

DOI 10.31891/2307-5732-2021-297-3-77-Помилка! Закладку не визначено.

УДК 631.3.033

А.Р. СТАРИЙ

Хмельницький національний університет

А.І. ГОРДЕЄВ

ORCID ID: 0000-0003-4494-4348

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ АНАЛІТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІБРАЦІЙНОГО ПРИВОДУ МАШИНИ ДЛЯ МЙКИ І ОЧИСТКИ ПУЛЬСУЮЧИМ СТРУМЕНЕМ РІДИНИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

Запропоновано дві аналітичні моделі для опису роботи робочого органу вібраційної машини – камери пульсації з насадком для створення пульсуючого струменя рідини. Головним фактором у процесі мийки та очищення забруднень виступає швидкість струменя або максимальний його тиск при взаємодії із забрудненням та сили тертя потоку при розтіканні по поверхні, що очищується. Проведено експериментальні дослідження впливу частоти коливань приводу на зміну максимального тиску пульсуючого струменя на зрізі сопла за допомогою датчика динамічного тиску та апаратурою для реєстрації. З аналізу результатів отриманих з аналітичних моделей та експериментальним шляхом, які представлені на порівняльному графіку, встановлені коефіцієнти корегування аналітичних моделей, які будувалися з певними припущеннями та складністю достатньо коректно аналітично описати кавітаційні процеси у камері пульсації вібраційної машини. Результатом проведених експериментальних досліджень є рекомендації по вибору частотного діапазону роботи приводу машини, який знаходиться від 14 до 16 Гц при діаметрі камери пульсації 0,1 м, діаметрі насадка 0,01 м та амплітуді коливань приводу 0,002 м.

Ключові слова: очистка, мийка забруднень, вібраційна машина, максимальний тиск струменя, експериментальні дослідження режимів роботи вібраційного приводу.

A.R. STARIY, A.I. HORDEYEV

Khmelnytskyi National University

ANALYSIS OF ANALYTICAL MODELS OF VIBRATION DRIVE OF THE MACHINE FOR WASHING AND CLEANING BY PULSATING STREAM OF LIQUID AND EXPERIMENTAL RESEARCH OPERATING MODES

Two analytical models are proposed to describe the operation of the working body of the vibrating machine - a pulsation chamber with a nozzle to create a pulsating jet of liquid. The analysis of analytical models which describe change of parameters of a pulsating stream in a nozzle of a working body of the vibrating car for washing and cleaning of parameters of work of its drive and constructive dependences is carried out. The main factor in the process of washing and cleaning of contaminants is the speed of the jet or its maximum pressure when interacting with the contamination and the friction force of the flow when spreading on the surface to be cleaned. Experimental studies of the influence of the frequency of oscillations of the drive on the change of the maximum pressure of the pulsating jet at the nozzle section at certain design parameters using a sensor with recording equipment. As a result of experimental studies, it was found that the use of a diaphragm check valve, which connects the pulsation chamber with the bath for washing and cleaning, allows to increase the maximum pressure of the immersed pulsating fluid jet by reducing the volume of cavitation bubbles in the pulsation chamber liquid. This in turn allows you to increase the maximum pressure of the liquid jet from the nozzle. From the analysis of the results obtained from analytical models and experimentally presented on the comparative graph, the adjustment coefficients of analytical models are established, which were built with certain assumptions and complexity. The result of the experimental research is the recommendations for choosing the frequency range of the machine drive, which is from 14 to 16 Hz with a pulsation chamber diameter of 0.1 m, a nozzle diameter of 0.01 m and amplitude of oscillations of the drive of 0.002 m.

Keywords: cleaning, washing of pollution, vibrating machine, maximum jet pressure, experimental researches of operating modes of the vibrating drive.

Вступ

На поверхні деталей і складальних вузлів в процесі їх виготовлення, експлуатації машин і устаткування утворюються технологічні та виробничі забруднення. При технічному обслуговуванні та ремонті виникає необхідність очищення та мийки деталей при їх збиранні у вузли. Якісне очищення об'єктів від забруднень досягається комплексним фізико-хімічним і механічним впливом на нього, перше – забезпечується використанням хімічних речовин, що впливають на забруднення, друге – використанням механічної енергії впливу на забруднення (скребки, щітки, струмені рідини, струмені абразиву). Частина спеціального обладнання, яке виготовляється для миття та очищення деталей досить висока але в умовах дрібносерійного виробництва для ремонту устаткування придбання вартісного обладнання стає недоцільно. Тому виникає потреба розроблення простих за конструкцією та недорогих машин для миття та очищення деталей різноманітних по конструкції конкретного класу з певною конфігурацією.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питаннями теорії та практики очистки і мийки деталей при виготовленні та ремонті займалися багато вчених дослідників, а саме: Ю.С. Козлов, А.А. Куликов, А.П. Садовський, М.Ф. Тельнов, Р. І. Сілін та ін. [1–4] але поява нових технологічних процесів виготовлення деталей, нових вимог до якості ремонту різноманітних об'єктів техніки призводить до пошуку нових технологій і методів та створення нових конструкцій установок для очистки та мийки деталей об'єктів, особливо дрібносерійному та одиничному типах виробництва при виготовленні деталей і ремонту обладнання. Якісне очищення об'єктів досягається за

рахунок комплексної взаємодії фізико-хімічного та механічного впливу мийочого струменя на забруднення. Останнім часом зростання ефективності очищення машин при використанні технологій струминного очищення досягається за рахунок збільшення кінетичної енергії струменя шляхом підвищення тиску подачі мийочної рідини. З метою очистки конкретного забруднення розробляються технології очистки, які здійснюють зрив забруднюючого матеріалу під дією додаткових напружень, створених на поверхні, що очищається, потоком мийочної рідини та кавітаційних пухирців і за допомогою частинок полімерної крихти або металевих кульок. Для мийки забруднень перспективним є застосування вібраційних приводів в машинах та явище кавітації, яке має значну руйнівну енергією, а газові пухирці, що не сплеснулись, збільшують силу тертя газорідного потоку на поверхні деталей із забрудненням [5].

Відомі способи та конструкції машин та пристроїв з вібраційним приводом для очистки та мийки деталей і вузлів від забруднень різних по природі, які виникають при виробництві або ремонті обладнання та техніки [6, 7]. Відома кавітаційна форсунка [8, 9] (рис. 1,а) для мийки, яка дозволяє отримувати струмінь із кавітаційними пухирцями при витіканні з камери Лавалю при значних швидкостях та тисках рідини (рис. 1,б).

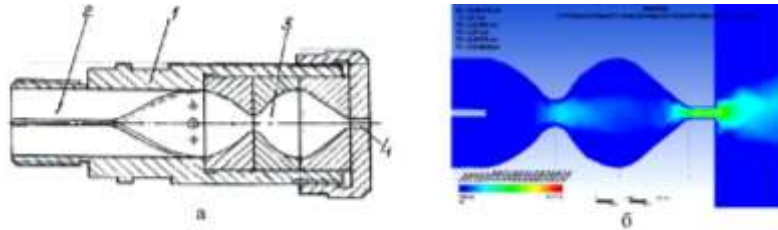


Рис. 1. Схема кавітаційної форсунки та розподіл потоку мийочної рідини: (а) 1 – корпус; 2 – камера закруткі струменя; 3 – камера Лавалю; 4 – сопло; (б) – оцінка кавітаційного поля мийочної рідини з насадка

При проведенні експериментальних досліджень [4] по візуалізації процесу коливання рідини у робочому органі вібраційної машини було встановлено, що при певних режимах роботи вібраційної машини виникає пульсуючий струмінь з насадка із включенням кавітаційних пухирців (рис. 2). Авторами таке явище було запропоновано для застосування у вібраційній машині для процесу мийки забруднень.

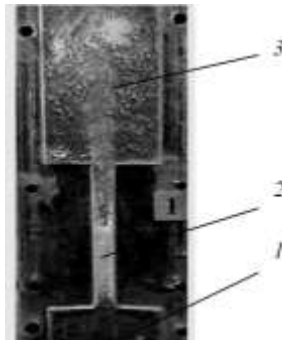


Рис. 2. Фотографія прозорого стелу та процесу отримання пульсуючого струменя з включенням кавітаційних пухирців: 1 – камера пульсації; 2 – насадок; 3 – пульсуючий струмінь із кавітаційними пухирцями

Проведений аналіз руху двофазного потоку рідини з кавітаційними пухирцями [5], при розтіканні його по поверхні деталі із забрудненням показав, що виникає турбулентний режим руху рідини з частинками, який розтікається повздовж поверхні із забрудненням, відбувається енергійне хаотичне перемішування рідини та збільшуються дотичні напруження тертя зануреного потоку рідини. В загальному випадку осереднений турбулентний потік одночасно має молекулярну й турбулентну в'язкість. Тому повне сумарне дотичне напруження тертя потоку рідини на поверхні із забрудненням без включень визначається за формулою:

$$\tau = (\mu + A) \frac{d\bar{u}}{dy}, \quad (1)$$

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази; A – коефіцієнт пропорційності, що називається динамічним коефіцієнтом турбулентного обміну; $\frac{d\bar{u}}{dy}$ – градієнт швидкості.

Для двофазних середовищ (рідина з включеннями газових пухирців або твердих частинок) широке розповсюдження має поправка Ейнштейна до динамічного коефіцієнта несучої фази.

Враховавши її, тоді узагальнений динамічний коефіцієнт несучої фази можна виразити через відповідні коефіцієнти: μ – для чистої несучої фази; μ^* – для домішок твердих частинок із сферичною

формою.

Тоді динамічний коефіцієнт в'язкості несучої фази прийме вигляд:

$$\mu^* = \mu \left(1 + \frac{5}{2} \alpha \right), \quad (2)$$

де α – об'ємна доля домішок твердих частинок.

З урахуванням (2) дотичні напруження тертя турбулентного потоку несучої фази з включеннями твердих частинок можна представити наступним виразом:

$$\tau = \left[\mu \left(1 + \frac{5}{2} \alpha \right) + A \right] \frac{d\bar{u}}{dy}. \quad (3)$$

З аналізу (3) витікає, що дотичні напруження тертя турбулентного потоку несучої фази з включеннями твердих частинок значно більше і залежать від об'ємної долі домішок твердих частинок, наприклад, полістиролової крихти (ПС) або металевих кульок. Окрім збільшення дотичних напружень між потоком рідини та забрудненням можливий процес вдавлювання твердої частки у забруднення, а потім ініціювання процесу зрушення елемента забруднення завдяки наявності гострих крайок на ПС при подальшому розтіканню потоку по поверхні.

Створення вібраційного обладнання з пульсуючим робочим тілом на основі гідропульсатора, у якому робоче тіло виступає як інструмент, стримується недостатністю експериментальних досліджень в цій області.

Актуальність дослідження

Створення нових конструкцій вібраційних машин для мийки та очистки від забруднень, побудова їх аналітичних моделей з метою отримання розрахункових залежностей та методики розрахунку вібраційного приводу машин для очищення та миття деталей машин є актуальним науково-технічним завданням.

Виклад основного матеріалу

Режими очистки та мийки поверхні деталі потоком миючої рідини (оптимальну технологію) визначають, виходячи з аналізу гідродинамічної взаємодії миючої рідини з частинками та існуючого забруднення на деталях, а також на підставі аналізу результатів експериментальних досліджень. Не применшуючи при цьому значення фізико-хімічних факторів, обумовлених активністю миючого середовища, вважається, що процес механічного впливу рідини на забруднення є однією з основних умов, що визначає ефективність очистки та мийки. Процес очистки та мийки поверхні виробу потоком рідини з твердими частинками можна розділити на наступні, зв'язані між собою, елементарні процеси: формування пульсуючого струменю рідини з твердими частинками, подача потоку рідини до поверхні, що очищується, відрив частинок забруднень та їх змивання з поверхні, що очищується, зависання забруднень у потоці рідини, транспортування забруднень до фільтруючого пристрою.

Розглянемо мийку та очистку, як окремі процеси, з погляду на особливості механічної дії потоку миючої рідини на забруднення поверхонь. В процесі мийки в основному проходить зрив частинок забруднення потоком миючої рідини завдяки силам тертя та підвищеного ступеня турбулентності потоку. При очистці забруднень, при механічному впливі на забруднення, додатково починають діяти інерційні сили твердих частинок, які створюють процеси мікрорізання та збільшують нормальні та дотичні напруження в шарі забруднення.

Як відомо [1–4] найбільша продуктивність процесу мийки характеризується максимальним значенням тиску зануреного пульсуючого струменя (або швидкості) на поверхні яка промивається, ступенем його турбулізації, а продуктивність процесу очистки залежить, як від максимального тиску пульсуючого струменя, так і від кількості та масової характеристики частинок, що взаємодіють із забрудненням.

Запропонована конструкція вібраційної машини [10], що містить ванну для очищення забруднень пульсуючим потоком твердих частинок та ванну для мийки пульсуючим струменем кавітаційних пухирців. Створення пульсуючого струменя в обох ваннах отримується за допомогою коливання мембрани з дисками у камері пульсації з насадком при роботі вібраційного приводу машини.

Основними завданнями аналітичних та експериментальних досліджень було: визначення залежності максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини з насадка від режимів роботи приводу, а саме від частоти та амплітуди коливань, взаємозв'язку конструктивних параметрів вібраційної машини та співвідношенню діаметра насадка до діаметра камери пульсації. Для побудови аналітичної моделі розроблено схему робочого органу вібраційної машини для мийки від забруднень поверхонь деталей машин пульсуючим зануреним потоком рідини з кавітаційними пухирцями, яка показана на схемі рис. 3.

Як показано на рис. 2 при імпульсному витіканні рідини з насадка при певних умовах утворюються кавітаційні пухирці, які не сплеснулися та у струмені рідини вони попадають на поверхню, котра промивається та збільшують нормальні та дотичні напруження у шарі забруднення, що сприяє покращення умов процесу та підвищує продуктивність мийки забруднень.

Розглянемо основні етапи роботи робочого органу вібраційної машини (рис. 3). При руху мембрани з дисками уверх 6 створюється максимальний тиск у камері пульсації 7. Пульсуючий потік зануреної рідини з насадка 8 створюється за рахунок руху мембрани з дисками 6, які приєднано штоком до віброприводу 4. При ході мембрани з дисками 3 униз рідина 9 втягується у камеру пульсації 7. При ході мембрани з дисками

Зверху рідина 9 виштовхується з насадка 4, у якому виникає кавітаційна кільцева порожнина заповнена кавітаційними пухирцями. При певних режимах роботи приводу ця порожнина руйнується та пухирці викидаються у пульсуючому струмені рідини на поверхню 10, що промивається.

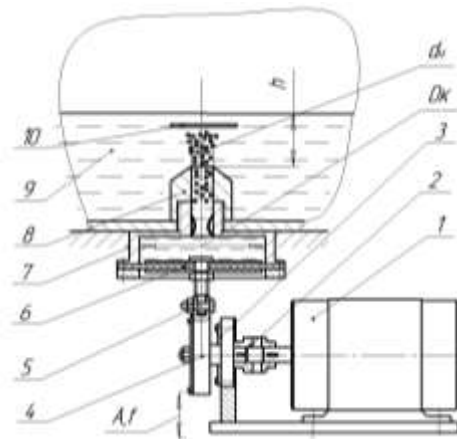


Рис. 3. Схема моделі робочого органу вібраційної машини для мийки забруднень потоком пульсуючим струменем рідини з кавітаційними пухирцями: 1 – електродвигун постійного струму; 2 – муфта; 3 – стійка; 4 – обойма ексцентрика з підшипником; 5 – вісь; 6 – пружна мембрана з дисками; 7 – камера пульсації; 8 – насадок; 9 – рідина; 10 – поверхня, що промивається

Тиск рідини, який створюється у камері пульсації, витрачається на утворення натиску пульсуючого вертикального зануреного струменя рідини з урахування глибини занурення насадка та визначається за залежністю:

$$\Delta P = \frac{\rho \cdot V_{\max}^2}{2} - \rho \cdot g \cdot h, \quad (4)$$

де ρ – щільність рідини (998 кг/м³); V – швидкість струменя рідини; h – глибина занурення насадка.

Розглянемо два варіанти аналітичного опису механізму утворення пульсуючого зануреного струменя рідини з насадка з певними припущеннями, які дають можливість визначити вплив конструктивних параметрів вібраційної машини та режимів її роботи на величину тиску зануреного пульсуючого струменя рідини.

Розглянемо перший варіант побудови аналітичної моделі руху ідеальної рідини зануреного пульсуючого струменя з насадка у вібраційній машині із застосуванням теорії виникнення гідроудару у камері пульсації без урахування явища виникнення кавітаційних пухирців.

При роботі приводу машини, за період коливання мембрани вверх, у рідині в камері пульсації, виникає максимальний тиск завдяки гідроудару, який визначається за формулою:

$$\Delta P = \rho \cdot V_{\max} \cdot C - \rho \cdot g \cdot h, \quad (5)$$

де ΔP – перепад натиску; ρ – щільність рідини (998 кг/м³); C – швидкість розповсюдження ударної хвилі (1350 м/с.); $V_{\max} = A_n \cdot f$ – максимальна швидкість рідини у насадку.

Для зміни тиску струменя у насадку робочого органу вібраційної машини можна записати залежність:

$$\Delta P = \rho \cdot A_n \cdot f \cdot C - \rho \cdot g \cdot h, \quad (6)$$

де f – частота коливань віброприводу A_n – амплітуда коливань рідини у насадку $A_n = \frac{D_k^2 A_k}{d_n^2}$,

D_k – діаметр камери; d_n – діаметр насадка; A_k – амплітуда коливань мембрани у камері пульсації.

З урахуванням звуження потоку рідини у насадку, максимальна швидкість у ньому визначається за залежністю:

$$V_{\max} = \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A_k \cdot f}{d_n^2}, \quad (7)$$

де $\xi = 0,39$ – коефіцієнт звуження потоку у насадку.

З урахуванням формули (7) перепад тиску за формулою (5) у камері пульсації робочого органу вібраційної машини можна записати наступним чином:

$$\Delta p = \rho \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A \cdot f}{d_n^2} C - \rho \cdot g \cdot h. \quad (8)$$

Згідно ф.(8) проведено підстановку чисельних значень параметрів та отримано аналітичну залежність зміни величини максимального тиску від частоти коливань віброприводу (рис. 4). Виходячи з того, що у рідині присутнє розчинене повітря та газу і при роботі машини виникають кавітаційні процеси, величина реального перепаду тиску повинна бути значно менша. Тому для визначення фактичного перепаду тиску пульсуючого зануреного струменя рідини далі необхідно провести експериментальні дослідження.

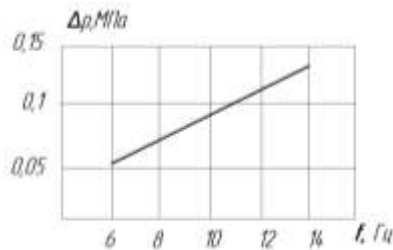


Рис. 4. Залежність гідродарного тиску від частоти коливань: $A = 0,002$ м; $D = 0,1$ м; $d = 0,01$ м

Проведемо аналіз другого варіанту аналітичної моделі, запропонованої раніше [11], руху рідини у насадку при роботі приводу вібраційної машини. Треба відмітити, що із складністю опису процесу виникнення кавітаційних пухирців у моделі, при її побудові застосовано диференційні рівняння, у яких було враховано вплив об'єму газу, розчиненого у рідині, пружні властивості двофазного середовища без виникнення гідродару у камері пульсації. Згідно, запропонованої аналітичної моделі руху рідини у насадку при роботі приводу вібраційної машини [11] та отриманої амплітудно-частотної характеристики, побудовано графік зміни тиску пульсуючого струменя у насадку. Знаючи величину амплітуди A коливання струменя у насадку при певній частоті коливань за хід мембрани уверх (стиснення рідини у камері пульсації) можна розрахувати швидкість руху рідини у насадку за формулою:

$$V = \varphi \sqrt{2gH}, \quad (9)$$

де φ – коефіцієнт швидкості, $\varphi = 0,97$; g – прискорення сили тяжіння; H – геометричний натиск рідини, $H = A$.

Розрахункові значення зміни динамічного тиску рідини струменя у насадку від частоти знайдено за формулою (4) та побудовано графічну залежність, яка представлена на рис. 7 (крива 2).

Для визначення реального максимального тиску рідини у насадку було проведено дослідження на експериментальному стенді вібраційної машини із застосуванням датчика тиску, який був розташований над насадком у початковій ділянці струменя на відстані 20 мм. Дослідження проводились без установки зворотного клапана та із зворотним клапаном, який з'єднує порожнину камери пульсації з ванною для промивання (рис. 5). Для виконання операції очистки пульсуючим струменем із твердими частинками установка клапана в камеру пульсації дає можливість уникнути виникнення значного об'єму кавітаційних пухирців у камері пульсації при ході мембрани униз, збільшує об'єм рідини у струмені, що викидається за цикл ходу мембрани з дисками уверх і збільшує його динамічний тиск. Схема з'єднання зворотного клапана 1 з камерою пульсації 5 показана на рис. 5.

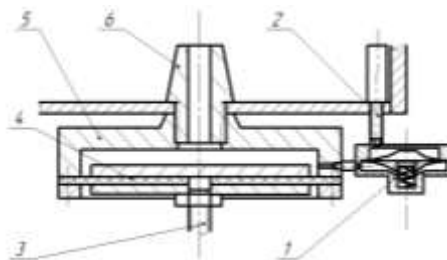


Рис. 5. Схема з'єднання зворотного клапана з камерою пульсації: 1 – зворотний клапан; 2 – трубопровід; 3 – шток вібраційного приводу; 4 – пружна мембрана з дисками; 5 – камера пульсації; 6 – насадок

Для вимірювання миттєвого значення гідродинамічного тиску затопленого пульсуючого струменя рідини з насадка застосовано тензометричний датчик тиску MPM489 (рис. 6) і USB осцилограф VM8020, який з'єднаний з персональним комп'ютером через порт USB і обслуговується програмним продуктом «DiSco».

У результаті аналізу запропонованих аналітичних моделей та результатів проведених експериментальних досліджень зміни величини максимального тиску затопленого пульсуючого струменя рідини з насадка вібраційної машини було побудовано графіки зміни максимального тиску від частоти

коливань вібраційного приводу при певних конструктивних його параметрах (рис. 7).



Рис. 6. Фотографія датчика для вимірювання миттєвого тиску пульсуючого струменя:
1 – датчик МРМ489; 2 – корпус датчика, заповнений рідиною;
3 – мембрана; 4 – кришка

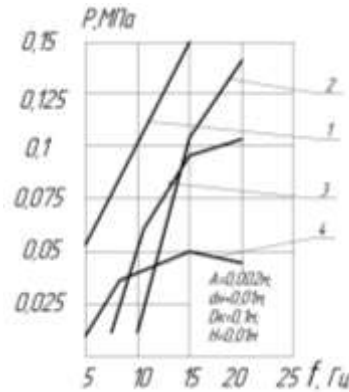


Рис. 7. Порівняльні графіки динамічного натиску рідини струменя на виході з насадки за різними моделями та експериментальними результатами: 1 – за теорією гідроудару; 2 – за моделлю руху рідини у насадку вібраційної машини; 3 – експериментальні результати із зворотним клапаном; 4 – експериментальні результати без зворотного клапану

У результаті проведеного дослідження встановлено, що першу аналітичну модель можна застосовувати для розрахунків параметрів приводу вібраційної машини для мийки з кавітаційними пухирцями. З аналізу графіків 1 та 4 рис. 7 для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для процесу мийки струменем з кавітаційними пухирцями введено коефіцієнт корегування k зміни розрахункового тиску у формулу (5), що дасть можливість користуватися нею при проектуванні вібраційного приводу для визначення реального перепаду тиску у насадку вібраційної машини для мийки ($k = 0,38$ в межах від 10 до 14 Гц). Тоді розрахункова залежність (8) для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для мийки приймає вигляд:

$$\Delta P = k \cdot \rho \cdot \frac{\xi \cdot D_k^2 \cdot A \cdot f}{d_n^2} C - \rho \cdot g \cdot h. \quad (10)$$

Для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для процесу очистки струменем з твердими частинками із застосуванням зворотного клапана більше підходить аналітична модель [11], у якій зміна тиску пульсуючого струменя визначається за допомогою його амплітудно-частотної характеристики. З аналізу графіків 2 та 3 рис. 7 значення коефіцієнта корегування k_1 зміни дійсного тиску пульсуючого струменя рідини визначено, як $k_1 = 1,5$ в межах від 14 до 18 Гц. Тоді розрахункова залежність (1) для практичного використання у методиці розрахунку параметрів вібраційного приводу для очистки приймає вигляд:

$$\Delta P = k_1 \cdot \frac{\rho \cdot V_{\max}^2}{2} - \rho \cdot g \cdot h. \quad (11)$$

Проведений аналіз, запропонованих аналітичних моделей показав, що при проектуванні вібраційних машин для мийки та очищення від забруднень та вибору їх конструктивних параметрів, визначення режимів роботи приводу застосовувати їх можливо із коефіцієнтами коригування, які отримані експериментально, тому що дуже складно аналітично описати процес зародження кавітаційної порожнини у камері пульсації приводу вібраційної машини. Застосування аналітичних моделей для визначення максимального перепаду тиску можливо при попередніх розрахунках, а остаточні значення параметрів необхідно визначати при налагоджуванні вібраційного приводу шляхом корегування частоти або амплітуди в рекомендованих межах.

Висновки

1. Запропоновано аналітичні моделі визначення режимів роботи робочого органу вібраційної машини для створення пульсуючого струменя рідини. Проведено аналіз аналітичних моделей, які описують зміну тиску пульсуючого струменя у насадку робочого органу вібраційної машини для мийки та очистки від параметрів роботи її приводу та конструктивних залежностей.

2. У результаті проведених експериментальних досліджень встановлено, що застосування зворотного клапану мембранного типу, який з'єднує камеру пульсації з ванною для мийки та очистки, дозволяє збільшити величину максимального тиску зануреного пульсуючого струменя рідини завдяки зменшенню об'єму кавітаційних пухирців у камері пульсації при втягуванні у неї рідини. Це в свою чергу дозволяє отримати збільшення максимального тиску струменя рідини у насадку та підвищення продуктивності очистки вібраційної машини.

3. Аналіз результатів, отриманих за допомогою аналітичних моделей та експериментальним

шляхом, з порівняльного графіку, надав можливість встановити величини коефіцієнтів корегування аналітичних моделей, які будувалися з певними припущеннями та складністю достатньо коректно аналітично описати кавітаційні процеси у камері пульсації вібраційної машини.

4. У результаті проведених експериментальних досліджень запропоновано рекомендації по вибору частотного діапазону роботи вібраційного приводу машини, який знаходиться від 14 до 18 Гц при діаметрі камери пульсації 0,1 м, діаметрі насадка 0,01 м та амплітуді коливань приводу 0,002 м.

Література

1. Козлов Ю. С. Очистка изделий в машиностроении / Ю.С. Козлов, О.К. Кузнецов, Н.Ф. Тельнов. – М. : Машиностроение, 1982. – 261 с.
2. Тельнов Н.Ф. Технология очистки сельскохозяйственной техники / Н.Ф. Тельнов. – М. : Колос, 1983. – 256 с.
3. Садовский В. И. Очистка деталей гидравлическими струями при ремонте тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. И. Садовский. – М., 1972. – 146 с.
4. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання на основі гідропульсатора : монографія / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 386 с.
5. Гордєєв А. І. Аналіз процесу взаємодії газорідного середовища з поверхнею деталей при мийці перед нанесенням покриттів. Проблеми довговічності матеріалів, покриттів та конструкцій / А.І. Гордєєв, А.Р. Старий // Тези доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції. 13–15 верес. 2018 р. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – С. 14-15.
6. А. с. 1130422 СССР, МКИ³ В 08 В 3/10. Устройство для мойки мелких изделий / А.И. Гордеев, Р.И. Силин, Н.А. Сивченко (СССР). – № 3613130/28–12; заявл. 15.04.83; опубл. 23.12.84, Бюл. № 47.
7. Пат. на корисну модель 116030 України, МПК В03В 5/02. Вібраційна машина для мийки радіотехнічних виробів / А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв, В.Г. Мігаль (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький нац. ун-т. – u 2016 10059; Заяв. 03.10.2016; Опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.
8. Патент RU 2414308. В08В3/10. Способ гидрокавитационной очистки деталей и устройство для его осуществления / Родионов В. П. (RU) подача заявки: 2009.11.06. Публикация патента 20.03.2011.
9. Громаковский Д. Г. Разработка кавитационного оборудования для мойки деталей / Д.Г. Громаковский, С. В. Шигин // Высокие технологии в машиностроении : материалы XVII Всероссийской научно-технической конференции. – Самара, 2018. – С. 5–7.
10. Пат. на корисну модель № 132837, МПК В08В 3/10. Вібраційна машина для очистки забруднень потоком твердих часток та мийки деталей при ремонті обладнання / М.Є. Скиба, А.Р. Старий, А.І. Гордєєв, О.А. Гордєєв. – U201810344; Заявл. 19.10.2018. Опубл. 11.03.2019. Бюл. № 5.
11. Старий А. Р. Обґрунтування параметрів динамічних процесів очистки та мийки у вібраційній машині зануреним пульсуючим струменем рідини з твердими частинками / А.Р. Старий, А.І. Гордєєв // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2020. – № 6. – С. 84–92.

References

1. Kozlov Yu. S., Kuznetsov O. K., Telnov N. F. Cleaning products in mechanical engineering. Moscow: Mechanical Engineering, 1982. – 261 p.
2. Telnov N. F. Technology of cleaning of agricultural machinery. M.: Kolos, 1983. – 256 p.
3. Sadovskiy V.I. Cleaning of parts with hydraulic streams in the repair of tractors, automobiles and agricultural machines: dis. cand. tech. sciences: 05.02.08. - M., 1972. - 146 p.
4. Silin R. I., Hordeev A. I. Vibration equipment on the basis of a hydropulse: a monograph. Khmelnytsky: KhNU, 2007. – 386 p.
5. s. 1130422 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for washing small articles / A.I. Hordeev, R.I. Silin, N.A. Syvchenko (USSR). – №.3613130 / 28-12; stated. 04.15.83; published 23.12.84, Bull. № 47.
6. s. 880519 USSR, MKI³ at 08 V 3/10. Device for product rinsing / R.I. Silin, V.P. Koshel, A.I. Hordeev (USSR). - No. 2869224 / 28-12; stated. 17.12.79. Published 10.15.81. Bull. № 42.
7. Pat. to utility model 116030 of Ukraine, IPC B03B 5/02. Vibration machine for sinking radio products / A.I. Hordeev, O.A. Hordeev, V.G. Migal. Applicant and patent holder Khmelnytsky National un - u 2016 10059; Application 03.10.2016; Published 05.10.2017, Bul. № 9.
8. Patent RU 2414308. B08B3 / 10. Method of hydrocavitation cleaning of parts and device for its implementation / V.P. Rodionov (RU) application filing: 2009.11.06. Publication of the patent on 03.20.2011.
9. Gromakovskiy D. G., Shigin S. V. Development of cavitation equipment for washing parts. High technologies in mechanical engineering: materials of the XVII All-Russian scientific and technical conference. Samara. 2018, pp. 5-7.
10. Pat. for utility model No. 132837, MПК B08B 3/10 Vibration machine for purification of contaminations by a stream of solid particles and washing of details at repair of equipment. / M.E. Skyba, A.R. Stariy, A.I. Hordeev, O.A. Hordeev. U201810344; Declared 19.10.2018. Published 03.11.2019. Bull №5.
11. Stariy A. R., Gordeev A.I. Substantiation of parameters of dynamic processes of cleaning and washing in the vibrating machine by the immersed pulsating stream of liquid with firm particles. Bulletin of KhNU. Technical sciences. №6. 2020. pp.84-92.