

Голові спеціалізованої вченої ради  
ДФ 70.052.014  
Хмельницького національного університету  
доктору технічних наук, доценту  
Харжевському В'ячеславу Олександровичу  
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 11

**ВІДГУК  
ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

на дисертаційну роботу Костюка Назара Олеговича «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води», подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 133 – Прикладна механіка

**1. Актуальність теми та зв'язок з науковими планами і програмами**

На теперішній час для знезаражування та зміни властивостей води з метою покращення її якості застосовують вібраційні гідромеханічні машини та пристрої. Для видозміни структури та покращення властивостей рідинних субстанцій (РС), що оброблюються, широко використовують явище кавітації, яке стало доволі потужним засобом енергетичного впливу на оброблюване середовище і яке активно застосовують у промисловості.

За останній період з'явився новий напрям – створення вібраційного обладнання для обробки води кавітацією, яке забезпечує надання воді нових властивостей і її знезараження. Однак цим установкам властиві деякі недоліки – незначний час одноразового перебування рідини в стані виникнення кавітаційної зони. Для збільшення кратності оброблення створено ряд вібраційних машин поршневого типу з ексцентриковим приводом для кавітаційної обробки води, з метою знезараження і зміни її властивостей, у яких вода піддається багаторазовому зворотно-поступальному проходженню (циклічної гідрокавітації) через отвір в поршні. Застосування такого приводу дає можливість здійснювати жорстке кероване вплив на процес виникнення кавітаційних порожнин з утворенням кавітаційних бульбашок шляхом підбору конструктивних параметрів машини і режимів роботи приводу.

Створення нових конструкцій вібраційних машин та обґрунтування їх конструктивних параметрів і режимів роботи приводу, в яких рідина виступає як об'єкт, що піддається керованим вібраційним впливом та дослідження динаміки знезараження водного середовища з використанням кавітації при коливаннях рідини, є актуальним науково-технічним завданням, а дисертаційна робота Костюка Назара Олеговича присвячена дослідженню та розробленню вібраційного



обладнання для кавітаційного знезаражування і зміни властивостей води з визначенням його конструктивних параметрів і раціональних режимів роботи приводу, є актуальною.

Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до державних і науково-технічних програм за пріоритетними напрямами розвитку науки та техніки України та відповідає положенням Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09. 2011 р. № 3715-VI та постанови Кабінету Міністрів України від 28.12.2016 р. №1056 «Деякі питання визначення середньострокових пріоритетних напрямів інноваційної діяльності галузевого рівня на 2017-2021 рр.».

Дисертаційна робота виконана у відповідності з планом кафедри технології машинобудування та тематиці держбюджетної теми «Обґрунтування конструктивних параметрів, режимів роботи приводу та дослідження працездатності вібраційної машини для знезаражування і зміни властивостей води» (№ державної реєстрації 0120U101484) де здобувач приймав участь у якості безпосереднього виконавця роботи, а також в рамках науково-дослідних робіт Хмельницького національного університету.

## **2. Аналіз змісту дисертації. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертації**

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, як містить анотацію, зміст, вступ, чотири розділи, висновки, список використаних джерел та додатки.

У вступі наведена загальна характеристика роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, розкритий зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, сформульована мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, вказана наукова новизна та практичне значення одержаних результатів, визначений особистий внесок здобувача, наведені дані про апробацію, публікації, структуру та обсяг роботи.

У *першому* розділі здійснено системний аналіз методів знезаражування водних потоків, сучасних конструкцій машин та обладнання для знезаражування та зміни властивостей води, приведено порівняльний аналіз типів їхніх вібраційних приводів та обґрунтовано вибір ексцентрикового приводу для запропонованої машини.

Проведений аналіз стану наукових досліджень застосування вібраційних технологій у процесах знезаражування та зміни властивостей води показав, що кавітаційна обробка рідин, має різноманітні технологічні можливості в біологічному знезаражуванні води, а також у напрямі створення конструкцій вібраційних машин, що реалізують її можливості, спроможних органічно поєднати ефективність способів збурення кавітації.

Аналіз сучасних конструкцій обладнання та машин для кавітаційного впливу на рідинне середовище показав переваги і недоліки різних конструкцій обладнання і вібраційних приводів.

При аналізі експериментальних досліджень кавітації в низькочастотних звукових полях була виявлена аналогія з фізико-хімічними ефектами між низькочастотній і ультразвуковій кавітації, а основними параметрами, які впливають на інтенсивність процесу є значення максимального тиску  $P_{max}$  в порожнині бульбашки та значення частотного характеру коливань рідини.

Результати аналізу літературних джерел і патентного огляду дали можливість сформулювати мету та задачі для досягнення поставленої мети.

У другому розділі описана загальна методологія досліджень, проведених в роботі, що базується на застосуванні системного підходу для вирішення поставленого науково-технічного завдання.

У процесі виконання дисертаційного дослідження розроблено оригінальну установку для моделювання фізичних процесів, що проходять у вібраційній машині для знезаражування та зміни властивостей води та установку для фотофіксації процесів, які проходять у камері пульсації вібраційної машини. Описані прилади та їх характеристики, які застосовуються для проведення вимірювань параметрів, що контролюються.

Приведена методика запропонованого способу фіксації зміни властивостей водних потоків після оброблення у вібраційній машині для знезаражування та зміни властивостей води та методика визначення ступеня знезаражування водних потоків після вібраційної кавітації.

У третьому розділі представлено аналітичну модель коливального процесу робочого середовища у вібраційній машині та отримано рівняння залежності максимального тиску у камері пульсації від конструктивних параметрів та режимів роботи приводу машини.

У результаті проведених експериментальних досліджень сили удару струменю з отвору у поршні, встановлено залежності впливу амплітуди та частоти на силу удару струменя в камері пульсації розміром 0,1 м. За умови збереження максимального переміщення водного середовища у ємкості машини та продуктивності рекомендовано використовувати амплітуду коливань 0,002 м.

З аналізу величини максимального тиску у камері пульсації при ході поршня вверх встановлено, що тиск досягає величини 0,0048 МПа і значно менше тиску насичених парів 0,0012 МПа (при даних умовах) тому можна зробити висновок, що отримано першу стадію кавітації – газову.

Результати досліджень по візуалізації процесу зворотно-поступального протікання рідини крізь отвір у поршні показали, що вже при незначних частотах його коливань від 10 Гц проявляється ефект появи кавітаційних каверн у отворі,

кавітаційного росту та сплескування парогазових пухирців у камері пульсації вібраційної машини.

З аналізу експериментальних та аналітичних витрат енергії приводу вібраційної машини поршневого типу встановлено напрями розподілу витрат потужності приводу машини при зміні частоти коливань приводу за основними видами: механічні, теплові та кавітаційні реакції. Отримані залежності витрат потужності привода робочого органа вібраційної машини для знезаражування води від частоти коливання поршня показали, що енерговитрати на процес знезаражування та зміни властивостей потребують від 100 до 175 Вт, що говорить про енергощадність в порівнянні з іншими видами обладнання, призначеного для знезаражування.

Експериментальні та аналітичні дослідження підтвердили можливість проходження кавітаційних хімічних реакцій та зміни складу водного середовища при використанні вібраційної машини поршневого типу. Отримані результати можуть бути враховані при розробленні технологій та конструкцій вібраційного обладнання для очищення стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів тощо.

У четвертому розділі розглянуто працездатність вібраційної машини для знезаражування та зміни властивостей води та запропоновано методику проектного розрахунку основних вузлів вібраційної машини.

*Висновки* по роботі сформульовані чітко, вони повністю висвітлюють отримані в роботі результати. За своїм рівнем висновки відповідають вимогам, які висуваються до результатів дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

*Список літератури* достатньо повно охоплює предметну галузь та відображає опрацювання автором значної кількості патентних матеріалів та іноземних джерел.

*Додатки* до роботи містять список публікацій здобувача, акти впровадженнь результатів дисертації та матеріали досліджень, що не увійшли в основну частину роботи.

Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи Костюка Назара Олеговича обґрунтовані коректним використанням математичного апарату, підкріплені успішною реалізацією технології кавітаційного знезаражування у конструкціях вібраційних машин, практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень, яке продемонструвало збігання теоретичних досліджень з реальними результатами.

Наукові положення, висновки та рекомендації, сформульовані в дисертації, логічно випливають із результатів, отриманих за допомогою чітких викладок з коректним використанням принципів системного аналізу, методів аналізу та

моделювання процесів, принципів побудови баз знань та формування логічного висновку.

Відзначаю, що наукові положення та рекомендації висновків до розділів дисертаційної роботи (с. 66-68, с. 73, с. 108-109, с. 135-136) та загальних висновків до дисертаційної роботи (с. 137-140) сформульовано науково обґрунтовано і логічно за результатами аналізу, узагальнення відомих та отриманих результатів, теоретичних та експериментальних досліджень.

### **3. Наукова новизна одержаних результатів**

До найбільш суттєвих і науково нових результатів дисертаційної роботи, на мою думку, можна віднести:

- *вперше* побудовано аналітичну модель коливального процесу робочого середовища у вібраційній машині поршневого типу та отримано рівняння залежності максимального тиску у камері пульсації від конструктивних параметрів та режимів роботи приводу машини;

- *вперше* запропоновано критерій оптимальності параметра максимальної продуктивності вібраційної машини поршневого типу, а саме: наявності максимального тиску робочого тіла у камері пульсації при максимальному тиску рідини на виході з отвору у поршні ;

- *вперше* експериментально обґрунтовано раціональні частотні границі роботи вібраційного приводу машини, які лежать у межах від 18 до 23Гц при амплітуді коливань 0,002м, та визначено співвідношення її конструктивних параметрів: при діаметрі поршня 0,1м рекомендовано застосовувати діаметр отвору у поршні від 0,006 до 0,008 м.;

- *одержав подальшого розвитку* метод оцінки зміни основних властивостей води та експериментальне підтвердження, що кавітаційні процеси у вібраційній машині поршневого типу покращують основні характеристики водного середовища, а саме зростає рН, зменшується коефіцієнт поверхневого натягу, зменшується вміст сольових домішок.

- *експериментально досліджено* процес інактивації патогенної флори води вібраційною кавітаційною обробкою та встановлено зниження росту колоній бактерій до 80%.

Вважаю, що наукові результати здобувача є вагомим внеском у розвиток створення, теоретичного обґрунтування та експериментальному дослідженні нового різновиду вібраційних машин поршневого типу для кавітаційного знезаражування та зміни властивостей водного середовища.

**4.** Достовірність отриманих результатів забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертаційного дослідження, які розв'язуються послідовно та аргументовано. Достовірність наукових положень,

висновків та рекомендацій підтверджується відповідністю методології дослідження поставленої науково-технічної задачі, повнотою розгляду на теоретичному та експериментальному рівнях об'єкта дослідження, застосуванням комплексу методів, адекватних предмету дослідження.

Формування аналітичних залежностей для встановлення параметрів вібраційної машини здійснювалось шляхом розв'язування системи диференціальних рівнянь за умови, що перехідні процеси пройшли і рух встановлений.

Дослідження динаміки робочого тіла у робочому органі здійснювалися шляхом фізичного і математичного моделювання динамічної системи руху робочого тіла на основі положень теорії математичного моделювання і математичної статистики, теорії коливань, гідромеханіки із застосуванням обчислювальної техніки.

Експериментальні дослідження динамічних та кінематичних характеристик руху робочого тіла в обладнанні проведено на спеціально розроблених експериментальних установках з використанням тензометричних засобів реєстрування даних вимірювань.

Достовірність теоретичних положень роботи підтверджена результатами експериментальних досліджень динамічних характеристик вібраційної машини і практикою працездатності використання виконаних розробок.

Достовірність результатів базується на обґрунтованості припущень, результатах експериментальних досліджень, правильному аналізу отриманих результатів, а також на успішній їх апробації на науково-технічних конференціях.

## **5. Практична цінність одержаних результатів та рекомендації щодо їх подальшого використання**

Результати виконаних теоретичних і експериментальних досліджень реалізовані в нових технічних рішеннях і конструкціях вібраційних машин, що захищені патентами на корисні моделі України (№126495, №140291). При цьому найбільшу практичну цінність мають наступні одержані результати:

1) розроблено концепцію побудови та методику інженерних розрахунків вібраційної машини поршневого типу для знезаражування і зміни властивостей РС, завдяки якій інженери та науковці, які працюють у цій галузі, матимуть можливість впроваджувати у виробництво високоефективні та надійні зразки вібраційних машин.

2) запропоновано нові співвідношення конструктивних параметрів вібраційної машини поршневого типу та визначено раціональні частотні границі роботи вібраційного ексцентрикового приводу машини;

3) для визначення та оцінки змін властивостей води запропоновано спосіб кристалооптичного аналізу структурної будови РС та ступеню її активації (пат.

України № 128630), який дає можливість оперативно оцінювати енергетичний стан води та зміну її основних показників.

4) технологію кавітаційної обробки водних середовищ низькочастотними коливаннями, конструктивні схеми вібраційних машин, оптимальні співвідношення конструктивних параметрів та рекомендації по вибору раціональних режимів роботи приводу передано Хмельницькому НДЕКЦ та Надвірнянському «Коопзаготпромторг» до впровадження.

5) наукові положення та практичні здобутки, отримані в дисертаційному дослідженні, впроваджені у навчальний процес кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету для підготовки магістрів і докторів філософії у матеріалах методичних розробок при викладанні дисципліни «Інженерне моделювання та проектування технологічних процесів і конструкцій в машинобудуванні».

**6. Оформлення дисертації, дотримання вимог академічної доброчесності та повнота викладу наукових положень та результатів в опублікованих працях**

Повний обсяг роботи становить 167сторінок друкованого тексту, з них анотація - на 17 стор., зміст - на 3 стор., основний текст - на 122 стор., список із 114 використаних джерел - на 14 стор., додатки - на 14 стор. Оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Проведено перевірку дисертації на наявність академічного плагіату, отримані результати свідчать про високу індивідуальність роботи. По всьому тексту дисертації простежується авторський стиль. У дисертації не виявлено текстових запозичень і використання наукових результатів інших науковців без посилань на відповідні джерела.

Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані в необхідному обсязі у фахових наукових виданнях України та закордонних виданнях, пройшли відповідну апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях. Основні результати дисертації опубліковані у 17 наукових працях (одна з яких опублікована у закордонному періодичному виданні, що входить до міжнародної науково-метричної бази даних Scopus), у тому числі 4 статті у фахових виданнях України, що входять до переліку ДАК, одна стаття, що додатково відображає наукові результати дисертації, 8 публікацій апробаційного характеру у матеріалах та тезах конференцій, одержано 3 патенти України на корисні моделі України. Вимоги щодо кількості та якості публікацій виконано. Вимогам п.11 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167 (із змінами) відповідає 6 публікацій.

## 7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи

1. На сторінці 47 дисертаційної роботи у виразі (1.10), який визначає аналітичне рішення диференційного рівняння (1.9), з'являється, але неписаний параметр  $R_{\max}$ . Що це за параметр і що він обумовлює?

2. На сторінці 87 дисертаційної роботи у виразі (3.2) і його описанні коефіцієнт урахування звуження потоку позначено різними літерами.

3. На сторінці 93 дисертант вказує «... Встановлено, що зі збільшенням частоти до 13 Гц максимальний тиск в робочому органі падає до 0,05 МПа, а при подальшому зростанні частоти коливань приводу тиск в робочому органі стабілізується на величині 0,04 МПа...». Тобто тиск стабілізується на рівні меншому ніж рівень падіння?

4. На сторінці 94 дисертант вказує «...рекомендується вибирати раціональний діапазон частот коливань робочого органу вібраційного машини в межах від 18 до 23 Гц...». Яким чином можна досягти таких частот коливань робочого органу використовуючи прямий механічний привід, що базується на двигунах з постійною частотою обертання  $n = 600, 700, 750...$  і т.д об/хв.

5. На сторінці 95 дисертант вказує «...Провівши експериментальні дослідження по визначенню максимального тиску за період коливання на виході з отвору у поршні було отримано осцилограми ...». Потребує додаткових пояснень яким чином, та за допомогою якого обладнання отримані експериментальні данні такого роду.

6. На сторінці 120 дисертаційної роботи вказано « ... Найменший розмір стінки ексцентрика, з точки зору технологічності виготовлення...». Виникає питання, про які саме технологічні особливості виготовлення йде мова? Можливе використання іншого критерію, наприклад пов'язаного з міцністю?

7. На сторінці 120 дисертаційної роботи вказано « ...Для поршня діаметром від 100 до 120 мм рекомендується вибирати діаметр повзуна від 10 до 12 мм...». Виникає питання, а чому неможливо обрати діаметр повзуна від 9 до 13 мм, на чому ґрунтуються ці рекомендації і ким вони визначені?

8. Враховуючи рекомендації про змащування вузла повзун-втулка (стор.120) та схему вібраційної машини на рис. 4.2 (стор. 132) - виникає питання про те, яким чином дисертант планує контролювати та запобігати виток мастильного матеріалу з шатунного вузла до камери пульсації, оскільки запропоновані гумові кільця, при наведених режимах роботи, будуть мати значний знос.

9. В таблиці 4.1 на сторінці 133 дисертаційної роботи дисертант наводить параметри машини з продуктивністю знезаражування 40 л/год. Вважаю, що треба визначитись - які етапи, рекомендації та висновки з проведених досліджень, дозволяють спроектувати машини меншої чи більшої продуктивності.



10. З наведеного на сторінці 134 пункту 6 послідовності проектування «...Створюється 3-D модель вібраційної машини у програмному продукті SolidWorks, з якої легко отримати робочі креслення деталей...» виникає питання, чому потрібно використовувати саме цей програмний CAD продукт.

11. У висновках по розділу 4, пункт 4 сторінка 135 вказано, «...встановлено величини силових та конструктивних параметрів компенсаційної пружної системи вібраційної машини, а саме: жорсткості пружної системи  $C_x$  та її здатності до демпфування  $k_x$ ...» які «... можуть бути використані у подальшому при конструюванні та розрахунках основних параметрів, вибору режимів роботи приводу вібраційної машини...». Але такий підхід доцільний для проектування подібної машини. Яким чином визначати ці показники у випадку, коли виникла деяка конструктивна зміна (наприклад, за технологічними міркуваннями) що у свою чергу обумовила зміну масо-габаритних показників складових цього пристрою?

12. Зважаючи на те, що кавітація уявляє собою одну з основних причин можливих пошкоджень елементів запропонованого пристрою у вигляді кавітаційної ерозії (у основному це стосується поршневої групи та камери пульсації) цікаво дізнатися думки дисертанту з приводу того, як цьому запобігти.

13. Пункт 9 загальних висновків на сторінці 138 про «...про енергоощадність в порівнянні з іншими видами обладнання, призначеного для знезаражування...» у такій редакції на мій погляд є дуже суперечливий, оскільки не вказано про який об'єм рідини йдеться. Відомо, що обладнання хімічного знезаражування рідини, при значних її об'ємах, має незначну енерговитрату.

14. Пункт 11 загальних висновків на сторінці 138 «...Експериментально досліджено процес інактивації патогенної флори води вібраційною кавітаційною обробкою та встановлено зниження росту колоній бактерій до 80%...» потребує додаткових пояснень. Яким чином, за допомогою запропонованого пристрою, можливо знизити ріст колоній бактерій більш ніж 80%? Чи можливо це в загалі?

Однак зазначені зауваження не є принциповими, істотно не впливають на зміст дисертаційної роботи та не знижують її наукової та практичної цінності.

## **8. Висновки**

Представлена дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, яка містить нові науково обґрунтовані результати. У дисертації розв'язано актуальну науково-прикладну задачу створення нових конструкцій вібраційних машин для кавітаційного знезаражування і зміни властивостей води з обґрунтуванням їх конструктивних параметрів і раціональних режимів роботи приводу та створенню методики їх розрахунків.

Одержані наукові та практичні результати є значущими для галузі Механічна інженерія у розвитку проектування та створення нових вібраційних машин. Тема і зміст дисертації відповідають спеціальності 131 – Прикладна механіка.

Отже, з огляду на актуальність теми дисертації, обґрунтованість наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх новизну та практичну цінність, повноту викладу в наукових публікаціях, відсутність порушень академічної доброчесності, вважаю, що дисертація цілком відповідає вимогам пп. 9-12 Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 06 березня 2019 року №167 (із змінами), а її автор, Костюк Назар Олегович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка.

Офіційний опонент – доктор технічних наук,  
професор, професор кафедри інформаційних  
технологій проектування та дизайну,  
інституту промислових технологій,  
дизайну та менеджменту  
Державного університету «Одеська політехніка»

 I.I. Сидоренко

Підпис професора Сидоренка І.І. засвідчую

  


