

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, доцента, завідувача кафедри
механіки та інженерії агроєкосистем

Кухарця Савелія Миколайовича

на дисертаційну роботу

Зубенка Віталія Ігоровича

**"Технологія швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі
шнекового типу",**

що подана на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі
спеціальності 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії

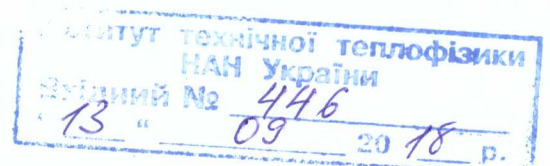
ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Структура та обсяг дисертації. Роботу Зубенка В.І. виконано в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України. Дисертація складається з анотації, списку умовних позначень, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури та чотирьох додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 185 сторінок, 47 рисунків та 34 таблиці. Список використаних джерел містить 83 найменування. У додатках до дисертації наведені відомості про апробацію роботи, копія патенту на винахід, методика розрахунку показників економічної ефективності та список публікацій здобувача.

Оформлення дисертації. Дисертаційна робота оформлена згідно вимог наказу МОН України від 12.01.2012 №40.

Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим задачам в роботі, викладений матеріал написаний грамотною технічною мовою.

Обсяг і структура роботи відповідає необхідним вимогам, які встановлено МОН України.



Зміст автореферату дисертації відповідає змістові дисертації та відображає основні положення роботи.

Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження відповідають паспорту спеціальності 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії» як за формулою спеціальності так і за напрямками досліджень.

Зміст роботи.

У **вступі** дисертаційної роботи обґрунтовано актуальність та необхідність досліджень за темою дисертаційної роботи, показано зв'язок з науковими програмами, планами і темами, наведені мета і завдання дослідження, вказані методи досліджень, наукова новизна та практичне значення отриманих результатів, показано особистий внесок, наведені відомості про апробацію результатів дисертації, структуру та обсяг дисертації.

У **першому розділі** виконано огляд сучасних технологій, тенденцій та відповідного обладнання, щодо виробництва піропалива, проведено аналітичний огляд діючих піролізних установок, вказано перспективи розвитку виробництва піропалива в Україні. Розглянуто сучасні наукові положення щодо механіко-технологічного обґрунтування отримання рідкого піропалива з біомаси шляхом швидкого піролізу. Проведено порівняння швидкого піролізу з іншими видами термохімічної переробки біомаси, зокрема, спалюванням та газифікацією.

Розглянуто технічні проблеми, що виникають при практичній реалізації процесу абляційного піролізу та інших видів швидкого піролізу. Розглянуто конструктивні особливості спектру ректорів швидкого піролізу. Запропоновано гіпотезу дослідження, яка полягає в тому, що технології швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, мають високу питома продуктивність реактора із поліпшеною можливістю керування процесом швидкого абляційного піролізу через високу швидкість нагрівання часток сировини і швидке охолодження проміжних продуктів.

У другому розділі проведено обґрунтування вибору методу експериментальних досліджень, наведено опис експериментальних установок, призначених для дослідження швидкого піролізу біомаси, та розглянуті принцип їх дії, прилади та методи вимірювання досліджуваних величин.

Запропоновано методику експериментальних досліджень процесу піролізу біомаси в АРШТ та експериментального визначення характеристик сировини та вуглистої речовини.

Представлено ряд технологічних проблем і рішення по їх усуненню, які враховано при масштабуванні технології швидкого піролізу в абляційному реакторі шнекового типу та створенні демонстраційної установки продуктивністю до 50 кг сировини за годину. Експериментальним шляхом обрано спеціальну конструкцію абляційного реактора зі змінним кроком витків шнеку. Показано, що завдяки цьому поліпшуються умови нагрівання сировини до необхідної температури, а продукти піролізу максимально швидко видаляються з реактора.

У третьому розділі наведено результати експериментальних досліджень процесу піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, а також рекомендації щодо технологічних режимів, які можуть гарантувати питомий вихід рідкого піропалива близько 50%. В рамках дослідження процесу піролізу в абляційному реакторі шнекового типу проведено серію з 60 експериментів. Встановлено, що основними параметрами піролізної установки, які мають найбільш суттєвий вплив на вихід того чи іншого продукту піролізу є: температура реактору, швидкість руху частки біомаси в реакторі та продуктивність системи подачі сировини.

Шляхом апроксимації експериментальних даних отримано емпіричні рівняння залежності питомого виходу продуктів піролізу від температури реактора та швидкості руху частки біомаси в реакторі.

Виконані експериментальні дослідження піролізу біомаси в широкому діапазоні зміни параметрів дозволили визначити раціональні режимні

характеристики що забезпечують вихід рідкого піропалива близько 50% від маси переробленої сировини.

Наведено порівняння характеристик піропалива, отриманого на експериментальній установці ІТТФ НАН України та інших установках, на підставі чого зроблено висновок, що отримане піропаливо не поступається за основними характеристиками піропаливам, отриманими іншими дослідниками

Проведені експерименти дозволяють зробити висновок, що завдяки визначенню оптимальної продуктивності лабораторної установки, температури корпусу реактора та швидкості руху частки біомаси в реакторі, вдалося досягти прийнятної тривалості стабільної роботи установки та стабільного виходу піропалива на рівні ~ 50%.

Проведені масовий та енергетичний баланси. Шляхом апроксимації експериментальних даних, отримано емпіричні рівняння залежності рівня отриманої енергії віднесеної до години експерименту від питомого виходу продуктів піролізу та витрати сировини.

Експериментальні дослідження процесу піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, що проведені на демонстраційній піролізній установці, підтверджують результати, які отримані на лабораторній установці. Вихід продуктів піролізу та їх характеристики повністю адекватні відповідним показникам, отриманим на лабораторній установці.

У четвертому розділі розглянуто проект виробництва рідкого піропалива та вуглистої речовини на мобільній піролізній установці продуктивністю 500 кг/год за сировиною з метою подальшого спалювання продуктів піролізу на існуючих вугільних та газо-мазутних електростанціях або котельнях.

Проведено порівняльний аналіз вартості продуктів піролізу з іншими видами палива. Показано, що рідке піропаливо і вуглиста речовина є конкурентними на ринку України у порівнянні з викопними паливами.

Доведено, що проект виробництва піропалива та вуглистої речовини з біомаси є економічно привабливим та характеризується прийнятними економічними показниками.

У **висновках** викладено результати дисертаційної роботи, які вирішують важливу науково-прикладну задачу, пов'язану з розроблення основних науково-технічних положень технології швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, що дозволить ефективно отримати рідке піропаливо із забезпечення якісних параметрів.

В заключній частині дисертаційної роботи наведено список використаної літератури та додатки до основного змісту роботи.

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Зростання цін на основні енергоносії та значна емісія парникових газів під час спалювання викопних видів палива (природний газ, дизельне паливо, вугілля та ін.) спонукає переходити до відновлювальних джерел енергії. З'являється нове обладнання, в якому використовуються пелети, брикети, рулони, тюки із соломи зернових колосових культур і міскантуса, лушпиння соняшнику, тирса, дерев'яні тріски, дрова та ін. Проте, при спалюванні рослинної біомаси виникають труднощі, пов'язані із неоднорідністю біомаси, відносно високою вологістю, малим питомим енерговмістом, низькою температурою плавлення золи. Тому, для отримання стабільного надходження енергії споживачеві при спалюванні рослинної біомаси доречним буде використання піролізних установок. Отримане за рахунок високого термічного розкладання біомаси без доступу кисню піропаливо має набагато більшу енергетичну щільність у порівнянні з вихідною сировиною, що дає йому перевагу при транспортуванні і зберіганні. Без попередньої обробки воно може використовуватись в якості заміника котельного палива,

а після спеціальних заходів з підвищення якості – в газотурбінних і дизельних двигунах як моторне паливо.

Таким чином, тема дисертаційної роботи Зубенка В.І., що пов'язана з розробленням технології швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу з метою отримання рідкого піропалива є актуальною.

Дисертаційна робота виконана в Інституті технічної теплофізики НАН України у відповідності з науковою тематикою інституту в рамках виконання науково-дослідної роботи «Розробка технології та пілотної установки для отримання рідкого палива шляхом швидкого піролізу біомаси» (№ ДР 0113U002901), що виконувалась в рамках цільової комплексної програми наукових досліджень НАН України «Біологічні ресурси і новітні технології біоенергоконверсії» (2013-2017).

СТУПІНЬ ОБГРУНТОВАНOSTІ НАУКОВИХ ПОЛОЖЕНЬ, ВИСНОВКІВ І РЕКОМЕНДАЦІЙ ТА ДОСТОВІРНІСТЬ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

Наукові положення, висновки і рекомендації базуються на фундаментальних теплофізичних законах. Їхня обґрунтованість забезпечується продуманою логікою викладення матеріалу та широтою опрацьованої літератури.

Достовірність результатів експериментальних досліджень обумовлена великою кількістю експериментів та їх узгодженням з результатами, наведеними у літературі для подібних процесів. Точність і надійність результатів забезпечується проведенням досліджень за апробованими стандартними методиками та використанням сучасних приладів вимірювання з комп'ютеризованою обробкою даних.

НАУКОВА НОВИЗНА ОДЕРЖАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Нові наукові результати, отримані в даній роботі полягають в наступному:

- запропоновано нову технологію швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, що дозволяє ефективно переробляти тверду біомасу у рідке піропаливо та інші енергетично цінні побічні продукти піролізний газ та вуглисту речовину із високою питомою продуктивністю та можливістю чіткого керування процесом швидкого абляційного піролізу;

- обґрунтовано можливість застосування піропалива, отриманого шляхом швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу, як альтернативу традиційним видам палива на підставі визначених його фізико-хімічних властивостей;

- обґрунтовано вибір раціональних технологічних та конструкційних параметрів піролізних установок з абляційним реактором шнекового типу, що забезпечують максимальний вихід рідкого піропалива завдяки високій швидкості нагрівання часток сировини і швидкого охолодження проміжних продуктів;

- визначено енергетичну ефективність процесу отримання рідкого піропалива шляхом швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу для температурних умов;

- встановлено залежність енергетичного ККД піролізної установки з абляційним реактором шнекового типу від питомого виходу рідкого піропалива.

ПРАКТИЧНА ЦІННІСТЬ ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

- встановлено раціональні режимні характеристики процесу та конструкційні параметри демонстраційної мобільної піролізної установки продуктивністю 50 кг/год;

- проведено серію експериментальних досліджень на демонстраційній мобільній установці продуктивністю 50 кг/год та встановлено, що питомий вихід рідкого піропалива і його енергетичні характеристики аналогічні отриманим на лабораторній установці. Доведено здатність даної технології до масштабування та можливості її широкого застосування в енергетичного секторі при дотриманні розроблених рекомендацій щодо подальшого її розвитку та комерціалізації;

- визначено техніко-економічні показники, за яких проекти отримання піропалива та вуглистої речовини на мобільних піролізних установках можуть бути рентабельними в умовах України;

- розроблену технологію швидкого піролізу в АРШТ використано ТОВ «Біомаса-Карбон» в комерційному проекті «Coaching Services for CTP PFAN CIS & Central Asia Project Development & Financing Initiative» (CISCA-PDFI, International Center for Environmental Technology Transfer). Результати впровадження підтверджено відповідним актом.

Практичну цінність результатів дисертаційної роботи підтверджено патентом України на винахід.

ПОВНОТА ВИКЛАДЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ В ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЯХ

Результати дисертації опубліковано у 1-й статті в іноземному виданні, що індексується міжнародними наукометричними базами даних, у 4-х статтях в наукових фахових виданнях України, в 1-му патенті на винахід, у 7-ми публікаціях в збірниках матеріалів конференцій.

Вказані роботи опубліковано у відкритому доступі, в яких повністю розкрито суть проведених досліджень та відображені основні наукові результати, отримані в дисертаційній роботі.

ЗАУВАЖЕННЯ ДО ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. В першому розділі наведено класифікацію та характеристики технологій піролізу біомаси (таблиця 1.1 та 1.4) та вказано перелік існуючих установок (таблиця 1.2), проте необхідно було провести їх критеріальний аналіз та дати оцінку, як технологіям, так і конструкціям із використанням цільової функції за найменшою відстанню до цілі.

2. Серія експериментів на піролізній установці з абляційним реактором шнекового типу проведена на одному виді біомаси, а саме сосновій тирсі. Бажано було б продемонструвати результати і на інших видах сировини та порівняти отримані результати, наприклад щодо питомого виходу отриманого рідкого піропалива, вуглистої речовини та піролізного газу.

3. З тексту дисертації не зрозуміло як змінюється швидкість проходження сировини в абляційному реакторі шнекового типу. Не вказано швидкість видалення продуктів піролізу з реактору. Не вказаний тиск, з яким частка біомаси притискається до корпусу реактора.

4. Запропонована конструкція абляційного реактору шнекового типу в розділі 2 має досить складну будову, вимагає складної технології її виготовлення з застосування спеціальних жароміцних корозійностійких сталей, що приводить до значної вартості даного вузла піролізної установки.

5. В підрозділі 2.5. описується конструкція абляційного реактору із чітко заданою коловою швидкістю шнека, проте відсутні розрахунки, що узгоджують цю швидкість із конструкційно-технологічними параметрами шнека (діаметр витків, крок, кутова швидкість тощо).

6. На мою думку підрозділи 3.1-3.4, 3.6 (до передостаннього абзацу на ст.124), 3.7.1-3.7.6, 3.8 та 3.9. необхідно було б навести в розділі 2.

7. В розділі 3 відсутній багатофакторний експеримент. У висновках до розділу 3 не конкретизовано досягнуті результати експериментальних досліджень.

8. В техніко-економічному обґрунтуванні (розділ 4) проекту виробництва рідкого піропалива та вуглистої речовини на мобільній піролізній установці продуктивністю 500 кг/год прийнято занижену ціну на сировину на рівні 400 грн/т, що не відповідає рівню цін на аналогічні біопалива зі схожими енергетичними характеристиками на ринку України.

9. В розділі 4 поведено широку економічну оцінку проекту впровадження піролізові установки проте відсутнє техніко-економічне порівняння із існуючими конструкціями.

10. У висновках у пункті 2 йде мова про розроблені положення на основі яких створено лабораторну піролізну установку, проте ці положення не розкриті.

11. В пункті 3 висновків йде мова про широкий діапазон змін параметрів експериментальних досліджень, проте він не вказаний.

12. В пункті 9 висновків не зрозуміло для комп'ютерного моделювання конкретно яких процесів можна використати представленні дослідження.

ВИСНОВОК

Зроблені вище зауваження не є принциповими та не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Дисертація Зубенка В.І. на тему "Технологія швидкого піролізу біомаси в абляційному реакторі шнекового типу" є завершеною науковою роботою, в якій на підставі виконаних автором на сучасному рівні експериментальних досліджень вирішені важливі наукові і практичні задачі і отримано нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності є суттєвим доробком для подальшого розвитку актуальних напрямків у галузі перетворювання відновлюваних видів енергії.

Дисертаційна робота відповідає паспорту спеціальності 05.14.08 «Перетворювання відновлюваних видів енергії».

За актуальністю, новизною, глибиною досліджень, достовірністю та практичною цінністю, об'ємом та змістом дисертаційна робота повністю відповідає встановленим вимогам п. 9, 11, 12, 13 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567 (зі змінами, затвердженими постановами Кабінету Міністрів України №656 від 19.08.2015, №1159 від 30.12.2015, №567 від 27.07.2016, №40 від 12.01.2017), а її автор, Зубенко В.І., заслуговує на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук із спеціальності 05.14.08 – перетворювання відновлюваних видів енергії.

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
завідувач кафедри механіки
та інженерії агрокосистем
Житомирського національного
агрокологічного університету



С.М. Кухарець