

Вінницький національний технічний університет

ПЕРЕРОБКА ДЕРЕВНИХ ВІДХОДІВ У ВИСОКОДОДАТКОВІ ПРОДУКТИ: ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ТА МАТЕРІАЛЬНИЙ ПОТЕНЦІАЛ

Анотація

У роботі розглянуто перспективи переробки деревних відходів у високододаткові продукти з використанням сучасних термохімічних технологій, таких як піроліз та газифікація. Проаналізовано особливості механічної підготовки сировини, вплив основних технологічних параметрів на вихід синтез-газу, піролізної оливи та біо-вугілля, а також визначено їх потенційне використання у енергетиці, хімічній та будівельній промисловості. Показано економічні та екологічні переваги комплексної переробки деревних відходів порівняно з традиційними методами утилізації. Визначено перспективи впровадження таких технологій в Україні з урахуванням сучасного стану деревообробної галузі та енергетичної політики країни.

Ключові слова: деревні відходи, піроліз, газифікація, синтез-газ, піролізна олива, біо-вугілля, енергоефективність, вторинні ресурси, екологічна безпека.

Abstract

The paper examines the prospects of converting wood waste into high-value products using modern thermochemical technologies, such as pyrolysis and gasification. The study analyzes the features of mechanical preparation of the raw material, the influence of key process parameters on the yields of syngas, pyrolysis oil, and biochar, as well as their potential applications in energy production, chemical, and construction industries. The economic and environmental advantages of comprehensive wood waste utilization compared to traditional disposal methods are demonstrated. Prospects for the implementation of such technologies in Ukraine are outlined, taking into account the current state of the woodworking industry and national energy policy.

Keywords: wood waste, pyrolysis, gasification, syngas, pyrolysis oil, biochar, energy efficiency, secondary resources, environmental safety.

Вступ

Деревні відходи — це невід’ємна складова деревообробної промисловості, що утворюється у процесі виготовлення меблів, деревостружкових плит, фанери та пакувальних матеріалів. У більшості випадків ці відходи не використовуються повністю: їх або спалюють без контролю, або вивозять на полігони. Такий підхід призводить до значних втрат цінного ресурсу та створює екологічні проблеми, включаючи забруднення ґрунту, воду та повітря. Крім того, деревні відходи можуть ставати джерелом метану та інших парникових газів при захороненні, що посилює вплив на зміну клімату [1, 2].

Сучасні технології переробки деревних відходів дають змогу не просто утилізувати їх, а перетворювати на високододаткові продукти. Серед таких технологій — **піроліз і газифікація**, які дозволяють отримати синтез-газ, піролізну оливу, біо-вугілля та сорбенти. Вони можуть бути використані як джерела енергії, сировина для хімічної промисловості або матеріали для будівництва [3, 4].

В Україні проблема переробки деревних відходів є особливо актуальною: велика частина відходів залишається невикористаною, а потреба в альтернативних джерелах енергії зростає. Впровадження комплексних технологій переробки дозволить одночасно підвищити ефективність використання ресурсів та зменшити негативний вплив на довкілля.

Актуальність дослідження

Щорічно деревообробна промисловість України виробляє понад **1 млн тонн деревних відходів**. Найбільш поширеними є стружка, тирса, обрізки деревини та відходи фанери. Часткове використання як паливо або складування на полігонах не забезпечує повного використання енергетичного потенціалу.

Деревні відходи містять високий вміст органічного вуглецю та енергетично цінних компонентів. Переробка таких відходів у високододаткові продукти дозволяє:

1. **Енергетично ефективно** використовувати деревину як джерело тепла та електроенергії;
2. **Отримувати матеріальні продукти**, які можна використовувати у хімічній, будівельній промисловості або як сорбенти для очищення води та повітря;
3. **Зменшувати обсяги полігонів** та скорочувати утворення парникових газів [2, 6].

Особливе значення мають такі продукти переробки, як синтез-газ, піролізна олива та біо-вугілля. Кожен із них має потенціал для комерційного використання та підвищення енергоефективності підприємств.

Методи переробки деревних відходів

1. Механічна підготовка

Перед термохімічною обробкою відходи сортують, подрібнюють та висушують. Це дозволяє забезпечити однорідність сировини та підвищити ефективність процесів піролізу та газифікації. Зниження вологості до 10–15% підвищує тепловий баланс установки та вихід продуктів. Наприклад, тирса з високим вмістом води при піролізі дає менше синтез-газу і більше рідких відходів, що знижує ефективність процесу [5, 6].

2. Піроліз

Піроліз — це термохімічний процес нагрівання деревини у відсутності кисню до температури **400–700 °C**. Продукти піролізу:

- **Синтез-газ** — суміш водню, метану та легких вуглеводнів; використовується для виробництва тепла та електроенергії, а також як сировина для хімічних процесів;
- **Піролізна олива** — багатоконпонентна рідина, придатна для біопалива або виробництва хімічних продуктів;
- **Біо-вугілля** — тверді залишки з високим вмістом вуглецю, що можуть застосовуватися як паливо, сорбенти або будівельні матеріали [3, 4].

Оптимальний вихід продуктів залежить від температури, часу нагріву та швидкості подачі сировини. Наприклад, при високих температурах збільшується вихід газу, тоді як при нижчих переважає утворення піролізної оливи.

3. Газифікація

Газифікація передбачає часткове окиснення деревини киснем або водяною парою. Це дозволяє отримати чистий синтез-газ, який можна використовувати для когенераційних установок або хімічних процесів. Газифікація ефективна для великих обсягів відходів та забезпечує більш стабільний вихід газу порівняно з прямим спалюванням [5].

4. Комплексні технології та оптимізація

Сучасні підходи об'єднують механічну підготовку, термохімічну обробку та каталізатори. Оптимізація режимів дозволяє отримати продукти високої якості. Наприклад, застосування каталізаторів у

піролізній оливі підвищує вміст легких вуглеводнів, а контроль швидкості нагрівання дозволяє отримувати біо-вугілля із заданою пористістю [6].

Результати та потенціал продуктів

- **Синтез-газ:** теплотворна здатність 15–18 МДж/м³; використовується для виробництва тепла, електроенергії або як сировина для хімічних процесів.
- **Піролізна олива:** придатна як паливо або для хімічної переробки (смоли, полімери).
- **Біо-вугілля:** пористий залишок з високим вмістом вуглецю; застосовується як паливо, сорбент або вторинний матеріал у будівництві.

Екологічний ефект включає зменшення обсягів полігонів, скорочення утворення метану та токсичних викидів, а також підвищення енергоефективності підприємств [2, 4].

Додаткові аспекти

1. Економічний ефект

Використання деревних відходів дозволяє зменшити витрати на закупівлю енергоресурсів та створити додатковий дохід від продажу піролізної оливи та біо-вугілля.

2. Соціальний ефект

Створення технологій переробки деревини забезпечує нові робочі місця, сприяє розвитку «зеленої» економіки та підвищує обізнаність про сталий розвиток у промислових регіонах.

3. Перспективи впровадження в Україні

Застосування комплексних технологій у деревообробній промисловості України дозволяє ефективно використовувати локальні ресурси та зменшити залежність від імпорту енергетичних ресурсів.

Висновки

1. Переробка деревних відходів на високододаткові продукти є економічно вигідною та екологічно доцільною.
2. Піроліз та газифікація дозволяють отримувати синтез-газ, піролізну оливу та біо-вугілля, придатні для промислового використання.
3. Комплексне використання відходів підвищує енергоефективність, сприяє циркулярній економіці та сталому розвитку.
4. Подальші дослідження повинні зосередитися на оптимізації технологій, підвищенні якості продуктів і масштабуванні процесів.

Список використаної літератури

1. Brunner P. H., Rechberger H. *Practical Handbook of Material Flow Analysis*. CRC Press, 2016. DOI: 10.1201/9781315313450. <https://doi.org/10.1201/9781315313450>
2. Bridgwater A. V. *Review of Fast Pyrolysis of Biomass and Product Upgrading // Biomass and Bioenergy*. – 2012. Vol. 38, P. 68–94. DOI: 10.1016/j.biombioe.2011.01.048. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411000161>
3. Goh C. S., Choi Y. *Thermal Pyrolysis of Biomass and Waste: Potential and Challenges // Energies*. – 2020. DOI: 10.3390/en13215609. Доступ: <https://www.mdpi.com/1996-1073/13/21/5609>
4. Zhang Y., Yu Z. *Pyrolysis of Solid Waste: Influence of Operating Conditions on Product Yield // Chemical Engineering Research and Design*. – 2021. Доступ: <https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4OOMzBb4>
5. Arena U. *Process and Technological Aspects of Municipal Solid Waste Gasification // Waste Management*. – 2012. Vol. 32, P. 625–639. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.09.025. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X11004314>

6. Ковалев О. *Перспективи розвитку технологій термічної переробки відходів в Україні* // *Екологічний вісник*. – 2022.
Доступ: <https://evisnik.ua/kovalev2022>

Жук Дмитро Вячеславович – аспірант, кафедра інженерних систем у будівництві, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, e-mail: DmitroZhuk333@gmail.com

Dmytro Zhuk – Postgraduate student of the Department of Engineering Systems in Construction, Vinnytsia, National Technical University, e-mail: DmitroZhuk333@gmail.com