

## **ВІДГУК**

**офіційного опонента Петрука В.Г. на дисертаційну роботу Маркіної Людмили Миколаївни «Розвиток наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека**

**Актуальність теми дисертаційного дослідження.** Проблема відходів, у тому числі, і органічних у нашій державі стоїть досить гостро. В Україні величезні обсяги таких відходів значною мірою не переробляються, а вивозяться на полігони та сміттєзвалища, частіше всього, - несанкціоновані. Лише декілька відсотків такої сировини потрапляє на рециклінг. Безперечно, що всі ці неперероблені відходи вкрай шкідливо впливають на довкілля і людину. У той же час, у багатьох розвинених країнах Заходу і Америки ці проблеми вирішуються досить успішно. При цьому значна частка їх, щонайменше 70-90 відсотків, направляється на переробку з отриманням корисних продуктів. Відтак, там ефективно функціонує система управління та поводження з відходами. Тому у нашій країні вкрай необхідно налагоджувати таку систему за рахунок, зокрема, впровадження новітніх технологій переробки та утилізації відходів з використанням, у тому числі, термічних методів і серед них – піролізних. Піроліз при цьому має значні переваги перед суто термічними, термоокислювальними та газифікаційними технологіями. У першу чергу, це можливість отримання корисної вторинної сировини у вигляді горючих газів та рідин і порівняно незначний шкідливий вплив на навколишнє середовище. Зрозуміло, що сучасні методи і технології піролізу, зокрема, твердих та рідких органічних відходів потребують значної модифікації, науково-теоретичного обґрунтування термодинаміки та кінетики процесів, відпрацювання технологічних параметрів та режимів, сертифікації та метрологічної атестації обладнання, розрахунків можливих ризиків для довкілля і обслуговуючого персоналу та ін. Відтак, з огляду на вище зазначене, можна констатувати, що актуальність поставлених у роботі завдань та необхідності виконання такого роду досліджень, а також розвиток наукових основ екологічно прийнятних технологій переробки та утилізації твердих і рідких органічних відходів є на часі і не викликає жодного сумніву.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Тематика відповідає пріоритетним напрямкам природоохоронної діяльності в Україні, викладеним в Основних засадах (стратегії) державної екологічної

політики на період до 2020 року, Національній стратегії управління відходами в Україні до 2030 року, Національному плані управління відходами до 2030 року. Результати проведених досліджень пов'язані з науково-дослідними темами, що виконувались в Національному університеті кораблебудування імені адмірала Макарова. В основу роботи покладено результати п'яти науково-дослідних робіт, у яких здобувач брала участь як керівник та відповідальний виконавець.

**Ступінь обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації** достатньо підтверджується застосуванням сучасної методології досліджень, яка використовує адекватні підходи до аналізу станів екологічної безпеки. Наукові положення, висновки та рекомендації, що сформульовані в дисертаційній роботі, базуються на значному обсязі теоретичних та експериментальних досліджень, є логічно обґрунтованими і підтверджуються результатами натурних експериментів і математичного моделювання.

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, газо-рідинної хроматографії, термометрії), а також підтверджується використанням сучасної виміральної техніки та сертифікованих методик обробки експериментальних даних. Крім того, оригінальність, достовірність та обґрунтованість результатів підтверджуються багатьма патентами на винахід та корисну модель України, значною кількістю актів впровадження та задовільною збіжністю експериментальних результатів і теоретичних розрахунків та математичних моделей на рівні не нижче 90%.

**Наукова новизна результатів** полягає у запропонованих та обґрунтованих наукових та науково-методологічних засад екологічно прийнятних піролізних процесів утилізації твердих органічних відходів, сукупність яких представляє нові вагомні напрацювання у галузі екологічної безпеки, а саме:

- уперше за результатами фізичного і математичного моделювання процесів та умов здійснення деструктивних перетворень циркуляційного піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів встановлено раціональні температурні діапазони 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;

- уперше 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 %;

- уперше розроблено метод управління екологічною безпекою технології циркуляційного піролізу шляхом одночасного регулювання фракційного складу кінцевих паливних продуктів та концентрації шкідливих гетероатомних сполук, сірковмісних компонентів, кисне- та азотовмісних речовин, який заснований на встановленні та застосуванні принципу варіювання температурним режимом циркуляційної системи, що дає можливість комплексно забезпечити екологічну безпеку при утилізації органічних відходів та знизити техногенне навантаження на довкілля під час функціонування об'єктів поводження з відходами з отриманням товарних продуктів;

- уперше 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, а також якістю отриманих продуктів, що дозволяє здійснювати моніторинг на кожному етапі процесу утилізації органічних відходів;

- 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;

- отримало подальший розвиток 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.

**Оцінка висновків здобувача щодо значущості його роботи для науки і практики.** Одержані дисертантом результати мають важливе значення для науки і практики, оскільки вони спрямовані на удосконалення існуючих, створення нових екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що покращить екологічний стан об'єктів переробки та утилізації твердих органічних відходів та прилеглих до них територій, підвищить ефективність вторинного ресурсо- та енергозбереження, сприяє створенню науково-практичних аспектів управління екологічною безпекою при утилізації твердих органічних відходів піролізним процесом.

**Практична значимість результатів роботи** полягає у практичному застосуванні сформульованих теоретичних та методологічних положеннях, а також у можливості запровадження елементів управління екологічною безпекою об'єктів накопичення, зберігання та утилізації твердих органічних відходів. При цьому наукові результати та пропозиції використані при розробці програми поводження з твердими побутовими відходами в м. Миколаїв. Крім того, більшість результатів узагальнено відповідними технічними умовами, що сприяє їхньому широкому промислового використанні. Результати досліджень впроваджено на багатьох переробних підприємствах, у науковому та навчально-методичному процесі Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, про що свідчать акти впровадження та практичного використання результатів, наведені у Додатках до дисертаційної роботи.

**Загальна характеристика структури і змісту дисертаційної роботи та автореферату.** Дисертація є завершеною науковою працею з повним обсягом 465 сторінок, з яких основного тексту – 319 сторінок, що містить 168 рисунків та 60 таблиць, зокрема, на окремих 37 аркушах, та складається з анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку 354 використаних джерел і 17 додатків.

У *вступі* наведено актуальність теми дослідження, ідею, мету і завдання, а також об'єкт і предмет дослідження, відображено наукову новизну отриманих результатів, їх практичну значимість, наведено дані про апробацію результатів дослідження, публікації тощо.

У *першому розділі* здобувачем виконано аналіз світової та національної наукової інформації за напрямком поводження з відходами, впливу їх на

навколишнє середовище та здоров'я людей, технологій їх утилізації та продуктів переробки.

Систематизовано аспекти техногенного впливу термічних процесів деструкції органічних відходів на компоненти довкілля; запропоновано поняття «екологічно прийнятний піролізний процес», а також науково-методологічні та науково-технологічні особливості досягнення мети досліджень.

У *другому розділі* описані об'єкт та предмет дослідження, методи теоретичного (математичне моделювання, розрахункові методи), практичного дослідження (фізичне моделювання, натурний експеримент) на лабораторних установках, апаратне визначення параметрів процесу і характеристик отриманих продуктів, методики проведення експериментів та математичні методи обробки результатів. Наведено також методи контролю за станом екологічної безпеки при проведенні процесів термічної деструкції твердих органічних відходів.

У *третьому розділі* подано розроблену математичну модель деструкційних перетворень твердих органічних відходів при рециркуляції в піролізному процесі з визначенням кінетичних показників. Визначено основні термодинамічні параметри стану парогазової суміші, складу та мольного потоку рідкої та парової фази, що розділяються на контурах на основі спільного рішення системи рівнянь матеріального балансу циркуляційної системи та рівняння рівноважних фаз за вмістом кожного компонента з використанням програмного комплексу.

У *четвертому розділі* представлено шляхи інтенсифікації процесів та забезпечення екологічної безпеки процесів, обладнання та продуктів термічної деструкції органічної сировини при циркуляційному піролізі. Описано розроблене, спроектоване та виготовлене лабораторне та промислове устаткування з роботою в циклічному режимі (продуктивність 10 кг/цикл – ЕУ БЦП - 14) та безперервному режимі (продуктивність 100 кг/добу – ЕКОПР – 18Д, продуктивність 500 кг/добу – Екопір-БЦП). За результатами моделювання циркуляційного піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів встановлено параметри інтенсифікації процесів та устаткування, а саме: температуру й час для різних видів та сумішей органічних відходів, технологічні параметри ущільнення в плунжерній системі подачі сировини в піролізний реактор, розподіл гетероатомних сполук в циркуляційній системі регулювання концентрації шкідливих речовин, що забезпечує зменшення використання енергетичних ресурсів та часу, необхідних для здійснення технологічних процесів. Також

експериментально встановлені умови здійснення безперервного процесу піролізу.

У *п'ятому розділі* у результаті проведеної багатокритеріальної оцінки факторів екологічної небезпеки визначено пріоритети факторів за такими критеріями: ймовірність виникнення тої чи іншої загрози навколишньому середовищу; очікувані наслідки від дії відповідного фактору; рівень якості впроваджених технічних або технологічних рішень щодо запобігання прояву цього фактору. Встановлено технологічні вузли та процеси, які потенційно є найбільш небезпечними для навколишнього середовища.

У *шостому розділі* визначено напрямки впровадження установок утилізації твердих органічних відходів, які здійснюють екологічно прийнятний піролізний процес. Запропоновано **нову технологію експірогенезису (ЕПГ)** і нестандартне обладнання для неї, яка об'єднує сукупність процесів властивих багатоконтурному циркуляційному піролізу (БЦП) і процесів багатоконтурної двозонної газифікації (БЦДГ) органічних відходів наявних в даному мікрорайоні. Представлено результати досліджень практики експлуатації підприємств з утилізації твердих побутових відходів. На основі методу експертних оцінок проведено якісний аналіз груп ризиків, встановлено ранги ризиків, їх вплив на час, вартість та якість реалізації проекту підприємства з утилізації відходів.

У *додатках* наведені матеріали, що доповнюють дисертацію інформаційним змістом, представлені акти впровадження результатів дисертаційного дослідження, листи підтримки та інші документи, що підтверджують практичну значимість роботи, а також патенти на винахід та корисну модель України.

*Висновки* детально та логічно відображають хід розв'язання поставлених у роботі завдань, містять основні результати дисертаційного дослідження, які достатньо повно характеризують науково-практичні досягнення здобувача.

*Список використаних джерел* містить 354 найменування за тематикою дисертаційної роботи та у достатній мірі відображає інформацію за темою дослідження, які виконувала здобувач.

**Оформлення дисертації** за структурою, мовою та стилем викладення відповідає вимогам до оформлення дисертації, затверджених МОН України (Наказ № 40 від 12 січня 2017 року). Мова і стиль викладення дисертації і автореферату чітко висвітлюють одержані науково-практичні результати, визначені метою досліджень.

**Повнота викладення результатів дисертації у наукових фахових виданнях.** Основні положення і результати дисертаційного дослідження викладені у 68 наукових працях, з яких: 26 статей у фахових виданнях України, з них - 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; а також 22 праці апробаційного характеру опубліковано у збірниках матеріалів науково-практичних конференцій.

Наведений у публікаціях матеріал повною мірою відображає основні результати та обґрунтовує наукові положення дисертаційної роботи.

**Апробація результатів дисертаційного дослідження.** Матеріали дисертації доповідались та обговорювались на наукових та науково-практичних конференціях всеукраїнського і міжнародного рівня, симпозіумах, семінарах тощо.

**Шляхи використання наукових і практичних результатів роботи і ступінь їх реалізації.** Наукові та практичні результати дисертаційної роботи підтверджуються практичним впровадженням:

- практичних рекомендацій з конструювання промислової установки та режиму її експлуатації. При цьому технічні умови, паспорт та інструкція з експлуатації впроваджені в роботі ТОВ «ТехноАльянсСервіс», ТОВ «Респект Бізнес» (акти впровадження в додатках до дисертації);
- відпрацьованих технологічних режимів утилізації органічних відходів для різних видів твердих органічних промислових відходів для ТОВ «ГАРД ПРО» (акти впровадження від 19.05.16р.);
- виготовленої установки безперервної дії БЦП-5 для компанії «ERVO EnviTech s.r.o.» (Чеська Республіка) (акт впровадження від 30.01.2017р);
- результатів наукових доробок та пропозицій використаних при розробці програми поводження з твердими побутовими відходами в м. Миколаїв (довідка Миколаївського міського голови від 07.09.2018р.).

Спосіб, установки та елементи конструкцій захищено 14 патентами на винахід та корисну модель.

Результати досліджень впроваджено в створеному «Науково-дослідному центрі піролізних технологій», в якому розташовано розроблені та виготовлені експериментальні макети та оригінальні установки (акт впровадження від 11.09.2019р).

Результати дисертаційного дослідження застосовуються в навчальному процесі НУК ім. адм. Макарова на кафедрах техногенної та цивільної безпеки і екології та технології захисту навколишнього середовища.

### **Ідентичність змісту автореферату основним положенням дисертації.**

Зміст автореферату відповідає розділам дисертації та її основним положенням. Наукові положення та інша наукова інформація, що була предметом кандидатської дисертації здобувачки, у її докторській дисертації відсутні. Дисертація є одноособовою кваліфікаційною працею, яка містить сукупність результатів та наукових положень, поданих автором для публічного захисту, має внутрішню єдність і свідчить про особистий внесок автора в науку.

**Відповідність тематики досліджень паспорту спеціальності 21.06.01 – екологічна безпека.** Тематика досліджень у повній мірі відповідає паспорту спеціальності, зокрема, пункту 3 «Удосконалення існуючих, створення нових екологічно безпечних технологічних процесів та устаткування, що забезпечують раціональне використання природних ресурсів, додержання нормативів шкідливих впливів на довкілля» та формулі паспорта «Обґрунтування теоретичних основ оцінок техногенного ризику, розробка та пошук за їх допомогою оптимальних форм управління екологічною безпекою». Наведені результати відповідають технічному спрямуванню дисертаційної роботи.

### **Зауваження щодо змісту та оформлення дисертації та автореферату:**

1. В розділі 4 з опису проведення експериментальних досліджень на лабораторних установках не зовсім зрозуміло, в якому вигляді та у яких випадках треба направляти відходи на утилізацію, і необхідні чи ні їх попередні очищення, сортування, подрібнення тощо?
2. Як на Вашу думку, чи буде доречним дотримуватися сортування відходів за принципом – вологі та сухі – саме мешканцями населених пунктів? Чи доцільно впроваджувати запропоновану схему для промислового сортування?
3. Якщо Ви застосовували нестандартне обладнання, то чи є відповідна на нього метрологічна атестація або сертифікаційне підтвердження?
4. С. 117 та далі по тексту відсутня нумерація рівнянь термодинамічних показників.
5. С.123. Ви вірно зазначаєте, що найефективніша температура запропонованої Вами схеми піролізу в межах 550-560<sup>0</sup>С. А які процеси



відбуваються при менших і більших температурах? Як це співвідноситься з часом проведення піролізу?

6. Хто були експертами під час оцінки та ранжування можливих аварійних ситуацій (аналіз ієрархій) і як створювались вагові коефіцієнти важливості критеріїв?
7. А чи не розглядали Ви можливість додавання відповідного каталізатора для прискорення і збільшення ефективності процесу піролізу?
8. Як Ви упереджували або запобігали детонаційним ефектам, зокрема, бензинових фракцій тощо?
9. С.6 автореферату. Збіжність 7-10 відсотків. Це явна описка. Ви, очевидно, мали на увазі – розбіжність результатів, а збіжність у Вас якраз сягає 90-93%?
10. У роботі наявні окремі описки та орфографічні недоліки, а саме: не «з'єднань», а «сполук»; не «в'язко-, а віскозіметрія»; у ключових словах не «довкілля», а «захист довкілля»; не «окис», а «оксид»; не «постійна» величина, а «стала»; не «тон», а «тонн»; не «за виключенням», а «за винятком»; не «виміру», а «вимірювання»; не «граничні та неграничні вуглеводні», а «насичені та ненасичені»; не «датчики», а «давачі або сенсори»; не «на протязі року», а «протягом» та ін.

Проте зазначені недоліки та зауваження принципово не впливають на достатній рівень наукової новизни та практичної значимості отриманих в дисертаційній роботі результатів. Зроблені автором висновки і положення, що виносяться на захист, добре обґрунтовані, логічно впливають із отриманих даних і відповідають поставленій меті та завданням дослідження.

### **Загальні висновки.**

Дисертаційна робота Маркіної Л. М. виконана на рівні вимог до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора наук відповідно п. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 року № 567 зі змінами. Дисертація є завершеною науковою працею, що спрямована на розвиток наукових основ екологічно прийняттого піролізного процесу утилізації твердих органічних відходів шляхом застосування інтенсифікації процесів термічної деструкції для запобігання та зменшення потрапляння шкідливих речовин у довкілля. Її результати можуть бути використані і частково вже практично використовуються у багатьох галузях промисловості і народного господарства, зокрема, у екології та екологічній безпеці, природоохоронних технологіях, хімічній та нафтопереробній

галузях, у діяльності міських комунальних служб та територіальних громад тощо.

Отже, з врахуванням беззаперечних наукової новизни та практичної значимості одержаних результатів, а також на основі вищезазначеного можна зробити висновок, що Маркіна Людмила Миколаївна заслуговує присудження їй наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека.

**Офіційний опонент,**

директор інституту екологічної безпеки та моніторингу довкілля, професор кафедри екології та екологічної безпеки Вінницького національного технічного університету, Заслужений природоохоронець України, д.т.н., професор

**Петрук В.Г.**

**Вчений секретар**

**Поплавський А.В.**



*Handwritten signature of V.G. Petruk*

*Петрук В.Г.*

Підпис Поплавського А.В.  
**ПОСВІДЧУЮ**  
Зав. канцелярією

*Handwritten signature of A.V. Poplavskiy*

*Відсутній офіційного опонента  
накази шов за списком 15.10.2009.  
Вчений секретар списку Д 26.00.01.*

*7.Г. Мацурко*

*Заступник зав. списку 26.00.01.*

*О.А. Машов*

