існуючих технологій термічної деструкції вуглеводневмісних відходів з метою отримання максимальної кількості альтернативних палив, зокрема рідких моторних та пічних, та зниження впливу таких процесів на навколишнє природне середовище.

Основні результати роботи полягають в наступному.

1. Виконано аналіз існуючих світових та вітчизняних тенденцій розвитку та вдосконалення технологій утилізації відходів, що містять вуглець та водень. Розглянуто найбільш перспективні процеси утилізації відходів, з точки зору використання їх як ВДЕ. Обґрунтовано основні переваги використання

технології термічної деструкції методом низькотемпературного піролізу для вироблення альтернативних енергоносіїв, а саме – можливість проведення процесу при низькому рівні температур та отримання рідкого та газоподібного палив, при цьому відзначено ряд недоліків у існуючому обладнанні та напрямки їх усування.

2. Встановлено, що відомі методики розрахунків термодинамічно рівноважного стану процесів термічної деструкції органічних сполук нездатні враховувати розбіжності в структурі окремих фракцій, в хімічному складі, в технологічній історії та в ступені старіння вуглеводневмісних відходів, проте вони є корисними при розрахунках зміни складу газоподібних продуктів за рахунок вторинних реакцій термічного розкладу.

3. Створено лабораторну установку для моделювання технології термічної деструкції відходів та дослідну одноретортну стаціонарну установку періодичної дії з об'ємом реторти 1,5 м³ на підприємстві оператора поводження з відходами, розроблено методику експериментальних досліджень. Вперше експериментально встановлено температурну залежність виходу і складу рідких, твердих та газоподібних продуктів термічного розкладу вуглеводневих полімерів зі складу вітчизняних ТПВ та медичних відходів, встановлено рівні температур, що характеризують послідовність стадій процесу. Знайдено оптимальні умови періодичного процесу термічної деструкції відходів поліетилену різного походження за критерієм сполучення максимальної повноти деструкції та максимального виходу рідкої фракції, та встановлено, що нагрів зі швидкістю 100 °С за годину до 400 °С дає змогу отримати паливний газ з калорійністю до 24 МДж/м³, що корелює з результатами термодинамічно рівноважних розрахунків за допомогою комплексу TERRA.

4. Експериментально доведено збільшення повноти деструкції та виходу рідкої фракції при додаванні відходів мастил до відходів поліетилену різного походження.

5. Розроблено нові технічні рішення щодо оптимізації температурних режимів та продуктивності процесу термічної деструкції вуглеводневмісних відходів з використанням механізованого реактора нової конструкції з керованими параметрами температурного режиму для отримання оптимального співвідношення енергоносіїв у вигляді паливного газу та рідкого вуглеводневого палива. Сконструйовано та побудовано дослідно-промислові установки зі стаціонарними та роторним реакторами, продуктивністю від 12 до 24 тон товарного продукту за добу у вигляді рідкого пального. На підставі промислових випробувань визначено та відпрацьовано оптимальні за критерієм сполучення максимальної повноти деструкції та максимального виходу рідкої фракції параметри запропонованої технології термічної деструкції відходів з отриманням альтернативних енергоносіїв. Розроблену технологію впроваджено на спеціалізованому ліцензованому підприємстві Республіки Казахстан ТОО «Агайындар KZ», м. Астана, що підтверджено відповідним актом.

6. Для промислового реактору термічного розкладу відходів поліетилену різного походження вперше запропоновано та доведено випробуваннями можливість термічного знешкодження шкідливих викидів за рахунок їх подачі до камери зовнішнього нагрівання реактора.

7. Розроблені технічні рішення захищені двома патентами України на винахід і одним – на корисну модель.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковано основні результати дисертації:

1. Карп И.Н., Васечко А.А., Алексеенко В.В., Сезоненко А.Б. Технологии утилизации медицинских отходов / Энерготехнологии и ресурсосбережение, № 3, 2011. – с. 43-48. http://nbuv.gov.ua/UJRN/ETRS_2011_3_8. (Підготовка та аналіз матеріалів до огляду, порівняльна оцінка, висновки.)

2. Алексеенко В.В., Сезоненко А.Б., Васечко А.А., Никитин В.Ю. Особенности обращения с твердым остатком термического обезвреживания медицинских отходов / Энерготехнологии и ресурсосбережение, № 4, 2015. – С. 52-58. <https://etars-journal.org/index.php/journal/article/view/160>. (Підготовка матеріалів, оброблення результатів, висновки)

3. Алексеенко В.В., Сезоненко О.Б., Васечко О.О., Нікітін В.Ю. Экспериментальне дослідження термічного знешкодження деяких фармацевтичних відходів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2017. № 4. – С. 25-32. <https://doi.org/10.33070/etars.4.2017.08>. (складання плану досліджень, підготовка зразків, участь у проведенні експериментів)

4. Алексеенко В.В., Сезоненко О.Б., Васечко О.О. Рекуперация теплоты инсинераторів для знешкодження відходів лікувальних закладів // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2018. № 2. – С. 31-38. <https://doi.org/10.33070/etars.2.2018.04>. (участь у розробці та конструюванні, проведення досліджень, відпрацювання режимів)

5. Алексеенко В.В., Васечко О.О., Самокатов К.А., Сезоненко О.Б. Поводження із відпрацьованими мастилами. Досвід зарубіжних країн та українські розробки // Энерготехнологии и ресурсосбережение. 2018. № 3. – С. 23-30. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2018.03>. (Підготовка та систематизація матеріалів, порівняльний аналіз, висновки)

6. Sezonenko, O., Vasechko, O., & Aleksyeyenko, V. (2021). Thermal destruction of polymers: analysis of the process physicochemical parameters . Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(10(112), 31–37. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.238952>. (Участь у експериментальних дослідженнях, розрахунки, оброблення даних)

7. Sezonenko, O., Vasechko, O., Aleksyeyenko, V., & Snihur, A. (2021). Investigation of the processes of thermal destruction of cellulose-containing (paper) waste. *Energy Technologies & Resource Saving*, (3), 58-62. <https://doi.org/10.33070/etars.3.2021.05>. (Участь у дослідженнях, підготовка матеріалів щодо результатів досліджень, висновки)

8. Сезоненко О., Алексеенко В. Пальникові пристрої для обладнання термічного перероблення відходів // *Věda a perspektivy*, № 10, 2022 р., с. 143-154. [https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-10\(17\)-143-154](https://doi.org/10.52058/2695-1592-2022-10(17)-143-154) (Участь у конструюванні, підготовка матеріалів до огляду, вступ, висновки)

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

9. Сезоненко А.Б., Алексеєнко В.В., Васечко А.А., Сорока В.А. Оптимизация технических показателей работы контактно-поверхностных водонагревателей / Тез. докл. междунар. научно-практ. конф. «Энергоэффективность-2010» (Киев, 19 – 21 октября 2010 г.). – К.: Ин-т газа НАНУ, 2010 – 340 с. (Участь у розробленні технічних рішень, дослідженнях, коригуванні документації)

10. Алексеєнко В.В., Сезоненко О.Б., Васечко О.О., Нікітін В.Ю. Термічне знешкодження рідких відходів лікарняних закладів / Мат. Нац. форуму «Проблеми та перспективи формування Стратегії поводження з небезпечними відходами в Україні» (Київ, 22-23 листопада 2016 року). (Участь у відпрацюванні режимів, оптимізація параметрів роботи)

11. Алексеєнко В.В., Сезоненко О.Б., Васечко О.О., Нікітін В.Ю. Установка для знешкодження відходів лікарняних закладів / Мат. конф. в рамках Міжнар. форуму «INNOVATION MARKET» 21-24 листопада 2017 р., Міжнародний виставковий центр, м. Київ. [7030] (участь у розробці, конструюванні, підготовці матеріалів)

12. В.В. Алексеєнко, О.О. Васечко, О.Б. Сезоненко, К. Самокатов. Досвід поводження із відпрацьованими мастилами / Зб. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 16 травня 2018 р. / ІПМЕ НАН України. – 2018. – С. 89-91. (Збір, підготовка, систематизація матеріалів, висновки)

13. О.О. Васечко, О.Б. Сезоненко, В.В. Алексеєнко, К.А. Самокатов. Утилізація полімерних та рідких медичних спиртомісних відходів / Зб. тез науково-технічної конференції молодих вчених та спеціалістів ІПМЕ ім. Г.Є. Пухова НАН України, м. Київ, 15 травня 2019 р. / ІПМЕ НАН України. – 2019. – С. 65-67. (Підготовка та адаптація матеріалів досліджень)

14. Васечко О. О., Сезоненко О. О., Алексеєнко В. В. Економічна доцільність діяльності, пов'язаної з переробленням відходів, у тому числі небезпечних / Рекультивация полігонів і сміттєзвалищ: проблемні питання та кращі практики: збірка мат. Нац. форуму «Поводження з відходами в Україні: законодавство, економіка, технології» (м. Святогірськ, 7-8.11.2019). – К.: Центр екологічної освіти та інформації, 2019. – С. 108-111. (Підготовка даних щодо техніко-економічного обґрунтування, огляд проблеми, висновки)

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

15. Патент на винахід № 111562 Установка для спалювання твердих горючих та рідких відходів/ Алексеєнко В.В., Васечко О.О., Нікітін В.Ю., Сезоненко О.Б., Сорока В.О. Публікація відомостей 10.05.2016, Бюл. №9.

16. Патент на винахід. Установка для термічної очистки рідких біоорганічних відходів. № 115715 (Україна). Б.В. №23, 2017. Алексеєнко В.В. Васечко О.О. Нікітін В.Ю. Сезоненко О.Б. Сорока В.О.

17. Патент на корисну модель «Установка для утилізації відходів, що містять вуглеводень» № 148052 (Україна). Публікація відомостей 30.06.2021, бюл. 26. Алексеєнко В.В., Васечко О.О., Сезоненко О.Б.

АНОТАЦІЇ

Сезоненко О.Б. Дослідження процесів термічної деструкції відходів та ефективне виробництво альтернативних енергоносіїв. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 - технічна теплофізика та промислова теплоенергетика. – Інститут газу Національної академії наук України, Київ, 2024.

Дисертація присвячена дослідженню термічних процесів деструкції відходів, що входять до складу як ТПВ, так і до складу промислових. Загальною рисою, що поєднує об'єкти досліджень, є наявність в складі переважної частки вуглеводнів та їхніх похідних.

Досліджено на лабораторному, дослідному та дослідно-промисловому обладнанні теплофізичні характеристики процесів деструкції відходів в реакторах стаціонарного та роторного типів, визначені оптимальні параметри для технічного конструювання дослідно-промислових зразків обладнання.

Результатом роботи є впровадження технології термічної деструкції зі створенням функціонуючого дослідно-промислового виробництва альтернативного палива, в якості сировини для якого використовується полімери – відсів ТПВ - різних фракцій.

Обґрунтовані перспективи подальшого розвитку технології низькотемпературного піролізу для утилізації несортових груп відходів.

Ключові слова: відходи, термічна деструкція, альтернативне паливо, стаціонарна установка, роторна установка, синтетичний газ, рідке вуглеводневмісне паливо, енергоефективність, виробництво.

Sezonenko O.B. Research of processes of thermal destruction of waste and effective production of alternative energy carriers. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

A dissertation on the health of the science level of a candidate of technical sciences for specialty 05.14.06 - Technical thermophysics and industrial heat energetics. Institute of Gas, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, 2024.

The dissertation is devoted to the study of thermal processes of destruction of waste, which are part of both solid waste and industrial waste. A common feature that unites the objects of research is the presence in the composition of the majority of hydrocarbons and their derivatives.

Thermophysical characteristics of waste destruction processes in reactors of stationary and rotary types were studied on laboratory, experimental and experimental industrial equipment, optimal parameters for the technical design of experimental and industrial samples of equipment were determined.

The result of the work is the implementation of thermal destruction technology with the creation of a functioning pilot production of alternative fuel, for which polymers are used as raw materials - solid waste screening - of various fractions.

Reasoned prospects for the further development of low-temperature pyrolysis technology for the disposal of unsorted groups of waste.

Key words: waste, thermal destruction, alternative fuel, stationary plant, rotary plant, synthetic gas, liquid hydrocarbon-containing fuel, energy efficiency, production.