

Хмельницький національний університет  
Факультет інженерії, транспорту та архітектури  
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

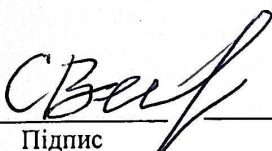
# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

## Удосконалення побутової пральної машини

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»  
Шифр, назва  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр, назва  
Освітня програма «Електропобутова техніка»

Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТм-24-1

  
Підпис

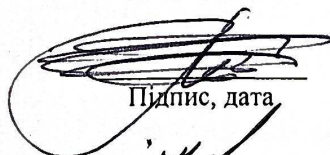
В. В. Старичук  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

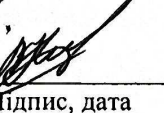
В. С. Неймак  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

О. Г. ТИМОШУК  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

В. С. Неймак  
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС  
10 12 2025 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень магістр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

к.т.н., доц. Неймак В.С.

*В.С. Неймак* 10. 12 .2025р.

ЗАВДАННЯ  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Старичук Віталій Васильович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Удосконалення побутової пральної машини

керівник роботи Неймак Віталій Станіславович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 25 08 2025 р. № 65

2. Строк подання студентом роботи на кафедру 10.12.2025р.

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики пральних машин

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Огляд та аналіз існуючих технологічних та технічних рішень з тематики магістерської роботи. 2. Розробка конструкції удосконаленої пральної машини 3. Розрахунки елементів конструкції удосконаленої пральної машини. Перелік джерел посилання.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Пральні машини (ДО, А1). 2. Пральна машина (ВЗ, А1). 3. Пральна машина ПМА-5ФБЕ (ЕЗ, А1). 4. Демпфер гідравлічний (СК, А1). 5. Розрахунок пральної машини (РР1, А1). 6. Моделювання форми поверхні гребеня (РР2, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

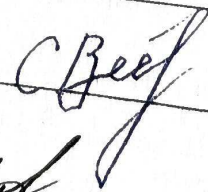
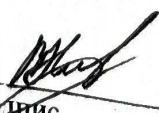
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітки
1. Огляд та аналіз існуючих з технологічних та технічних рішень тематики магістерської роботи.	до 30.10.25р.	
2. Розробка конструкції удосконаленої пральної машини	до 10.11.25р.	
3. Розрахунки елементів конструкції удосконаленої пральної машини	до 20.11.25р.	
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.25р.	

Студент

Керівник роботи

Підпис   
 Підпис 

**В.В. Старичук**  
 Ініціали, прізвище

**В.С. Неймак**  
 Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка».

1. Прізвище, ім'я та по батькові Старичук Віталій Васильович

2. Тема магістерської роботи Удосконалення побутової пральної машини

3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента \_\_\_\_\_

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 6 арк., сторінок записки 70

5. Основними характеристиками будь-якої пральної машини є: габаритні розміри, максимальна маса завантаження, тип завантаження, швидкість віджимання, клас прання, клас віджимання, клас енергоспоживання, матеріал з якого виготовлено бак пральної машини. В даній магістерській роботі було поставлено задачу покращити демпфуючі властивості пральних машин типу ПМА шляхом зміни конструкції їх пружної підвіски. В розрахунково-пояснювальній записці наведено всі необхідні розробки, а також розділи, що відповідають встановленим вимогам. В першому розділі проведено огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень з тематики магістерської роботи. В другому розділі здійснюється розробка конструкції удосконаленої пральної машини. В третьому розділі проведено розрахунки елементів конструкції удосконаленої пральної машини.

Підпис студента \_\_\_\_\_

" 10 " 12 20 25 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 4 від " 26 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК добре 10/86

Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -





Технічний секретар Гуржак А.В.

" 26 " 12 20 25 р.

## ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Аналіз існуючих технічних і технологічних рішень із тематики магістерської роботи .....	8
1.1 Загальна характеристика пральних машин .....	8
1.2 Огляд та аналіз існуючих конструкцій пральних машин та технологічних процесів прання в них .....	15
Висновки до розділу 1.....	35
2 Розробка конструкції удосконаленої пральної машини.....	37
2.1 Актуальність теми мета та задачі роботи .....	37
2.2 Опис існуючих схем гасіння коливань в пральних машинах типу ПМА.....	38
2.3 Опис запропонованого варіанту конструкції.....	42
2.4 Розробка конструкції гідравлічного демпфера.....	44
2.5 Розробка конструкції пружинного демпфера.....	47
2.6 Розробка електричної схеми удосконаленої пральної машини.....	52
Висновки до розділу 2.....	53
3 Розрахунки елементів конструкції удосконаленої пральної машини ...	54
3.1 Вихідні дані для розрахунку.....	54
3.2 Розрахунок гідравлічного демпфера .....	55
3.3 Розрахунок пружинного демпфера .....	58
Висновки до розділу 3.....	62
Висновки.....	63
Перелік джерел посилання.....	64

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Старичук В.В.			Удосконалення побутової пральної машини	Літера	Аркш	Аркшів
Перевір.		Неймак В.С.				М	4	70
Н.контр.					ХНУ, гр.ЕТМ-24-1			
Затвер.		Неймак В.С.						















ла доступна лише одна операція – вищеописаний основний цикл. Змінювала-ся лише максимальна температура води в баці і швидкість обертання бараба-на при віджиманні (обмотки електродвигуна перемикалися за допомогою на-тиснення кнопок, ланцюги програматора в цьому задіяні не були).

Проте незабаром з'явилися машини другого покоління, обладнані елек-тромеханічними програматорами (основані на застосуванні крокових елект-родвигунів і реле). Ці пристрої вже дозволяли відрховувати число обертів барабана, регулювати його швидкість, а значить, і тривалість процесу прання. Як результат, машини другого покоління вже володіли п'ятьма або шістьма програмами: основний цикл, скорочений цикл, що дозволяв істотно скороти-ти час прання, і 3–4 цикли для делікатних тканин. У останніх циклах барабан обертався повільніше, з'явилися паузи між його поворотами, а віджимання відключалося взагалі або ж здійснювалося при зниженому числі обертів ба-рабана.

Стрімкий прогрес у сфері мікроелектроніки, а згодом і обчислювальної техніки, спричинив появу агрегатів третього (так званих інтелектуальних) і четвертого (екологічних) поколінь. Ці пристрої цілком слушно можна порів-няти з роботами-прачами. Кількість доступних програм прання сягає тридця-ти, причому машина здатна самостійно оцінити, скажімо, обсяг білизни, за-вантаженої в барабан, і, виходячи з цього, розрахувати потрібний об'єм води для виконання обраного алгоритму. Аналогічно автоматично встановлюють-ся й інші характеристики, як-от ступінь жорсткості води. До того ж, у маши-нах четвертого покоління закладені нормативи щодо зниження споживання води та електроенергії, а також щодо рівня шуму та вібраційних проявів. Су-часні сушильні й прально-сушильні комплекси додатково оснащені функцією визначення залишкового рівня вологості завантажених речей.

Посилення конкуренції змушує виробників наповнювати пральні ма-шини великою різноманітністю опцій та додаткових зручностей. Як приклад, це може бути індикатор, що показує очікувану тривалість циклу, функція





верхнім завантаженням параметри дещо відрізняються – 85×60×40 см). Зазвичай подібний агрегат розрахований на обробку до п'яти кілограмів сухої білизни за цикл. Проте, можна знайти у продажу й версії, здатні вмістити 5,5–6 кг.

Є також у продажу малогабаритні ("міні") версії: їхні зовнішні параметри зазвичай сягають 69×51×43 см. Спеціалізується на випуску таких компактних пристроїв відома італійська компанія CANDY. Мінусом цих компактних приладів є обмежена максимальна місткість – до 3 кг. Однак, фірма Candy пропонує модель Energa CB 735, яка, маючи невеликі розміри, призначена для завантаження до 4 кг білизни, при цьому її енергоспоживання під час роботи не перевищує позначки 750 Вт.

Пральні машини відрізняються за показниками ефективності прання та класу віджиму. Для цих параметрів запроваджено семиступеневу шкалу градції. Позначається вона літерами латинського алфавіту, починаючи з «А» і спускаючись до «G», де «А» свідчить про найвищу якість (або найменше споживання енергії), а подальші літери вказують на поступове зниження цих показників. Ця система оцінки для побутової електротехніки, зокрема щодо якості та енергоефективності, була розроблена німецькою установою Stiftung Warentest і закріплена директивою Єврокомісії № 95/12/ЄС від 23 травня 1995 року.

У структурі Stiftung Warentest функціонує спеціалізований відділ, відомий як «Інститут якості прання». Спеціалісти цієї установи встановлюють рівень якості прання, проводячи зіставлення результатів, отриманих від машин серійного виробництва, з показниками так званого «референсного (еталонного) прання». Після ретельних та тривалих тестових сесій, коли в різних режимах перуться різноманітні матеріали з різними типами забруднень за допомогою численних чистячих засобів та їхніх комбінацій, конкретній моделі машини присвоюється певний клас прання. Аналогічна методика застосовується для оцінки якості віджиму, а якщо апарат має функцію сушіння або є



Основна потреба полягає у тому, щоб у циліндричній посудині виникло нерівномірне переміщення рідини у різних її частинах. Лише такий гідродинамічний стан забезпечує найкраще протікання стадії прання. Для реалізації цього задуму в рухомий вертикальний циліндр пропонується впровадити нерухомий компонент, завдання якого полягає у сповільненні (гальмуванні) певних порцій мийного засобу. Це, відповідно, спричинить утворення векторів швидкості рідини, спрямованих у різні боки, у межах усього простору барабана.

На доданому технічному кресленні [МРМА 25..00.00.000ДО, малюнок 1] показано зовнішній вигляд прально-віджимного пристрою. Тут присутні корпус 1, нерухомий циліндр 2, ротор прання 3, запірні вентиля 4, 5, 6, електричний рушій 7, помпа 8, фіксований вузол 9, відвідні труби 10, 11, а також вісь обертання 12.

Прально-віджимний пристрій має корпус (1), до якого закріплено нерухому деталь (9), що розміщена всередині прального барабана (3). Окрім того, навколо барабана (3) розташовано фіксований (нерухомий) барабан (2). Обертання прального барабана забезпечується електричним двигуном (7), який також живить (наводить у дію) помпу (8). Поступлення рідини реалізується завдяки регульовальним клапанам (4, 5, 6). У схемі також задіяні канали (10, 11) та вісь (12).

Функціонування прально-віджимної машини відбувається так.

Під час фази прання клапани керування (5, 6) заблоковані, натомість клапан (4) відчинений. До прального барабана (3) закладається білизна, і туди ж подається мийний склад.

Двигун (7), передаючи зусилля через вал (12), запускає обертання барабана для прання (3) та насоса (8). Завдяки цьому обертанню барабан (3) сприяє переміщенню білизни, просоченої мийним засобом. Фіксована деталь (9), створюючи протидію руху певній кількості рідини, викликає варіабельну





Пристрій, призначений для рідинного очищення предметів, на зразок пральної чи мийної машини, включає корпус 1, зверху якого розміщена кришка 13, та резервуар 14, що містить секцію для миття і ділянку для створення розрідження. Деталізуючи, це обладнання має вузол 15 для подачі як мийного розчину, так і звичайного повітря, а також вузол 16 для відведення використаної рідини з резервуару. Додатково передбачено вакуумний насос 19, з'єднаний патрубком 18 із зоною розрідження у резервуарі 15, що також містить центрифугу.

Цей пристрій для очищення рідиною обладнаний платформою 20, закріпленою на пружності 21, на якій встановлено сам вакуумний насос 19. Привід вакуумного насоса 19 та центрифуги здійснюється від окремих двигунів (які не відображені на схемах). Корпус 1 має регульовані підставки 22. Кришка 13 зроблена з прозорого полімеру чи скла; між краєм резервуару 14 та кришкою 13 встановлено гнучке ущільнення 22. На зовнішній стороні корпусу 1 розміщено панель керування циклами прання та індикатор рівня 23 з позначкою 24, що вказує на оптимальне заповнення резервуару мийним засобом. Виготовлення кришки 13 з прозорого матеріалу дає змогу безперервно контролювати візуально увесь технологічний етап відведення забрудненого розчину до моменту появи чистої води для полоскання, що відбувається під впливом вакууму. При цьому, за допомогою електронного пульта управління, є можливість коригувати параметри циклу: нагнітання вакууму, етап зливання рідини та сушіння очищених предметів.

Резервуар 14 має опцію додаткового встановлення сітки 25. Бічна стінка резервуару 14 забезпечена отворами 26, розміщеними по всьому його обводу, і може бути виконана у вигляді центрифуги, яка має чіткий поділ між зоною вакууму та зоною промивання. Зовні резервуару 14 облаштовано жолоб 27, що огинає отвори 26, з приєднаним патрубком 28, призначеним для відведення забрудненої мийної рідини. Патрубок 28 підключений до блоку 16, який, у свою чергу, пов'язаний із запірним механізмом 29 та ще одним па-





тичної роботи вакуумної пральної установки, у резервуарі створюється розрідження атмосферного повітря за рахунок роботи вакуумного насоса 19 із електродвигуном, що відбувається через патрубок 18. Це створює вакуум у ємності 14, який змушує миючий розчин хаотично рухатися у напрямку розрідження, набуваючи певної кінетичної енергії. Ця енергія передається на забруднені поверхні виробів, що підлягають обробці. Завдяки цьому зниженню тиску, молекули миючої рідини та повітря механічно впливають на різноманітні текстури поверхонь виробів, проникаючи навіть у найдрібніші порожнини та руйнуючи розбухлі нехімічні забруднення. Частково ці забруднення розчиняються, підхоплюються та виносяться у вільний об'єм рідини, змішуючись із миючим порошком, що значно пришвидшує процес очищення. Внаслідок тертя, викликаного імпульсами руху частинок миючого розчину, на поверхні виробів відбувається робота зі змивання забруднень, яка відбувається завдяки інтенсивним молекулярним зіткненням. Інтенсивність цих ударів безпосередньо залежить від рівня вакуумного розрідження, встановленого у резервуарі 14. Режим функціонування вакуумного насоса 19 визначається заданим стандартним циклом та тривалістю створення вакууму в миючому середовищі. Забруднена миюча рідина зливається через отвори 26, лоток 27 та відповідний патрубок 28. Верхні шари рідини, які є найбільш забрудненими, стікають постійно, а на їхнє місце відповідно до програмного алгоритму автоматичного циклу очищення, доливається чиста вода. У пральних машинах, обладнаних центрифугою, передбачено стандартний етап зливу води, після якого відбувається сушіння за допомогою вакууму.

Аби найбільш ефективно вилучити вологу з виробів та досягти рівня вологості у межах 3-5 відсотків для текстильних виробів, а також повного висушення (нульовий стан) для нетканих матеріалів, застосовують повторне вакуумування, при цьому ємність 14 не повинна містити води. Цю ж процедуру можна здійснювати паралельно з обробкою виробів у центрифугі. Те-





грами. При цьому обмежувач підйому білизни та рідини виконаний у вигляді кільця, що балансує. Програма, закладена у пульті управління, забезпечує повну автоматизацію циклу обробки (прання-полоскання-віджим) за змінною послідовністю в межах одного й того ж прального барабана.

Описана конструкція прально-віджимного пристрою дає можливість досягти значної ефективності в циклі прання, полоскання та віджиму білизни, виконуючи всі ці етапи у межах одного й того ж барабана. Ефективність досягається завдяки програмно-керованому циклічному підйманню білизни та води до рівня, обмеженого спеціальним обмежувачем, що відбувається під впливом відцентрової сили. Цей підйом стимулюється розтягненням еластичного конусоподібного покриття (наприклад, гумового) по внутрішній конусній поверхні барабана. Скидання білизни відбувається, коли частота обертання двигуна знижується, що дозволяє конусному еластичному елементу, котрий має розширення у нижній частині для оптимізації скидання, повернутись у вихідне положення. Крім того, конусна кільцева перегородка, завдяки своєму розширенню донизу, спільно з конусною поверхнею барабана, сприяє ефективнішому спрямуванню потоку рідини вниз, до основи барабана. Звідти, завдяки наявності виступу та отворів у дні, рідина у достатній кількості потрапляє назад у робочу зону барабана, а після підняття опускається крізь отвори у верхній частині еластичної конусної оболонки та відповідні отвори у стінці барабана, перетікаючи у зовнішній нерухомий бак.

Завдяки такій реалізації, цей прально-віджимний апарат дає можливість повністю автоматизувати весь процес прання, полоскання та віджиму в одному барабані, при цьому не вимагаючи ані збільшення потужності, ані габаритних розмірів пристрою порівняно з традиційними машинами з пульсаторами або лише барабанним принципом дії.

Зіставляючи зразкові варіанти, стає очевидним, що ця технічна розробка не належить до вже відомих рішень, а є свіжою, задовольняючи умову "новизни".

Вивчення наявної технічної бази у відповідній сфері дає змогу дійти висновку про те, що в ній бракує елементів, які б відповідали ключовим відмінностям цієї розробки, і тому її можна вважати такою, що володіє "винахідницьким рівнем".

На [МРМА 25..00.00.000ДО, малюнок 3, позиція а] подано спрощене зображення прально-віджимного апарату після того, як у нього помістили білизну та рідину (або мийний розчин, або звичайну воду); тоді як на [МРМА 25..00.00.000ДО, малюнок 3, позиція б] показано схематичний вигляд машини у процесі прання, включаючи розташування речей та схему циркуляції рідини в цей момент.

Контрольний модуль 41 інтегровано в корпус 1. Усередині цього корпусу розміщено нерухомий конічний резервуар 2, що розширюється донизу. Він має канали 42 та 43, а також керований ventиль 44 у нижній частині. Його форма утворена конусною круговою діафрагмою 45, яка також обмежує простір 32. Цей простір має вікно 46 у верхній частині, що забезпечує його зв'язок з атмосферою для вирівнювання тиску під час наповнення рідиною. У дні цього простору передбачені канали 47 та 48. Перший з них підключений через керований ventиль 49 до впускного каналу 42, а другий – через керований ventиль 50 – до напірного каналу 51 насоса 8. Крім того, з напірним каналом 51 через керований ventиль 52 з'єднано дренажну трубу 53.

Насос 8, корпус якого закріплений на дні резервуара 2, змонтований на одному валу з двигуном 55. Останній розташований на антивібраційних опорах 56, а також на валу знаходиться пральний барабан 57, бокова конічна поверхня якого має отвори 15. Зверху встановлено обмежувач для підйому білизни та рідини у формі балансувального кільця 58.

Днище прального барабана 3 обладнане отворами 59 та має ступінь 60. У центрі барабана 3 розміщено конічну гнучку (наприклад, гумову) манжету 61, яка розширюється донизу. Вона має отвори 62 у верхній частині та крі-

питься нижнім краєм до дна прального барабана 3, а верхнім краєм – до балансувального кільця 58. Усередині манжети 61 знаходиться білизна 63.

Прально-віджимна машина працює так.

Під час циклу прання, керовані вентиля 44, 50 та 52 залишаються закритими, тоді як керований вентиль 49 перекриває впускний канал 42. У пральний барабан 3, усередину оболонки 61, завантажується білизна 63, і доливається миючий розчин. Цей розчин, завдяки принципу сполучених посудин, проникає через отвори 59 у дні прального барабана 3, досягаючи однакового рівня як у самому пральному барабані 3 (по обидва боки від оболонки 61), так і в нерухомому баку 2.

Двигун 55, використовуючи вал 54, приводить у рух насос 8 та пральний барабан 3 разом із змоченою миючим розчином білизною 63.

Спричинена цим відцентрова сила щільно притискає білизну та миючий розчин до стінки еластичної оболонки 61. Під тиском вмісту, оболонка 61 розтягується, притискаючись до стінки прального барабана 3 і повторюючи форму його конусності. Через наявність кута між твірною конуса прального барабана 3 та вертикаллю, тангенс якого перевищує коефіцієнт тертя вологої білизни об поверхню прального барабана 3, генерується осьова сила. Ця сила пересуває білизну 63 та рідину вгору вздовж притиснутої до стінки прального барабана 3 стінки оболонки 61, аж поки вони не упруться в обмежувач, що сформований у вигляді балансувального кільця 58. Водночас миючий розчин просочується крізь отвори 62 оболонки 61 і далі через отвори 15 прального барабана 3, потрапляючи у нерухомий бак 2. Швидкість підйому білизни 63 та рідини прямо пропорційна куту конусності прального барабана 3.

Аби вивантажити білизну 63, згідно інструкцій, за сигналом із панелі керування 41, швидкість обертання двигуна 55 та бака для прання 3 зменшується таким чином, що сила відцентрова втрачає свою потужність, дозволяючи еластичному чохлау 61 подолати тиск, що чиниться білизною 63 та

миючим засобом. Еластична конструкція 61 набуває своєї первісної форми конуса, розширюючись униз, і скидає білизну 63 разом із рідиною для прання додолу. Форма конуса еластичного чохла 61 з розширенням униз гарантує надійне сповзання білизни 63 на дно прального бака 3.

Після того, як білизна 63 та миючий розчин перемістилися, програма з пульта 41 дає команду на нарощування обертів двигуна 55 і бака для прання 3 до необхідного рівня. Внаслідок цього білизна 63 підіймається, упираючись у стопор — балансувальне кільце 58 — і залишається у цій позиції визначений час. Згодом, програма знову знижує оберти двигуна 55 до встановленого значення; еластичний чохол 61 повертається до своєї початкової конусоподібної форми з розширенням униз, білизна 63 знову стікає, і процес повторюється відповідно до заданого алгоритму.

Бокові хитання ємності для прання 3 та вузла приводу 55, котрі виникають через нерівномірне розташування білизни на старті розгону, приборкуються завдяки демпфуючим опорам 56 та баластувальному обручу 58.

Миючий розчин із нерухомої ємності 3 надходить у барабан для прання 21 крізь отвори 24 на дні під впливом висоти стовпа рідини у ванні 3 та додаткового тиску. Цей надлишковий тиск формується нахилом стінок барабана для прання 21 та кільцевої перешкоди, внаслідок чого під час обертання рідини в баку 3, що індукване обертанням барабана 21, з'являється осьовий імпульс, який проштовхує рідину донизу, створюючи надмірний тиск, спрямований униз.

Для інтенсифікації надходження рідини до барабана для прання 3, його нижня частина обладнана виступом 60, що генерує відцентрову силу, яка додатково виштовхує рідину крізь отвори 59 у барабані для прання 3.

По завершенні циклу прання привід 55 за командою програми вимикається, запірний клапан 49 перекриває патрубок 47 та відкриває втягуючий канал 42, водночас відчиняється керуючий клапан 13. Після цього активується двигун 19, і помпа 15 переміщує миючий розчин із нерухомої ємності



із посудини 32 до нерухомого бака 2 та барабана для прання 3. Таким чином розпочинається процес прання нової партії речей.

Вивчення функціонування цієї апаратури продемонструвало, що послідовність операцій прання, ополіскування та сушіння (віджиму), реалізована через циклічний механізм підймання та опускання забрудненого текстилю, дає змогу досягти наступного скорочення часових витрат:

час, потрібний на прання й ополіскування, зменшується удвічі, а на віджим – у півтора рази, якщо порівнювати зі стандартними активаторними пральними машинами (ПМ);

час, витрачений на прання, скорочується у сімнадцять разів, на ополіскування – у 2,7 рази, а на віджим – у 1,75 рази, якщо зіставити з машинами барабанного типу, навіть за умови, що вологість білизни після циклу залишається в межах 80–90%.

Весь цикл, що охоплює прання, полоскання та віджим, виконується в одному кінчному барабані. При цьому загальний час технологічного процесу (без урахування зупинок) скорочується щодо активаторних ПМ – у 1,8 рази, а щодо барабанних – аж у 6 разів. Це спрощує повну автоматизацію всього алгоритму, який задається через панель керування, та збільшує випускну потужність агрегату без потреби у збільшенні енергоспоживання чи фізичних розмірів, зберігаючи при цьому високу якість очищення текстилю.

#### 1.2.4 Пральна машина

Суть винаходу[4] полягає у вдосконаленні пральної машини через зміну розміщення пульсатора всередині бака. Це забезпечує однакове за інтенсивністю опрацювання білизни, що, своєю чергою, позитивно впливає на якість прання.

Зазначена мета досягається завдяки такій конструкції: пральна машина включає ємність для миючого розчину зі знімною верхньою кришкою, вузол приводу, змонтований у верхній частині ємності, та швидкохідний пульсатор із ультразвуковим випромінювачем, який з'єднаний із електродвигуном і розташо-

ваний робочою поверхнею у напрямку до основи ємності. Згідно з патентом, вузол приводу має консольну виносну частину у нижній своїй зоні, що має форму незакритого з одного боку зрізаного конуса. Електродвигун розміщено співвісно у внутрішньому просторі цього виступу. При цьому консольний виступ виконано так, що його вісь нахилена відносно горизонталі й спрямована до середньої зони бака, а сам пульсатор закріплено на верхівці цього виступу, по центру внутрішнього об'єму бака. Впровадження такої консольної деталі у привідному вузлі, співвісне розміщення електродвигуна у його порожнині під кутом до горизонталі та встановлення пульсатора (жорстко зв'язаного з електродвигуном) на кінці цієї виносної частини, гарантує рівномірне та потужне опрацювання білизни по всьому об'єму ємності, унеможлиблює збивання білизни в грудки, що суттєво покращує якість прання.

На [МРМА 25.00.00.000ДО, малюнок 4] схематично зображено подовжній переріз пральної машини.

Пральна машина складається з: бака для прання 2, у верхній частині корпусу 1 якого змонтовані вузли приводу та знімна кришка 65. У нижній частині корпусу 1 передбачено консольний відступ 66, що має форму порожнистого зрізаного конуса, всередині якого розміщено електромотор 55. Цей консольний відступ та електромотор розташовані співвісно, причому їхня вісь нахилена до горизонтальної площини та спрямована до середини бака 2. На валу 54 електромотора 55 закріплено швидкохідний куполоподібний пульсатор 67, до якого приєднано ультразвуковий випромінювач 68.

У бак 2 заливають мийний розчин і запускають обертання валу 54 електромотора 55. Разом із валом 54 починає обертатися куполоподібний пульсатор 67, пов'язаний з ним ультразвуковий випромінювач 68. Обертаючись, цей куполоподібний пульсатор з лунками на поверхні створює всмоктувальний вихор мийного розчину, який під впливом ультразвукових хвиль від випромінювача 68 насичується бульбашками кавітації. За цей час білизна обертається навколо

центрального пульсатора 67 у діагональній площині, забезпечуючи рівномірне опрацювання всіх її частин із максимальною інтенсивністю мийним розчином.

Застосування цієї пральної машини дає змогу підвищити якість прання, оскільки пульсатор з ультразвуковим випромінювачем, розташований у центрі бака, забезпечує рівномірну та потужну обробку всього об'єму білизни. Крім того, така конфігурація розташування пульсатора запобігає збиранню білизни в грудки, адже завдяки всмоктувальному потоку білизна піднімається від дна бака, а потім розкидається під дією відцентрової сили потоку миючого розчину. Завдяки діагональному обертанню білизни в баку можна збільшити завантаження без змін зовнішніх габаритів машини, що сприяє зростанню економічності та ефективності циклу прання.

Додатковою перевагою цієї пральної машини є те, що відсутність додаткових елементів, призначених для передачі обертання з вала електромотора на пульсатор, зменшує енергоспоживання та підвищує експлуатаційну надійність пристрою.

#### 1.2.5 Пральна машина

Суть винаходу полягає у вдосконаленні пральної машини з метою забезпечення відведення холодної використаної води з робочої зони апарату безпосередньо до зливу. Це дасть змогу підтримувати високу загальну температуру теплообмінника, що, своєю чергою, підвищить ефективність рекуперації тепла відпрацьованої води, усуваючи необхідність додаткового нагрівання води із мережі за рахунок електроенергії.

Для досягнення поставленої мети пропонується пральна машина, що складається з корпусу, у якому розташована робоча зона. Ця зона містить розміщені послідовно зверху донизу через з'єднувальні канали секції для замочування, прання, ополіскування та сушіння, а також керуючий блок та теплообмінник із каналами для мережевої та відпрацьованої води. При цьому вихід каналу мережевої води теплообмінника під'єднано до робочої зони машини, а





нсора 85, який, використовуючи виконавчий механізм 86, переналаштовує вентиль 84. Це з'єднує вихід з робочої зони 69 машини із входом 80 каналу 77 для відпрацьованої рідини у теплообміннику 75. Гаряча відпрацьована вода заповнює канал 77. У фазі полоскання, вода з мережі через вентиль 87 надходить у робочу порожнину 69, також оминаючи теплообмінник 75. Після завершення полоскання, ця холодна вода потрапляє до сенсора 85, який за допомогою виконавчого пристрою 86 переводить вентиль 84 у положення, що перекриває доступ до входу 80 каналу 77 теплообмінника 75 з виходу робочої зони 69 машини та встановлює зв'язок між виходом робочої зони 69 машини та зливним патрубком 82. В результаті холодна відпрацьована рідина виводиться з робочої зони 69. Під час наступного циклу прання, керуючий блок 74 надсилає команду виконавчому механізму 86, який перемикає вентиль 87, спрямовуючи мережеву воду у канал 76 теплообмінного апарату 75. Мережева вода, попередньо прогріта за рахунок контакту з відпрацьованою рідиною у каналі 77 теплообмінника 75, подається до робочої зони 69 машини. Після другого циклу прання, сенсор 85, задіявши вентиль 84, направляє гарячу відпрацьовану воду знову у канал 77 теплообмінника 75, витісняючи з нього ту відпрацьовану рідину, яка вже віддала своє тепло мережевій воді. Така конфігурація реалізації винаходу унеможливорює потрапляння холодної відпрацьованої води у канал 77 теплообмінника 75, що підтримує високу загальну температуру теплообмінного пристрою 75 (а саме обох його каналів 76 і 77) і, відповідно, підвищує ступінь рекуперації тепла відпрацьованої води, зменшуючи енерговитрати на нагрівання мережевої води, що надходить у робочу зону 69 машини. Водночас, у тих режимах роботи апарату, де може використовуватися прохолодна вода, наприклад, при полосканні, керуючий модуль 74 перелаштовує вентиль 87 для прямого з'єднання робочої порожнини 69 з водопроводом 64, оминаючи теплообмінник 75. Це гарантує, що мережева вода, яка потрапляє до робочої зони 69, не забирає тепло у теплообмінника

75 від відпрацьованої рідини, що забезпечує додаткове зниження витрат електроенергії на підігрів води з мережі.

У другому втіленні винаходу, пральна машина (позначена як МРМА 25.00.00.000ДО, бачимо на рисунку 5, частина \*б\*), подібно до попереднього варіанту, має корпус 1 з робочою порожниною 69, де вміщено зони для попереднього замочування 70, безпосереднього прання 71, полоскання 72 та сушіння 73. Також наявний теплообмінник 75, який має відповідні канали 76 та 77 для надходження свіжої води та відведення відпрацьованої відповідно. Вхід 78 каналу 76 теплообмінника 75, що подає чисту воду, підключений до системи водопостачання 64, а його вихід 79 веде прямо до робочої зони 69 апарату. Водночас, вхід 80 каналу 77 для відведеної води в теплообміннику 75 з'єднаний з робочою зоною 69, а вихід 81 – із загальним дренажним патрубком 82.

Крім того, робоча зона 69 машини оснащена власним зливним патрубком 83, який веде до входу 80 каналу 77 теплообмінника 75 через спеціальний регулюючий вентиль 84. Між цим вентилям 84 та робочою зоною 69 встановлений датчик 85 для контролю температури. Вентиль 84 керується механізмом 86, який, у свою чергу, пов'язаний із зазначеним датчиком температури 85.

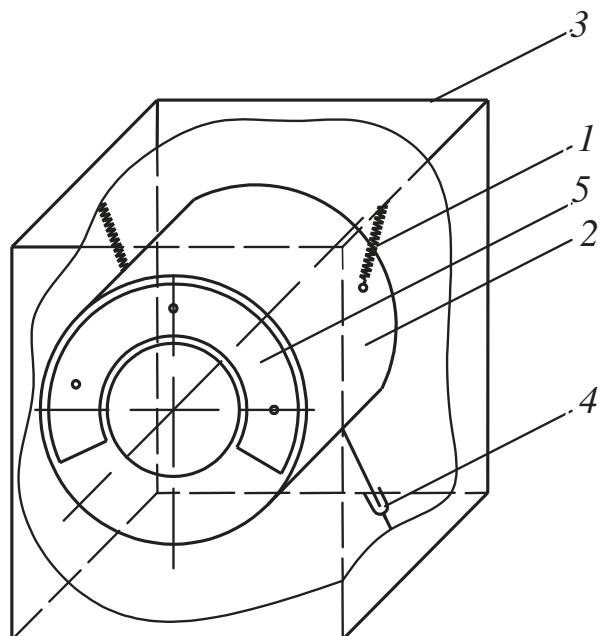
Вода холодної мережі подається через прохід 76 теплообмінного пристрою 75 до робочої камери 69 апарату, де вона нагрівається завдяки електроенергії, що надходить із мережі. Після циклу прання білизни, нагріта до високої температури відпрацьована рідини потрапляє на температурний датчик 85, котрий, діючи через керуючий елемент 86, перемикає засувку 84, тим самим з'єднуючи вихід із робочої зони 69 машини з входом 80 каналу 77 для відпрацьованої рідини у теплообміннику 75. Гаряча відпрацьована вода наповнює канал 77. Під час етапу полоскання, вода мережі також надходить у робочу камеру 69 через канал 76 теплообмінника 75, забезпечуючи його охолодження. Якщо температура відпрацьованої рідини нижча за задану датчиком 85, остан-











Мал. 2.2. Комплексна схема апарату для припинення вібрацій агрегатів серії ПМА:

1 – елемент пружності; 2 – резервуар; 3 – зовнішня оболонка; 4 – демпфуючі елементи; 5 – балансири.

1) чотири амортизаційні елементи (такі як ресори, демпфери), призначені для фіксації резервуару 2 до нижньої складової корпусу 3;

2) баластні ваги 5, які приєднуються до резервуару з метою мінімізації розмаху хитань;

3) розумні системи ретрозв'язку, що дають змогу моніторити максимально допустимий ступінь вібрацій.

Залежно від моделі апарату, повний перелік вищезгаданих елементів може бути присутній повністю або частково. Використання певного типу пристрою для придушення коливань несе за собою як позитивні, так і негативні наслідки[11].

Присутність пружних елементів, якими барабан фіксується до верхньої частини корпусу, є типовою рисою для всіх версій пральних машин ПМА. Кількість цих пружин (двох або чотирьох), а також конфігурація їх розміщення

всередині корпусу, варіюється залежно від того, яким чином завантажується білизна та якої форми і розташування набули противаги.

Девайси для амортизації у різних типах машин мають конструктивні відмінності: від пружних амортизаторів (як-от EBD, Whirpool) до гідравлічних (застосованих у Siemens SIWAMAT 6143, Blomberg, Bosch WHO 3110, Bosch EXLUSIV WT 1300A) та електрогідравлічних. Залежно від їхньої будови, вони можуть керуватися командоапаратом, тобто інтегруватися у контур контролю, який складається з сенсорів вібрації, командоапарату та самого амортизатора.

Противаги слугують меті збільшення моменту інерції бакового вузла пральної машини; вони відрізняються у різних моделях за масою, формою, матеріалом виготовлення та способом закріплення на баку апарату.

Далі буде здійснено розгляд конструкції кріплення балансувальних вантажів у пральній машині [4].

Пральна машина має зовнішній бак, усередині якого розміщено барабан (мал. 2.3). Барабан цей закріплений на горизонтальному валу та з'єднаний із двигуном за допомогою ремінної передачі. Електродвигун прикріплений у нижній частині бака, який, у свою чергу, підвішений на амортизаторах. Балансувальні вантажі зафіксовані на передній та задній торцевих частинах бака. Для покращення експлуатаційної стійкості кожен вантаж зроблений у формі кільцевого сектора. Його кріплення здійснюється у верхній зоні відповідної торцевої поверхні бака, симетрично відносно вертикальної площини, що проходить через вісь обертання внутрішнього барабана. При цьому вага вантажу, що встановлений на задньому торці, становить 0,1 – 0,4 від ваги вантажу, закріпленого на передньому торці бака[11].

Під час прискорення та сталої швидкості обертання елемент бака 1, підвішений на пружинах 5, коливається. Ці коливання викликані нерівномірним розподілом білизни всередині прального барабана. Балансувальні вантажі, жорстко приєднані до торців бака 1 за допомогою болтів 6, сприяють перерозподілу мас даного вузла 1. Розміщення цих вантажів, які мають вигляд кільцевих сег-



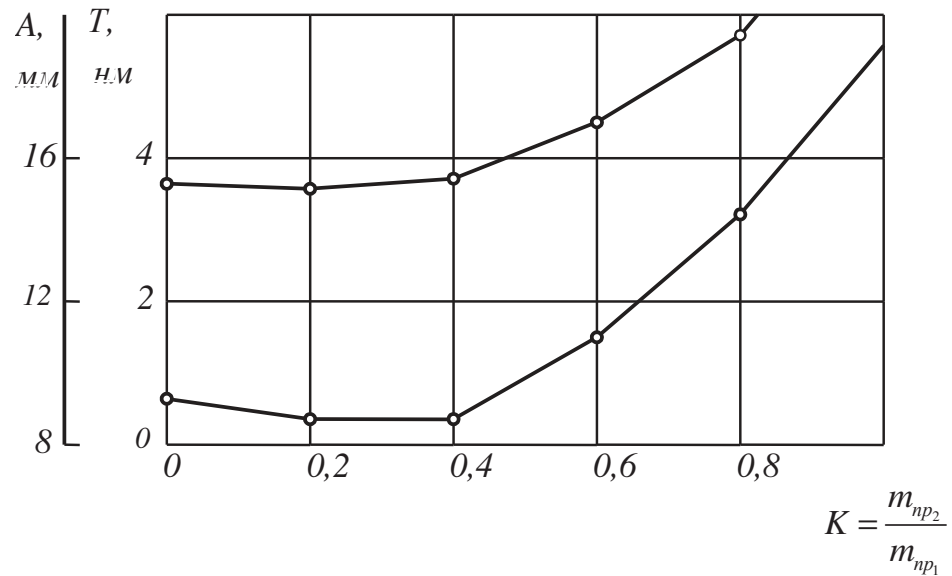


Рис. 2.4. Залежність кінетичної енергії і амплітуд коливань барабана

Важелі балансування, а саме третій та четвертий, розташовані відповідно на передній та задній кромках резервуара 1. Пружні елементи 5 є частиною комплексу антивібраційного захисту, що поєднує резервуар 1 із зовнішнім корпусом пральної машини. З'єднання противаг 3 та 4 з торцями бака 1 здійснюється за допомогою кріпильних елементів, іменованих болтами 6[11].

Співвідношення між ваговими характеристиками противаг, розміщених спереду та ззаду резервуара, описується наступною залежністю:

$$Km_{np1} = m_{np2}, \quad (2.1)$$

де  $m_{np1}$ ,  $m_{np2}$  – відповідно, маси противаг на передньому і задньому торцях;

– усталений параметр, межі коливань якого задаються кінематичними особливостями вузла бака.

На рисунку 2.4 показано графіки залежностей кінетичної енергії та амплітуд вібрацій барабанів вздовж осі від цього параметра

$$T = f_1(K), \quad A = f_2(K), \quad (2.2)$$

де  $T$  – кінетична енергія вузла барабана;  $A$  – амплітуда коливань барабана у напрямі  $Y$ .

З наявного графічного зображення впливають найкращі значення.

Функціонування пральної машини реалізується наступним чином.

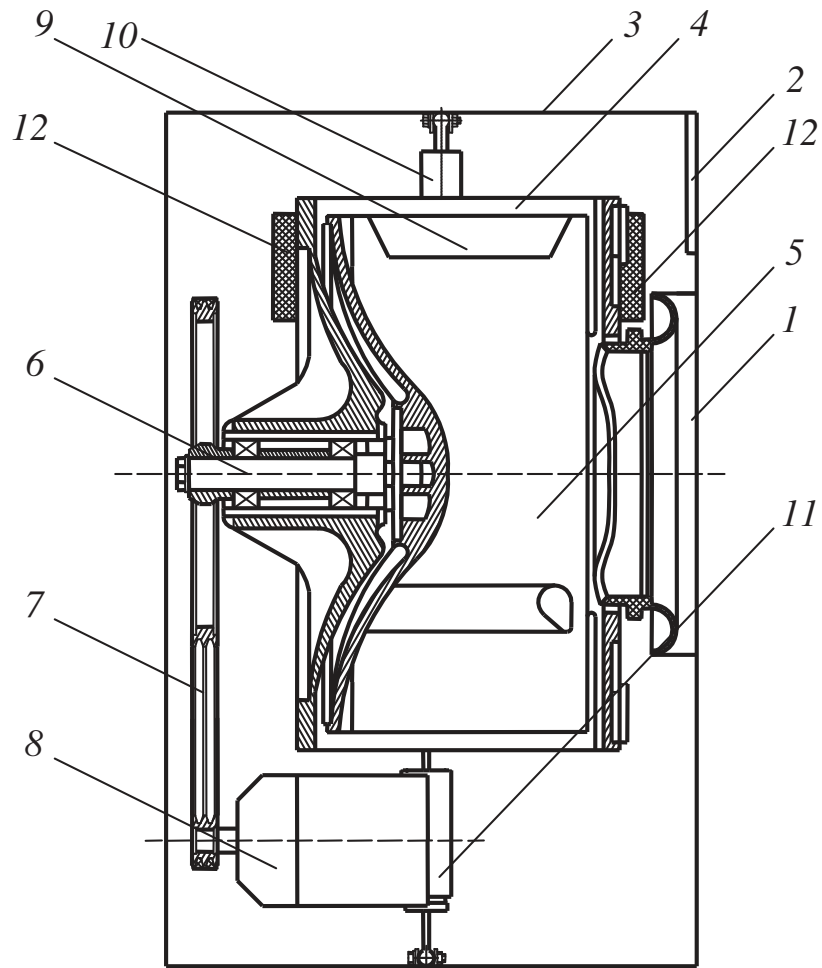
На етапах наростання швидкості та під час руху зі сталою швидкістю, блок бака (1), що пружно утримується на пружинах (5), піддається коливанням, спричиненим нерівномірним розподілом білизни у барабані для прання. Балансувальні вантажі (3) та (4), міцно приєднані до країв бака (1) за допомогою кріплень (6), слугують для перерозподілу мас у цій конструкції. Розташування цих противаг (3) і (4) таке, що, беручи участь у коливальному русі разом із вузлом бака (1), вони продуктивно задіяні у зменшенні вібрацій як при розгоні, так і при сталому обертанні.

Це, своєю чергою, сприяє збільшенню довговічності пральної машини, оскільки зменшення кутових коливань блоку бака у сталому режимі віджиму веде до зниження динамічних навантажень, які діють на складові частини та елементи машини. Крім того, при збереженні заданого рівня вібрації стає можливим зменшення загальної ваги приладу[11].

### 2.3. Опис запропонованого варіанту конструкції

Пральна машина розробки (зображено на рис. 2.5) призначена для виконання циклів прання, ополіскування та віджиму виробів, виготовлених із будь-яких видів тканин. Вона обладнана системою фронтального завантаження білизни. Завантаження білизни у барабан відбувається через скляну дверцята (люк) 1, що розташована на передній панелі агрегату. Люк виготовлено зі спеціальних сортів скла. Завдяки цьому скляному віконцю можна візуально контролювати хід прального процесу. На передній стінці розміщено панель керування 2, на якій знаходяться важелі та кнопки для вибору необхідних параметрів прання. Усі етапи роботи, зокрема прання, ополіскування, віджим виробів, а також регулювання програм та температурних режимів миючих розчинів, виконуються в автоматичному режимі[11].





Мал. 2.5. Зразкова пральна машина:

1 – отвір для завантаження білизни; 2 – блок керування; 3 – зовнішня оболонка; 4 – резервуар для води; 5 – внутрішній циліндр; 6 – вісь обертання; 7 – ремінна передача; 8 – електромотор; 9 – виступ/ребро; 10 – пружний гасник коливань; 11 – амортизатор рідинного типу.

Резервуар для води (4) утримується за допомогою двох пружних демпферів (10), що кріпляться до зовнішньої оболонки (3), та рідинних демпферів (11), які з'єднують резервуар з нижнім каркасом корпусу. Рідинний демпфер (11) слугує для зменшення хитання всієї пральної машини. Він складається з оболонки, всередині якої розміщені: робочий циліндр та стрижень, котрий з'єднаний із частиною машини, що рухається. У поршні передбачено три отвори для проходження в'язкої рідини. У нижній частині корпусу амортизатора рідинного типу розташовано фланець з отворами та якийсь клапан, що має порожнистий



у контакт із клапаном.

У кінцевій частині осердя клапана зроблено отвір, який має спільну вісь із отвором фланця з метою вирівнювання тиску між порожниною під поршнем циліндра та внутрішнім простором осердя. Водночас цей клапан з'єднаний із механізмом керування, а у верхній зоні стінки циліндра передбачено отвір, розміщений вище найвищої точки зупинки поршня, для забезпечення сполучення з порожниною під поршнем через кільцевий зазор [2].

На малюнку 2.6 представлено загальний вигляд гідрогасіння.

Конструкція складається з вертикального циліндричного корпусу (1), усередині якого розміщено робочий циліндр (2). Шток (3) робочого циліндра (2) приєднаний до рухомої частини агрегату. У поршні (4) робочого циліндра (2) є отвори (5) для забезпечення комунікації між порожниною над поршнем і порожниною під поршнем.

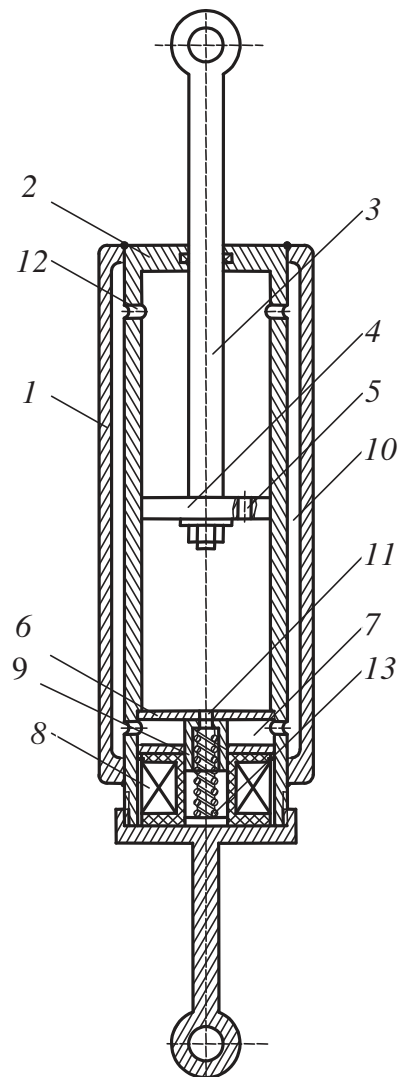
В нижній частині порожнини під поршнем розміщено горизонтальну пластину 6, яка має отвори 7, 11, а також клапан. Цей клапан містить вертикальний порожнистий стрижень 9, що слугує для сполучення простору під поршнем із кільцевою щілиною 10.

Пластина 6 закріплена вище за клапан. Клапан прилягає до нижньої площини торця пластини 6. У торці стрижня 9 передбачено отвір, що співвісний з отвором 11 пластини 6, для вирівнювання тиску між простором під поршнем циліндра 2 та порожниною під стрижнем 9. Клапан з'єднаний з керуючим пристроєм (який не зображено). У боковій стінці циліндра 2, у його верхній зоні, знаходяться отвори 12, розташовані вище за верхню кінцеву точку руху поршня 4; вони забезпечують зв'язок через кільцеву щілину 10 із зоною під поршнем. Стрижень 9 утримується пружним елементом 13, що забезпечує його повернення у вихідне положення після вимкнення електромагніту 8 клапана [2].

Робота гідравлічного гасника здійснюється так.

В зоні коливань бака пральної машини нижче критичної частоти, а також у діапазоні резонансних частот, якщо електромагнітний клапан неактивний,

функціонує перший етап гідрогасіння, який забезпечує високий ступінь демпфуючого опору. У цей момент опір виникає завдяки переміщенню в'язкої рідини крізь канали 5, розташовані у поршні 4.



Мал. 2.6. Повний вигляд гідравлічного гасника коливань:

1 – основна конструкція; 2 – робочий циліндричний пристрій; 3 – стрижень; 4 – діафрагма; 5 – шляхи перетікання діафрагми; 6 – накладка; 7, 11 – отвори; 8 – регулюючий елемент; 9 – стрижень елемента; 10 – проміжок по периметру; 12 – отвір; 13 – пружний елемент.

Коли вібрації бака прального апарату потрапляють у стадію, де амплітуда







Конструкція демпфера може бути адаптована шляхом зміни кількості як несучих, так і профільованих вкладишів, що дає можливість досягти будь-якої бажаної залежності інтенсивності демпфування від амплітуди хитань підвішених компонентів прально-віджимної машини [5].

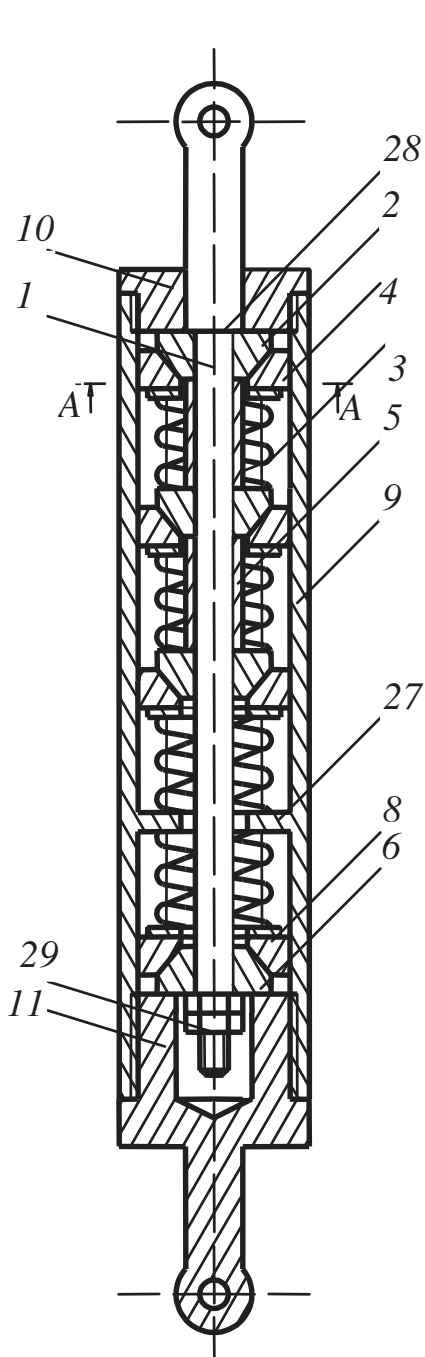


Рис. 2.7 Схема пружинного демпфера (варіант 1)

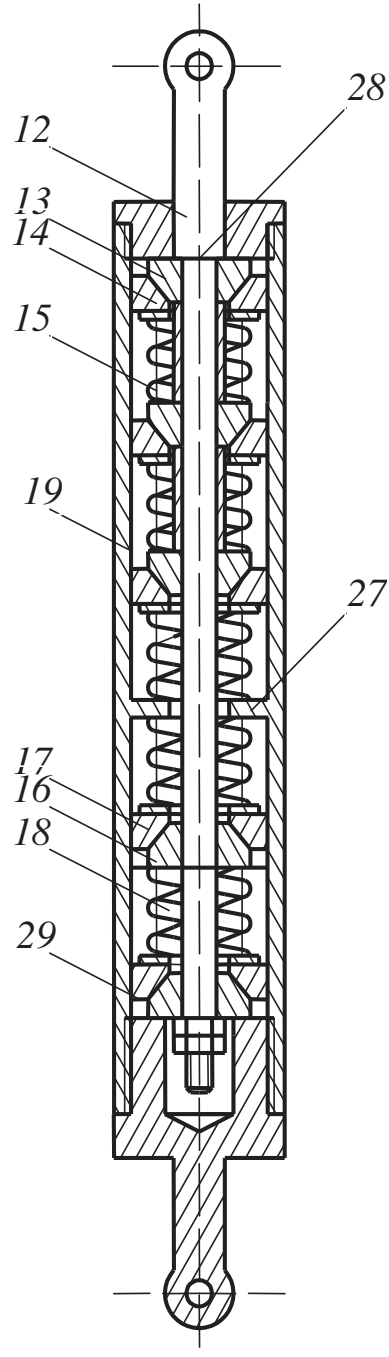


Рис. 2.8. Схема пружинного демпфера (варіант 2)




можна оперативно й невеликими витратами полагодити власноруч. Закордонні моделі, відповідаючи сучасним вимогам, оснащуються різноманітними цифровими компонентами, які ремонтним роботам не підлягають (у разі виходу з ладу цілий вузол замінюється), коштують значні суми і їх складно знайти. Тим не менш, завдяки своїй механічній простоті, зарубіжні аналоги часто перевершують вітчизняні за ефективністю прання та іншими характеристиками.

Найпоширенішою проблемою є корозія бака. Оскільки бак виготовлений із чорного металу й покритий захисною емаллю, після приблизно 8-10 років щоденної експлуатації, у зоні контакту ТЕНу (теплоелектронагрівача) з баком могли виникати наскрізні отвори, що призводило до протікання. Внаслідок цього машина виходила з ладу.

Коли виникала поломка командоапарата, машина або повністю припиняла роботу, або не виконувала окремі цикли. У ПМА командоапарат можна відновити, відрегулювавши та почистивши срібні контакти. Імпортні аналоги ремонту не підлягають.

Аби спростити осмислення роботи електричних мереж та полегшити пошук імовірних неладностей, далі подається відповідна інформація. Електрична схема пральної машини моделі ПМА – 6 ФБЕ представлена у технічному описі з шифром МРМА 25.00.00.000 ЕЗ. Вибір бажаної програми здійснюється шляхом обертання руків'я командоапарата у напрямку руху стрілки годинника, доки мітка програми не співпаде з індикатором, розміщеним на лицьовій частині приладу.

Запуск машини ініціюється витягуванням руків'я вибору програм на себе до характерного клацання, що спричиняє замикання контактів 13-Т та 14-Т командоапарата, а також засвічування лампочки-індикатора. Після цього розпочинається послідовний перехід між етапами циклу.

Як уже зазначалося, ключовим компонентом електричної конфігурації, фактично її "центральною процесором", виступає командоапарат. Цей пристрій включає в себе електропривід, набори контактів та барабан, на який на-



### 3. РОЗРАХУНОК ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ УДОСКОНАЛЕНОЇ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 3.1. Вихідні дані для розрахунку

Власна місткість завантаження  $\rho = 1500 \text{ кг} / \text{м}^3$ ;

Обертova швидкість барабана  $\omega = 5 \text{ с}^{-1}$ ;

Властива вага речовини, з якої виконана стінка  $\rho_m = 7800 \text{ кг} / \text{м}^3$ ;

Маса завантаження  $m = 5 \text{ кг}$ ;

Товщина стінки  $\delta = 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ;

Потужність, яку має стискаюча або розтягуюча пружина у процесі її функціонування:  $F_2 = 80 \text{ Н}$ .

Діаметр отвору, що знаходиться у передній стінці  $D_{nc} = 0,26 \text{ м}$ ;

Довжина барабану  $L = 0,332 \text{ м}$ ;

Діаметр барабану  $D = 0,514 \text{ м}$ ;

Вага шківів  $Q_1 = 1,6$  ;  $Q_2 = 3,8$ ;

Міжосьова відстань передачі  $a = 0,36 \text{ м}$ ;

Час розгону барабану  $t = 0,15 \text{ с}$ ;

Маховий момент електродвигуна  $M_{\text{де}} = 0,02 \text{ Н} \cdot \text{м}^2$ ;

Діаметри шківів  $D_1 = 0,06 \text{ м}$  ;  $D_2 = 0,32 \text{ м}$ ;

Площа поперечного перерізу паса  $S_{mn} = 47 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ ;

Розміри кіл на валах, де відбувається ущільнення  $d_1 = 0,03 \text{ м}$  ;  $d_2 = 0,03 \text{ м}$  ;

Кутова швидкість обертання барабана під час циклу віджиму  $\omega_{\text{max}} = 146 \text{ рад/с}$ ;

Потужність, що виникає у пружному елементі внаслідок його попереднього стискання чи розтягування:  $F_1 = 20 \text{ Н}$  ;


### 3.3. Розрахунок гідравлічного демпфера

У гідравлічному гасителі коливань спостерігається процес їх згасання. Це зумовлено впливом в'язкого тертя, що спричиняє дисипацію (розігрівання) енергії, відповідно до другого закону Ньютона. Формула, що описує рух поршня разом із штоком, виглядає так:

$$m_{\Sigma} \ddot{z} + k_n \dot{z} + k_c z = 0, \quad (3.1)$$

де  $\ddot{z}$ ,  $\dot{z}$ ,  $z$  – переміщення, швидкості та прискорення штока з поршнем;  $m_{\Sigma}$  – маса барабана з білизною і пральною рідиною, кг;  $k_c$  – коефіцієнт в'язкого тертя;

$k_n$  – жорсткість пружних демпферів.

В канонічній формі рівняння (3.50) можна записати наступним чином:

$$\ddot{z} + \frac{k_n}{m_{\Sigma}} \dot{z} + \frac{k_c}{m_{\Sigma}} z = 0. \quad (3.2)$$

Розв'язок рівняння (3.2) має вигляд:

$$z(t) = A e^{-\beta t} (\sin \omega t + \varphi_0), \quad (3.3)$$

де  $A$ ,  $\varphi_0$  – інтегральні величини, котрі зумовлені початковими умовами ( $A$  – початкова амплітуда, м;  $\varphi_0$  – початкова фаза коливань, рад);  $t$  – час, с;  $\omega_0$  – частота вільних коливань з в'язким тертям, рад / с.

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \beta^2}. \quad (3.4)$$

Розв'язок рівняння (3.4) має місце лише при умові:

$$\omega_0^2 - \beta^2 > 0 \text{ або } k_c^2 < 4m_{\Sigma}k_n. \quad (3.5)$$

Якщо  $k_c^2 < 4m_{\Sigma}k_n$ , то коливання не виникає.

Коли наявні сили в'язкого тертя, розмах коливань стає залежним від часу і розраховується наступним чином:

$$A(t) = A e^{k_c t} \quad (3.6)$$

Проведення розрахунку гідравлічного гасника вимагає визначення його габаритів, робочих характеристик, а також розмірів калібрувальних отворів і дроселів. Ключовою конструкторською величиною для демпфера є його поршневий діаметр, який необхідно підібрати так, щоб максимальний тиск робочої рідини, що відповідає найбільшому прикладеному навантаженню, не перевищував встановлених норм ( ) [22], а також для уникнення перегріву гасника (температура не має сягнути ).

Грунтуючись на вищевикладеному, ми фіксуємо діаметр поршня як . Обсяг рідини, що витісняється цим поршнем, перевищує вільний простір над поршнем на об'єм, який займає шток. Цей об'єм рідини проходить через калібрувальні отвори у поршні. Різниця між площею верхньої та нижньої граней поршня дорівнює площі поперечного перерізу штока . При цьому діаметр штока залежить від діаметра поршня наступним чином: [17].

Діаметр штока  $d_{ш} = (0,2 \div 0,5) \cdot 30 = 6...15$  мм. Приймаємо  $d_{ш} = 6$  мм.

Площа штока визначається:

$$S_{ш} = \frac{\pi d_{ш}^2}{4}, \quad (3.7)$$

$$S_{ш} = \frac{3,14 \cdot 0,006^2}{4} = 2,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Границя міцності на стиск вираховується згідно з формулою:

$$P_{он.макс} = S_{ш} [p], \quad (3.8)$$

$$P_{он.макс} = 2,8 \cdot 10^{-5} \cdot 2,5 \cdot 10^6 = 70,65 \text{ Н}.$$

Довжину робочу демпфера нам слід визначати, ґрунтуючись на діаметрі поршня.  $l = 3...5d_n$ ,  $l = 0,09...0,15$  м.

Площа, що займають отвори в поршні, обчислюється за такою формулою:

$$S_{от} = \frac{(S_n - S_{ш})}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{\gamma[p]}{2g}}, \quad (3.9)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт витрати  $\mu = 0,6 \dots 0,75$  [17]. Приймаємо  $\mu = 0,7$ ;  $\gamma$  – питома маса рідини;  $S_n$  – площа поршня,  $m^2$ .

Площу поршня ми обчислюємо, використовуючи таке рівняння:

$$S_n = \frac{\pi d_n^2}{4}, \quad (3.10)$$

$$S_n = \frac{3,14 \cdot 0,03^2}{4} = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

Розрахункова площа отворів в поршні  $S_{om} = 0,000021 \text{ м}^2$ . Задаємося кількістю отворів  $n = 3$ , тоді визначається площа отвору:

$$s = S_{om}/n, \quad (3.11)$$

$$s = 0,000021/3 = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Розрахунок діаметра отворів здійснюється за формулою:

$$d_{om} = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}, \quad (3.12)$$

$$d_{om} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7,1 \cdot 10^{-6}}{3,14}} = 0,003 \text{ м}.$$

Розміри отворів у робочому циліндрі беремо ідентичними розмірам отворів у поршні [2]. Отже, площа отворів у робочому циліндрі:

$$S_y = \frac{\pi d^2}{4} i, \quad (3.13)$$

де  $i$  – кількість отворів в силовому циліндрі. Прийнято  $i = 2$  [4].

$$S_y = \frac{3 \cdot 0,003^2}{4} \cdot 2 = 0,000014 \text{ м}^2.$$

Загальна площа отворів:

$$S_{\Sigma} = S_y + S_{om}, \quad (3.14)$$

$$S_{\Sigma} = 0,000014 + 0,00002 = 0,000034 \text{ м}^2.$$

Для експлуатаційного середовища гідравлічного амортизатора оберемо: мастило «Індустріальне 20» (відповідно до [24] сторінка 214), що має питому

густину  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ , модуль пружності  $E = 1,39 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , кінематична в'язкість при  $t = 20^\circ\text{C}$   $\nu = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 3.3. Розрахунок пружинного демпфера

Амортизатор пружинного типу складається із трьох пружних елементів, кожен з яких долає певну частку повної сили, що діє. Вхідною інформацією слугує зусилля, яке розвиває пружина за умови попередньої деформації.  $F_1 = 20 \text{ Н}$ ; при робочій деформації  $F_2 = 80 \text{ Н}$ ; Діаметр пружини, що передує, із схеми пружного демпфера встановлюємо як  $D_{np1} = 25 \text{ мм}$ ; витривалість пружини  $N_F \geq 10^7$ ; Найвища швидкість, яку може розвинути рухомий кінець пружини.  $v_{\max} = 5 \text{ м/с}$ . Робочий хід пружини  $h = 5 \text{ мм}$  [1].

Сила пружини при максимальній деформації визначається:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}, \quad (3.15)$$

де  $\delta$  – Похідна швидкості відносно інерціальної системи, при цьому охоплюючи проміжок зазору від 0,05 до 0,025.

$$F_3 = \frac{80}{1 - (0,05 \div 0,25)} = 84 \div 107 \text{ Н}.$$

Приймаємо пружину: силою  $F_3 = 95 \text{ Н}$ ; зовнішнім діаметром  $D_{np1} = 25 \text{ мм}$ ; діаметр дроту  $d_o = 2,2 \text{ мм}$ . Жорсткість одного витка  $c_1 = 19,38 \text{ Н/мм}$ ; найбільший прогин одного витка  $s'_3 = 4,643 \text{ мм}$  ([1] ст. 211).

Максимальне напруження дотичне пружини:

$$\tau_3 = \frac{8F_3D_{np1}}{\pi d_o^3}, \quad (3.16)$$

$$\tau_3 = \frac{8 \cdot 95 \cdot 0,025}{3,14 \cdot 0,0022^3} = 568,3 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Визначаємо критичну швидкість за формулою:





Напруження в пружині при деформації попередній:

$$\tau_1 = \frac{F_1}{F_3} \tau_3, \quad (3.79)$$

$$\tau_1 = \frac{20}{95} \cdot 568,3 \cdot 10^6 = 116,64 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Напруга, що виникає у спіралі під час експлуатаційного прогину:

$$\tau_2 = \frac{F_2}{F_3} \tau_3, \quad (3.28)$$

$$\tau_2 = \frac{80}{95} \cdot 568,3 \cdot 10^6 = 478,57 \cdot 10^6 \text{ Па}.$$

Показник, що бере до уваги вигнутість витка пружини:

$$k = \frac{4i-1}{4i+4} + \frac{0,615}{i}, \quad (3.29)$$

$$k = \frac{4 \cdot 10,36 - 1}{4 \cdot 10,36 + 4} + \frac{0,615}{10,36} = 0,9.$$

Довжина пружини розверненої:

$$l \approx 3,2 D_{np} n_1, \quad (3.30)$$

$$l = 3,2 \cdot 0,0228 \cdot 3,12 = 0,23 \text{ м}.$$

Маса пружини:

$$m \approx 19,25 \cdot 10^{-6} D_{gh} d_o^2 n_1, \quad (3.31)$$

де  $D_{np}$ ,  $d_o$  підставляємо в мм.

$$m = 19,25 \cdot 10^{-6} \cdot 22,8 \cdot 2,2^2 \cdot 3,12 = 0,0066 \text{ кг}.$$

Об'єм, який пружина займає:

$$V = 0,785 D_{np}^2 l, \quad (3.32)$$

$$V = 0,785 \cdot 0,025 \cdot 0,0153 = 0,0003 \text{ м}^3.$$

Внутрішній пружини діаметр:

$$D_{np2} = D_{np1} - 2d_o, \quad (3.33)$$

$$D_{np2} = 0,025 - 2 \cdot 0,0022 = 0,0206 \text{ м}.$$





## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Устаткування для сервісного обслуговування електропобутової техніки : навч. посіб. : [для студентів спец. "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" освіт. програми "Електропобут. техніка"] / М. Й. Бондаренко, Т. І. Кулік ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. — Київ : КНУТД, 2019. — 267 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 267.
2. Прилади побутові та аналогічні електричні. Безпека : [пер. з англ.], Ч. 1. Загальні вимоги (EN 60335-1:2012; A11:2014; AC:2014; A13:2017, IDT; IEC 60335-1:2010, MOD). — Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2019. — VIII, 147 с., вкл. обкл. — (Національний стандарт України).
3. Інноваційна техніка для побуту : навч. посіб. [для викладачів та студентів закл. вищої освіти, які навчаються за спец. 076 "Підприємництво, торгівля та біржова діяльність"] / Доманцевич Н. І. ; Центр. спілка спожив. т-в України, Львів. торг.-екон. ун-т. — Львів : Вид-во Львів. торг.-екон. ун-ту, 2018. — 117 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 110–113.
4. Електропобутова техніка : підруч. для студентів ВНЗ / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла, М. Є. Скиба. — Хмельницький : ХНУ, 2017. — 213 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 211.
5. Пат. 64866 Україна, МПК D06F 39/08. Спосіб прання виробів із тканини з використанням ультразвукових пральних машин і установок / О. В. Іванов, С. М. Петренко ; заявник і патентовласник — [назва організації або особи]. — № а2001054321 ; заявл. 21.05.2001 ; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12.
6. Пат. 61196 Україна, МПК D06F 39/00. Ультразвукова побутова пральна машина для прання виробів із тканини / В. І. Коваленко, М. П. Литвин ; заявник і патентовласник — [назва організації або особи]. — № а2000123456 ; заявл. 18.12.2000 ; опубл. 15.07.2003, Бюл. № 7.





