

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

**к.т.н., доцента Степанюка А. Р.**

на дисертаційну роботу **Гоженко Любові Петрівни**

**«Інтенсифікація тепломасообмінних та гідродинамічних процесів при екстрагуванні рослинної сировини із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії»,**

яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю

05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика

### **Структура та обсяг дисертації**

Дисертація є закінченою науково-дослідною роботою. Роботу Гоженко Л. П. виконано в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, переліку літературних джерел – 138 найменувань, додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 158 сторінок, 42 рисунки, 2 таблиці та 2 додатки на 6 сторінках. Додатки містять акти впровадження основних результатів експериментальних досліджень дисертаційної роботи.

### **Актуальність теми дисертаційної роботи**

Однією з головних задач ресурсо- та енергозбереження в Україні є створення нових, високоефективних апаратів. В наш час розробки обладнання направлені на застосування методів імпульсної обробки сировини. Пошук і обґрунтування шляхів інтенсифікації гідродинамічних і тепломасообмінних процесів при екстрагуванні за рахунок посилення потужності імпульсного впливу при зменшенні енергетичних витрат є важливою проблемою покращення техніко-економічних показників виробництва. Проведення досліджень, спрямованих на вивчення і практичне використання найпотужніших механізмів дискретно-імпульсного введення енергії – кавітаційних ефектів і аналіз їх впливу на середовище в процесі обробки, а також створення на цій базі принципово нових, енергоефективних апаратів ДІВЕ є значним кроком у загальне вирішення актуальної задачі щодо збереження енергетичних ресурсів.

Представлені в роботі результати експериментальних і теоретичних досліджень процесів тепломасообміну та гідродинаміки в пульсаційному апараті використано автором при розробці математичної моделі кавітації в трубі пульсаційного реактора. Розроблені програма розрахунку ініціювання кавітаційних ефектів та методика визначення ступеня вилучення цільових речовин з рослинної сировини дозволяють проектувати нові енергоефективні екстрактори, в яких застосовується метод дискретно-імпульсного введення енергії.

Одержані результати при виконанні дисертаційної роботи можуть в подальшому бути застосовані при розробці енергоефективних реакторів для проведення процесів диспергування, гомогенізації, екстрагування, а також для розроблення моделей ініціювання механізмів методу дискретно-імпульсного введення енергії при вивченні теплофізичних основ цих процесів.

Таким чином, тематику дисертаційної роботи Гоженко Л. П. і результати досліджень, одержані при виконанні цієї роботи, безумовно **вважати важливими і актуальними**.

### **Оформлення дисертації**

Дисертаційна робота оформлена відповідно до стандарту ДСТУ 3008-95 «Документація. Звіти у сфері науки й техніки. Структура і правила оформлення».

Матеріал дисертації викладено в послідовності, що відповідає поставленим в роботі завданням, текст дисертаційної роботи написано у науковому стилі.

Обсяг і структура роботи відповідають вимогам, які встановлено АК МОН України.

Автореферат дисертації повністю відображає основні положення роботи, складає 0,9 умовного друкованого аркуша, розісланий 22 грудня 2016 року.

**Зміст дисертації, об'єкт і предмет дослідження** відповідають паспорту спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика як за формулою спеціальності, так і за напрямками досліджень.

### **Основний зміст роботи**

У **вступі** дисертаційної роботи висвітлено стан проблеми, обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і завдання досліджень, відображено загальну характеристику роботи, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено основну інформацію про апробацію роботи та публікації, що повністю відображають основну суть виконаних в роботі досліджень та зв'язок з науковими програмами.

У **першому розділі** представлено літературний огляд сучасного стану проблеми інтенсифікації процесу екстрагування з рослинної сировини. Встановлено, що для інтенсифікації екстракції використовуються методи з застосуванням кавітаційних механізмів. Розглянуто умови ініціювання кавітації як найпотужнішого динамічного механізму методу ДІВЕ. Проаналізовано переваги та недоліки застосування існуючих кавітаційних екстракторів в процесі обробки сировини. За результатами детального аналізу принципу дії апаратів із знакоперемінним тиском запропоновано створення принципово нового кавітаційного реактора пульсаційного типу.

У **другому розділі** описано принципову схему, принцип роботи пульсаційного апарата і динамічні ефекти. Запропонована конструкція пульсаційного апарата дозволяє розглядати модифікований пульсаційний апарат як кавітаційний реактор принципово нового типу, який може застосовуватись для інтенсифікації процесів диспергування, гомогенізації та екстракції. На основі запропонованої схеми кавітаційного реактора пульсаційного типу створено лабораторний стенд, на базі якого визначається раціональна конструкція апарата. Представлено розроблену методику проведення досліджень та наведено оптимальні режими роботи, які відпрацьовані на модельних об'єктах.

У **третьому розділі** сформульовано основні положення моделювання кавітаційних процесів у трубі пульсаційного апарата. Представлено результати чисельного розрахунку за рівняннями розробленої математичної моделі. Встановлено, що в кожному перерізі труби пульсатора виконуються умови виникнення кавітації – швидкий спад тиску нижче тиску насиченої пари для

ініціювання процесів формування і зростання бульбашкового кластеру і наступне різке збільшення тиску вище значення  $p_{sat}(T_l)$ , що веде до колапсу бульбашок зі створенням потужних динамічних ефектів.

Проведено аналіз ефектів кавітації в пульсаційному реакторі для вибору раціональної конструкції апарата і оптимальних режимних параметрів.

У **четвертому розділі** описано методику попереднього лабораторного визначення вихідних даних, необхідних для оптимального проведення процесів екстрагування з конкретного виду рослинної сировини, а також представлено виведення моделі кінетики екстрагування на основі даних за розробленим алгоритмом.

Наведено результати експериментальних досліджень по встановленню максимального ступеня вилучення цільових речовин з вибраних об'єктів дослідження для подальшого порівняння енергоефективності кавітаційного впливу в пульсаційних апаратах при екстрагуванні.

У **п'ятому розділі** обговорюються результати експериментальних досліджень по визначенню енергоефективності кавітаційного методу вилучення цільових речовин з рослинної сировини на прикладі плодів шипшини, кореневищ з коренями валеріани, насіння льону.

Сумісне проведення процесів диспергування та екстрагування реалізовано в створеному кавітаційному реакторі пульсаційного типу на прикладі вилучення гумінової складової з торфу низинного типу.

У **висновках** викладено результати досліджень дисертаційної роботи, які дозволили поглибити та удосконалити вивчення впливу найпотужнішого механізму методу ДІВЕ – кавітаційних ефектів. Практичне застосування кавітаційного механізму методу ДІВЕ реалізовано у створенні кавітаційного реактора пульсаційного типу та проведенні експериментальних досліджень на при екстрагуванні різного типу рослинної сировини.

**Наукова новизна отриманих результатів** не викликає сумніву. Автор досить точно і в повній мірі окреслила нові наукові результати, одержані в рамках виконання дисертаційної роботи. До найбільш вагомих слід віднести:

1. Розроблено фізичну та математичну моделі, які адекватно відображають кавітаційні ефекти, що виникають в трубі пульсатора після миттєвого перекриття мембраною каналу і, яка застосовується при розрахунку апаратів та оптимальних режимів обробки залежно від продуктивності та виду рослинної сировини.

2. На базі створеної моделі обґрунтовано характер просторової та часової зміни тиску в трубі пульсатора і проходження в ній затухаючої хвилі розрідження-стиснення після миттєвого перекриття каналу.

3. Створено дослідно-промисловий зразок кавітаційного реактора пульсаційного типу для проведення операцій диспергування та екстрагування і на якому отримано результати експериментальних досліджень, що дозволяють встановлювати енергетичну ефективність від ініціювання кавітаційних ефектів при вилученні цільових речовин.

4. Виведено рівняння кінетики екстрагування, яке дозволяє із застосуванням запропонованого алгоритму розрахувати ефективні коефіцієнти масопереносу і порівняти швидкість екстрагування в залежності від методу обробки.

5. На основі експериментальних та теоретичних досліджень визначено оптимальні режими кавітаційного впливу при екстрагуванні залежно від виду рослинної сировини та екстрагенту для підвищення енергоефективності кавітаційного апарата і забезпечення високої якості отриманого продукту.

6. За результатами досліджень запропоновано алгоритм проведення необхідних лабораторних досліджень по визначенню ступеня екстрагування з рослинної даної сировини.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій, які захищаються:

1. положення та висновки дисертаційної роботи базуються на фундаментальних фізичних законах, для підтвердження достовірності проведено порівняння основних результатів розрахунків та експериментальних досліджень з експериментальними даними інших авторів;

2. експериментальні дослідження визначення ступеня екстрагування рослинної сировини виконано із застосуванням стандартної методики фізико-хімічного методу аналізу та програмного забезпечення для їх обробки;

3. експериментальні дослідження кавітаційного впливу на властивості торфу низинного типу, як одного з об'єктів рослинної сировини, а також обробку результатів досліджень проведено за стандартними методиками;

4. точність і надійність результатів експериментів зумовлена використанням сучасних прецизійних приладів і відтворенням результатів;

5. достовірність теоретичних результатів забезпечується застосуванням відомих рівнянь тепломасообміну і гідродинаміки та чисельними методами їх вирішення за допомогою програмного забезпечення.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у наступному:

1. На основі створеної математичної моделі для енергоефективного використання механізмів ДІВЕ розроблено алгоритм та програму розрахунку гідродинамічних і масообмінних процесів в пульсаційному апараті.

2. Розроблено енергоефективне обладнання для інтенсифікації процесів екстрагування в рідинних багатокомпонентних дисперсних середовищах з покращеними технічними показниками у порівнянні з існуючими апаратами аналогічного призначення. За результатами досліджень створено дослідно-промисловий зразок кавітаційного екстрактора пульсаційного типу.

3. Отримані результати експериментальних досліджень на створеному кавітаційному екстракторі апробовано на рослинній сировині різних категорій за морфологічними ознаками, а саме: сировині трави звіробою, плодів калини та шипшини, насінні льону і торфі низинного типу.

**Повнота викладення результатів дисертаційної роботи у наукових працях**

За матеріалами дисертації опубліковано 17 друкованих праць, з них: 6 статей у наукових фахових виданнях України, в т.ч. 4 – у науковому виданні, що індексується міжнародною наукометричною базою даних WorldCat; 1 стаття у закордонному науковому фаховому виданні, що індексується міжнародною

наукометричною базою даних РИНЦ; 9 тез і матеріалів, що представлені на міжнародних науково-практичних конференціях; 1 патент на корисну модель.

### **Відповідність змісту автореферату основним положенням дисертаційної роботи**

Автореферат розкриває основні положення дисертації, у достатній мірі відтворює структуру і обсяг роботи. Дисертація та автореферат оформлені у відповідності до вимог оформлення кандидатських дисертацій.

### **Основні зауваження до дисертаційної роботи**

При загальній позитивній оцінці одержаних в роботі результатів і зроблених дисертантом висновків вважаю за необхідне зробити наступні зауваження.

1. В результаті літературного огляду встановлено, що для інтенсифікації процесу екстракції застосовуються апарати із знакоперемінним тиском, наприклад в роторно-пульсаційних апаратах, запропонованих ІТТФ НАН України, чим обґрунтовується необхідність для створення нового кавітаційного апарата взяти за базу двомембранний пульсаційний апарат.

2. На стор. 66 (третьій розділ) зазначено, що утворюється вакуумна порожнина. Яким чином обґрунтовується це твердження, воно було взято з лише з аналітичних досліджень чи це підтверджується також і експериментальними дослідженнями.

3. Яким чином ви обґрунтовуєте вибір об'єму ємності при проектуванні кавітаційного реактора пульсаційного типу для проведення процесу екстракції та які положення застосовуєте при пошуку оптимального об'єму?

4. Яким чином обґрунтовано вибір сировини для попередніх лабораторних досліджень наведених в табл. 1 на стор. 116 (четвертий розділ) зразків.

5. Результати процесів екстрагування коренів валеріани (стор.120 рис. 5.2) практично співпадають при проведенні процесу у запропонованому та базовому варіантах, хоча для інших видів сировини значно відрізняються.

6. Яка стадія при екстракції рослинної сировини за запропонованою методикою є лімітуючою?

7. Чи можна встановлювати декілька секцій ДІВЕ в одному апараті?

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку результатів дисертаційних досліджень та практичну цінність роботи.

### **Висновок**

Дисертаційна робота Гоженко Л. П. є завершеним науковим дослідженням, в якому отримані нові обґрунтовані результати, які розширюють сучасні уявлення про гідродинамічні та тепломасообмінні процеси із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії при екстрагуванні рослинної сировини. Одержані результати мають важливе практичне значення для розвитку та вдосконалення енергоощадних теплотехнологій.

Сформульовані в роботі наукові положення, висновки і рекомендації характеризуються високим ступенем обґрунтованості, а їхня вірогідність і новизна не викликає сумнівів.

За напрямком обраних та вирішених завдань дисертаційна робота відповідає спеціальності 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика і профілю спеціалізованої вченої ради Д 26.224.01.

На підставі вищевикладеного вважаю, що дисертаційна робота Гоженко Любові Петрівни “Інтенсифікація тепломасообмінних та гідродинамічних процесів при екстрагуванні рослинної сировини із застосуванням методу дискретно-імпульсного введення енергії” відповідає вимогам п. 9, 11 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. № 567, а її автор – Гоженко Л. П., заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.14.06 – технічна теплофізика та промислова теплоенергетика.

Доцент кафедри машин та апаратів  
хімічних і нафтопереробних виробництв  
Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», МОН України,  
к.т.н., доцент

