

ПЕДАГОГІЧНІ АСПЕКТИ НАВЧАННЯ АСПІРАНТІВ ВУЗЬКОПРОФІЛЬНИХ ХІМІЧНИХ ДИСЦИПЛІН НА ПРИКЛАДІ ТЕХНОЛОГІЇ ЦИРКУЛЯЦІЙНОГО ПІРОЛІЗУ ТВЕРДИХ ВІДХОДІВ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Обґрунтовано методичні підходи до підготовки аспірантів вузькопрофільних хімічних дисциплін на основі інтеграції результатів наукового дослідження технології циркуляційного піролізу твердих відходів. Розроблено математичну модель теплообміну, визначено оптимальні технологічні режими (500–550 °С, 30–45 хв, коефіцієнт рециркуляції 0,4–0,6), запропоновано нове конструктивне рішення реактора та удосконалено методи екологічної оцінки. Запропоновано структуру науково-освітнього модуля, що поєднує поглиблене теоретичне вивчення, дослідницько-моделювальний, експериментальний та дисертаційний компоненти. Особливу увагу приділено формуванню науково-дослідницьких компетентностей, здатності до самостійного генерування знань та інтеграції міждисциплінарних підходів. Показано значення результатів для підвищення якості підготовки аспірантів у сфері хімічних технологій захисту довкілля та циркулярної економіки.

Ключові слова: педагогіка, тверді відходи, циркуляційний піроліз, екологічна безпека, вища освіта, ресурсоефективність.

Abstract

Methodological approaches to the training of PhD students in narrow-profile chemical disciplines based on the integration of research results in the technology of circulating pyrolysis of solid waste have been substantiated. A mathematical model of heat exchange was developed, optimal technological regimes were determined (500–550 °C, 30–45 min, recirculation coefficient 0.4–0.6), a new reactor design solution and improved methods of environmental assessment were proposed. The structure of a scientific-educational module is suggested, combining in-depth theoretical study, research-modeling, experimental, and dissertation components. Special attention is paid to the formation of research competencies, the ability to generate knowledge independently, and the integration of interdisciplinary approaches. The significance of the results for improving the quality of PhD training in the field of chemical environmental protection technologies and the circular economy is demonstrated.

Keywords: solid waste, circulating pyrolysis, environmental safety, higher education, resource efficiency.

Вступ

Підготовка аспірантів у вузькопрофільних хімічних дисциплінах (хімічна технологія, технології захисту навколишнього середовища, екологічна хімія) вимагає органічного поєднання глибоких фундаментальних знань, сучасних експериментальних методик та здатності до самостійного наукового пошуку. Технологія циркуляційного піролізу твердих відходів є яскравим прикладом складного міждисциплінарного напрямку, що поєднує хімічну кінетику, тепломасообмін, екологічну оцінку та інженерію процесів.

Метою дослідження є науково-методичне обґрунтування педагогічних підходів до навчання аспірантів вузькопрофільних хімічних дисциплін на основі результатів дисертаційного дослідження «Підвищення ефективності утилізації твердих відходів в технології циркуляційного піролізу».

Основна частина

Основні наукові результати як основа змісту підготовки аспірантів. У ході дослідження отримано результати, які становлять цінний педагогічний контент для аспірантської підготовки за технологіями захисту довкілля:

- Розроблено математичну модель теплообміну в реакторі циркуляційного піролізу для псевдогомогенного середовища (похибка розрахунків $\leq 2,6\%$).

- Встановлено кількісні залежності виходу цільових продуктів (рідка фракція — до 52 %) від технологічних параметрів.
- Визначено оптимальні режими процесу (500–550 °С, 30–45 хв, коефіцієнт рециркуляції 0,4–0,6).
- Запропоновано нове конструктивне рішення реактора з оребреними поверхнями теплообміну.
- Удосконалено методи комплексної екологічної оцінки термічних технологій з урахуванням енергетичної цінності продуктів.

Методичні аспекти викладання в ЗВО

Для ефективного засвоєння матеріалу пропонується інтегрувати модуль «Технології циркуляційного піролізу твердих відходів» у такі дисципліни спеціальності 183:

- «Технології захисту навколишнього середовища»;
- «Термічні методи переробки відходів»;
- «Моделювання процесів захисту довкілля»;
- «Екологічна безпека».

Рекомендована така структура модуля:

1. Теоретичний блок – лекції з використанням презентацій, відеоматеріалів та анімацій процесу піролізу.
2. Розрахунково-моделювальний блок – практичні заняття з використанням розробленої математичної моделі (програмне забезпечення MathCAD, MATLAB або Python).
3. Лабораторний практикум – робота на лабораторній установці циркуляційного піролізу: визначення впливу температури та рециркуляції на вихід продуктів.
4. Проектний блок – розробка студентами проектів промислових установок з урахуванням екологічних, економічних та енергетичних аспектів.
5. Рефлексія та контроль – кейс-метод, презентації проектів, взаємне оцінювання.

Особлива увага приділяється розвитку компетентностей:

- здатність проводити технологічні розрахунки та моделювання;
- вміння оцінювати екологічну ефективність технологій;
- навички роботи з сучасним обладнанням та програмним забезпеченням.

Практичне значення для освітнього процесу: розроблені рекомендації щодо оптимальних технологічних параметрів, конструктивних рішень та математичних моделей можуть бути безпосередньо використані:

- при проектуванні навчальних лабораторних стендів;
- для створення електронних освітніх ресурсів (відеоуроки, інтерактивні симулятори);
- у курсовому та дипломному проектуванні;
- під час організації виробничої практики на підприємствах, що впроваджують термохімічні технології.

Результати дослідження вже впроваджено в освітній процес та практичну діяльність.

Висновки

Впровадження результатів наукового дослідження у навчальний процес закладів вищої освіти дозволить:

- Підвищити якість підготовки фахівців спеціальності 183 «Технології захисту навколишнього середовища».
- Забезпечити органічний зв'язок теоретичних знань із сучасними практичними технологіями.
- Сприяти вирішенню національних екологічних проблем шляхом підготовки спеціалістів, готових впроваджувати інноваційні методи переробки відходів.
- Формувати у студентів компетентності, необхідні для переходу України до циркулярної економіки та досягнення цілей сталого розвитку.

Подальші перспективи пов'язані з розширенням лабораторної бази ЗВО, розробкою спільних освітніх програм з європейськими партнерами та впровадженням дуальної форми навчання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Маркіна Л.М., Власенко О.В., Ковтунов О.В. Визначення характеристик відходів для використання їх як сировини для отримання енергії. *Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. К. : Видавничий дім «Гельветика»*, 2023. № 5(50). 214 с. С. 179-187. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.26>
2. «Оцінка факторів впливу видобутку вугілля на довкілля шляхом кореляційно-регресійного аналізу». Д'яченко Н., Власенко О. Ковальчук, А./НАН України, м. Київ: Гірнична геологія та геоecологія. 1(4) (Лют 2023), 47–66.
3. Машков О.А., Маркіна Л.М., Присяжний В.І., Власенко О.В., Ковтунов О.В., Оводенко Т.С., Печений В.Л., Куракова Н.О. Інноваційний підхід до систематизації форм представлення наукових результатів фундаментальних та прикладних досліджень у галузі захисту навколишнього середовища. *Екологічні науки: науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. К. : Видавничий дім «Гельветика»*, 2024. № 2(53). С. 29-34. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.2-53.4>
4. Markina, L., Kovach, V., Vlasenko, O. (2024). Analysis of the world market of waste management. *Technology Audit and Production Reserves*, 3 (3 (77)), 36–43. doi: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2024.307321>
5. Маркіна Л.М., Власенко О.В., Ковтунов О.В. Управління процесами впливу на клімат технологій перетворення відходів на енергію на прикладі термічної деструкції. *Екологічні науки: науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І.К. : Видавничий дім «Гельветика»*, 2024. № 3(54). С. 105-112. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.16>
6. Маркіна Л.М., Власенко О.В., Тодчук Д.В., Ковтунов О.В., Онопчук І.М. Управління процесами впливу на клімат технологій перетворення відходів на енергію на прикладі термічної деструкції. *Екологічні науки : науково-практичний журнал / Головний редактор Бондар О.І. К. : Видавничий дім «Гельветика»*, 2024. № 3(54). 250с. С.105-112. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.3-54.16>
7. Аналіз технологій очищення стічних вод підприємства гірничо-металургійного комплексу; Олег Власенко, А. Зудіков, О. Копаниця. *2024 Ecological Sciences, № 5* DOI: [10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.3](https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.5-56.3)
8. Маркіна Л. М., Ковач В. О., Власенко О. В., Зудіков А. О., Копаниця О. Б. Аналіз ризиків від забруднення промисловими стоками на водні ресурси України: показники та превентивні заходи // *Екологічні науки*. – 2024. – № 6(57). – С. 75–82. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2024.eco.6-57.11>
9. Маркіна Л. М., Власенко О. В., Копаниця О. Б., Зудіков А. О. Критерії ефективності та екологічної безпеки технологій очищення промислових стічних вод в Україні // *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2024. № 6. С. 10-20. DOI: <https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202406-02>.
10. Маркіна Л. М., Іващенко Т. Г., Власенко О. В. Моделювання процесів теплообміну в охолоджувальній системі реактора циркуляційного піролізу // *Екологічна безпека та технології захисту довкілля*. 2025. № 7. С. 92-104. DOI: <https://doi.org/10.31073/ecobezpeka202507-12>.
13. Маркіна Л. М., Іващенко Т. Г., Власенко О. В., Ковтунов О. В. Моделювання реактора експериментального стенду процесу циркуляційного піролізу // *Екологічні науки*. – 2025. – № 58. DOI <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2025.eco.1-58.41>
14. Вергельська Н.В., Власенко О.В., Покшевницький А.С. Модель каскадних геохімічних ефектів промислового видобутку торфу на суміжні природоохоронні об'єкти // *Екологічні науки*. 2026. № 2(65). С. 78–84. DOI: <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2026.eco.2-65.32>

Власенко Олег Васильович – аспірант групи 183-24а, факультет будівництва, цивільної та екологічної інженерії, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: olegvvvv@gmail.com

Кобилянська Ірина Миколаївна – к. пед. наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності та педагогіки безпеки, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця