

ВИСНОВОК

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації
ВІТЕНЬКА Дмитра Олеговича здобувача ступеня доктора філософії з галузі знань 13
Механічна інженерія за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування на тему
«Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання
гідродинамічних параметрів потоку»

Науковий керівник: к.т.н., доцент, доцент кафедри обладнання харчових технологій
ЗВАРИЧ Наталя Миколаївна.

Ким і коли затверджена тема дисертації

Тема дисертаційної роботи ВІТЕНЬКА Д. О. «Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання гідродинамічних параметрів потоку» на здобуття ступеня доктора філософії затверджена 13 вересня 2022 року на засіданні вченої ради Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 8; уточнена 19 червня 2025 року на засіданні вченої ради Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, протокол № 7.

1. Актуальність теми дисертації та її зв'язок з державними програмами, науковими напрямками університету та кафедри

Статичні кавітаційні апарати, які характеризуються простотою конструкції, високою надійністю та енергоефективністю, широко використовуються в харчовій, хімічній, фармацевтичній та нафтопереробній промисловості для інтенсифікації гідромеханічних, масообмінних та хімічних процесів. Інтенсивність кавітаційного впливу на технологічне середовище у таких апаратах залежить від особливостей гідродинаміки, яка визначається геометрією внутрішнього каналу, конфігурацією локальних конструктивних елементів і шорсткістю поверхонь. Гідродинамічні параметри та властивості робочого середовища також суттєво впливають на вибір та обґрунтування конфігурації апарату. Тому конструктивне вдосконалення гідродинамічних кавітаційних апаратів на основі аналізу гідродинаміки є актуальним, своєчасним і необхідним завданням. У цьому контексті застосування CFD-моделювання дозволяє оцінити особливості розподілу тисків і швидкостей у робочому об'ємі, локалізацію та протяжність кавітаційних зон, гідравлічні втрати та інтегральні характеристики двофазності, що є необхідним для порівняння розроблених модифікацій апарата за співвідношенням ефект-енерговитрати.

Тематика дисертації відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки України, зокрема «Енергетика та енергоефективність» і «Рациональне природокористування», оскільки спрямована на підвищення енергоефективності керованої гідродинамічної обробки рідин та має прикладне значення для обробки технологічних середовищ та технологій водопідготовки.

2. Формулювання наукового завдання, нове розв'язання якого отримано в дисертації

В дисертації вирішено нове науково-практичне завдання удосконалення конструкції кавітаційного апарата статичного типу на основі результатів чисельного моделювання гідродинамічних параметрів потоку з метою підвищення інтенсивності та енергоефективності кавітаційної обробки технологічних середовищ.

3. Наукові положення, розроблені особисто дисертантом та їх новизна, особистий внесок здобувача в отриманні наукових результатів

Основні наукові та прикладні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно. Постановку завдань, аналіз і узагальнення результатів виконано спільно з науковим керівником.

На основі аналізу існуючих кавітаційних апаратів здобувачем запропоновано раціональну геометрію основного конструктивного елемента апарата - труби Вентурі та обґрунтовано конструктивні особливості вставних елементів (обтічник, усічений конус, шнек). Запропоноване

удосконалення конструкції дозволило забезпечити стабільну кавітацію, раціональні витрати енергії та керованість інтенсивністю процесу обробки технологічних середовищ.

Здобувачем розроблено тривимірні (3D) геометричні моделі удосконаленого кавітаційного апарата та його модифікацій зі змінними вставками, сформовано постановку початкових умов та припущень розрахункової задачі та виконано чисельні розрахунки у CFD-середовищі з використанням моделі турбулентності та гомогенної рівноважної моделі, що дозволило розрахувати розподіли тисків, швидкостей, об'ємної частки пари для запропонованих конфігурацій апарата та досліджуваних режимів роботи.

На етапі практичних досліджень здобувачем було спроектовано та виготовлено експериментальний зразок кавітаційного апарата та конструктивні елементи, що необхідні для модифікацій. Для перевірки адекватності результатів CFD моделювання гідродинаміки здобувач змонтував експериментальний стенд з можливістю вимірювання витрати та тиску в апараті та провів експериментальні дослідження, фото та відеозйомку що дало можливість проаналізувати результати чисельних розрахунків щодо інтенсивності кавітаційних ефектів та протяжності активної ділянки.

На етапі експериментального порівняння ефективності досліджуваних конфігурацій апарата здобувач провів серію експериментальних досліджень щодо можливості гомогенізації жирової фази молока та зміни рН і електропровідності дистильованої води як факторів оцінки механічного та фізико-хімічного впливу кавітаційних ефектів на технологічне середовище для різних модифікацій апарата. На основі узагальнення отриманих результатів було рекомендовано застосування досліджуваних конфігурацій апарата у технологічних процесах залежно від необхідної інтенсивності впливу на робоче середовище.

Здобувачем також було розроблено проєктні пропозиції щодо удосконалення вузла карбонізації лінії солодких напоїв для Тернопільської пивоварні "Опілля". Проєктний розрахунок карбонізатора та результати чисельного моделювання були передані на виробництво і впроваджені. Також здобувач розробив пропозиції для невеликих ферм щодо застосування модульної кавітаційної установки, яка дозволяє проводити попередню обробку молока. Всі запропоновані конструктивні і проєктні рішення підтверджені виконаними розрахунками. На конструктивні рішення отримано патенти України на корисні моделі, а експериментальний зразок апарата використовується у освітньому процесі ТНТУ.

Дисертаційна робота є результатом самостійного дослідження. Теоретичні обґрунтування, технічні рішення, висновки та рекомендації, що наведено в роботі, отримано автором самостійно.

4. Обґрунтованість та достовірність наукових положень, отриманих результатів і запропонованих рішень, висновків та рекомендацій

Обґрунтованість наукових положень і достовірність результатів забезпечуються системним підходом до вирішення поставлених завдань, логічною послідовністю етапів роботи та використанням сучасних теоретичних, чисельних і експериментальних методів дослідження.

Теоретичні дослідження ґрунтувалися на положеннях гідромеханіки, теорії турбулентності та фізики кавітації. Вплив геометрії проточної частини оцінювали за результатами обчислювальної гідродинаміки із застосуванням моделі турбулентності $k-\varepsilon$ та однорідної рівноважної моделі суміші "рідина-пара" (НЕМ).

Експериментальні дослідження виконано з використанням рекомендованих у наукових джерелах та стандартних методик. Результати узагальнено методами порівняльного аналізу та статистичного опрацювання, а адекватність CFD-моделювання підтверджено шляхом зіставлення з експериментально визначеними перепадом тиску, витратою та візуальними ознаками двофазності.

Отримані здобувачем наукові результати, теоретичні закономірності й проєктні пропозиції пройшли апробацію на міжнародних наукових, науково-практичних та науково-технічних конференціях, а також обговорювались на наукових семінарах кафедри обладнання харчових

технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Таким чином, наукові положення, результати, висновки та рекомендації, викладені в дисертаційній роботі, є науково обґрунтованими, методично достовірними та практично значущими.

5. Ступінь новизни основних результатів дисертації порівняно з відомими дослідженнями аналогічного характеру

Наукова новизна отриманих результатів полягає у розвитку наукових підходів до кількісної оцінки двофазності в кавітаційних апаратах протічного типу на основі CFD-моделювання та інтегральних критеріїв, що забезпечують науково обґрунтований вибір конструктивних рішень за співвідношенням “ефект - енерговитрати”.

Вперше на основі CFD-моделювання гідродинаміки для досліджуваних конфігурацій апарата встановлено вплив конструктивних модифікацій внутрішнього каналу (зміна діаметра горловини, встановлення конусної або шнекової вставки) на параметри кавітаційної течії (максимальні швидкості, мінімальний тиск у зоні кавітації, об'ємну частку парової фази, протяжність кавітаційної ділянки, інтегральний об'єм парової фази), що дало змогу оцінити вплив геометричних особливостей проточної частини на інтенсивність кавітаційного процесу;

удосконалено методику порівняльного аналізу та вибору конструкцій кавітаційних апаратів шляхом введення інтегральних критеріїв, зокрема сумарного об'єму парової фази V_p як міри активності кавітації та показника кавітаційної ефективності η^* , що ілюструє співвідношення “ефект - енерговитрати”;

набули подальшого розвитку закономірності гідродинаміки в апаратах типу труби Вентурі, зокрема в частині оцінки локалізації двофазної структури через введені коефіцієнти $V_i(L)$ та $K_{лок}$, що дозволяє прогнозувати зони максимальної інтенсивності кавітаційної дії залежно від конфігурації каналу.

6. Використання результатів роботи

Практичне значення результатів дисертації полягає в розробленні конструкції статичного кавітаційного апарата з можливістю зміни геометрії проточної частини, методики розрахунку його гідродинамічних характеристик та інженерних рекомендацій щодо вибору раціональної конфігурації для різних технологічних застосувань. За результатами дисертаційного дослідження здобувачем отримано такі практичні результати:

1. Розроблено практичні рекомендації щодо вибору модифікації апарата за критеріями інтегральної двофазності та питомої енергоефективності, що забезпечує інженерно обґрунтоване порівняння конструкцій.

2. З врахуванням особливостей гідродинаміки потоку в удосконаленому кавітаційному апараті обґрунтовано конфігурації вставок, які доцільно використовувати для проектування та вибору обладнання під задану продуктивність.

3. Запропоновано показник для оцінки ступеню диспергування молочного жиру з врахуванням кратності обробки, що забезпечує адекватність порівняння інтенсивності кавітаційного впливу на робоче середовище для різних конфігурацій апарата.

4. Запропоновано та обґрунтовано модульну компоновку системи гомогенізації молока для малих ферм з прив'язкою до режимних параметрів і тривалості обробки.

5. Розроблено проєктні пропозиції щодо удосконалення вузла карбонізації для Тернопільської пивоварні «Опілля», удосконалено конструкцію карбонізатора та виконано розрахункову оцінку економічної доцільності впровадження. Отримані результати наукових досліджень передано до Тернопільської пивоварні «Опілля» і впроваджено на лінії карбонізації солодких напоїв.

6. Технічні рішення щодо конструкцій апаратів зі змінними вставками захищено двома патентами України на корисні моделі, що підтверджує технічну новизну.

Матеріали дисертації, методики та експериментальний зразок апарата використовуються в освітньому процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя.

7. Повнота викладення матеріалів дисертації та особистий внесок здобувача до всіх наукових публікацій, опублікованих із співавторами та зарахованих за темою дисертації (відповідно до п. 8 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.)

1. Вітенько Д. О., Вітенько Т. М. Аналіз та порівняння гідродинаміки потоку у кавітаційних апаратах. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Т. 14, № 2. С. 1-15. DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-9. (Здобувач розробив 3D модель, виконав постановку моделі, провів розрахунки та експериментальні дослідження, підготував основний текст статті).

2. Вітенько Д. О. Зношування в гідродинамічних апаратах по типу труби Вентурі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2025. № 1(116). С. 48-55. DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-6.

3. Вітенько Д. О., Зварич Н. М. Гідродинамічні та кавітаційні характеристики статичних моделей апаратів зі змінною конфігурацією вхідного каналу. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2025. Т. 9, № 1(104). С. 7-82. DOI: [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1\(104\).318233](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1(104).318233) (Здобувач реалізував CFD моделі, провів аналіз результатів підготував текст статті).

4. Вітенько Д., Зварич Н. Оцінка енергоефективності гідродинамічного апарата. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 353, № 3.2. С. 365-369. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-353-51. URL: <https://heraldts.khmnu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1934>. (здобувач виконав дослідження та узагальнення результатів щодо процесу гомогенізації молока, зміни фізико-хімічних властивостей води під час кавітаційної обробки та розрахував енергетичні показники кавітаційного апарата і підготував текст публікації).

8. Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-практичних і науково-технічних конференціях, зокрема: Міжнародній науково-практичній конференції «Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики» (Тернопіль, 29-30 вересня 2022 р.); 89-й International Scientific Conference of Young Scientist and Students «Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution» (Kyiv, April 3-7, 2023); XII Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій» (Тернопіль, 6-7 грудня 2023 р.); XXVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці (Форум інженерів-механіків)», секція «Технічна гідромеханіка» (Київ, 2024); International Scientific-Technical Conference «Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies» (Ternopil, May 28-29, 2025).

9. Відповідність дисертації встановленим вимогам що передбачені пунктом 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти»

Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 149 найменувань і дев'яти додатків. Основні результати роботи викладено на 167 сторінках; у роботі наведено 75 рисунків і 19 таблиць. Загальний обсяг дисертації становить 233 сторінок.

Мова та стиль викладу є науковими, термінологія вжита коректно, матеріал подано логічно та послідовно від постановки задачі й методів до аналізу результатів, узагальнень і практичних рекомендацій.

Дисертаційна робота за змістом, структурою, рівнем обґрунтованості положень і практичною значущістю результатів відповідає чинним вимогам до кваліфікаційних наукових праць на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 “Галузеве машинобудування”, зокрема вимогам, передбаченим пунктом 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

10. Список публікацій за темою дисертації:

Публікації, які відображають основні наукові результати дисертації

1. Вітенько Д. О., Вітенько Т. М. Аналіз та порівняння гідродинаміки потоку у кавітаційних апаратах. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Т. 14, № 2. С. 1-15. DOI: 10.32782/2220-8674-2024-24-2-9. (Здобувач розробив 3D модель, виконав постановку моделі, провів розрахунки та експериментальні дослідження, підготував основний текст статті).

2. Вітенько Д. О. Зношування в гідродинамічних апаратах по типу труби Вентурі. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2025. № 1(116). С. 48-55. DOI: 10.37128/2306-8744-2025-1-6.

3. Вітенько Д. О., Зварич Н. М. Гідродинамічні та кавітаційні характеристики статичних моделей апаратів зі змінною конфігурацією вхідного каналу. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2025. Т. 9, № 1(104). С. 7-82. DOI: [https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1\(104\).318233](https://doi.org/10.20535/2521-1943.2025.9.1(104).318233) (Здобувач реалізував CFD моделі, провів аналіз результатів підготував текст статті).

4. Вітенько Д., Зварич Н. Оцінка енергоефективності гідродинамічного апарата. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Т. 353, № 3.2. С. 365-369. DOI: 10.31891/2307-5732-2025-353-51. URL: <https://heraldts.khmnpu.edu.ua/index.php/heraldts/article/view/1934>. (Здобувач виконав дослідження та узагальнення результатів щодо процесу гомогенізації молока, зміни фізико-хімічних властивостей води під час кавітаційної обробки та розрахував енергетичні показники кавітаційного апарата і підготував текст публікації).

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

5. Вітенько Д. О. Дослідження робочої ділянки кавітаційного модуля з активатором складної форми. *Процеси, машини та обладнання агропромислового виробництва: проблеми теорії та практики*: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., м. Тернопіль, 29-30 верес. 2022 р. Тернопіль, 2022. С. 62.

6. Вітенько Д. О., Зварич Н. М. Гідродинамічна кавітація в масообмінних процесах. Аналіз парогазової фази. *Актуальні задачі сучасних технологій*: матеріали XII Міжнар. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, м. Тернопіль, 6-7 груд. 2023 р. Тернопіль, 2023. С. 273-274 (Здобувач провів аналіз літератури, та виконав статистичну обробку експериментальних даних, підготував матеріали для публікації).

7. Vitenko D. O., Zvarych N. M., Vitenko T. M. Static Cavitation Module: A Numerical Modeling Approach. *Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution: book of abstracts. Part 2* : 89th International Scientific Conference of Young Scientist and Students, Kyiv, April 3-7, 2023 p. Kyiv : NUFT, 2023. P. 19 (Здобувач реалізував CFD модель та виконав перевірку на адекватність).

8. Вітенько Д. О. Порівняння гідродинамічних параметрів у кавітаційних апаратах з різними конфігураціями звужувальних каналів. *Гідроаеромеханіка в інженерній практиці (Форум інженерів-механіків)*: матеріали XXVIII Міжнар. наук.-техн. конф. Секція «Технічна гідромеханіка». Т. 28, № 1. Київ, 2024. С. 60-62.

9. Vitenko D. O., Vitenko T. M. Comparative analysis of energy consumption estimation methods for Venturi-type hydrodynamic apparatus. *Fundamental and Applied Problems of Modern Technologies*: proc. Int. Sci.-Tech. Conf. Ternopil, May 28-29, 2025. Ternopil : PE Palianytsia V. A., 2025. P. 117. (Modern technologies in machine and instrument engineering) (Здобувач виконав розрахунки енергетичних

показників для модифікації досліджуваного кавітаційного апарата, підготував матеріал для публікації).

Публікації, які додатково відображають результати дисертації

10. Кавітаційний змішувач: пат. 160839 Україна: МПК В01F23/00, № u202406247; заявл. 27.12.2024; опубл. 15.10.2025, Бюл. № 42/2025. 4 с. (Здобувач запропонував геометрію труби Вентурі та вставки, виконав креслення моделі).

11. Кавітаційний апарат: пат. 160838, Україна, МПК В01F 23/00, № u202406241; заявл. 27.12.2024; опубл. 15.10.2025; Бюл. № 42/2025. 4 с. (Здобувач розробив геометрію конусної вставки та виконав креслення і розрахунки).

11. Заслухавши та обговоривши доповідь ВІТЕНЬКА Дмитра Олеговича, а також за результатами попередньої експертизи представленої дисертації на засіданні наукового фахового міжкафедрального семінару, прийнято висновок щодо дисертації «Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання гідродинамічних параметрів потоку»:

1. Дисертація ВІТЕНЬКА Дмитра Олеговича «Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання гідродинамічних параметрів потоку» є завершеною науковою працею, у якій розв'язано конкретне науково-практичне завдання удосконалення конструкції кавітаційного апарата статичного типу на основі результатів чисельного моделювання гідродинамічних параметрів потоку з метою підвищення інтенсивності та енергоефективності кавітаційної обробки технологічних середовищ, що має важливе значення для галузі знань 13 Механічна інженерія.

2. Основні результати дисертаційної роботи відображено у 11 публікаціях, з них: 4 статті у фахових виданнях, 5 тез доповідей і 2 патента України на корисну модель.

3. Дисертація ВІТЕНЬКА Дмитра Олеговича на тему «Удосконалення конструкції кавітаційного апарата за результатами моделювання гідродинамічних параметрів потоку» має наукову новизну, теоретичне та практичне значення і повністю відповідає вимогам п. 6 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

З урахуванням викладеного, наукової новизни та практичної цінності отриманих результатів, дисертаційну роботу можна рекомендувати до подання на розгляд і захист у разовій спеціалізованій вченій раді за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування».

Голова засідання:
доцент кафедри обладнання харчових
технологій, к.т.н., доцент

Оксана ПИЛИПЕЦЬ

Рецензент:
доцент кафедри обладнання харчових
технологій, к.т.н., доцент

Олег КРАВЕЦЬ

Підпис рецензента к.т.н., доцента Олега КРАВЦЯ засвідчую:
Проректор з наукової роботи Тернопільського
національного технічного університету
імені Івана Пулюя, д.т.н., професор



Павло МАРУЩАК