

ВІДГУК

офіційного опонента д.т.н., професора Атаманюка В.М. на дисертаційну роботу Вітенька Дмитра Олеговича на тему: «Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання гідродинамічних параметрів потоку», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 13 «Механічна інженерія» за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування»

Актуальність обраної теми досліджень.

Актуальність тематики зумовлена недостатньою узгодженістю між практикою використання кавітаційних апаратів і рівнем їх інженерного обґрунтування на етапі проектування. У багатьох випадках вибір геометричних параметрів та режимів роботи таких апаратів здійснюється на основі емпіричних залежностей або аналогій, без врахування впливу конструктивних особливостей на гідродинаміку та інтенсивність кавітаційних процесів. Це призводить до нестабільності результатів, складності відтворення технологічного ефекту та нерациональних енергетичних витрат.

Крім того, зростає потреба у простих, надійних та енергоефективних технічних рішеннях для інтенсифікації процесів обробки рідких середовищ. Кавітаційні апарати мають значний потенціал у цьому напрямі, однак їх широке застосування стримується відсутністю узагальнених підходів до проектування та прогнозування ефективності. У цьому контексті дослідження, спрямовані на встановлення взаємозв'язку між геометрією проточної частини, параметрами потоку та технологічним результатом, є необхідними для підвищення передбачуваності й ефективності роботи такого обладнання. У зв'язку з цим дисертаційна робота Вітенька Д.О., що спрямована на удосконалення конструкції кавітаційного апарата шляхом застосування CFD-моделювання та експериментальної перевірки отриманих результатів, є безумовно актуальною та має як наукове, так і прикладне значення.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни

Наукові результати дисертаційної роботи отримані на основі системного підходу до дослідження кавітаційних процесів у проточних апаратах, що поєднує чисельне моделювання та експериментальну перевірку. Такий підхід дає змогу розглядати досліджуваний об'єкт не лише як окрему конструкцію, а як гідродинамічну систему з визначальним впливом геометричних параметрів на структуру потоку.

Обґрунтованість результатів полягає у коректному виборі методів дослідження та їх узгодженому застосуванні. Автор зосереджується на встановленні функціональних зв'язків між конструктивними параметрами апарата та характеристиками двофазної течії, що свідчить про спрямованість роботи на отримання інженерно значущих результатів. При цьому результати моделювання використані не ізольовано, а як основа для подальшого узагальнення.

Достовірність отриманих результатів підтверджується їх перевіркою експериментальними даними та узгодженістю встановлених залежностей за зміни геометричних параметрів апарата. Використання різних підходів до оцінки ефективності кавітаційного впливу підвищує надійність висновків та дає змогу розглядати їх як фізично обґрунтовані.

Наукова новизна роботи полягає в тому, що здобувачем:

- отримало подальший розвиток методологія теоретичного аналізу кавітаційних процесів у апаратах проточного типу, що дає змогу враховувати вплив геометрії внутрішнього каналу на формування двофазної структури потоку;
- отримано узагальнені теоретичні закономірності щодо впливу запропонованих здобувачем конструктивних змін на параметри кавітаційної течії, які дають змогу кількісно оцінити ефективність різних конфігурацій апарата;
- вперше запропоновано інтегральні характеристики інтенсивності кавітаційних процесів, які враховують як інтенсивність кавітації, так і

енергетичні витрати, також удосконалено науковий підхід до інженерної оцінки ефективності кавітаційних апаратів.

У цілому результати роботи є обґрунтованими, достовірними та містять наукову новизну, що має значення для подальшого розвитку методів аналізу та проектування кавітаційних апаратів.

Практична цінність роботи полягає у розробленні інженерно обґрунтованого підходу до вибору та удосконалення конструкцій статичних кавітаційних апаратів на основі інтегральних критеріїв двофазності та питомої енергоефективності. Запропоновані показники, зокрема сумарний об'єм парової фази та коефіцієнт кавітаційної ефективності, забезпечують змогу кількісного порівняння різних конфігурацій апаратів і прийняття обґрунтованих проектних рішень. Отримані результати реалізовано у вигляді конкретних конструктивних рішень (із застосуванням конусних та шнекових вставок), підтверджених патентами, що свідчить про їхню технічну новизну та готовність до практичного використання.

Особливу цінність становить підтвердження ефективності запропонованих рішень у прикладних умовах, зокрема під час гомогенізації молока та обробці води, а також їх апробація у промисловому середовищі під час удосконалення вузла карбонізації на підприємстві. Робота містить не лише результати чисельного моделювання, але й комплекс інженерних розрахунків, рекомендацій щодо вибору режимів роботи, модульної компоновки обладнання та оцінки економічної доцільності впровадження. Це дає змогу використовувати отримані результати як основу для проектування та модернізації технологічного обладнання у харчовій та суміжних галузях

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та дотримання академічної доброчесності

Дисертаційна робота має чітко сформовану структуру та відображає всі основні етапи виконання дослідження. Послідовність викладення матеріалу дає змогу простежити логіку переходу від постановки задачі до отриманих результатів та їх практичного використання.

Основний текст викладено на 167 сторінках, загальний обсяг становить 233 сторінки, робота містить 75 рисунків, 19 таблиць і 149 використаних джерел.

Отримані результати доведені до практичного рівня, що підтверджується наявністю двох патентів на корисні моделі, а також їх використанням у прикладних розробках.

Зміст дисертації відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», оскільки дослідження спрямоване на вдосконалення конструкцій технологічного обладнання та встановлення закономірностей його роботи на основі гідродинамічного аналізу.

Академічна доброчесність у роботі дотримана, використані джерела належним чином оформлені, результати дослідження апробовані у наукових публікаціях.

У цілому робота є завершеним науковим дослідженням і відповідає вимогам до дисертацій такого рівня.

Мова та стиль викладення результатів

Матеріал дисертації викладено послідовно та достатньо чітко. Текст структурований, що полегшує сприйняття результатів дослідження.

Використана термінологія є коректною та відповідає галузі дослідження. Основні положення, розрахункові залежності та результати експериментів подані зрозуміло і логічно пов'язані між собою.

Загалом стиль викладення можна оцінити як такий, що забезпечує належний рівень розкриття змісту роботи та відповідає вимогам до наукових праць.

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи

Результати дисертації отримали достатнє висвітлення у наукових публікаціях. За темою роботи опубліковано 11 праць, в тому числі 4 статті у фахових виданнях, 5 матеріалів тез доповідей у збірниках доповідей міжнародних науково-практичних конференцій і 2 патенти на корисні моделі.

Зміст опублікованих праць узгоджується з матеріалами дисертації та відображає ключові наукові положення і результати, що виносяться на захист. У співавторських публікаціях визначено особистий внесок здобувача.

Короткий аналіз основного змісту дисертаційної роботи

У вступі чітко сформульовано мету та завдання дослідження, коректно визначено об'єкт і предмет, обґрунтовано наукову новизну та практичну значущість отриманих результатів. Важливо, що автор одразу окреслює інженерно-прикладне спрямування роботи, що зберігається протягом усього дослідження.

У першому розділі здобувач не обмежується описом відомих результатів, а проводить їх критичний аналіз, чітко виділяє суперечності та прогалини в існуючих підходах до моделювання і конструювання кавітаційних апаратів. Це дало змогу йому логічно обґрунтувати постановку задачі дослідження.

У другому розділі доцільно відзначити коректну постановку моделювання гідродинаміки та кавітаційних характеристик. Вибір CFD-підходу, використання моделі турбулентності k - ϵ та однорідної моделі суміші (НЕМ) є обґрунтованими для поставлених задач порівняльного аналізу запропонованих модифікацій конструкції удосконаленого апарата. Позитивно доцільно відзначити, що автор приділяє увагу не лише чисельному моделюванню, а й експериментальній верифікації. У розділі достатньо чітко представлені методи і методики проведення досліджень, експериментальний взірець стенда та апарата.

У третьому розділі розроблено методику чисельного дослідження кавітаційних процесів у статичному апараті на базі труби Вентурі. Моделювання реалізовано в SolidWorks Flow Simulation з використанням моделі турбулентності k - ϵ та однорідної рівноважної моделі кавітації (НЕМ). Встановлено, що порогова витрата для досягнення кавітаційного режиму зростає у 4,2 рази за збільшення діаметра горловини від 5 до 10 мм. Розраховано об'єми парової фази для різних конфігурацій апарата, що кількісно підтверджує визначальний вплив геометрії горловини на інтенсивність кавітації. Показано, що конусна та шнекова вставки збільшують інтегральний об'єм парової фази у 1,5 та 2,1 рази відповідно. Валідація моделі підтверджена експериментально: розбіжність за перепадом тиску не перевищує 15% для всіх досліджених конфігурацій. Позитивним є те, що автор не обмежується якісним аналізом, а наводить кількісні показники такі як об'єми парової фази, протяжності

двофазних ділянок та числа кавітації для кожної конфігурації окремо. Заслугує на увагу коректна постановка валідаційної задачі з урахуванням розташування контрольних перерізів. Результати розділу є обґрунтованими і становлять самостійну наукову цінність.

У четвертому розділі наведено комплексний аналіз удосконалених конфігурацій кавітаційних апаратів з позицій енергетичної ефективності та технологічного впливу на робочі середовища. Структура розділу є логічною та послідовною, а результати чисельного моделювання попереднього розділу узагальнено через інтегральні енергетичні критерії та доповнено експериментальною перевіркою на прикладі гомогенізації молока.

Запропоновано критерій питомої кавітаційної ефективності (співвідношення об'єму парової фази до енергетичних витрат) та досліджено вплив конусної і шнекової вставок на гідродинамічні втрати й інтенсивність кавітації. Показано, що зростання кавітаційної активності не гарантує підвищення енергоефективності, а вибір оптимальної конфігурації потребує врахування енергетичних і технологічних показників.

Окремо необхідно відзначити, що результати енергетичного аналізу підтверджені експериментально під час дослідження гомогенізації молока. При цьому оцінка ефективності здійснюється не лише за середнім розміром частинок, а за ступенем однорідності структури та зменшенням частки жирових кульок великих розмірів. Це забезпечує коректний зв'язок між гідродинамічними параметрами та якісними характеристиками продукту.

Важливою перевагою роботи є також інтерпретація результатів з урахуванням тривалості технологічного процесу, що дає змогу дисертанту вийти за межі оцінки «миттєвої» енергоефективності та фактично перейти до аналізу повних енерговитрат на досягнення заданого ефекту.

У розділі 5 представлено практичні технічні рішення щодо використання результатів роботи, що включає удосконалення карбонізатора на базі труби Вентурі та розроблення модульної системи гомогенізації молока для невеликих ферм. Обґрунтовано недоліки базової конструкції карбонізатора, запропоновано технічне рішення конфігурації удосконаленого апарата, виконано

гідродинамічні розрахунки режимів інжекції CO₂, а також визначено параметри роботи гомогенізаційного модуля (кількість апаратів, витрати, тиск, час рециркуляції). Представлено оцінку економічної доцільності запропонованих рішень.

Загалом дисертація характеризується цілісністю, логічною послідовністю викладення матеріалу та достатнім рівнем узагальнення результатів.

Зауваження до дисертації

1. У роботі використано однорідну рівноважну модель, яка є виправданою для інженерних оцінок, однак вона не враховує інерційність росту та колапсу кавітаційних бульбашок. З огляду на наявність зон інтенсивного прискорення потоку в горловині, доцільно було б оцінити вплив нерівноважних ефектів або хоча б окреслити межі застосовності НЕМ для даних умов.

2. У моделюванні використано k-ε модель турбулентності, яка є стандартною для внутрішніх течій, однак відомо, що вона може недостатньо точно відтворювати структуру потоку в зонах різких градієнтів тиску та прискорення. Доцільно було б обґрунтувати вибір цієї моделі або оцінити можливий вплив альтернативних моделей (наприклад, k-ω SST) на результати.

3. Отримані результати показують локалізацію мінімального тиску та максимальних швидкостей у горловині, однак бажано було б більш детально проаналізувати можливу наявність відривних зон у дифузорі або вплив градієнтів тиску на стабільність кавітаційної області. Такий аналіз дав би змогу глибше пояснити механізми формування та затухання кавітації.

4. Використаний параметр середньої об'ємної частки пари потребує уточнення фізичного змісту, оскільки його значення перевищує одиницю.

5. У розрахунках робочих режимів як карбонізатора, так і модуля гомогенізації потік розглядається як однофазний, що не враховує вплив двофазності (наявності газу або дисперсної фази) на густину, втрати тиску та реальні умови гідродинамічного впливу, що може впливати на точність отриманих результатів.

6. Порівняння з результатами інших дослідників носить обмежений характер і могло б бути розширене.

7. Подальших досліджень потребують питання довготривалої експлуатації запропонованих конструкцій, зокрема з урахуванням впливу кавітаційного зношування та зміни режимів роботи.

Зазначені зауваження мають рекомендаційний характер і не знижують загальної позитивної оцінки роботи.

Загальний висновок

Дисертаційна робота Вітенька Дмитра Олеговича є завершеним науковим дослідженням, у якому отримано обґрунтовані та достовірні результати, що мають наукову новизну і практичне значення.

Робота відповідає вимогам до дисертацій на здобуття ступеня доктора філософії, а її зміст відповідає спеціальності 133 «Галузеве машинобудування».

Вважаю, що здобувач заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за зазначеною спеціальністю.

Професор кафедри хімічної інженерії
Національного університету
«Львівська політехніка»
д.т.н., професор

Володимир АТАМАНЮК

Підпис професора Атаманюка В.М.

ЗАСВІДЧУЮ:

Вчений секретар Національного університету
«Львівська політехніка»

Роман БРИЛИНСЬКИЙ

