

Анатолій ГОРДЕСВХмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0003-4494-4348>**Андрій СТАРИЙ**Львівський фаховий коледж індустрії моди
Київського національного університету технологій та дизайну
<https://orcid.org/0000-0001-9277-297X>**Євген УРБАНИУК**Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0001-8713-501X>**Олексій ГОРДЕСВ**Хмельницький національний університет
<https://orcid.org/0000-0002-8527-0805>

ПРОЄКТУВАННЯ МОДУЛЯ ВІБРАЦІЙНОЇ МАШИНИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗАБРУДНЕНЬ ТА ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

Якість і надійність відремонтованих машин істотно залежать від досконалості технологічних процесів розбирання, очищення, підготовки поверхні і складання. Запропоновано конструкцію вібраційної машини для очистки забруднень та загальну методику розрахунків модуля очистки пульсуючим зануреним струменем з твердими частинками. Наведено результати експериментальних досліджень зміни тиску пульсуючого зануреного струменя від частоти коливань приводу. Наведено методику та приклад розрахунку зворотного клапану модуля вібраційної машини для очистки забруднень потоком пульсуючого струменя рідини з твердими частинками.

Ключові слова: вібраційна машина, пульсуючий занурений струмінь рідини з твердими частинками, максимальний тиск рідини, методика проектування.

Anatoliy HORDIEIEV

Khmelnyskyi National University

Andriy STARIY

Lviv vocational college of the fashion industry

Kyiv national university of technology and design

Evgeniy URBANIUK, Alexei HORDIEIEV

Khmelnyskyi National University

DESIGN OF A VIBRATING MACHINE MODULE FOR POLLUTION CLEANING AND A GENERAL METHOD FOR CALCULATING ITS ELEMENTS

The quality and reliability of repaired machines depend significantly on the perfection of the technological processes of disassembly, cleaning, surface preparation and assembly. The analysis of methods and modern designs of equipment and machines for cleaning and washing pollution showed the possibilities, advantages and disadvantages of various methods and designs of equipment. The main interest for the practice of creating vibrating machines for cleaning and washing parts contamination in small-batch and single-type production when repairing machines is to establish the type of dependencies between the main technological parameters, such as the dynamic pressure of the working environment, the size of the working bodies, their speed, the angle of attack, design parameters and modes of operation of the drive of vibrating machines. The design of a vibrating machine for cleaning contamination with a stream of solid particles and washing parts during equipment repair is proposed, which consists of two modules: a cleaning module with a pulsating submerged jet with solid particles and a module for washing contamination with a pulsating submerged jet of washing liquid. Experimental studies were conducted to measure the maximum pressure of a pulsating jet with a non-return valve installed, depending on the change in the frequency of oscillations of the drive and the change in the diameter of the nozzle. The results of experimental studies of changes in the pressure of a pulsating submerged jet depending on the frequency of oscillations of the drive are presented, which showed a two-fold increase in the maximum pressure of a pulsating submerged jet when using a non-return valve that connects the cleaning bath with the pulsation chamber. In order to reduce the occurrence of a significant number of cavitation bubbles in the pulsation chamber for the non-return valve, it is important to calculate the maximum total area of the holes and their number, based on the volumetric flow of liquid through it during the oscillation period. The determined valve operation time is 0.014s. says that its performance is ensured at frequencies from 0 to 70 Hz of vibrations of the vibration drive. The methodology and example of calculation of the non-return valve of the module of the vibrating machine for cleaning pollution by the flow of a pulsating jet of liquid with solid particles are presented.

Keywords: vibration machine, pulsating immersed liquid jet with solid particles, maximum liquid pressure, design method.

Постановка проблеми

Якість і надійність відремонтованих машин істотно залежать від досконалості технологічних процесів розбирання, очищення, підготовки поверхні і складання. Ускладнення виробів, вдосконалення технології виробництва і висока точність виготовлення істотно підвищує вимоги до якості очищення і підготовки поверхні. Процес очищення об'єктів ремонту полягає у видаленні за допомогою твердого, рідкого чи газоподібного середовища всіх поверхневих забруднень. Трудомісткість очищення деталей при ремонті становить від 7 до 9 % від загальної трудомісткості ремонту.

Головний інтерес для практики створення вібраційних машин очистки та мийки забруднень деталей у дрібносерійному та одиничному типі виробництва при ремонті машин становить встановлення виду

залежностей між основними технологічними параметрами, такими, як динамічний тиск робочого середовища, розмір робочих тіл (кульок, абразивних зерен, газових пухирців) їхня швидкість руху, концентрація, кут атаки, фізико-механічні властивості частинок та конструктивні параметри і режими роботи приводу вібраційних машин. Це обумовлює необхідність оптимального вибору величин технологічних параметрів, режимів роботи приводу вібраційних машини в умовах конкретного виду забруднення поверхні деталей.

Вирішення науково-технічної задачі, а саме створення модульної вібраційної машини для очистки та мийки деталей при ремонті обладнання та обґрунтування її конструктивних параметрів із визначенням режимів роботи приводу є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Очищенню від забруднень та промиванню підлягають деталі обладнання та машини за інструкціями заводів виробників з врахуванням умов їх експлуатації. При промиванні здійснюється розбирання окремих вузлів, очищення розібраних вузлів від стружки та пилу, продуктів зношування. При цьому замінюються запобіжні прокладки, промиваються і прочищаються запобіжні фільтри, мастильні отвори, підшипники кочення.

Вагомим внеском у створенні фундаментальних основ проектування технологічного обладнання і машин для мийки та очищення по праву належить провідним науковцям: Н.Ф. Тельнову, Б.Б. Нефедову, А.П. Садовському, А.Ф. Тельнову, В.І. Савченко, Е.Б. Крутоусу, А.Н. Некричу., Ю.С. Козлову, В.І. Ушмаріну, Н.П. Беяніну, І.В. Фадєєву, Д.П. Гегерсу та ін. Завдяки великій дослідницькій роботі вчених багато питань очищення отримали теоретичне обґрунтування, використовуючи яке вдалося вирішити ряд складних практичних проблем в галузі технології та організації очистки і мийки та визначити шляхи їх вдосконалення.

Високо оцінюючи отримані результати, відображені в роботах вищеназваних авторів, необхідно відзначити, що в них недостатньо повно розглядаються процеси підвищення енергонасиченості водяних затоплених багатофазних струменів в процесі мийки.

У процесі експлуатації на деталях утворюються різні забруднення. А при руйнуванні захисних покриттів посилюються ще й процеси корозійного ураження, які часто розвиваються під шаром зруйнованого покриття. Забруднення можна видаляти механічними, фізичними, хімічними, фізико-хімічними, хіміко-термічними та іншими методами. Вибір методу є важливою передумовою якісного очищення деталей і залежить: від виду забруднення, форми та матеріалу деталі, екологічними вимогами.

Аналіз способів та сучасних конструкцій обладнання та машин для очистки та мийки забруднень показав можливості, переваги і недоліки різних способів та конструкцій обладнання. У результаті проведеного аналізу було запропоновано застосувати для мийки та очистки забруднень пульсуючий занурений струмінь рідини з твердими частинками, який отримується із застосуванням вібраційного приводу з робочим органом у вигляді камери пульсації мембранного типу з насадком.

Актуальність дослідження

Мета цієї роботи полягає у розробленні вібраційної машини з пульсуючим зануреним струменем рідини з твердими частинками для очищення деталей при ремонті у дрібносерійному та одиничному виробництві з обґрунтуванням методики розрахунку конструктивних параметрів її елементів і вибору раціональних режимів роботи приводу.

Виклад основного матеріалу

Запропонована конструкція вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих часток та мийки деталей при ремонті обладнання [1,2] складається з двох модулів: модуля очистки пульсуючим зануреним струменем з твердими частинками та модуля мийки забруднень пульсуючим зануреним струменем мийної рідини і пояснюється схемою модульної вібраційної машини представленої на рис.1.

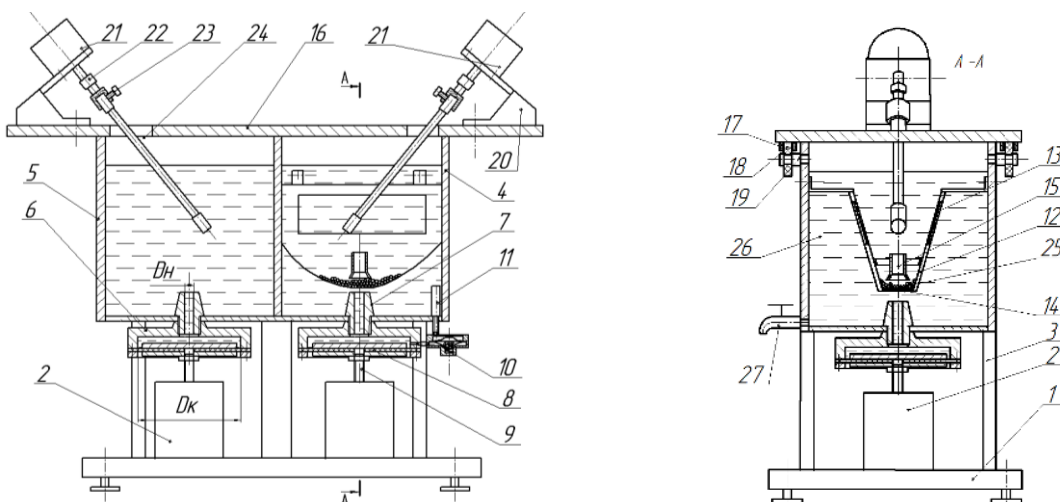


Рис. 1 – Схема загального виду модульної вібраційної машини для очистки потоком твердих частинок та мийки забруднень

Вібраційна машина для очистки забруднень потоком твердих частинок та мийки деталей при ремонті обладнання [1,2] (рис.1) містить основу 1, на якій встановлено вібропривід 2, на стійках 3 розміщено ванну модуля 4 – для очищення у пульсуючому струмені рідини з твердими частинками, ванну модуля 5 – для мийки пульсуючим потоком миючої рідини; на дні ванн 4 та 5 закріплено корпус камери пульсації 6 за допомогою насадка 7 (діаметром D_n) та нижня частина корпуса 6 (діаметром D_k) закрита мембраною з дисками 8, яка закріплена до штока 9 віброприводу 2, а порожнина камери пульсації 6 з'єднано мембранним клапаном 10 та забірною трубкою 11 з порожниною ванни 4 у яку встановлено контейнер 12 з боковими сітками 13 та сіткою 14, яка розташована над соплом 7, у коробі 12 розміщено сопло 15, ванни 4 та 5 закриті кришкою 16 яка має можливість рухатися по напрямним 17 на роликах 18 які встановлені на осях 19, на крищі 16 за допомогою кутників 20 встановлено мотор-редуктор 21 який за допомогою муфти 22 з'єднано із затискачем 23 для деталі 24, у короб 12 засипано тверді частинки (полістиролові кульки або металеві кульки) 25, а у ванни 4 та 5 залита миюча рідина 26, яку після спрацювання можна злити крізь кран 27.

Працює вібраційна машина наступним чином: у ванни 4,5 заливають миючу рідину 26 та засипають у контейнер 12 тверді частинки (полістиролова крихта або металеві кульки) 25, деталь 24, яка підлягає очищенню, закріплюють у затискачі 23 та встановлюють кришку 16 у напрямні 17. Включається мотор-редуктор 21, який обертає деталь 24 та вібропривід 2, що призводить до коливання мембрани з дисками 8 і у насадку 7 виникає пульсуючий струмінь рідини, який проходить крізь сітку 14 та захоплює тверді частинки 25, вдаряє ними по забрудненню та зриває його не порушуючи поверхню деталі. При русі мембрани з дисками 8 униз миюча рідина 26 проходить крізь отвір у насадку 7 та забірну трубку 11 і відкритий клапан 10 із меншим зусиллям тяги приводу та витратою енергії вібраційного приводу. При русі мембрани з дисками 8 зверху здійснюється протікання миючої рідини 26 крізь насадок 7, а клапан 10 закривається. Деталь 24 обертається, а кришці 16 вручну надається поздовжньо-поступний рух і очистка деталі 24 проводиться зі всіх сторін на необхідній довжині.

Після очищення кришка 16 піднімається та деталь 24 перевстановлюється і проводиться очищення з іншої сторони деталі 24. Після підняття кришки 16 очищена деталь 24 знімається та встановлюється у затискач 23 у ванні 5 для мийки, а забруднена деталь 24 встановлюється у затискач 23 у ванні 4 для очистки. Кришка 16 встановлюється у напрямні 17 та включається мотор-редуктор 21 та вібропривід 2. У ванні 4 проводиться очистка деталі 24, а у ванні 5 проводиться мийка деталі 24 після її очищення. Мийка здійснюється за допомогою пульсуючого струменя рідини з кавітаційними пухирцями, які утворилися у струмені з насадка при певних режимах роботи приводу. Після проведення мийки у ванні 5 деталі 24 та очищення деталі 24 у ванні 4 мотор-редуктор 21 та вібропривід 2 виключаються та проводиться виїмка деталі 24 з ванни 4, а на її місце встановлюється деталь 24 з ванни 5 після очищення. При спрацюванні миючої рідини 26 (забрудненні) її зливають крізь кран 21.

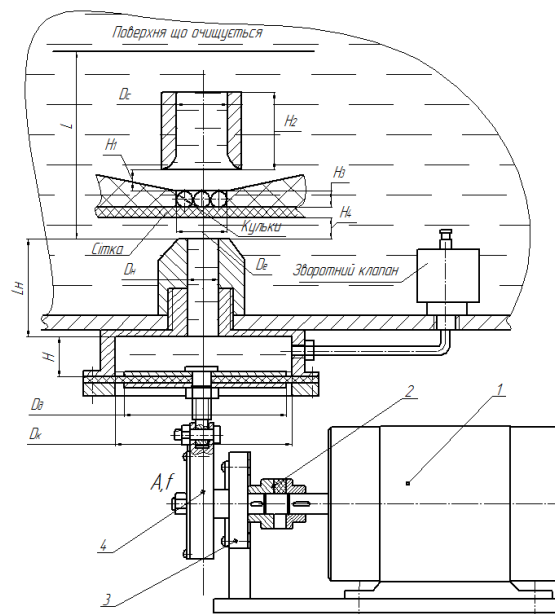


Рис. 2 – Розрахункова схема модуля вібраційної машини для очистки забруднень потоком пульсуючого струменя рідини з твердими частинками: 1 – електродвигун; 2 – муфта; 3 – корпус з підшипником; 4 – обойма ексцентрика з підшипником; H – висота камери пульсації; D_e – діаметр ежектора; D_c – діаметр сопла; H_1 – відстань від сопла до ежектора; H_2 – довжина сопла; H_3 – висота кармана ежектора; H_4 – відстань від зрізу насадка до сітки ежектора
 D_n – діаметр насадка; D_k – діаметр камери пульсації; D_0 – діаметр диска; L – відстань від зрізу насадка до поверхні, що очищується; A, f – амплітуда та частота коливань приводу вібраційної машини; H – висота камери пульсації;
 L_n – довжина насадка

Запропоновані методи очистки та мийки у вібраційній машин базуються на пульсуючих затоплених струменях рідини, які отримуються у вібраційній машині з розташуванням в оптимальній технологічній послідовності. Поєднання двох відомих методів очистки та мийки і їх чергування, дозволяють отримати в єдиній машині новий сукупний позитивний результат по зняттю забруднень з поверхонь деталей.

У результаті проведених теоретичних та експериментальних досліджень [3], обґрунтування конструктивних параметрів та визначення режимів роботи приводу модуля вібраційної машини для очистки забруднень зануреним пульсуючим струменем миючої рідини з твердими частинками запропонована загальна методика проектування параметрів вузла очистки вібраційної машини та режимів роботи його приводу.

Послідовність проектування вузла очистки вібраційної машини полягає у наступному:

1. На початку проектування вибираємо конструктивні розміри ежектора та сопла (рис.2) за залежностями: $D_e = 1,2 D_n$; $H_3 = 0,8 d_k$; $H_1 = 1,5 d_k$; $H_2 = 15 \text{ мм}$; $D_c = 1,3 D_e$; $H_4 = 2..3 \text{ мм}$;

2. Вибираємо конструктивні розміри камери пульсації D_k від 100 до 120 мм та діаметр диску мембрани $D_d = 0,9 D_k$, діаметр отвору у насадку D_H від 9 до 10 мм. Довжину камери пульсації $H_{к.п.}$ приймаємо $H_{к.п.} = 30 \text{ мм}$. (рис.2). Відстань L від зрізу насадка до деталі приймаємо $h = 50...60 \text{ мм}$. Розмір металевих кульок рекомендовано у межах від 0,8 до 1 мм.

3. На основі результатів експериментальних досліджень [3] вимірювання максимального тиску зануреного пульсуючого струменя з встановленим зворотним клапаном та без нього в залежності від зміни частоти коливань приводу [3]. Результати вимірювань після оброблення осцилограм згідно тарувального графіку представлені у вигляді графіків на рис.3. Згідно графіка рис.3., урахуванням застосування зворотного клапану і рекомендованого діаметра насадка 10 мм, вибираємо раціональний діапазон частоти коливань приводу від 16 до 18 Гц та амплітуду коливань мембрани $A = 0,002 \text{ м}$.

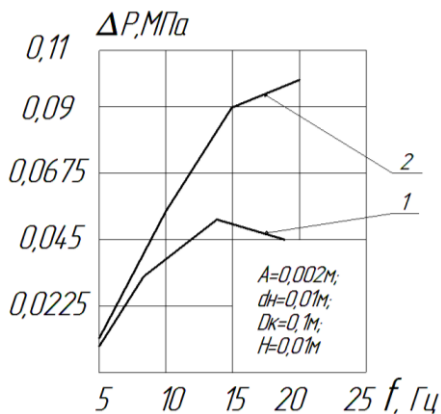


Рис. 3 – Графік залежності зміни максимального тиску пульсуючого струменя від частоти коливань мембрани:
1 – без зворотного клапана; 2 – із застосуванням у камері пульсації зворотного клапана

4. Далі визначаємо конструктивні параметри зворотного клапану для вузла утворення пульсуючого струменя вібраційної машини для очистки забруднень за методикою, яка викладена у вигляді приклада нижче.

5. За рекомендованою частотою коливань визначаємо значення обертів електродвигуна за хвилину. Проводимо розрахунок крутного моменту та потужності електродвигуна.

6. Визначаємо раціональні параметри конструктивних елементів вузла пульсації вібраційної машини для очистки у програмному продукті SolidWorks, а саме товщину мембрани, параметри камери пульсації.

7. Створюємо 3-D модель вузла очистки вібраційної машини у програмному продукті SolidWorks, з якої зручно отримати робочі креслення деталей.

Запропонована методика проектування та розрахунку елементів зворотного клапану для вузла утворення пульсуючого струменя вібраційної машини для очистки забруднень приведена у вигляді прикладу згідно конструкції зворотного клапану рис.4 та рис.5.

На рисунку 4 показана 3-D модель будови пелюсткового зворотного клапану, а на рисунку 5 наведена розрахункова схема зворотного клапану для визначення його основних параметрів.

Клапан працює наступним чином: рідина всмоктується крізь отвори у корпусі 1 при зниженні тиску P_2 (що утворюється в камері пульсації при ході мембрани вниз) при переміщенні пелюстки гумового клапану, яка притискається до входних отворів штоком 2 за допомогою пружини 4, а при зростанні тиску P_2 (приході мембрани уверх в камері пульсації) гумова пелюстка перекриває входні отвори.

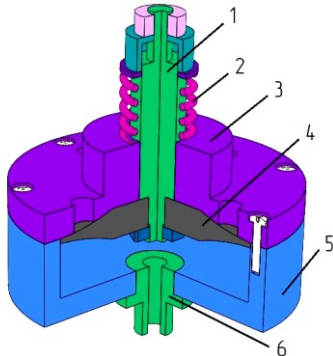


Рис. 4 – Конструкція зворотного клапану для модуля очистки забруднень потоком твердих частинок: 1 – шток; 2 – пружина; 3 – кришка; 4 – гумовий пелюстковий клапан; 5 – корпус; 6 – штуцер

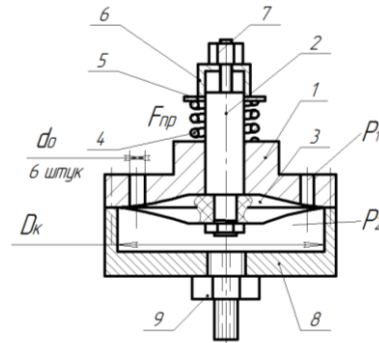


Рис. 5 – Розрахункова схема зворотного клапану вібраційної машини для очистки забруднень потоком пульсуючого струменя рідини з твердими частинками: 1 – корпус; 2 – шток; 3 – пружина мембрана; 4 – пружина; 5 – шайба; 6 – стакан; 7 – гайка регульовальна; 8 – кришка; 9 – штуцер

З метою зменшення виникнення значної кількості кавітаційних пухирців у камері пульсації для зворотного клапана важливо розрахувати максимальну сумарну площу отворів та їх кількість, виходячи з об'ємного витоку рідини крізь нього за період коливання.

Максимальний об'єм рідини, який теоретично може потрапити у камеру пульсації крізь клапан за період коливання, без урахування втягування рідини крізь насадок, визначається за формулою:

$$V_{к.л.} = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} \cdot 2 \cdot A, \quad (1)$$

де A – амплітуда коливань рідини у камері пульсації;
 D_k – діаметр камери пульсації, $D = 0,1$ м.

Об'ємний виток рідини $V_{кл}$ крізь клапан визначається для рідини, що не стискається, за формулою [4]:

$$V_{кл} = \mu \cdot \Sigma S_o \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}, \quad (2)$$

де ρ – густина води, $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

μ – коефіцієнт витоку, $\mu = 0,9$;

ΣS_o – сумарна площа отворів у клапані;

ΔP – різниця тисків атмосферного та у камері пульсації $\Delta P = 0,05$ МПа.

Припустимо, що максимальний об'єм рідини $V_{к.л.}$ дорівнює об'ємному витоку крізь клапан $Q_{кл}$ без урахування об'єму рідини, що може втягуватися крізь насадок.

$$\frac{\pi \cdot D_k^2}{2} \cdot A = \mu \cdot \Sigma S_o \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}. \quad (3)$$

Звідки можна отримати загальну площу вхідних отворів клапана за формулою:

$$\Sigma S_o = \frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot A}{2 \cdot \mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}}. \quad (4)$$

Проведемо чисельні розрахунки за формулою (4) при наступних параметрах: діаметр камери пульсації

$D_k = 0,1$ м; амплітуда $A = 0,002$ м; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$; $\mu = 0,9$; перепад тиску $\Delta P = 0,05$ МПа.

$$\Sigma S_o = \frac{\pi \cdot D_k^2 \cdot A}{\mu \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}}} = \frac{3,14 \cdot 0,1^2 \cdot 0,002}{2 \cdot 0,9 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 0,05}{1000}}} = 0,000348 \text{ м}^2.$$

Прийmemo діаметр отворів $d = 0,01$ м та кількість 6 штук. Визначимо їх сумарну площу за формулою:

$$\Sigma S_o = \frac{\pi \cdot d_o^2}{4} \cdot n = \frac{3,14 \cdot 0,01^2}{4} \cdot 6 = 0,000471 \text{ м}^2.$$

Порівнявши сумарну теоретичну площу отворів з прийнятою фактичною сумарною площею отворів та враховуючи, що об'ємний виток крізь клапан фактично буде меншим, за рахунок втягування рідини у камеру пульсації крізь насадок, можна зробити висновок, що фактичні конструктивні розміри забезпечують роботоздатність запропонованої конструкції зворотного клапану.

Виконаємо перевірку за частотною характеристикою спрацювання клапана запропонованої конструкції.

Час спрацювання зворотного клапана визначається за формулою [5,6]:

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot h}{(P_1 - P_2) \cdot \Delta S - R}}, \quad (5)$$

де m – маса клапана з штоком, 0,02 кг;

h – максимальний хід мембрани, 1 мм;

ΣS – площа прохідного січення клапану, 4710 мм²;

R – сумарна сила опору руху мембрани клапана з штоком, 5 Н;

P_1 – тиск вхідний, зовнішній, 0,1 МПа;

P_2 – тиск на виході з клапану, 0,05 МПа;

Проведемо розрахунок, за отриманими конструктивними параметрами, за формулою (5):

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,02 \cdot 1}{(0,1 - 0,05) \cdot 4710 - 5}} = 0,00412 \text{ с.}$$

Визначений час спрацювання клапану говорить, що його роботоздатність буде забезпечуватися при частотах від 0 до 30 Гц коливань вібраційного приводу машини.

Тому при рекомендованих частотах від 16 до 18 Гц його ефективна робота забезпечена.

Проведемо розрахунок конструктивних параметрів пружної системи клапану. Пружина клапану призначена для роботи в певному діапазоні тиску і характеризується двома робочими тисками: початковим

$P_{\min} = 0,01 \text{ МПа}$ і кінцевим $P_{\max} = 0,05 \text{ МПа}$.

Діапазон роботи пружини визначається наступними умовами:

1) Перевищення тиску над робочим при відкритті клапану на розрахункову величину h_0 має бути $\Delta P \leq 0,1 P_p$ тобто $\Delta F_{np} \leq 0,1 F_p$ або $\eta \geq 0,9$;

2) При нормальному розрахунковому тиску $P_n = 0,5(P_{\min} + P_{\max})$ для клапану має бути $\Delta F = (0,06 \dots 0,07) F_n$ або $\eta = (0,94 \dots 0,93)$ (де F_n номінальне навантаження);

3) Максимальне розрахункове навантаження можливо бути в 1,5 рази більше номінальної, тобто $F_{\max} = 1,5 F_n$.

Співвідношення максимальної і мінімального навантаження для пружини дає коефіцієнт діапазону пружини:

$$\psi = \frac{F_{\max}}{F_{\min}} = \frac{P_{\max}}{P_{\min}} = \frac{0,005}{0,001} = 5.$$

Визначимо параметри пружини зворотного клапану.

Прийемо для пружини матеріал, з якої вона виготовляється, Сталь 60С2. Діаметр штока клапану конструктивно прийнято $d_{шт} = 10 \text{ мм}$.

Діаметр дроту пружини визначається за формулою:

$$d = \sqrt[3]{\frac{8kF_2 D_{сер}}{\pi \tau}} = \sqrt[3]{\frac{8 \cdot 1,2 \cdot 1,7 \cdot 12}{3,14 \cdot 375 \cdot 0,5}} = \sqrt[3]{0,166} = 0,55 \text{ мм}, \quad (7)$$

де $D_{сер}$ – середній діаметр пружини, який приймаємо, виходячи із конструктивних розмірів клапану, $D_{сер} = 13,2 \text{ мм}$; $D_{сер} = 12 \text{ мм}$;

k – коефіцієнт кривизни витків, який приймаємо із врахуванням індексу пружини; якщо $i > 8$, то $k = 1,1 \dots 1,2$;

τ – розрахункове значення напружень кручення. Із міркувань, що $\tau = (0,5 \dots 0,8) [\tau_k]$, де $[\tau_k]$ – допустимі напруження для пружин із сталі 60С2, $[\tau_k] = 750 \text{ МПа}$, маємо $\tau = 0,5 \cdot 750 = 375 \text{ МПа}$;

F_2 – сила стиснення пружини при робочій деформації, яка відповідає максимальному тиску на площу мембрани. $F_2 = \Sigma S_o \cdot P_{\max} = 0,0034 \cdot 500 = 1,7 \text{ Н}$.

З конструктивних міркувань діаметр дроту пружини прийемо $d = 1 \text{ мм}$. Тоді Зовнішній діаметр пружини визначаємо як:

$$D_{зов} = D_{сер} + d = 12 + 1 = 13 \text{ мм}, \quad (8)$$

де d – діаметр дроту пружини;

$D_{сер}$ – середній її діаметр.

Внутрішній діаметр пружини визначаємо як:

$$D_{вн} = D_{сер} - d = 12 - 1 = 11 \text{ мм}. \quad (9)$$

Максимальну величину стиснення пружини при збиранні конструкції клапану X_k визначаємо за формулою:

$$X_k = \frac{X \cdot F_2}{F_2 - F_1} = \frac{2 \cdot 1,7}{1,7 - 0,85} = 4 \text{ мм}, \quad (10)$$

де X – хід пружини в робочому стані, $X = 1 \text{ мм}$;

$X = 2 \text{ мм}$; F_2 – сила пружини при робочій деформації, $F_2 = 1,7 \text{ Н}$;

F_1 – сила пружини при попередній деформації, $F_1 = 0,5 \cdot F_2 = 0,5 \cdot 1,7 = 0,85 \text{ Н}$.

Тоді число робочих витків:

$$n = \frac{Gd^4 X_k}{8F_2 D_{сер}^3} = \frac{7,85 \cdot 10^4 \cdot 1^4 \cdot 4}{8 \cdot 1,7 \cdot 12^3} = 13,36 \text{ шпук}, \quad (11)$$

де G – модуль зсуву для пружинної сталі 60С2, прийнято $G = 7,85 \cdot 10^4 \text{ МПа}$.

Повне число витків пружини:

$$n_1 = n + n_2 = 13 + 2 = 15, \quad (12)$$

де n – число робочих витків;

n_2 – число опорних витків, що доповнюють приймаємо $n_2 = 2$.

Таким чином, наявність у модулі очищення виробу у пульсуючому струмені рідини з твердими часточками зворотного пелюсткового клапана із параметрами, які визначені згідно запропонованої вище методики та рекомендацій, забезпечить утворення пульсуючого струменя з характеристиками, що необхідні для ефективної роботи як модуля очищення виробу, так і вібраційної машини для очищення забруднень загалом.

Висновки

1. Запропоновано інноваційну конструкцію вібраційної машини для очистки забруднень потоком твердих частинок та мийки деталей при ремонті обладнання яка складається з двох модулів: модуля очистки пульсуючим зануреним струменем з твердими частинками та модуля мийки забруднень пульсуючим зануреним струменем мийної рідини.

2. Запропонована узагальнена методологія розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів модуля очистки вібраційної машини дозволяє визначати необхідні конструктивні параметри модуля та параметри коливань приводу машини.

3. Наведено розрахунок елементів конструкції зворотного клапану для вузла утворення зануреного пульсуючого струменя рідини з твердими частинками. Його застосування дозволяє отримувати збільшення максимального тиску пульсуючого струменя при частотах коливань приводу від 16 до 18 Гц, що призводить до підвищення продуктивності процесу очистки.

Література

1. Вібраційна машина для очистки забруднень потоком твердих частинок та мийки деталей при ремонті обладнання: пат. 132837 Україна : МПК В08В 3/10. u2018 10344; заявл. 19.10.18; опубл. 11.03.19, Бюл. №5.

2. Старий А. Р., Гордеев А. І., Гордеев О. А. Вібраційна машина для очистки та мийки. Science and civilization – 2020: 2020 рік : materials of the XVI International scientific and practical Conference. 30 January – 07 February, 2020. Sheffield : Science and education LTD, 2020. С. 67–70.

3. Старий А. Р., Гордеев А. І. Аналіз аналітичних моделей вібраційного приводу машини для мийки і очистки пульсуючим струменем рідини та експериментальне дослідження режимів його роботи. Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. №4. 2021. С. 77–83. DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-77-83.

4. Поршневые компрессоры: Учебное пособие для студентов. / Б.С. Фотин, И.Б. Пирумов, И.К. Прилуцкий, П.И. Пластинин Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. 372 с.

5. Гідроприводи та гідропневмоавтоматика: Підручник / В.О. Федорець, М.Н. Педченко, В.Б. Струтинський та ін. За ред. В. О. Федорця. К: Вища школа, 1995. 463 с.

6. Герасимов Є. Г., Герасимов Г. Г., Іванов С. Ю. Динамічні процеси в трубопровідних системах: монографія. Рівне : НУВГП, 2020. 597 с.

References

1. Vibrating machine for cleaning pollution with a flow of solid particles and washing parts during equipment repair: pat. 132837 Ukraine: IPC B08B 3/10. u2018 10344 ; statement 19.10.18; published 11.03.19, Bul. No. 5.

2. Stariy A. R., Gordeev A. I., Gordeev O. A. Vibrating machine for cleaning and washing. Science and civilization - 2020: 2020 year: materials of the XVI International scientific and practical Conference. 30 January – 07 February, 2020. Sheffield : Science and education LTD, 2020. pp.67–70.

3. Stariy A. R., Gordeev A. I. Analysis of analytical models of the vibration drive of a machine for washing and cleaning with a pulsating stream of liquid and experimental study of its modes of operation. Bulletin of the Khmelnytskyi National University. Technical sciences. No. 4. 2021. P. 77–83. DOI 10.31891/2307-5732-2021-299-4-77-83.

4. Fotin B.S., Pyrumov I.B., Prylutskiy I.K., Plastinin P.I. Piston compressors: Study guide for students. L.: Machine building. Lenigr. otd-nie, 1987. 372 p.

5. Fedorets V. O., Pedchenko M. N., Strutytskyi V. B. and others. Hydraulic drives and hydropneumatic automation: Textbook K: Higher school, 1995. 463 p.

6. Gerasimov E.G., Gerasimov G.G., Ivanov S.Yu. Dynamic processes in pipeline systems: monograph. Rivne: NUVHP, 2020. 597 p.