

Голові спеціалізованої вченої  
ради ДФ 70.052.021  
Хмельницького національного  
університету  
доктору технічних наук,  
професору В'ячеславу  
ХАРЖЕВСЬКОМУ 29016,  
м. Хмельницький,  
вул. Інститутська, 11

### **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

на дисертаційну роботу Старого Андрія Романовича «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для очищення та мийки деталей при ремонті» подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 131 – Прикладна механіка

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

На поверхні деталей і складальних вузлів в процесі їх виготовлення, експлуатації машин і устаткування утворюються технологічні та виробничі забруднення. Якісне очищення об'єктів від забруднень досягається комплексним фізико-хімічним і механічним впливом на нього, перше забезпечується використанням хімічних речовин, що впливають на забруднення, а друге – використанням механічної енергії впливу на забруднення (скребки, щітки, струмені рідини, струмені абразиву). Для забезпечення належної чистоти і якості поверхні деталей машин розроблено ряд процесів з використанням механічної дії. Частина спеціального обладнання, яке виготовляється для миття для очищення деталей досить висока. Задовольнити потреби промисловості в цьому плані можливо за рахунок впровадження очисних та мийних машин, побудованих на агрегатній і модульній елементній базі, які не поступаються подібним, спеціальним і забезпечують високу уніфікацію і гнучкість.

Найбільш перспективними і поширеними з існуючих на сьогоднішній



день технологій очищення та миття об'єктів є технології з використанням водяних струменів високого тиску. Останнім часом зростання ефективності очищення машин при використанні технологій струминного очищення досягається за рахунок збільшення кінетичної енергії струменя шляхом підвищення тиску подачі миючої рідини або додаванням до неї абразивного матеріалу.

Створення вібраційної машини для очистки та мийки деталей з обґрунтуванням її конструктивних параметрів і визначенням режимів роботи її приводу є актуальною науково-технічною задачею.

Дисертаційна робота пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку науки та техніки України, відповідає Закону України «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні» від 08.09. 2011р. № 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.».

Здобувач Старий А.Р. приймав участь у виконанні науково-дослідної роботи 0121U110967 «Обґрунтування конструктивних параметрів, режимів роботи вібраційної машини для очистки та мийки деталей і дослідження її працездатності», результати його власних досліджень стали основою даної науково-дослідної роботи.

Дисертаційна робота виконана в рамках наукового напрямку кафедри технології машинобудування Хмельницького національного університету.

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

Дисертація містить анотацію, зміст, вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. Представлена робота є завершеною науково-дослідною роботою.

---

**У вступі** представлена загальна характеристика роботи, наведено актуальність теми роботи, зв'язок роботи з науковими програмами, планами та темами, мета, завдання, об'єкт та предмет дослідження, перераховані пункти наукової новизни та практичного значення результатів, зазначено особистий внесок здобувача, а також дані про апробацію, перелік публікацій за темою дисертації, зазначена структура та обсяг роботи.

**У першому** розділі проведено аналіз природи виникнення забруднень на поверхні деталей машин на різних етапах виготовлення та ремонту деталей, проведено аналіз та класифікацію методів мийки та очистки забруднень деталей машин сильно та слабо зв'язаних з поверхнею, сучасних конструкцій машин і обладнання для мийки та очистки.

Проведено аналіз сучасного стану наукових досліджень та конструктивних рішень застосування вібраційних технологій у процесах очистки та мийки. Встановлено, що останній час знаходить широке застосування мийка забруднень поверхонь зануреними потоками рідини з кавітаційними пухирцями та очистка забруднень поверхонь потоком рідини з твердими частинками. Отже, виникає доцільність у поглибленому вивченні та дослідженнях технологічних можливостей мийки та очистки зануреними двофазними потоками рідини та створення нових конструкцій вібраційних машин.

З аналізу результатів досліджень процесу мийки та очистки, які були отримані науковцями попередньо, було встановлено, що основними параметрами, які впливають на процес мийки та очистки є отримання максимального тиску та швидкості зануреного пульсуючого струменя рідини. Це призводить до збільшення нормальних та дотичних напружень у забрудненні та дозволяє збільшити продуктивність процесу очистки та мийки.

**У другому** розділі на основі визначених основних фізичних

---



факторів, що діють на забруднення було побудовано аналітичну модель руху рідини у насадку вібраційної машини для мийки забруднень з урахуванням гідродару та побудовано аналітичну модель руху рідини у насадку вібраційної машини для очистки забруднень з визначенням його амплітудо-частотної характеристики.

Для модуля очистки побудовано аналітичну модель роботи сопла-ежектора з обґрунтуванням його конструктивних параметрів.

З аналізу попередніх досліджень встановлено вплив різних параметрів вібраційної машини на продуктивність очистки пульсуючим струменем рідини з твердими частинками та побудована аналітична залежність продуктивності очистки від режимів роботи вібраційної машини.

У **третьому** розділі наведена загальна методологія досліджень. У процесі виконання дисертаційного дослідження розроблено ряд експериментальних установок та конструкцію оригінального датчика датчика вимірювання пульсуючого тиску.

Приведено методику для проведення багатфакторного експерименту по визначенню динамічних характеристик для модуля мийки від його конструктивних параметрів та режимів роботи приводу. Надано особливості розрахунку у SOLIDWORKS конструктивних елементів приводу вібраційної машини.

У **четвертому** розділі автором продемонстровано результати експериментальних досліджень візуалізації процесу виникнення пульсуючого зануреного струменя рідини у модулі пульсації вібраційної машини. Встановлено, що вже при частотах коливань приводу від 8 Гц проявляється ефект кавітаційного росту та сплескування пухирців у камері пульсації та викидання крізь насадок пульсуючого зануреного струменя газорідинної суміші.

Отримані результати залежності максимального тиску пульсуючого струменя від параметрів коливань приводу у вигляді регресії за

---

допомогою багатофакторного експериментального дослідження.

Наведені результати дослідження процесу очистки поверхонь деталей зануреним пульсуючим струменем рідини з твердими частинками підтвердили механізм зняття в'язкого забруднення за рахунок збільшення нормальних та дотичних напружень дії газорідної суміші на забруднення.

Встановлено, що збільшення кута атаки пульсуючого зануреного струменя з металевими кульками від  $90^0$  до  $125^0$  призводить до зростання продуктивності очистки, як фактор збільшення впливу дотичних напружень між кулькою та забрудненням.

Застосування зворотного клапану мембранного типу дозволяє отримати збільшення максимального тиску струменя рідини з насадку у два рази при частотах від 16 до 18 Гц, що веде до збільшення продуктивності очистки.

У п'ятому розділі наведена методика проєктування елементів вібраційної машини для очистки та мийки, проведено обґрунтування конструктивних параметрів основних її вузлів із застосуванням програмного продукту SOLIDWORKS.

**Висновки** по роботі сформульовані логічно, повністю відповідають результатам, наведеним в роботі. Наукове значення наведених висновків відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

**Список літератури** достатньо повно охоплює сучасні дослідження, як іноземних так українських дослідників.

**Додатки** до роботи містять список публікацій здобувача, акти впроваджень результатів дисертації, опис отриманого патенту на корисну модель та матеріали досліджень, що не увійшли в основну частину роботи.

Наукові положення, дисертаційної роботи Старого Андрія Романовича обґрунтовані використанням відповідного математичного

---

апарату, реалізацією технології очистки та мийки у розробленій конструкції вібраційної машини, практичним впровадженням результатів дисертаційних досліджень.

### 3. Наукова новизна одержаних результатів

В дисертаційній роботі отримано наступні науково-обґрунтовані результати, що представляють собою наукову новизну:

- отримано подальший розвиток побудови математичної моделі руху робочого тіла у насадку камери пульсації вібраційній машині, що описує його динаміку та отримано амплітудно-частотну характеристику з якої визначаються кінематичні і динамічні параметри зануреного пульсуючого струменя;

- отримав подальший розвиток аналітичного визначення продуктивності вібраційної машини для очистки та мийки пульсуючим зануреним струменем рідини з твердими частинками. Враховано особливості конструктивних параметрів машини та режимів роботи вібраційного приводу;

- експериментально визначені оптимальні, для отримання максимальної продуктивності, співвідношення конструктивних параметрів вібраційної машини та раціональні режими роботи її приводу модуля для очистки забруднень: частота коливань  $f$  від 16 до 18 Гц; амплітуда коливань  $A = 2$  мм при співвідношенні діаметра камери пульсації до діаметра насадка  $D/d = 10$ , а для модуля мийки забруднень:  $A = 2$  мм; частота коливань  $f$  від 13 до 14 Гц; амплітуда коливань  $A = 2$  мм при співвідношенні діаметра камери пульсації до діаметра насадка  $D/d = 10$ .

Отримані здобувачем наукові результати є суттєвим внеском у вирішення проблеми створення нового типу вібраційних машин для очистки та мийки забруднень деталей машин.

---

#### **4. Достовірність отриманих результатів і висновків**

Результати, отримані в дисертаційному дослідженні, є достовірними, що забезпечується коректною постановкою задачі, мети та завдань дисертації, висновків та рекомендацій і підтверджується відповідністю методології дослідження поставленої науково-технічної задачі, повнотою розгляду на теоретичному та експериментальному рівнях дослідження.

Встановлення аналітичних залежностей для визначення параметрів вібраційної машини проводилось шляхом коректного розв'язування системи диференціальних рівнянь – за умови, що перехідні процеси пройшли і рух встановлений на основі положень теорії математичного моделювання і математичної статистики, теорії коливань, гідромеханіки із застосуванням обчислювальної техніки.

Результати експериментальних досліджень динамічних характеристик вібраційної машини, а також підтверджується практикою використання виконаних розробок, також підтверджують достовірність отриманих положень роботи.

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

Результати теоретичних і експериментальних досліджень знайшли відображення у новому технічному рішенні – вібраційній машині для очистки забруднень зануреним пульсуючим потоком рідини з твердими частинками та мийки деталей пульсуючим струменем рідини з газовими пухирцями (патент на корисну модель України №132837). Практичне значення отриманих результатів для різних галузей машинобудування також полягає у створенні методики проектування вібраційних машин для очищення та миття деталей при їх виготовленні та ремонті у дрібносерійному та одиничному типах виробництва.



Результати виконаних досліджень та рекомендації з проектування машини прийнято до впровадження на підприємстві ТОВ «Ролада» (м. Львів) та ТДВ «Власта» (м. Львів).

Результати дисертаційного дослідження впроваджені також у навчальний процес Хмельницького національного університету, в рамках дисципліни «Технологічні методи забезпечення якості виробів» (кафедра технології машинобудування), а також впроваджені у навчальний процес підрозділу Львівського фахового коледжу індустрії моди Київського національного університету технологій та дизайну (дисципліни: «Технологія ремонту побутової техніки» та «Прикладна механіка», циклова комісія «Галузеве машинобудування»).

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

Робота складається з наступних елементів: анотація, зміст, вступ, п'ять розділів, загальні висновки, список використаних джерел та додатки. Обсяг роботи становить 210 сторінок тексту. Загалом, оформлення дисертації відповідає усім необхідним вимогам.

Перевірка дисертаційної роботи на наявність плагіату показала, що отримані результати свідчать про дотримання здобувачем норм академічної доброчесності.. Прикладів використання текстових запозичень та наукових результатів інших науковців, без посилань на відповідні джерела, не виявлено.

Усі основні положення та найбільш важливі результати дисертації, подані до захисту, опубліковані у відповідних фахових наукових виданнях, пройшли також апробацію на міжнародних науково-технічних конференціях.

Результати дисертаційних досліджень відображено у 13 працях, у яких повністю відображені основні результати дисертації, з них: одна



стаття у закордонних наукових періодичних виданнях; 4 статі у наукових фахових виданнях переліку МОН України; 3 статті у матеріалах конференцій та 4 тези доповідей, 1 патент на корисну модель України.

Кількість та зміст публікацій здобувача за тематикою дисертаційних досліджень відповідає встановленим вимогам.

## **7. Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи**

1. Констатую, що оглядова частина дисертації, яка викладена у розділі 1 перевищує 25% від загального об'єму дисертаційної роботи.

2. Потребує пояснення ілюстрація «зворотної пружини» (рис.1.6, стор 70). Пружина такого виду мені не відома і в технічній літературі її опису я не знайшов. На мій погляд, за відсутністю проміжків між витками, зображено звичайну брудну циліндричну пружину розтягування.

3. У підрозділі 2.2 останній абзац стор. 80 наведено ствердження про виникнення дотичних напружень у потоці, що розтікається по поверхні забруднення. На скільки збільшується дотичні напруження при взаємодії з поверхнею забруднення потоку з газовими пухирцями відносно потоку без газових пухирців. Чи проводилися такі вимірювання?

4. У чому полягає «конструктивне обґрунтування параметрів сопла з ежектором» (стор.97) яке приведено на прикладі у вигляді розрахунку при прийнятих параметрах сопла ежектора.

5. Яким чином Ви обґрунтовуєте у формулі (2.30) стор. 103 для визначення продуктивності очистки заміну «умовного напруження різання матеріалу Б» модулем зсуву матеріалу  $\mu$ .

6. Як експериментально при вимірюванні динамічної складової максимального тиску  $P_{\max}$  пульсуючого зануреного струменя (рис.4.4., рис. 4.6) стор.137, стор.139 враховано величину статичного тиску при зануренні датчика на певну глибину?

7. В роботі вказано, що «збільшення кута атаки пульсуючого

зануреного струменя з металевими кульками від  $90^{\circ}$  до  $125^{\circ}$  призводить до зростання продуктивності очистки (стор.157). Що відбувається з продуктивністю очистки у випадку коли кут атаки струменя буде більше ніж  $125^{\circ}$ ?

Разом з тим, варто зазначити, що наведені зауваження до роботи не є істотними, та не впливають суттєво на зміст дисертаційної роботи, та не знижують загалом її наукової та практичної цінності.

## **8. Висновки**

Дисертація містить нові наукові результати та є завершеною науково-дослідною роботою. Науково-прикладна задача, що розв'язана у дисертації, а саме – розробка інноваційної вібраційної машини для очищення та мийки деталей, дозволяє проводити обґрунтований вибір її конструктивних параметрів і раціональних режимів роботи приводу, дозволило створити методологію її проектування і розрахунків. Отримані науково-практичні результати загалом є важливими для галузі знань 13 «Механічна інженерія», в межах наукової спеціальності 131 «Прикладна механіка», якій представлена дисертації в повній мірі відповідає.

Враховуючи актуальність теми дисертації, наукові положення та висновки що представлені у дисертації, новизну отриманих наукових положень, з врахуванням чинних вимог, що пред'являються до таких робіт, вважаю, що дисертація здобувача Старого А.Р. за темою «Обґрунтування параметрів вібраційної машини для очищення та мийки деталей при ремонті» містить нові наукові результати досліджень, проведені здобувачем і які мають істотне наукове значення, повністю відповідає пунктам 6-9 чинного «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради Закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», від 12.01.2022 р. № 44 та «Вимогам до

---

оформлення дисертації», затвердженими наказом МОН України від 12.01.2017 № 40, а її автор, Старий Андрій Романович 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 цифрових технологій, дизайну та транспорту,  
Національного університету «Одеська політехніка»

Ігор СИДОРЕНКО

Особистий підпис Сидоренка І.Г. засвідчую: