



УДК 681.54

CONTROL SYSTEM FOR THE THERMAL DESTRUCTION OF ORGANIC SUBSTANCES OF VARIOUS ORIGINS**СИСТЕМА КЕРУВАННЯ УСТАНОВКОЮ ТЕРМОДЕСТРУКЦІЇ ОРГАНІЧНИХ РЕЧОВИН РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ****Zyma I.V. / Зима І.В.**

*PhD student of the Department of Software and Computer-integrated technologies /
аспірант кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій*
ORCID: 0009-0009-8745-8543

Sukhan R.V. / Сухань Р.В.

*PhD student of the Department of Software and Computer-integrated technologies /
аспірант кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій*
ORCID: 0009-0007-9390-332X

Khyrnyi V.I. / Хирний В.І.

*PhD student of the Department of Software and Computer-integrated technologies /
аспірант кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій*
ORCID: 0009-0003-1967-1883

Chebanenko M.O. / Чебаненко М.О.

*PhD student of the Department of Software and Computer-integrated technologies /
аспірант кафедри програмних та комп'ютерно-інтегрованих технологій*
ORCID: 0009-0001-7573-4223

*Odesa Polytechnic National University, Odesa, Shevchenko Avenue, 1, 65044
Національний університет «Одеська політехніка», Одеса, пр. Шевченка, 1, 65044*

Анотація. В роботі розглядається система керування установкою термодеструкції органічних речовин різного походження. Термодеструкція є ефективним методом утилізації органічних відходів, що дозволяє зменшити їх обсяг та отримувати енергію, хімічні продукти або матеріали для подальшого використання. Особливу увагу приділено піролізу, газифікації та спалюванню як основним методам термодеструкції. У роботі також розглядається розробка системи керування процесами, що забезпечує оптимізацію температурних режимів, контроль за складом газів та енергетичну ефективність. Важливим аспектом є зменшення викидів шкідливих речовин, зокрема парникових газів. Розроблені підходи дозволяють підвищити ефективність та екологічність процесу термодеструкції органічних відходів.

Ключові слова: термодеструкція, піроліз, газифікація, спалювання, система керування, переробка відходів, зменшення викидів, автоматизація процесів.

Вступ.

Установка термодеструкції органічних речовин різного походження є важливою складовою сучасних систем керування відходами та енергетичних процесів. Термодеструкція, що включає методи піролізу, газифікації та спалювання, дозволяє ефективно переробляти органічні відходи, перетворюючи їх на енергію у вигляді тепла чи електрики. З огляду на зростання обсягів органічних відходів та необхідність зниження їх негативного впливу на навколишнє середовище, термодеструкція стає важливим інструментом для збереження екологічного балансу і забезпечення сталого розвитку. Проте процес термодеструкції супроводжується низкою складних технічних та екологічних проблем, серед яких забезпечення безпеки, ефективності та енергоефективності.



Основними викликами є необхідність точного контролю температури, тиску та складу газів, що утворюються під час процесу. Невірні налаштування системи керування може призвести до зниження ефективності процесу або навіть до аварійних ситуацій. Також важливим аспектом є зменшення викидів шкідливих газів, таких як діоксиди азоту та сірки, що можуть призвести до забруднення повітря та негативного впливу на здоров'я людей. Тому важливою є розробка та вдосконалення систем керування, що дозволяють забезпечити безпечно, ефективно та екологічно чисте функціонування установок термодеструкції.

Метою даної роботи є дослідження основних принципів роботи систем керування установками термодеструкції органічних речовин, аналіз існуючих технологій, а також розгляд сучасних підходів до оптимізації процесу з урахуванням енергоефективності та екологічних вимог.

Основний текст

Управління термодеструкцією органічних речовин

Процес термодеструкції органічних речовин є важливою частиною сучасних технологій утилізації органічних відходів, особливо в контексті зростаючого попиту на енергетичні ресурси, а також необхідності зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Управління процесом термодеструкції вимагає високого рівня точності та оптимізації параметрів, таких як температура, тиск, склад органічної сировини, подача кисню тощо.

Характеристики та класифікація процесів термодеструкції

Процес термодеструкції може відбуватися при різних температурних і тискових умовах, що впливає на швидкість і результативність реакцій. Основні методи термодеструкції органічних речовин [1]:

- **Піроліз:** Термохімічний процес розкладу органічних речовин за високої температури (400–800°C) і відсутності кисню. Продуктами піролізу є гази (синтез-газ), рідкі речовини (піролізні масла) та тверді залишки (біовугілля).
- **Газифікація:** Це процес часткового окислення органічних речовин за високої температури (800–1000°C), при якому утворюються гази, що складаються з монооксиду вуглецю (CO), водню (H₂), метану (CH₄) та інших сполук. Газифікація може здійснюватися за допомогою обмеженого доступу кисню або водяної пари.
- **Спалювання:** Це процес повного окиснення органічних матеріалів, що здійснюється при високих температурах (1000–1200°C) з доступом кисню. В результаті утворюється вуглекислий газ (CO₂), вода (H₂O) і теплова енергія.

Ключові параметри процесу термодеструкції

Для забезпечення ефективного керування процесом термодеструкції необхідно мати точні дані про ключові параметри:

- **Температура** – один з основних параметрів, який визначає швидкість реакцій. У разі піролізу температура повинна бути оптимальною для розкладу органічних речовин без їх повного спалювання. Для газифікації температура повинна бути вищою, але контрольована, щоб отримати



максимальний вихід синтез-газу. Для піролізу [2] температура зазвичай складає 450–700°C, для газифікації — 800–1000°C.

- Тиск – регулювання тиску дозволяє оптимізувати процес газифікації, оскільки він впливає на склад газу, що утворюється, а також на швидкість реакцій. Наприклад, при газифікації тиск може бути в межах 5-30 атм [3].
- Кисень – подача кисню безпосередньо впливає на рівень окиснення органічної сировини, що може призвести до утворення токсичних газів під час процесу газифікації та спалювання.
- Склад сировини – різноманітність органічних матеріалів вимагає різного підходу до їх обробки. Наприклад, деревина, біомаса, побутові відходи мають різний хімічний склад, що впливає на вибір температури та методів обробки.

Математичні моделі для управління процесом термодеструкції

Для моделювання термодеструкції використовуються різні математичні підходи. Одним із таких підходів [4] є використання рівнянь, які описують газифікацію та піроліз:

$$V = V_0 \cdot \exp\left(\frac{k(T) \cdot P}{R}\right), \quad (1)$$

де: V — обсяг газу, що утворюється в результаті газифікації,

V_0 — початковий обсяг газу,

T — температура в реакторі,

P — тиск у реакторі, що впливає на швидкість реакцій газифікації,

$k(T)$ — температурно залежний коефіцієнт швидкості реакції,

R — газова стала.

Це рівняння дозволяє прогнозувати обсяг газу, що утворюється, при зміні параметрів, таких як температура та тиск. Математичні моделі піролізу можуть бути аналогічними, з відповідними коригуваннями для врахування характеру розкладу органічних речовин.

Алгоритми керування для термодеструкції

Управління параметрами процесу може бути реалізовано через застосування алгоритмів, таких як ПІД-регулятор, який використовується для контролю температури, тиску та інших параметрів в установках термодеструкції..

Алгоритм ПІД (пропорційно-інтегрально-диференційний) [5] використовує три складові:

$$u(t) = K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad (2)$$

де: $u(t)$ — управляюча величина (наприклад, подача кисню),

$e(t)$ — похибка, тобто різниця між заданим та поточним значенням параметра,



K_p , K_i , K_d — коефіцієнти пропорційної, інтегральної та диференціальної складових.

Кожен із коефіцієнтів в алгоритмі ПД має своє призначення:

K_p — пропорційний коефіцієнт, який визначає, наскільки сильно система реагуватиме на поточну похибку.

K_i — інтегральний коефіцієнт, який допомагає усунути стійкі помилки в системі.

K_d — диференціальний коефіцієнт, який визначає швидкість зміни похибки і допомагає зменшити коливання в системі.

Екологічні аспекти керування термодеструкцією

Збільшення зацікавленості у термодеструкції органічних речовин безпосередньо пов'язане з екологічними аспектами, оскільки такі технології дозволяють зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Викиди парникових газів, таких як вуглекислий газ, метан, оксиди азоту, є одним із основних чинників глобального потепління. Тому важливим завданням є оптимізація процесу термодеструкції для зменшення цих викидів.

Управління обсягом димових газів здійснюється за допомогою фільтраційних та очищувальних систем, таких як каталітичні нейтралізатори [6], що дозволяють зменшити викиди шкідливих компонентів. За допомогою належної системи контролю можна також здійснювати моніторинг рівня викидів, що дозволяє постійно коригувати параметри для зменшення екологічного навантаження.

Синтез системи керування установкою отримання продукт-газу

Основи синтезу системи керування

Система керування установкою отримання продукт-газу повинна забезпечувати оптимальні умови для отримання синтез-газу з органічних відходів. Основні завдання включають стабільне управління температурою, тиском та швидкістю подачі кисню або палива для забезпечення оптимальних умов для процесу газифікації чи піролізу.

Основні компоненти системи керування

Для реалізації ефективного управління процесом необхідно включити наступні компоненти:

- Датчики температури та тиску: для вимірювання параметрів в реакторі та коригування умов процесу.
- Програмовані логічні контролери (PLC): для обробки даних та автоматичного коригування параметрів процесу.
- Програмне забезпечення SCADA: для моніторингу процесу в режимі реального часу і віддаленого керування.

Система SCADA [7] може бути використана для оптимізації роботи установки та забезпечення безпеки, надаючи операторам можливість контролювати всі етапи процесу та попереджати про потенційні аварійні ситуації.



Приклад реалізації установки термодеструкції органічних речовин довільного складу

Зростання зацікавленості у процесах термодеструкції

У зв'язку з глобальними економічними та екологічними проблемами, зокрема зі зміною клімату, підвищенням кількості органічних відходів та необхідністю отримання альтернативних джерел енергії, зацікавленість у процесах термодеструкції органічних речовин зростає. Це призводить до розвитку нових технологій та установок для ефективної утилізації органічних відходів та виробництва енергетичних ресурсів.

Існуючі методи термодеструкції

Існуючі методи термодеструкції органічних речовин включають піроліз, газифікацію та спалювання. Кожен метод має свої переваги та обмеження, які залежать від складу сировини та вимог до кінцевих продуктів.

Установка термодеструкції органічної сировини

Установка термодеструкції органічних речовин включає реактор, систему подачі кисню, фільтри для очищення газів та систему охолодження для конденсації токсичних речовин. Управління установкою здійснюється через автоматизовану систему, яка використовує датчики для вимірювання ключових параметрів, таких як температура, тиск, вміст газів та вологість сировини.

Розрахунок параметрів процесу газогенерації (на прикладі деревних відходів)

Для розрахунку параметрів процесу газифікації деревних відходів [4, 8] використовуємо рівняння:

$$V = V_0 \cdot \exp\left(\frac{k(T) \cdot P}{R}\right), \quad (1)$$

де: V_0 — початковий обсяг газу, що утворюється від деревних відходів,

$k(T)$ — температурно залежний коефіцієнт швидкості реакції для деревини,

Цей розрахунок допомагає визначити необхідну кількість кисню та оптимальні умови для процесу газифікації, що дозволяє досягти високої ефективності виробництва синтез-газу.

Зменшення викидів парникових газів

Викиди парникових газів під час термодеструкції можна зменшити за допомогою належного контролю за процесом і використання систем очищення газів. Підвищення ефективності використання піролізних і газифікаційних установок дозволяє знижувати рівень викидів CO₂ та інших парникових газів.

Висновки.

У роботі були розглянуті основні методи термодеструкції органічних речовин, зокрема піроліз, газифікація та спалювання, а також їх застосування для переробки органічних відходів. Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки, що залежать від типу сировини та вимог до кінцевих продуктів.

Проаналізовано принципи роботи кожного методу. Піроліз виявився найбільш універсальним, оскільки дозволяє отримувати три різні продукти: газ, рідкі піролізні масла та тверде біовугілля. Газифікація є ефективним способом



отримання синтез-газу, який можна використовувати для виробництва енергії, проте вона потребує значних витрат на обладнання та додатковий контроль процесу. Спалювання, хоча є найбільш поширеним методом переробки органічних відходів, має екологічні обмеження через викиди парникових газів і токсичних речовин.

Також було підкреслено важливість ефективного управління процесами термодеструкції для покращення продуктивності та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Система керування, орієнтована на оптимізацію температурних та газових режимів, дає змогу знизити викиди шкідливих речовин і підвищити стабільність процесу.

Були отримані важливі висновки, які підкреслюють необхідність подальшого вдосконалення технологій термодеструкції, зокрема в напрямку поліпшення методів очищення викидів і зменшення їх впливу на атмосферу. Це відкриває нові можливості для використання органічних відходів як джерела енергії та корисних продуктів, що сприятиме зниженню навантаження на навколишнє середовище.

Література:

1. Pérez, M. A. (2018), *Thermal Destruction of Organic Waste: A Comprehensive Approach*. Springer
2. Zhang, J., & Wang, F. (2020), *Energy Recovery from Waste Biomass*. Wiley
3. Baxter, L., & Smith, R. (2019), *Pyrolysis and Gasification of Biomass: Techniques and Applications*. CRC Press
4. Wang, L., & Zhang, X. (2019). *Advanced Control of Chemical Processes: Models, Analysis, and Design*. Wiley
5. Zhang, S., & Ding, H. (2021). *Dynamic Modeling and Control of Waste Treatment Systems*. Springer
6. Zhang, J., & Li, W. (2020). *Adaptive Control and Optimization for Dynamic Systems*. CRC Press
7. Hwang, T., & Lee, S. (2018). *Waste Treatment Modeling and Control Systems: Theory and Applications*. CRC Press
8. Singhal, V., & Sharma, P. (2019). *Advanced Control Methods in Industrial Waste Management*. Springer

Abstract. *The paper deals with the control system of a thermal destruction plant for organic substances of various origins. Thermal destruction is an effective method of recycling organic waste, which allows to reduce its volume and obtain energy, chemical products or materials for further use. Particular attention is paid to pyrolysis, gasification and incineration as the main methods of thermal destruction. The paper also discusses the development of a process control system that ensures optimisation of temperature conditions, control of gas composition and energy efficiency. Reducing emissions of harmful substances, including greenhouse gases, is an important aspect. The developed approaches make it possible to increase the efficiency and environmental friendliness of the process of thermal destruction of organic waste.*

Key words: *thermo-destruction, pyrolysis, gasification, incineration, control system, waste treatment, emission reduction, process automation.*

Статтю надіслано: 20.12.2024 р.

© Зима І.В.