

## ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу  
Маркіної Людмили Миколаївни «**Розвиток наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів**»,  
поданої на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук  
за спеціальностями 21.06.01 – екологічна безпека

Детальний аналіз дисертації Маркіної Л.М. «**Розвиток наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів**» дозволяє визначити наступні висновки щодо актуальності, ступеня обґрунтованості основних наукових положень, висновків, рекомендацій, достовірності, наукової новизни, практичного значення, а також загальної оцінки роботи.

### **Актуальність теми дисертаційного дослідження.**

Проблема охорони довкілля від забруднення побутовими і промисловими відходами одна з найважливіших в житті сучасного суспільства і є основною при функціонуванні сучасних мегаполісів. Високий рівень утворення відходів та низькі показники їх використання як вторинної сировини призвели до того, що в Україні щороку в промисловості та комунальному секторі нагромаджуються значні обсяги твердих відходів.

Тому, управління відходами – один з визначальних чинників в забезпеченні просування до більш екологічно надійного і стійкого розвитку суспільства. Мета всіх концепцій по знешкодженню відходів – захистити здоров'я людини і довкілля від небезпечних наслідків, пов'язаних зі збором, транспортуванням, переробкою і захороненням відходів.

Детальне знайомство з дисертацією, авторефератом та працями здобувача дозволяє стверджувати, що дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної науково-технічної проблеми - розвитку наукових основ екологічно прийнятних технологій утилізації твердих органічних відходів. Запропоновані рішення дозволять покращити ефективність управління відходами, що зменшить техногенне навантаження на навколишнє середовище з подальшим зменшенням площ під захоронення відходів, збалансує процеси використання і відтворення природних ресурсів та екологічне оздоровлення регіонів. Актуальність теми дисертаційного дослідження автором аргументовано висвітлено у роботі та авторефераті.

Важливим підтвердженням актуальності дисертаційної роботи, є дослідження, які проводились у Національному Університеті Кораблебудування ім. адм. Макарова, відповідно до планів виконання науково-дослідних робіт: ДР № 0109U007601, ДР № 0111U002310, ДР № 0111U009084, ДР № 0115U000303, ДР № 0112U000349.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розвитку наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів при інтенсифікації процесів термічної деструкції зі зменшенням потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище та

отриманням корисних продуктів.

Отримані наукові результати дисертації наступні:

- вперше встановлено раціональні температурні діапазони циркуляційного піролізного процесу в межах від 550 до 560°C та оптимальні температурні діапазони додаткової циркуляційної системи в межах від 120 до 370°C, що дозволило створити обладнання з рівнем промислової переробки суміші органічного сміття понад 80 % та уникнути потрапляння наднормативної кількості шкідливих речовин у довкілля і вилучення земель під депонування;

- вперше запропоновано та науково-обґрунтовано нові принципи до управління екологічною безпекою шляхом застосування інтенсифікації продуктивних й безперервних процесів термічної циркуляційної деструкції твердих органічних відходів в герметичному реакційному об'ємі за умов ущільнення сировини, що виключає потрапляння шкідливих речовин у довкілля, та скорочує час проведення процесу на 29 %;

- вперше розроблено метод управління екологічною безпекою технології циркуляційного піролізу, який заснований на встановленні та застосуванні принципу варіювання температурним режимом циркуляційної системи, що комплексно забезпечує екологічну безпеку при утилізації органічних відходів та дає можливість знизити техногенне навантаження на довкілля під час функціонування об'єктів поводження з відходами з отриманням товарних продуктів;

- вперше здійснено комплексну оцінку рівнів екологічної небезпеки при утилізації відходів з використанням екологічно прийняттого піролізного процесу, ранжування загроз навколишньому середовищу за сформованими критеріями, розроблено алгоритм функціонування автоматизованої системи управління екологічними ризиками при утилізації відходів, що дозволило мінімізувати та контролювати ризики при використанні промислового обладнання.

- *удосконалено* наукові підходи до організації управління технологічним процесом піролізу твердих органічних відходів шляхом встановлення параметрів контролю за екологічною та техногенною безпекою, якістю отриманих продуктів, що дозволяє здійснювати моніторинг на кожному етапі процесу утилізації.

- *отримали подальший розвиток*: наукові основи технології утилізації твердих органічних відходів на основі багатоконтурного циркуляційного піролізу та засобів для її реалізації з інтенсифікацією процесів термічної деструкції, що дозволило підвищити рівень екологічної безпеки та енергоефективності; наукове обґрунтування організації піролізного процесу з поліпшенням його екологічних показників, що дозволило знизити витрати матеріальних ресурсів, підвищити продуктивність та енергоефективність обладнання для утилізації твердих органічних відходів.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає в наступному: моделювання циркуляційного піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів дозволило встановлювати параметри інтенсифікації

процесів та устаткування, що забезпечує зменшення використання енергетичних ресурсів та часу, необхідних для здійснення технологічних процесів. Експериментально встановлені умови здійснення безперервного процесу. Встановлено час виходу установки на робочий режим для контролю використання природних ресурсів в обладнанні циклічної дії. Досягнуто зниження концентрації шкідливих сполук та речовин на 86-88 % та можливість регулювання вмістом вуглеводнів у кінцевому продукті утилізації шляхом варіювання температурним режимом процесу циркуляційного піролізу.

Результати досліджень впроваджено в науково-навчальний процес НУК ім. адм. Макарова в рамках виконання НДР «Проблем екології та енергозбереження»: створено «Науково-дослідний центр піролізних технологій», в якому розташовано розроблені та виготовлені оригінальні експериментальні установки: циклічної дії ЕУ БЦП–14; Екопір 18Д та Екопір-БЦП безперервної дії.

Розроблено практичні рекомендації з конструювання промислової установки, паспорт та інструкцію з експлуатації, впроваджені в роботі ТОВ «ТехноАльянсСервіс». Виготовлено промисловий зразок піролізної установки продуктивністю 5 т/добу по сировині на ТОВ «Респект Бізнес». Відпрацьовані технологічні режими утилізації органічних відходів для різних видів твердих органічних промислових відходів впроваджено при виготовленні установки безперервної дії БЦП–5 для компанії «ERVO EnviTech s.r.o.» (Чеська Республіка). Результати наукових доробок та пропозицій використані при розробці програми поводження з твердими побутовими відходами в м. Миколаїв.

Дуже важливим є те, що спосіб, установки та елементи конструкцій захищено 14 патентами на винахід та корисну модель України.

Результати дисертаційного дослідження застосовуються в навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова на кафедрах техногенної та цивільної безпеки, а також екології та природоохоронних технологій за спеціальностями 101 – екологія та 183 – технології захисту навколишнього середовища. Розроблено навчальні посібники «Забезпечення безпеки» та «Сировина та технології отримання альтернативного палива: навчальний посібник», що містять аналіз світового та національного досвіду поводження з відходами та методологію утилізації твердих органічних побутових та промислових відходів методом піролізу,

Всі впровадження підтверджені відповідними актами у додатках до дисертації.

### **Загальна характеристика дисертації.**

**Структура і обсяг роботи.** Щодо завершеності дисертації в цілому слід відмітити, що це завершена робота, яка складається з анотації, переліку умовних скорочень, вступу, 6 розділів, висновків, списку використаних джерел та 17 додатків. Загальний обсяг дисертації – 465 сторінок. Список використаних джерел містить 354 позиції

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дослідження; висвітлено зв'язок роботи з науковими програмами; визначено ідею, мету і завдання, а також

об'єкт і предмет дослідження; відображено наукову новизну отриманих результатів та наведено положення, що визначають її наукову й практичну значущість, а також особистий внесок здобувача; охарактеризовано ступінь апробації результатів, наведено відомості про публікації автора.

**У першому розділі** дисертантом проаналізовано сучасний стан світової та національної політики за напрямком поводження з відходами, впливу їх на навколишнє середовище та здоров'я людей. Проведений огляд способів та методів утилізації ТОВ та продуктів переробки, виявлені недоліки їх застосування в результаті забруднення атмосферного повітря, ґрунту, наземних та підземних вод сполуками сірки (сірковуглець, діоксин сірки, сірководень), поліциклічними ароматичними вуглеводнями (бенз(а)пірен, хризен, бенз(а)антрацен, ін.); оксидами вуглецю та оксидами азоту. Встановлено доцільність використання ТОВ як сировини для термічної утилізації.

Здійснений аналіз світових підходів, стандартів та роботи українських і зарубіжних вчених щодо екологічно безпечних методів поводження з відходами, дозволив встановити, що мінімізація негативного впливу твердих органічних відходів на довкілля повинно базуватись на застосуванні екологічно прийнятних процесів утилізації з отриманням корисних продуктів.

На основі детального аналізу літературних публікацій здобувачем сформульовано тему та задачі досліджень стосовно необхідності розвитку наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів для зменшення негативного впливу на довкілля, що враховують особливості та закономірності термічної деструкції зазначених відходів, і, як наслідок, мінімізує потрапляння небезпечних речовин до атмосферного повітря, ґрунтів та поверхневих і підземних вод у наднормативних концентраціях, шкідливих для довкілля та здоров'я людей, забезпечуючи при цьому екологічну безпеку процесу утилізації в цілому.

**У другому розділі** здобувач проводить огляд об'єкту та предмету дослідження, методів теоретичного та практичного дослідження, методик проведення експериментів та математичних методів обробки результатів.

Серед теоретичних методів використовувались математичне моделювання та розрахункові методи.

З практичних методів - фізичне моделювання та натурний експеримент на розроблених та виготовлених лабораторних установках ЕУ БЦП-14 та ЕКОПР 18Д, апаратне визначення параметрів процесу і характеристик отриманих продуктів.

У процесі проведення практичних та експериментальних досліджень використано наступні методи: інфрачервоної спектрофотометрії (Beckman DU 520), газо-рідинної хроматографії (газовий хроматограф NeoCHROM з системою CTC A200S Autosampler), програмне забезпечення для обробки даних(система UniChrom), методи вязкозіметрії, калориметрії; наявність токсичних металів у рідкому та твердому продуктах визначались атомно-адсорбційним спектрофотометром С-115М1. Отримані результати оброблялись з використанням стандартних методів статистичної та математичної обробки

даних.

Досягнення визначеної мети та розв'язання поставлених завдань засновано на комплексному використанні підходів та методів системного аналізу обґрунтовано методологію проведення досліджень термічних процесів деструкції та проведення експерименту для відпрацювання оптимальних технологічних режимів.

**У третьому розділі** здобувачем представлено результати математичного моделювання термічної деструкції органічної сировини шляхом циркуляційного процесу піролізу, яке здійснюється на основі законів збереження маси та енергії з врахуванням рівнянь гідродинамічної структури потоків в обладнанні (реології), із застосуванням загальних принципів термодинаміки. Модель описується рівняннями фазової рівноваги на основі методу Темкіна-Шварцмана з використанням гіпотези теоретичного контуру Багатурова, яка базується на послідовному визначенні концентрації компонентів, що циркулюють на контурах циркуляційної системи, за матеріальним балансом. При наявності циркуляційної системи та аналізу фізико-хімічних процесів термічної деструкції органічної сировини розроблено загальну принципіальну схему процесу, що демонструє механізм матеріальних потоків речовин, які утворюються.

Застосування методів математичного моделювання дозволило оптимізувати та контролювати температурні режими для мінімізації вмісту шкідливих речовин в кінцевих продуктах термічної деструкції, а на етапі проектування промислового обладнання зменшення технологічних та матеріальних витрат за рахунок раціонального використання енергетичних ресурсів, а також забезпечити екологічну безпеку запропонованого процесу.

**У четвертому розділі** запропоновано схеми розробленого, спроектованого та виготовленого лабораторного та промислового устаткування. Представлено результати проведених натурних випробувань з інтенсифікації процесів термічної деструкції та отримання повного комплексу параметрів роботи обладнання, режими отримання товарної продукції та забезпечення екологічної безпеки.

Завдання інтенсифікації утилізації відходів на основі піролізу спрямовані на досягнення максимального виходу ПГС, збільшення кількості відходів, що переробляються, скороченні часу деструкції та підвищенні продуктивності роботи реактора.

Достовірність отриманих результатів підтверджена застосуванням адекватної моделі газо-рідинної рівноваги і алгоритму розрахунку процесу рециркуляції, а також порівнянням отриманих теоретичних даних з результатами експерименту.

**У п'ятому розділі** здійснено дослідження даних при проектуванні комплексу та експериментальні дослідження утилізації відходів піролізним процесом, що дозволило провести комплексну оцінку рівнів екологічної небезпеки. Проведено ранжування загроз навколишньому середовищу за сформованими критеріями, встановлено ймовірності виникнення аварійних ситуацій обладнання та технологічного процесу. Оцінка проводилась за

процедурою на базі експертного методу з включенням операції з усунення ймовірних некоректних рішень експертів. При цьому враховувались поставлені критерії: **1** - ймовірність виникнення тієї чи іншої загрози навколишньому середовищу; **2** - очікувані наслідки від дії фактору; **3** - рівень якості впроваджених технічних або технологічних рішень щодо запобігання прояву цього фактору та кваліфікація експертів.

**У шостому розділі** наведені напрямки використання результатів досліджень, які засновані на впровадженні піролізного устаткування в промислове виробництво для масової утилізації твердих органічних відходів. Результат впровадження - установка БЦП-5 з продуктивністю по сировині 5000 кг на добу.

Враховуючи недоліки існуючих методів переробки твердих побутових відходів, які включають різні компоненти з різними фізико-хімічними характеристиками, здобувачем запропоновано принципово новий підхід до створення універсальної технології. Розроблено новий спосіб двостадійного процесу, який отримав назву технологія «екопірогенезису» (ЕПГ), яка об'єднала два процеси в одну технологічну лінію.

На основі нової технології «екопірогенезису» розроблено рекомендації для впровадження схеми екологічно прийняттого піролізного процесу в складі котельних мікрорайону з використанням отриманого альтернативного палива, отриманого при термічній деструкції твердих побутових органічних відходів, відходів автошин, деревини з лісопаркової зони, опалого листя.

Виходячи з сезонності теплопостачання мікрорайону і алгоритму використання альтернативних видів палива, передбачається вироблення необхідного об'єму генераторного газу отриманого з частини вологих відходів з всієї маси побутового сміття для гарячого водопостачання, тоді як рідке піролізне паливо і частина деревних відходів в літній період накопичується і використовується для покриття пікових теплових навантажень, як в літній, так і в зимовий період.

Також при використанні досягнутих параметрів інтенсифікації запропоновано встановлення піролізного обладнання для населеного пункту 400 тис. населення без використання процесів накопичення та захоронення. За умов утворення 1 людиною 280, 5 кг відходів на рік, загальна кількість відходів складе 112,2 млн. кг. Відповідно розміщення переробних установок потужністю в 25 т/добу кількістю 12 од. забезпечить місто в повному обсязі та вирішить питання енергонезалежності за рахунок реалізації отриманих палив.

**У додатках** наведені матеріали, що доповнюють дисертацію інформаційним змістом.

Також до розгляду в додатках представлені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження, листи підтримки та інші документи, що підтверджують практичну значимість роботи, а також патенти. Важливим підтвердженням значущості дисертаційних досліджень є отримання диплом Лауреата Премії Верховної Ради України найталановитішим молодим ученим в галузі фундаментальних і прикладних досліджень та науково-технічних розробок (Постанова Верховної Ради України від 15 січня 2009 р. №871-VI).

**Висновки до розділів та загальні висновки** сформульовані достатньо чітко, вони відповідають меті та завданням дисертаційної роботи. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій наведено розв'язання актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ екологічно прийнятної піролізної технології утилізації твердих органічних відходів мінімізації шкідливого впливу на довкілля, що враховує особливості термічної деструкції відходів з одержанням товарної продукції.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації**, достатній, що підтверджується застосуванням сучасної методології досліджень, яка використовує адекватні підходи до аналізу станів екологічної безпеки.

Достовірність одержаних результатів підтверджується системним підходом до комплексного вирішення наукових та практичних задач, забезпечується використанням апробованих стандартних методів досліджень (зокрема, методів фізичного і математичного моделювання, хроматографії, спектрометрії, термометрії), конкретною постановкою задач і детальним обґрунтуванням основних положень та висновків. Підтвердженням наукових результатів дисертації є апробація дослідних піролізних установок у промислових умовах з відповідними актами впровадження.

**Оформлення дисертації** відповідає ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" та вимогам Атестаційної колегії МОН України. Мова і стиль викладання дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, позначені метою досліджень.

**Повнота викладення основних результатів дисертації в опублікованих працях.** Результати досліджень пройшли апробацію на багатьох семінарах і конференціях. Матеріали роботи представлені у 68 наукових працях, зокрема, 26 статей у фахових виданнях ДАК МОН України, з яких 4 у журналах і збірниках, які входять до науково-метричних баз Scopus та Web of Science; 6 у журналах і збірниках, які входять до інших наукових видань України; 14 патентів України на винахід та корисну модель; 22 праць апробаційного характеру опубліковано у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій

**Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації.** Зміст автореферату відповідає розділам дисертації та її основним положенням.

Дисертація є одноособово створеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

**Упущення та зауваження до дисертаційної роботи і автореферату:**

1. Значна кількість аббревіатурних скорочень ускладнює сприйняття змісту дисертації.

2. Таблиці 5.3, 5.4 та 6.5 багатоінформативні, перевантажують роботу та збільшують її обсяг, тому рекомендовано було б винести їх в додатки.

3. З роботи не ясно, яка кількість кінцевого рідкого продукту в результаті утилізації відходів буде йти на підтримання процесу переробки, а яку можливо додатково використати в якості альтернативного палива.

4. Не зрозумілим є використання термінів «екологізація», «екологічно прийнятний». Екологія – це наука. Бажано було б дотримуватися термінології з екологічної безпеки.

5. Автор детально описує ризики в 5 та 6 розділах, пов'язані з різними чинниками. Для постійного моніторингу та їх контролю, а також для попередження настання події потрібно мати окремого працівника, що буде виконувати цю роботу та буде відповідальним за неї. Чи передбачається така людина в розробленому проекті?

6. В 6 розділі не наведено розрахунки терміну окупності запропонованого заводу екопірогенезису.

7. У тексті дисертації термін «фактори» слід вживати як «чинники».

8. Слід зазначити шляхи утилізації токсичних сполук металів у рідкій фракції, отриманій методом піролізу (таблиця 3 автореферату).

9. Висновки роботи занадто розширені.

Зазначені недоліки та зауваження не знижують наукової цінності роботи, яка виконана на високому рівні, а результати мають практичне застосування.

#### **Загальний висновок.**

Дисертаційна робота «Розвиток наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів», представлена на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук є завершеною науковою працею, що в сукупності вирішує актуальну науково-прикладну задачу в галузі екологічної безпеки.

Дисертаційна робота за оформленням та викладенням матеріалу відповідає паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека та вимогам п. 9, 10, 12, 13, 14 положення про «Порядок присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року №567 зі змінами, а її авторка Маркіна Людмила Миколаївна заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

#### **Офіційний опонент:**

Начальник навчально-наукового інституту  
цивільного захисту  
Львівського державного університету  
безпеки життєдіяльності  
доктор технічних наук, доцент  
« 03 » \_\_\_\_\_ 2020 р.

В. В. Попович

*Людмила Маркіна*  
*Учений секретар ЛДУБЖ*  
*Голова Лабораторії*

12 10 2020

Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності № 15/10 2020 р.  
Відомий секретар Наукової бібліотеки № 26.880.01.  
Заступник ректора Наукової бібліотеки № 26.880.01.  
Т. П. Кошарко  
О. А. Машков