

Хмельницький національний університет

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

Розробка конструкції пральної машини з прямим приводом

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

Шифр МРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 2 курсу  
група ЕТМ-23-1

  
Підпис

О. В. Войтенко  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

С. Л. Горященко  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

С. І. Луківик  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:

  
Підпис, дата

В. С. Неймак  
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС

17 12 2024 р.

Хмельницький 2024

# 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

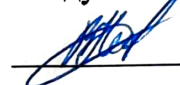
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
Шифр і назва

Спеціалізація \_\_\_\_\_

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС



17.12.2024

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи \_\_\_\_\_  
Розробка конструкції пральної машини з прямим приводом

керівник роботи Горященко С.Л., к.т.н., доцент  
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 26 08 2024 р. № 60

2. Строк подання студентом роботи на кафедру \_\_\_\_\_  
3. Вихідні дані до роботи Частота обертання 800 об/хв, навантаження – 5  
кг білизни, \_\_\_\_\_

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Вступ, Аналіз існуючих пристроїв для прання, Розробка конструкції пральної машини з прямим приводом, Розрахунки елементів пральної машини, Моделювання пральної машини з прямим приводом

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)  
МРМА 24.00.00.000 ДО, МРМА 24.00.00.000 ДІ, МРМА 24.00.00.000 РР1,  
МРМА 24.00.00.000 РР2, МРМА 24.00.00.000 СК, МРМА 24.00.00.000 ГЗ,  
МРМА 24.00.00.000 РР3.

### 6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

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

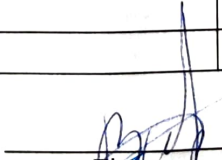
7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

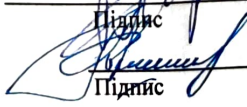
### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Аналіз існуючих проектів для України	до 30.10.2024р	
2. Розробка конструкторської документації машини з приводом	до 10.11.2024р	
3. Розрахунок елементів правлячої машини	до 20.11.2024р	
4. Моделивання правлячої машини з приводом	до 30.11.2024	
5. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу	до 12.12.2024	

Студент

Керівник роботи

  
 Підпис  
 Ініціали, прізвище **Войтко ОВ**

  
 Підпис  
 Ініціали, прізвище **Горачко С.П.**

# АНОТАЦІЯ

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

1. Прізвище, ім'я та по батькові Войтенко Олег Володимирович

2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції кривої машини з прямим приводом

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 74

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки:

- Вступ
1. Аналіз існуючих пристроїв для прання
  2. Розробка конструкції кривої машини з прямим приводом
  3. Розрахунок елементів кривої машини
  4. Моделювання кривої машини з прямим приводом
- Висновки  
Джерела даних посилаючі  
Додатки

Підпис студента

" 17 " 12 2024 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 2 від "24" 12 2024 р.

Оцінка проекту ЕК добре / с

Рекомендації ЕК \_\_\_\_\_

Особливі відмітки \_\_\_\_\_

Технічний секретар

" 24 " 12 2024 р.

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	4
1 Аналіз існуючих пристроїв для прання.....	6
1.1 Огляд існуючих пральних машин з прямим приводом.....	6
1.2 Конструкції пральних машин.....	10
1.3 Аналіз процесів прання.....	12
1.4 Висновки до першого розділу.....	13
2. Розробка конструкції пральної машини з прямим приводом.....	14
2.1.Компонування схеми пральної машини .....	14
2.2.Розробка електричної схеми керування.....	16
2.3.Висновки до другого розділу.....	24
3 Розрахунки елементів пральної машини.....	24
3.1 Розрахунок енергоспоживання робочого барабана пральної машини при пранні.....	25
3.2 Розрахунок пускової потужності барабана пральної машини.....	35
3.4 Розрахунок гідравлічного демпфера.....	42
3.5 Розрахунок пружинного демпфера.....	46
3.6 Висновки до третього розділу.....	51
4 Моделювання пральної машини з прямим приводом.....	53
4.1 Моделювання приводу.....	53
4.2 Результати моделювання.....	56
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	67
Висновки.....	68
Перелік джерел посилань.....	70
Додатки.....	72

<b>МРМА 24.00.00.000 ПЗ</b>				
<b>Змн</b>	<b>Арк.</b>	<b>№ докум.</b>	<b>Підпис</b>	<b>Дата</b>
		Розроб. <i>Войтенко</i>	<i>[Підпис]</i>	
		Перев. <i>Горященко</i>	<i>[Підпис]</i>	
		Т.контр.		
		Н.контр.		
		Затвер.		
Розробка конструкції пральної машини з прямим приводом			Літера	Аркуш
			у	3
			<b>ХНУ, ЕТМ-23-1</b>	
			Аркушів	74

## ВСТУП

Пральна машина має більше можливих джерел шуму в порівнянні з іншими великими побутовими електроприладами [1, 2]. Це пов'язано з існуванням складних динамічних вузлів і підсистем, звужених, щоб поміститися в тісному просторі конструкції. Через широкий діапазон державних стандартів у всьому світі, підвищену складність конструкції пральної машини та необхідність швидкого циклу розробки продукту та часу виходу на ринок, важливо розробити більш ефективну методологію для вирішення проблем шуму та вібрації [3]. Це пояснюється тим, що шум і вібрація спричиняють серйозні проблеми як вдома, так і на робочому місці, а завдання зменшення шуму в суспільстві є предметом, на якому зараз зосереджені експерти з різних країн. Подібним чином, виробники механічних виробів з вібрацією, що спричиняє акустичний шум, все частіше виявляються змушеними конкурувати за рівнями шуму своїх продуктів [4, 5]. У цьому дослідженні було проведено аналіз продуктивності, щоб перевірити рівень вібрації та шуму різних пральних машин під час трьох різних циклів (прання, полоскання та віджимання), щоб визначити, яка модель має найвищий рівень звукового тиску.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						4
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

В основу взято пральну машину барабанного типу.

Технічні характеристики:

Розташування барабана – горизонтально.

Завантаження білизни – до 5 кг.

Потужність ультразвукової системи – до 600 Вт.

Швидкість обертання барабану – до 800 об/хв.

Джерело живлення для система управління – 12 В.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ПРАННЯ

## 1.1 Огляд існуючих пральних машин з прямим приводом

Основними параметрами пральної машини є номінальне завантаження білизни, кг (максимальна кількість сухої білизни, яке може бути оброблено за 1 цикл прання), Номінальна споживана потужність при пранні білизни, Вт, Номінальна споживана потужність при віджиманні білизни, Вт, Номінальна споживана потужність при віджиманні білизни, для потужності електронагрівача, Вт і ваги, кг. Номінальне завантаження машини-це навантаження, відповідне роботі машини з максимальною кількістю води і сухої білизни, на яке розрахована машина.

Пральні машини з прямим приводом відрізняються від традиційних моделей відсутністю ремня між мотором і барабаном. Це рішення забезпечує менший рівень шуму, зниження вібрацій та високу енергоефективність. У цьому огляді розглянемо переваги, недоліки та популярні моделі таких машин.

Пральні машини з прямим приводом використовують двигун, який безпосередньо передає момент на барабан, що дозволяє зменшити кількість механічних частин та підвищити ефективність роботи. Модель, яку ми проектуємо, охоплює процеси обертання барабана, споживання енергії, ефективності прання та залежність від завантаження.

Особливості пральних машин із прямим приводом. Пральні машини з прямим приводом мають наступні переваги:

- Низький рівень шуму та вібрацій завдяки прямому з'єднанню мотора з барабаном.
- Енергоефективність, яка дозволяє економити електроенергію.
- Триваліший термін експлуатації мотора.

Водночас є деякі недоліки, які варто враховувати:

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вищий рівень вартості як машин, так і ремонту.
- Складність обслуговування через зношування підшипників.

Таблиця 1.1 – Порівняння існуючих пральних машин з прямим приводом

Модель	Переваги	Недоліки	Енерго-споживання	Орієнтовна вартість (грн)
LG F2J6WS0W	Тиха робота, технологія TurboWash для скорочення часу прання, система ThinQ для керування через смартфон.	Вища ціна, можливі проблеми з підшипниками при інтенсивному використанні	Енергоефективність A+++	13,000 - 15,000
Samsung WW80T554DA X	Інверторний мотор, функція EcoBubble для прання за низької температури, знижене споживання енергії	Може вимагати більшого обслуговування через складність конструкції	Енерго-ефективність A+++	16,000 - 18,000
Electrolux EW7F348SC	Система UltraCare для попереднього змішування води та миючого засобу, низьке споживання енергії, тихий процес прання	Вища вартість, можливі проблеми з підшипниками при тривалому використанні	Енергоефективність A+++	17,000 - 20,000
LG FH069FD3MS	Технологія розпилення	Дуже велика вартість.	Енергоефективність A+	164 220

	<p>води - атомізатор розпорошує воду на одяг і двері машинки для кращого змочування білизни, високої якості прання і полоскання. Що розпорошується на двері вода, очищає її від залишків миючої хімії</p>	<p>Продукція призначена для застосування в комерційних цілях</p>		
Imesa RC 23	<p>низькошвидкісна, електричний нагрівання, 6 програм - електронний таймер (IM9), G-фактор - 86, завантаження - 23 кг, швидкість прання - 37 оборотів/хв, швидкість віджиму - 470 оборотів/хв, 380 В</p>	<p>Дуже велика вартість. Продукція призначена для застосування в комерційних цілях</p>		461 194

Загальний огляд показано на КРЕТ 24.00.00.000 ДО

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Рисунок 1.1 - Пральна машина LG F2J6WS0W

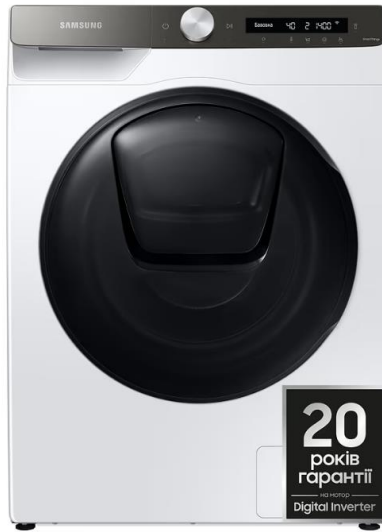


Рисунок 1.2 - Пральна машина Samsung WW80T554DAX



Рисунок 1.3 - Пральна машина Electrolux EW7F348SC



Рисунок 1.4 - Пральна машина LG FH069FD3MS



Рисунок 1.5 - Пральна машина Imesa RC 23

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## 1.2 Конструкції пральних машин

Рівень шуму в побутових приладах привертає увагу виробників через посилене регулювання та розуміння з боку споживачів [2]. Sergio [6] зробив спробу використати комбінацію кінцевих елементів і динаміки багатьох тіл (MBD) для визначення режимів резонансної вібрації та перехідної структурної реакції, щоб зафіксувати динамічні характеристики під час початкової фази проектування всієї машини. Це було тоді у поєднанні з непрямими моделями граничних елементів для виконання аналізу звукового поля для виявлення впливу звукопоглинальних бавовняних флісових килимків різної товщини, що оточують пральна машина [7]. Гібридний підхід – поєднання чисельних методів і експериментальних методів також був розроблений Siavoshani і Barpand [8, 9] для вирішення проблеми вібрації підлоги та наслідків шуму, що випромінюється в автомобілі. Ця методологія була ефективно адаптована для зниження повного рівня шуму в стандартній пральній машині з верхнім завантаженням. Барпанда [8] представив статтю про шестисигмальний підхід для ізоляції першопричини, а також для усунення високого рівня шуму від прально-сушильної машини (W/D) з фронтальним завантаженням під час звичайних умов експлуатації. Метою було: охарактеризувати «шумове» випромінювання (джерело/рівень) комбінованого блоку в усіх трьох режимах роботи за допомогою стандартів ІЕС60704 та визначити першопричину максимального рівня випромінюваного шуму. Також перевірити потенційні можливості матеріалу/дизайну для вирішення ініціатив щодо зменшення шуму та розробити варіанти рішень, нейтральних щодо продукту (продуктивність/маса/вартість).

Пральна машина барабанного типу: складається з шафи, ванни, пружини, противаги, барабана, ротора, статора та заслінки. У шафі монтується ванна для зберігання води для прання; ротор є джерелом живлення для обертання барабана, з'єднаний з барабаном безпосередньо; статор нерухомий

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

на задній частині ванни. Коли барабан починає обертатися, дисбаланс маси через ексцентриситет білизни створює вібрацію, ця вібрація, створювана барабаном і баком, потім передається на шафу та дно через заслінку та пружину. У цей момент, якщо момент інерції енергетичної системи посилюється для стримування вібрації, пральна машина стає важкою, а реактивна сила на підшипнику також посилюється [10]. Отже, необхідно спроектувати барабан і ванну.

На рис. 1.6 показана схематична конфігурація магнітореологічного (MR) демпфера, запропонованого для прототипу пральної машини.

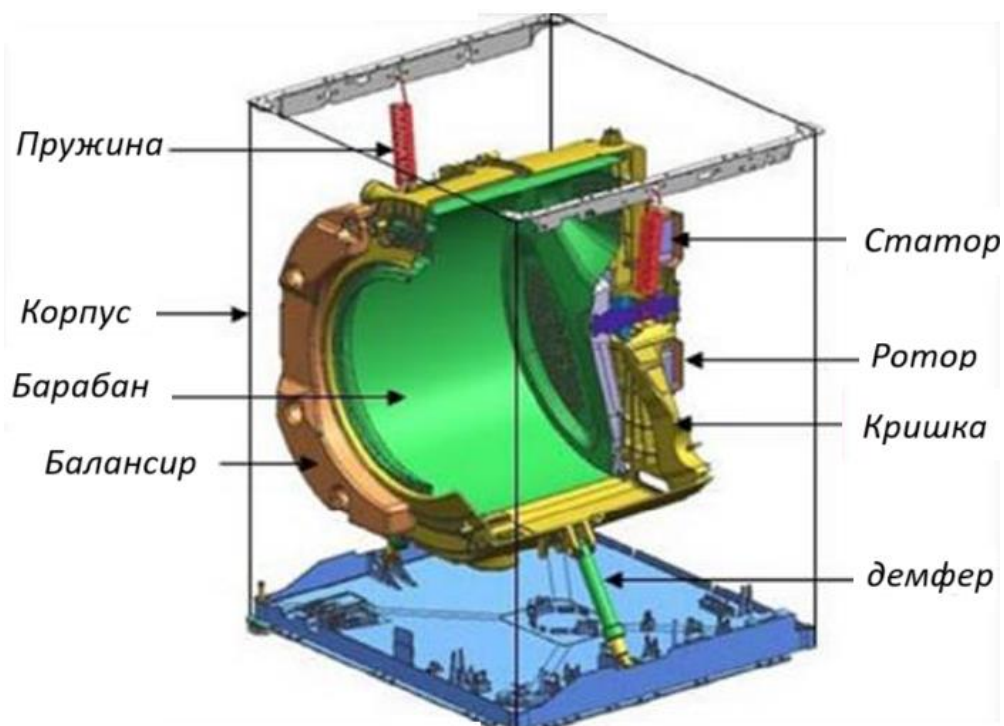


Рисунок 1.6 – Будова пральної машини

З цього рисунку видно, що структура клапана MR вбудована в заслінку MR. Зовнішній і внутрішній поршні об'єднані, щоб утворити структуру клапана MR, яка розділяє амортизатор MR на два відсіки: верхній і нижній. Ці відсіки повністю заповнені рідиною MR. Коли поршень обертається, рідина MR перетікає з одного відсіку в інший через кільцевий отвір. Плаваючий поршень, об'єднаний з газовою камерою, функціонує як накопичувач для

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						11
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розміщення об'єму вала поршня, коли він входить і виходить з рідинної камери [11, 12].

### 1.3 Аналіз процесів прання

Прання - це видалення сторонніх предметів з поверхні волокон або тканин. У 100 кг білизни середнього ступеня забруднення міститься близько 2-4 кг забруднень різного складу і походження. У білизні міститься 2 види забруднень: водорозчинні (сіль, цукор, крохмаль) і нерозчинні у воді (жир, пісок, пил, пігменти, графіт). Процес очищення включає в себе 4 Фактори: механіку, температуру, хімічний склад і час (тривалість чищення).

Звичайно, вода є основною умовою для процесу прання. Взаємодія окремих факторів з водою визначає результат прання в пральній машині. Вода змочить тканину, розчинить пральний порошок, перенесе бруд, передасть теплову енергію та вплине на механіку. Крім того, структура води і її кількість впливають на результат очищення.

Щоб уникнути відкладення кальцію, жорстку воду слід пом'якшувати. Занадто мала або надмірна кількість води для певного типу волокна і бажаний рівень наповнення впливають на механіку прання і, отже, на результати прання. Оскільки вода з водопровідних труб або колодязів здатна розчиняти речовини, що визначають жорсткість, вода з водопровідних труб або колодязів містить речовини, розчинені під землею, і, перш за все, речовини, що визначають жорсткість рівень - солі кальцію і магнію. Це гарна ідея. Вони утворюються із сульфатів (гіпсу) та карбонатів (кальцію) у ґрунті, які визначають жорсткість води.

Всі види жорсткості води діляться на тимчасову карбонатну і постійну сульфатну. Тимчасова жорсткість-це карбонат кальцію, при нагріванні він розпадається на вуглекислий газ і кальцій. Кальцій не розчинний у воді і є основним компонентом водяного каменю. Для того щоб жорстка вода не

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

чинила негативного впливу на результат прання і не приводила до утворення відкладень, як правило, до складу прального порошку входять компоненти, які пов'язують елементи, що формують жорсткість води, навпаки, сульфатна жорсткість залишається нерозчинною у воді навіть при нагріванні і не впливає на її якість. результат прання. Жорсткість розчину миючого засобу визначається не тільки загальною жорсткістю води, але і так званим підвищенням жорсткості води через забруднень від білизни, таких як сіль, вуличний пил і тверді частинки, а також співвідношенням кількості води і білизни.

Для досягнення хорошого результату прання білизна і вода повинні знаходитися в певному співвідношенні. В цьому випадку розрізняють пов'язані і вільні розчини. Комбінований розчин відповідає здатності вбирати воду і залежить від типу волокна і структури білизни. Суху білизну може вбирати в себе воду, в 4 рази перевищує його власну вагу. Тільки після додавання наступної порції води утворюється вільний розчин. Необхідно намочити білизну. Бруд, що відокремилася від білизни, міститься в подрібненому вигляді в загальному розчині. Оптимальна кількість води залежить від складок різних волокон у вологому стані, щадного режиму прання і результату прання.

#### 1.4 Висновки до першого розділу

Було проведено огляд існуючих пральних машин барабанного типу, що оснащені прямим приводом. Визначені основні конструктивні переваги та недоліки.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						13
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ З ПРЯМИМ ПРИВОДОМ

### 2.1. Компонування схеми пральної машини

Як описано вище, пропонується розробити пральну машину, яка ретельно пере велику кількість білизни і безпечна для людини. Ми пропонуємо таку схему пристрою (див. КРЕТ 24.00.00.000 ВЗ).

У прямокутному корпусі 1 встановлений нерухомий бак 2 з отвором, на тримачі 1 закріплена кришка 6, її положення фіксується ручкою 5. Корпус 1 також має насос 7 і барабан для прання 4. У центрі нижнього барабана 4 встановлено пристрій 1 3, сам барабан прикріплений до підшипників 17, 22. Через систему 10 управління захистом блоку відповідна команда передається на електродвигун 12, електродвигун 12 передає обертальний рух барабану 4 для прання. Блок 14 також управляє роботою насоса 7, який подає воду в барабан для прання по трубопроводу 6 і випускного трубопроводу 8 і при необхідності відводить її назовні, включаючи електричний клапан 9 (зливний шланг не показаний). Управління пральною машиною здійснюється за допомогою пульта управління 14. Горизонтальне положення пральної машини можна регулювати за допомогою спеціальних ніжок (рис. 2.1).

Пральна машина працює наступним чином:

Після завантаження білизни в барабан 4, закриття кришки 3 і фіксації її положення ручкою 5, один із запрограмованих елементів управління програмами прання і блок 10 системи управління захистом панелі 14 Управління починають їх виконання після отримання команди з панелі 14. Для цього він включає насос 7 і починає подавати воду по трубопроводу 6 в резервуар 2, а в ньому встановлюється барабан 4. Після досягнення відповідного рівня води включається двигун 12 і починає обертати барабан 4.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						14
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



заповнює пральний барабан 4 під час прання, під дією відцентрової сили видаляє бруд з верхнього отвору барабана на стінку резервуара 2. Бруд разом з водою осідає на дні резервуара, звідки вона виводиться через відповідний трубопровід 8.

## 2.2. Розробка електричної схеми керування

Ця пральна машина управляється сучасною електронікою. Це означає, що мікропроцесорне управління дозволяє використовувати різні режими очищення для різних типів білизни і різного ступеня забруднення.

Електрична схема управління пральною машиною показана на рис. 2.2. (КРЕТ 24.05.00.000ЕЗ).

Мікропроцесорний блок управління призначений для модернізації пральної машини, оснащеної двигуном барабана з прямим приводом. Пристрій, встановлений в пральній машині, може прати одяг в автоматичному режимі відповідно до програми, заданої користувачем.

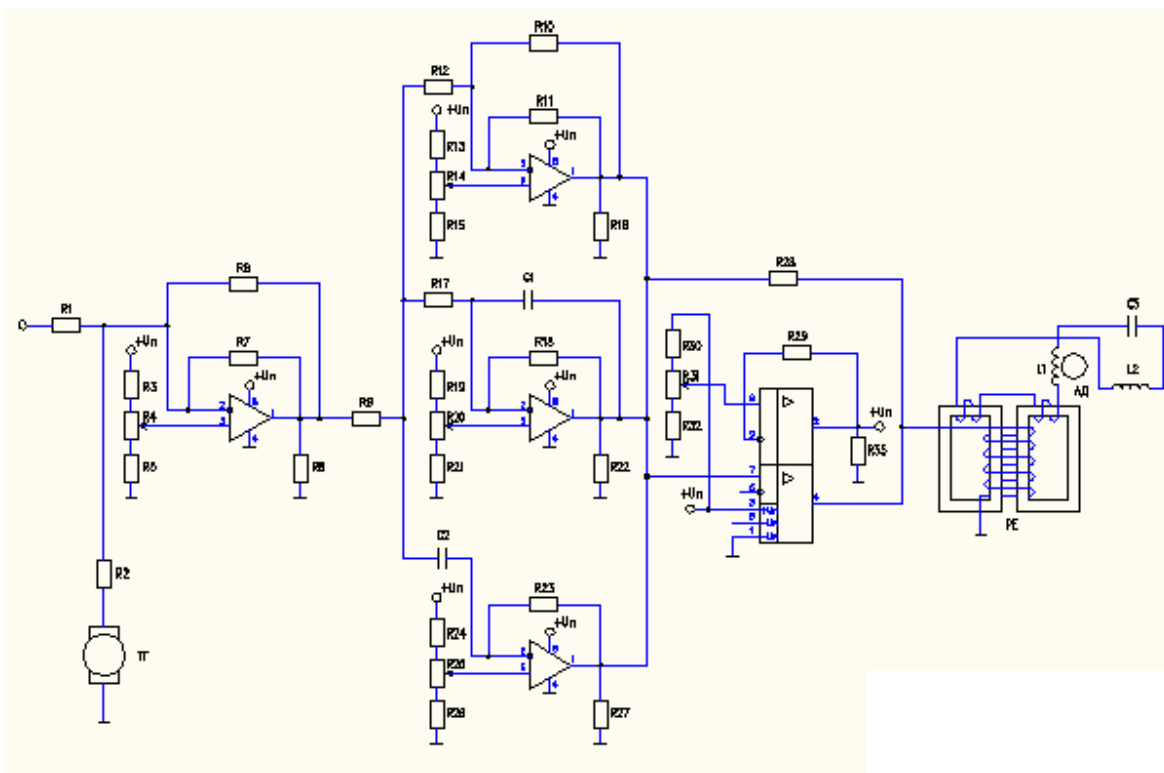


Рисунок 2.2 - Електрична схема управління пральною машиною

Для прання білизни використовується холодна водопровідна вода, що дозволяє:

- Уникнути високих витрат енергії на нагрівання води;
- Немає необхідності підключатися до електропроводки;
- Усуває проблему установки пристроїв автоматичного захисту на 16А;
- Режим прання працює за принципом термічного удару для поліпшення якості прання;

Зовнішній вигляд панелі управління показаний на рис. 2.3. Панель має 8 кнопок управління і 9 індикаторів стану, розташованих поруч один з одним. Світиться індикатор стану вказує на режим, включений в програму, а його миготіння означає, що цей режим запущений. Цифровий індикатор використовується для відображення часу до закінчення програми і для відображення налаштувань режиму під час програмування.

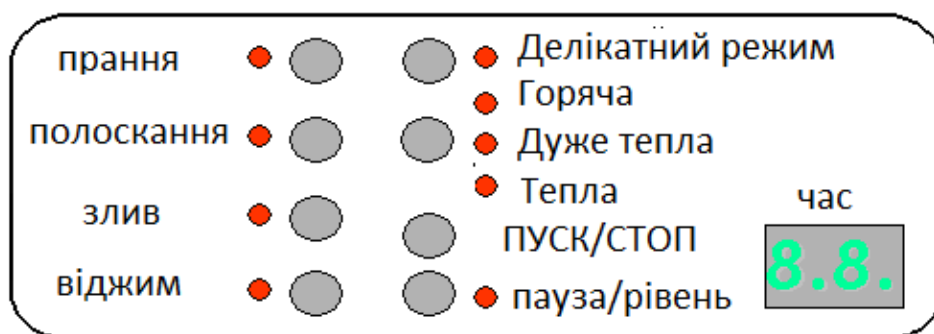


Рисунок 2.3 – Панель управління пральної машини

Кнопка "прання / зупинка заповнення" змінюється з інтервалом в 15 хвилин і призначена для установки необхідного часу прання, яке при установці короткочасно відображається на цифровому індикаторі. Значення цифрового індикатора " 00 " означає, що режим відключений.

Якщо натиснути цю кнопку під час введення води, ви можете припинити введення води та продовжити виконання програми.

Кнопка "полоскання" призначена для установки необхідної кількості циклів полоскання (опис циклів див.у розділі режими роботи).Це відображається на цифровому індикаторі при установці режиму у вигляді "P1-P4". Значення "P0 "на дисплеї відповідає стану" відключений " режим.

Кнопка " злив "призначена для включення режиму" 02 "і виключення режиму"00". Якщо ви вимкніть режим "злив" і запустіть програму, то злив останньої води в програмі виконаний не буде. Це запобігає появі складок на білизні з делікатних тканин і дає можливість прати кілька партій білизни 1 раз у воді (для цього потрібно набрати необхідний час прання, встановити температуру води і відключити всі інші режими).

Кнопка " віджим "призначена для установки необхідного часу віджиму"01". Вимкніть режими " 04 " I " 00 " за лічені хвилини. При включенні режиму " віджим "автоматично включається режим"злив".

Якщо ви впевнені, що в машині немає води, ви можете відключити "злив".

Кнопка "делікатний режим" призначена для включення і виключення режиму. Режим призначений для прання делікатних тканин. При цьому час безперервного обертання барабана зменшується, а пауза між обертаннями збільшується. Загоряється індикатор делікатного режиму, а режим "віджимання" автоматично відключається і блокується.

Кнопки з 3 індикаторами стану "гаряча", "дуже тепла" і "прогрівається" призначені для вибору температури води, необхідної для прання і полоскання. Стан "гаряча" означає, що резервуар буде наповнюватися тільки гарячою водопровідною водою. Стан "дуже тепле" - відповідає одночасному набору водопровідної води з гарячої та холодної магістралей. Стан "тепло" відповідає одночасному забору водопровідної води з магістралей гарячого і холодного водопостачання, але співвідношення часу відкриття клапанів холодної і гарячої води становить 1:2 відповідно.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						18
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кнопка Start / Stop використовується для запуску встановленої програми. Після того, як один з індикаторів почне блимати, програму можна зупинити за допомогою тієї ж кнопки. Після цього апарат повернеться в початковий стан і буде готовий змінити програму або запустити її знову.

Кнопка "Пауза / рівень" використовується для тимчасової зупинки програми під час роботи машини. При налаштуванні режиму роботи кнопка дозволяє встановити необхідний час забору води. При цьому на цифровому дисплеї відображається приблизний рівень, тому він залежить від тиску води у водопроводі, а кількість світяться сегментів визначає час забору води. Подача води припиняється після закінчення заданого часу, або при спрацьовуванні датчика рівня, або після натискання кнопки "промивка/зупинка заливки". У 8 світяться сегментах індикатора вода збирається до спрацьовування датчика рівня або натискання кнопки "зупинка прання/заливки", що дозволяє відкрити кришку пральної машини і люк барабана для візуального контролю необмеженого забору води.

Попередження: якщо кришка пральної машини відкрита, блок живлення буде заблокований, і машина зможе тільки збирати і відкачувати воду. Якщо набір води завершено, а барабан не обертається, перевірте герметичність кришки.

На платі управління та індикації є Мікроконтролер AT89C51, 8 кнопок управління, 1 подвійний 7-сегментний індикатор і 9 світлодіодів для відображення ходу виконання Програми, а також 7-сегментний індикатор, діод стану і опитування стану клавіатури, з 2 паралельними регістрами IP22, частотою 100 Гц, 2 переходами. динамічне управління здійснюється за допомогою головних перемикачів Q1 і Q2. Частота формується на платі блоку живлення датчиком переходу напруги через "0". Плата живлення складається з: блоку живлення з вихідною напругою 12 В для живлення реле живлення, 5 В для живлення цифрової частини, 2-х оптодіодів ТО122, фотоприймача АОТ101, датчика переходу напруги через "0", реле живлення для управління

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						19
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

машиною. Релейна схема перемикання живлення виконує всі перемикання тільки тоді, коли ланцюг знеструмлена, а загальне відключення здійснюється за допомогою 2-х оптохіллісторів, з'єднаних паралельно. Це дозволяє використовувати малопотужні (недорогі) реле, тому перехідні процеси відсутні.

P. S. при нерівномірному розміщенні білизни в барабані в режимі віджиму пральна машина дуже сильно вібрує. Для автоматичного визначення великих дисбалансів в схему додається акселерометр, і програма автоматично повторює спроби центрифугування до отримання задовільного результату.

Вихідний код програми мікроконтролера наведено в додатку А.

Дана електрична схема дозволяє автоматизувати процес прання пропонованої пральної машини або виконувати всі необхідні функції управління. Робоча частота ультразвукового пристрою становить 20 кГц.

## 2.2.1 Режим роботи

### 2.2.1.1. Звичайна або щадна прання

Послідовність дій:

- Набір води;
- Почергове обертання барабана в заданий час;
- Злив води.

Час обертання барабана і стоянки в щадному режимі становить 20/10 секунд. В одну сторону і 20/10 секунд.

Час обертання барабана і його зупинки при нормальній роботі становить 25/05 сек. В одну сторону і 25/05 сек. В іншу-1.

### 2.2.1.2. Промивання

У цьому режимі виконується задана кількість циклів полоскання, кожен з яких складається з::

- Набору води;

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- почергового обертання барабана протягом 5 хвилин;
- Зливу води.

Ефект теплового шоку досягається за рахунок полоскання білизни по черзі холодною і теплою водою. В цьому випадку гаряча вода подається відповідно до встановленої температурою води, а холодна - тільки з відповідної магістралі. Останнє полоскання завжди виконується теплою водою, щоб скоротити час сушіння білизни.

#### 2.2.1.3. Злийте воду

Вода злита. Система знаходиться в режимі очікування.

#### 2.2.1.4. Віджимання

Послідовність дій:

- Повільне обертання барабана для рівномірного розподілу по дренажному барабану;
- Короткочасне швидке обертання зі зливом;
- Повільне обертання барабана для рівномірного розподілу по дренажному барабану;
- Тривале швидке обертання до закінчення встановленого часу.

#### 2.2.2. Порядок роботи

Підключіть шнур живлення до розетки. Відкрийте клапан подачі холодної та гарячої води. Встановіть необхідні програми:

1. Встановіть час очищення або вимкніть її (за замовчуванням 60 хвилин).
2. Встановіть або вимкніть кількість полоскань (за замовчуванням 3 рази).
3. Увімкніть або вимкніть слив (за замовчуванням включений).

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. Встановіть час віджиму або вимкніть його (за замовчуванням вимкнено).

5. Увімкніть або вимкніть щадний режим (за замовчуванням відключений).

6. Виберіть температуру води (за замовчуванням гаряча).

7. Виберіть необхідний рівень води (за замовчуванням 6 сегментів - 3 хвилини).

Завантажте білизну в барабан і насипте пральний порошок. Для більш ефективного використання порошку і запобігання утворення грудочок необхідно розчинити порошок в невеликій кількості теплої води. Натисніть кнопку START / STOP. При цьому почне блимати поточний режим роботи. На цифровому дисплеї відображається умовний рівень, при якому вода буде набрана, а в інших режимах - час до завершення програми. Після виконання одного з режимів його індикатор зникне. Таким чином, коли програма запущена, інформація на передній панелі повідомить вам, який режим запущений, який режим працює і який цикл виконується.

Після завершення всієї програми машина зупиниться. На передній панелі загориться індикатор останньої встановленої програми (при виключенні пральної машини встановлена Користувачем програма зберігатися не буде).

Машина готова до перезапуску.

Щоб зменшити вібрацію машини під час обертання, рекомендується перед включенням машини розв'язати і струсити білизну в барабані.

### 2.2.3. Завершення роботи

Переконайтеся, що в машині немає води, інакше використовуйте режим зливу.

Закрийте механічні клапани подачі гарячої та холодної води. Відключіть апарат від мережі.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 2.2.4. Установка і налагодження

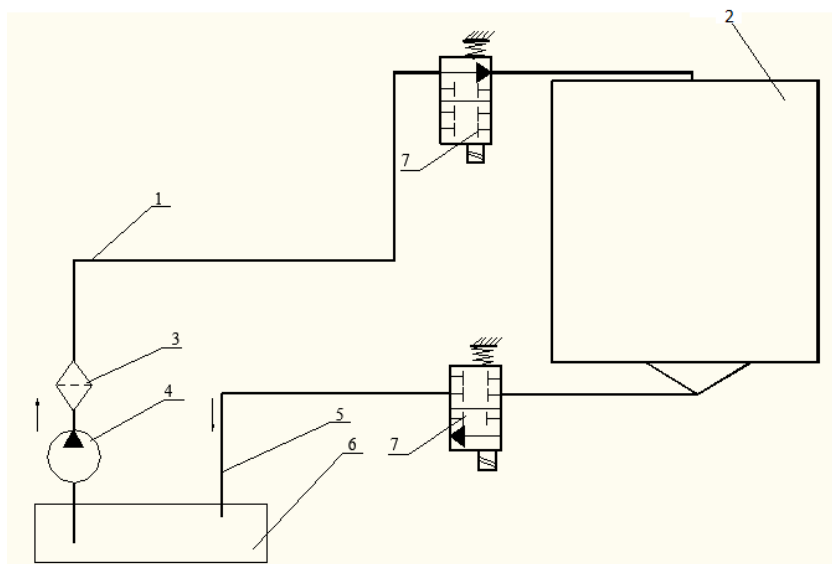
1. Зніміть блок управління Апарату.
2. Підготуйте передню панель для установки блоку управління.
3. Підключіть мікропроцесорний блок управління до пральної машини.
4. Приклейте передню панель.
5. Підключіть відповідно до електричної схеми.
6. Підключіть клапан, датчик рівня та зливний шланг відповідно до схеми підключення.

7. При підключенні шлангів гарячої та холодної води рекомендується приєднувати зливний шланг до трійника під раковиною в стандартній комплектації або безпосередньо до каналізації.

Слід пам'ятати, що для підключення пральної машини потрібно подача води як від холодної, так і від гарячої магістралі.

Гідравлічний контур показаний на рис. 2.4.

При управлінні процесом забору і зливу води з очисного бака пропонується використовувати двопозиційний гідророзподільник на вході і виході.



1 – трубопровід, 2 – бак, 3 – фільтр, 4 – мотор-компресор, 5 випускний трубопровід, 6 бак, 7 гідророзподільник.

Рисунок 2.4 - Гідравлічна схема пральної машини

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						23
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 2.3 Висновки до другого розділу

Нами було розроблено конструкцію пральної машини з прямим приводом. Визначено алгоритм роботи та схему гідроприводу машини.

Розроблена електрична схема керування. Розроблено гідравлічний контур пральної машини.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3 РОЗРАХУНКИ ЕЛЕМЕНТІВ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ

#### 3.1 Розрахунок енергоспоживання робочого барабана пральної машини при пранні

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

Питома маса завантаження  $\rho = 1500 \text{ кг/м}^3$ ;

Кутова швидкість барабану  $\omega = 5 \text{ с}^{-1}$ ;

Питома маса матеріалу стінки  $\rho_m = 7800 \text{ кг/м}^3$ ;

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

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

Довжина барабану  $L = 0,332 \text{ м}$ ; Діаметр барабану  $D = 0,514 \text{ м}$ ;

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

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

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

Діаметри поверхонь валів, що ущільнюються  $d_1 = 0,03 \text{ м}$ ;  $d_2 = 0,03 \text{ м}$ ;

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

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

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

Кутова швидкість барабану при віджиманні  $\omega_{\text{max}} = 146 \text{ рад/с}$ ;

Сила пружини при попередній деформації:  $F_1 = 20 \text{ Н}$ ;

Сила пружини при робочій деформації:  $F_2 = 80 \text{ Н}$ .

У пральній машині з працюючим барабаном момент корисного опору в режимі прання визначається виходячи зі стану рівноваги маси продукту і рідини, що знаходяться в середині барабана [23]. Коли внутрішній барабан обертається, продукт в ньому піднімається під дією гребеня. Одночасно з підйомом продукту піднімається частина рідини. Продукт і рідина приймають

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						25
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

форму циліндричного сегмента, який злегка зміщений від вертикалі в напрямку обертання. рис. 3.1.

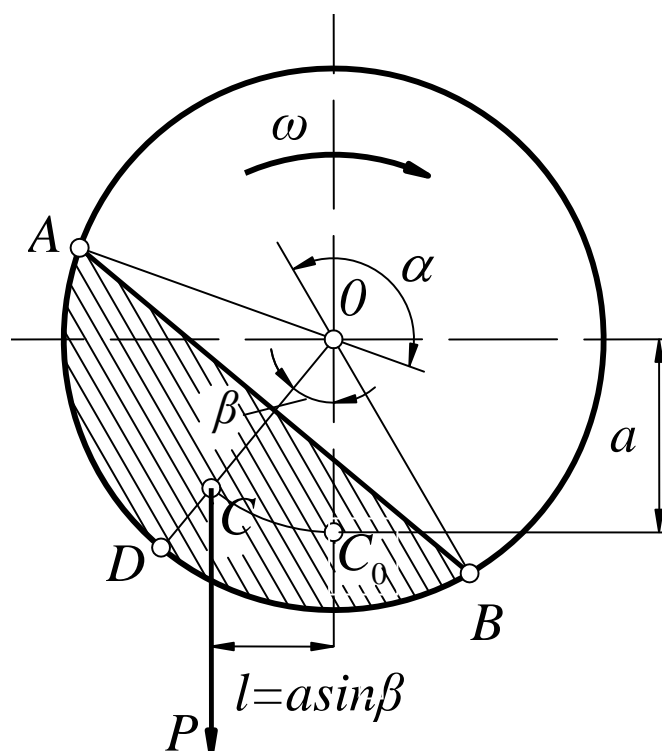


Рис. 3.1. Схема навантаження робочого барабана

Визначаємо об'єм барабана:

$$V = \frac{\pi D^2}{4} L, \quad (3.1)$$

де  $D$  – діаметр барабана,  $m$ ;  $L$  – довжина барабана,  $m$ .

$$V = \frac{3,14 \cdot 0,514}{4} 0,332 = 0,069 \text{ м}^3.$$

Висота гребенів приймається рівною  $(0,12 \dots 0,15)D$ . Приймаємо  $h = 0,14D$  [7].  $h = 0,14 \cdot 0,514 = 0,072 \text{ м}$ .

Площа поперечного перерізу гребенів:

$$S = 0,25\pi D, \quad (3.2)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						26
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$S = 0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,514 = 0,404 \text{ м}^2.$$

Для визначення об'єму вмісту барабана необхідно визначити рідинний модуль, який для пральних машин вибирається з діапазону 0,005...0,007.

Приймаємо  $\nu = 0,006 \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Тоді, об'єм вмісту барабана визначається за формулою:

$$V_{\text{вб}} = \frac{m}{\rho} + m\nu, \quad (3.3)$$

де  $m$  – маса завантаження,  $\text{м}$ ;  $\rho$  – питома маса завантаження,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

$$V_{\text{вб}} = \frac{5}{1500} + 5 \cdot 0,006 = 0,033 \text{ м}^3.$$

Площа поперечного перерізу вмісту барабана:

$$S_n = \frac{V_{\text{вб}}}{L}, \quad (3.4)$$

де  $L$  – довжина барабана,  $\text{м}$ .

$$S_n = \frac{0,033}{0,332} = 0,1 \text{ м}^2.$$

Площа барабана:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.5)$$

$$S = \frac{3,14 \cdot 0,514^2}{4} = 0,207 \text{ м}^2.$$

Коефіцієнт використання об'єму барабану:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						27
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K = \frac{S_n}{S}, \quad (3.6)$$

$$K = \frac{0,1}{0,207} = 0,484.$$

Значення центрального кута сегмента  $\alpha$ , *рад* знаходимо з рівняння:

$$K(\alpha) = \frac{\alpha - \sin(\alpha)}{2\pi}, \quad (3.7)$$

Для цього будемо залежність  $K = f(\alpha)$ . Задаємося  $\alpha = 0 \dots 2\pi$ .

Таблиця 3.1 – Значення коефіцієнтів

$\alpha$	0	$\pi/6$	$\pi/3$	$\pi/2$	$\pi$	$3\pi/2$	$2\pi$
$K(\alpha)$	0	0,01	0,03	0,1	0,49	0,8	0,99

За результатами табл. 3.1 будемо залежність  $K(\alpha)$  рис. 3.2. Для  $K = 0,484$   $\alpha = 3,091$  *рад*.

Довжина хорди сегмента:

$$L_x = D \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (3.8)$$

$$L_x = 0,514 \sin\left(\frac{3,091}{2}\right) = 0,514 \text{ м.}$$

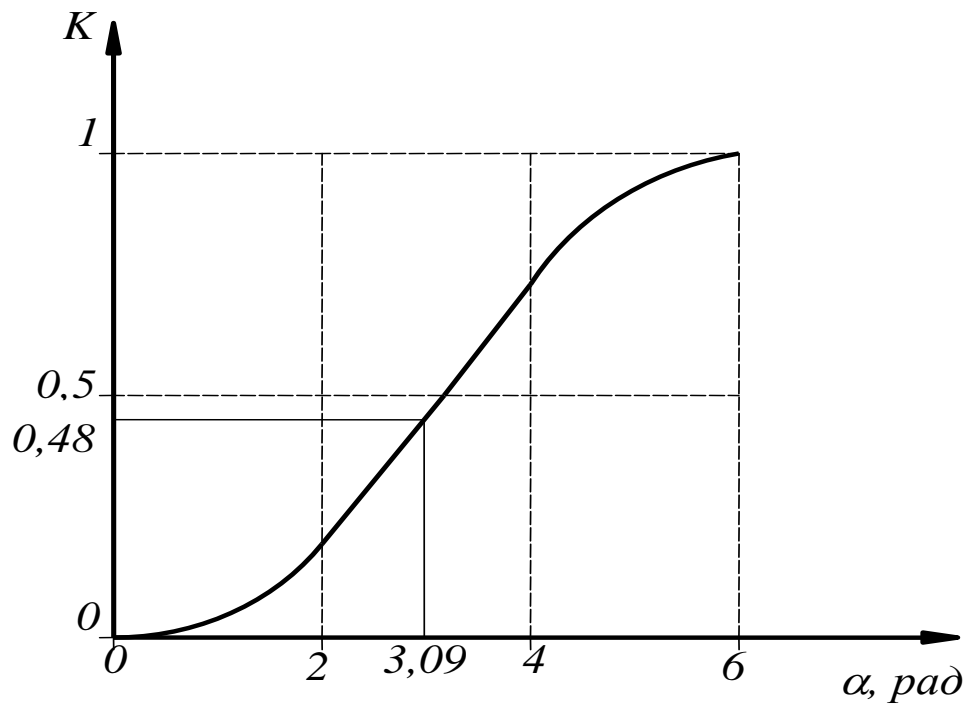


Рис. 3.2. Залежність коефіцієнта використання об'єму барабану від центрального кута сегмента

Відстань від центру ваги сегмента до осі обертання барабану:

$$l = \frac{D}{6} \left( 1 + 2 \cos \left( \frac{\alpha}{2} \right) \right), \quad (3.9)$$

$$l = \frac{0,514}{6} \left( 1 + 2 \cos \left( \frac{3,091}{2} \right) \right) = 0,086 \text{ м.}$$

Об'єм рідини в барабані:

$$V_p = V_{\text{об}} - \frac{m}{\rho}, \quad (3.10)$$

$$V_p = 0,033 - \frac{5}{1500} = 0,03 \text{ м}^3.$$

Маса рідини:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$m_p = \rho_p V_p, \quad (3.11)$$

де  $\rho_p$  – питома маса рідини  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Для води  $\rho_p \approx 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$ .

$$m_p = 1000 \cdot 0,03 = 30 \text{ кг}.$$

Сила ваги вмісту барабана:

$$P = (m + m_p)g, \quad (3.12)$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння.

$$P = (5 + 30) \cdot 9,81 = 343,35 \text{ Н}.$$

Момент корисного опору визначаємо враховуючи коефіцієнт динамічності  $k_\delta$ , значення якого приймаємо в діапазоні 1,1...1,2.[23]

Прийmemo  $k_\delta = 1,2$ :

$$M_{\text{ко}} = k_\delta P l, \quad (3.13)$$

$$M_{\text{ко}} = 1,2 \cdot 343,35 \cdot 0,086 = 35,296 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Відстані  $l_1, l_2, l_3$  у першому наближенні знаходимо з співвідношень:

$$\begin{aligned} l_1 &= d_1 + \frac{L}{2}, \\ l_2 &= 2d_2, \\ l_3 &= d_1, \end{aligned} \quad (3.14)$$

де  $d_1$  – діаметри поверхонь валів, що ущільнюються, м.

$$l_1 = 0,03 + \frac{0,03}{2} = 0,196 \text{ м}, \quad l_2 = 2 \cdot 0,03 = 0,06 \text{ м}, \quad l_3 = 0,03 \text{ м}.$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маси стінок барабана:

– маса передньої стінки барабана:

$$m_{nc} = \frac{\pi}{4} \delta \rho_m (D^2 - D_{nc}^2), \quad (3.15)$$

де  $\delta$  – товщина стінки,  $m$ ;  $\rho_m$  – питома маса матеріалу стінки,  $кг/м^3$ ;  $D_{nc}$  – діаметр отвору в передній стінці,  $m$ .

$$m_{nc} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot (0,514^2 - 0,26^2) = 0,361 \text{ кг};$$

– маса ободу:

$$m_{об} = \pi D L \delta \rho_m, \quad (3.16)$$

$$m_{об} = 3,14 \cdot 0,514 \cdot 0,332 \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 = 1,254 \text{ кг};$$

– маса задньої стінки барабана:

$$m_{pc} = \frac{\pi}{4} \delta \rho_m D^2, \quad (3.17)$$

$$m_{pc} = \frac{3,14}{4} \cdot 0,3 \cdot 10^{-3} \cdot 7800 \cdot 0,514^2 = 0,486 \text{ кг}.$$

Сила ваги барабана:

$$P_{\bar{o}} = (m_{nc} + m_{об} + m_{pc}) g, \quad (3.18)$$

$$P_{\bar{o}} = (0,361 + 1,254 + 0,486) \cdot 9,81 = 20,614 \text{ Н}.$$

Кут обхвату меншого шківa:

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						31
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_{uu} = \pi - \frac{\pi}{3} \cdot \frac{D_2 - D_1}{a}, \quad (3.19)$$

де  $a$  – міжосьова відстань передачі,  $m$ ;  $D_1, D_2$  – діаметри шківів,  $m$ .

$$\alpha_{uu} = 3,14 - \frac{3,14}{3} \cdot \frac{0,32 - 0,06}{0,365} = 2,396 \text{ м.}$$

Сила натягу приводного паса при допустимому напруженні. Допустиме напруження приймаємо  $\sigma_n = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$  [23]:

$$P_n = 2\sigma_n S_{mn} \sin\left(\frac{\alpha_{uu}}{2}\right), \quad (3.20)$$

де  $S_{mn}$  – площа поперечного перерізу паса,  $m^2$ .

$$P_n = 2 \cdot 1,6 \cdot 10^6 \cdot 47 \cdot 10^{-6} \sin\left(\frac{2,396}{2}\right) = 140,06 \text{ Н.}$$

Реакцію опор знаходимо з рис. 3.3.

$$R_A = \frac{P(l_1 + l_2) + P_\sigma(l_1 + l_2) - P_n l_3}{l_2}, \quad (3.21)$$

$$R_A = \frac{343,35 \cdot (0,196 + 0,06) + 20,614 \cdot (0,196 + 0,06) - 140,06 \cdot 0,03}{0,06} = 1,483 \cdot 10^3 \text{ Н.}$$

$$R_B = \frac{(P + P_\sigma)l_1 - P_n(l_2 + l_3)}{l_2}, \quad (3.22)$$

$$R_B = \frac{(343,35 + 20,614) \cdot 0,196 - 140,06 \cdot (0,06 + 0,03)}{0,06} = 978,86 \text{ Н.}$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						32
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

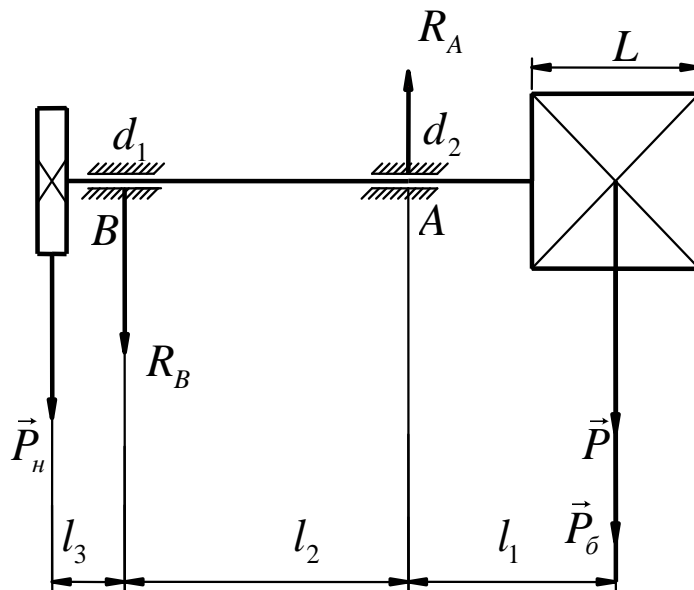


Рис. 3.3. Схема навантаження валу пральної машини барабанного типу з фронтальним завантаженням

Для перевірки сформуємо рівняння проектуючи сил на вісь ординат:

$$-P - P_6 + R_A - R_B - P_n = 1,137 \cdot 10^{-13},$$

$$-343,35 - 20,614 + 1,483 \cdot 10^3 - 978,86 - 140,06 = 1,137 \cdot 10^{-13}.$$

Момент опору від сил тертя для кулькових підшипників при коефіцієнті тертя із діапазону 0,001...0,003. Приймаємо  $f = 0,002$  [23].

$$M_{mp} = f \left( R_A \frac{d_1}{2} + R_B \frac{d_2}{2} \right), \quad (3.23)$$

де  $d_1, d_2$  – діаметри поверхонь, валів що ущільнюються, м.

$$M_{mp} = 0,002 \cdot \left( 1,483 \cdot 10^3 \cdot \frac{0,03}{2} + 978,86 \cdot \frac{0,03}{2} \right) = 0,074 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт тертя в ущільненнях:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						33
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$f_1 = 1,1 \left[ \frac{0,8}{\left( \omega \frac{d_1}{2} + 1 \right)^{4/3}} + 0,2 \right], \quad (3.24)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість барабану,  $c^{-1}$ .

$$f_1 = 1,1 \cdot \left[ \frac{0,8}{\left( 5 \cdot \frac{0,03}{2} + 1 \right)^{4/3}} + 0,2 \right] = 1,019.$$

$$f_2 = 1,1 \left[ \frac{0,8}{\left( \omega \frac{d_2}{2} + 1 \right)^{4/3}} + 0,2 \right], \quad (3.25)$$

$$f_2 = 1,1 \cdot \left[ \frac{0,8}{\left( 5 \cdot \frac{0,03}{2} + 1 \right)^{4/3}} + 0,2 \right] = 1,019.$$

Сумарний момент від сил тертя в ущільненнях:

$$M = M_{ко} + M_{тр}, \quad (3.26)$$

$$M = 35,296 + 0,074 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Потужність двигуна, що необхідна, при пранні в усталеному режимі при ККД  $\eta = 0,98$ :

$$N_{узм} = \frac{M \omega}{\eta}, \quad (3.27)$$

$$N_{узм} = \frac{35,37 \cdot 5}{0,98} = 180,46 \text{ Вт}.$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.2 Розрахунок пускової потужності барабана пральної машини

Момент інерції барабана:

$$I_{\sigma} = \left(\frac{D}{2}\right)^2 + \frac{m_{nc}}{2} \left[ \left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{D_{np}}{2}\right)^2 \right] + \frac{m_{об}}{2} \left(\frac{D}{2}\right)^2, \quad (3.28)$$

де  $D$  – діаметр барабану,  $m$ ;  $m_{об}$  – маса обводу,  $кг$ ;  $m_{nc}$  – маса передньої стінки,  $кг$ ;  $D_{nc}$  – діаметр отвору в передній стінці,  $m$ .

$$I_{\sigma} = 1,254 \cdot \left(\frac{0,514}{2}\right)^2 + \frac{0,361}{2} \cdot \left[ \left(\frac{0,514}{2}\right)^2 - \left(\frac{0,26}{2}\right)^2 \right] + \frac{1,254}{2} \cdot \left(\frac{0,514}{2}\right)^2 = 0,14 кг \cdot м^2.$$

Маса мокрих виробів:

$$m_m = m + 2,25 \cdot 10^{-3} m \rho_p, \quad (3.29)$$

де  $m$  – маса завантаження,  $кг$ ;  $\rho_p$  – питома маса рідини,  $\rho_p \approx 1000 \text{ кг}/м^3$ .

$$m_m = 5 + 2,25 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 1000 = 16,25 \text{ кг}.$$

Маса рідини, яка захоплюється виробами при обертанні барабана:

$$m_{zp} = 0,15(\rho_p V_p m - 2,25 \cdot 10^3 m \rho_p), \quad (3.30)$$

де  $V_p$  – об'єм рідини в барабані  $м^3$ .

$$m_{zp} = 0,15 \cdot (1000 \cdot 0,03 \cdot 5 - 2,25 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 1000) = 20,8 \text{ кг}.$$

Момент інерції виробів і миючого розчину з рівняння:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_k = \frac{m_m + m_{3p}}{2} \left( \frac{D}{2} \right)^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{2 \sin \alpha - \sin 2\alpha}{\alpha - \sin \alpha} \right), \quad (3.31)$$

де  $\alpha$  – кут сегмента, *рад*.

$$I_k = \frac{20,8 + 16,25}{2} \cdot \left( \frac{0,514}{2} \right)^2 \cdot \left( 1 + \frac{1}{6} \cdot \frac{2 \cdot \sin 3,091 - \sin 2 \cdot 3,091}{3,091 - \sin 3,091} \right) = 1,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Моменти інерції шківів:

$$I_{ш1} = \frac{0,6 Q_1 D_1^2}{4g}; \quad I_{ш2} = \frac{0,6 Q_2 D_2^2}{4g}, \quad (3.32)$$

де  $Q_1, Q_2$  – вага шківів, *кг*;  $D_1, D_2$  – діаметри шківів, *м*.

$$I_{ш1} = \frac{0,6 \cdot 1,6 \cdot 0,06^2}{4 \cdot 9,81} = 0,0001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$I_{ш2} = \frac{0,6 \cdot 3,8 \cdot 0,32^2}{4 \cdot 9,81} = 0,0059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент інерції ротора двигуна:

$$I_\partial = \frac{M_{\partial\partial}}{4g}, \quad (3.33)$$

де  $M_{\partial\partial}$  – маховий момент електродвигуна, *Н · м<sup>2</sup>*.

$$I_\partial = \frac{0,02}{4 \cdot 9,81} = 0,00001 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Приведений до вала двигуна момент інерції:

$$I_{np} = (I_{\partial\partial} + I_k + I_{ш2}) \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 + I_{ш1} + I_\partial, \quad (3.34)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{np} = (0,14 + 1,12 + 0,0059) \left( \frac{0,06}{0,32} \right)^2 + 0,0001 + 0,00001 = 1,2 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Динамічний момент на валу електродвигуна:

$$N_{II} = M_{\text{оз}} \omega \frac{D_2}{D_1} + 0,6 N_{\text{ycm}} + \frac{Pl(2 - \cos \alpha)}{t}, \quad (3.35)$$

де  $P$  – сила ваги вмісту барабана,  $H$ ;  $l$  – відстань від центру ваги сегмента до осі обертання барабана,  $m$ ;  $t$  – час розгону барабана,  $c$ .

$$N_{II} = 21,1 \cdot 5 \cdot \frac{0,32}{0,06} + 0,6 \cdot 180,46 + \frac{140,06 \cdot 0,086 \cdot (1 - \cos 3,091)}{0,15} = 670 \text{ Вт}.$$

3.3. Розрахунок і проектування пружної підвіски барабану пральної машини з демпфуванням

Підвищення числа обертів барабана при пранні обмежується критичною частотою обертання при, якій вироби під дією відцентрової сили притискаються до внутрішньої поверхні барабана і порушується процес перемішування виробів. Критичну кутову швидкість визначають із співвідношення:

$$\Phi = F_{\text{ц}} / P_T = m\omega^2 D / 2mg = \omega^2 D / 2g, \quad (3.36)$$

де  $\Phi$  – фактор розділення,  $H$ ;  $F_{\text{ц}} = m\omega^2 D / 2$  – відцентрова сила;  $\omega$  – кутова швидкість,  $c^{-1}$ ;  $D$  – діаметр барабана,  $m$ ;  $m$  – маса барабана,  $кг$ ;  $P_T$  – сила тяжіння,  $H$ .

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						37
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З формули (3.36) визначаємо критичну швидкість  $\omega_{кр}$  при  $\Phi = 1$ :

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2g}{D}}, \quad (3.37)$$

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{0,514}} = 6,18 \text{ рад/с.}$$

Критична частота:

$$n_{кр} = \frac{\omega_{кр}}{2\pi}, \quad (3.38)$$

$$n_{кр} = \frac{6,18}{2 \cdot 3,14} = 58,8 \text{ об/хв.}$$

Робоча частота обертання барабана при пранні повинна бути не більша  $[n] = 0,87n_{кр} = 51,16 \text{ об/хв.}$  При розрахунку потужності пральної машини приймаємо:

$$n = \frac{30\omega}{\pi}, \quad (3.39)$$

$$n = \frac{30 \cdot 5}{3,14} = 47,77 \text{ об/хв.}$$

Так, як  $n < [n]$ , то умова прання за фактором розділення виконується. Частота обертання барабана на операцію віджимання  $n_0 \gg n_{кр}$ .

При такій частоті обертання виникають значні періодичні, динамічні навантаження, які передаються на основу машини і опори барабана. Особливо небезпечним є явище резонансу, коли власна частота коливань  $\omega_0$  дорівнює частоті вимушених  $\Omega$ . Перехід через резонанс при запуску режиму

					МПМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						38
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Враховуючи формули (3.38) і (3.40)  $\omega_0 = \omega_{кр} = 6,18 \text{ рад/с}$ . З іншої сторони:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m_{\Sigma}}}, \quad (3.41)$$

Маса барабану з білизною і пральною рідиною визначається по формулі:

$$m_{\Sigma} = m + m_p + m_{nc} + m_{об} + m_{zc} + m_n, \quad (3.42)$$

де  $m$  – маса завантаження, кг;  $m_p$  – маса рідини, кг;  $m_{nc}$  – маса передньої стінки, кг;  $m_{об}$  – маса ободу, кг;  $m_{zc}$  – маса задньої стінки, кг;  $m_n$  – маса демпфуючих елементів, кг.

$$m_{\Sigma} = 5 + 30 + 0,361 + 1,254 + 0,486 + 70 = 107,1 \text{ кг}.$$

Тобі, сумарний коефіцієнт жорсткості з формули (3.41):

$$k = \omega^2 m, \quad (3.43)$$

$$k = 6,18^2 \cdot 107,1 = 4090,15 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}}.$$

Коефіцієнт затухання визначаємо за формулою:

$$\nu = \frac{k_c}{m}, \quad (3.44)$$

де  $k_c$  – коефіцієнт опору гідроелектричного демпфера.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						40
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальний коефіцієнт жорсткості визначається жорсткістю пружного демпфера  $k_n$  і коефіцієнтом опору гідроелектричного демпфера  $k_c$ , який визначається при розрахунку демпфера.

Визначте величину сили, що виникає внаслідок дисбалансу під час резонансу

$$P_{кр} = \frac{m_0 D}{2} \omega_0^2 = \frac{0,15 m D}{2} \omega_0^2, \quad (3.45)$$

$$P_{кр} = \frac{0,15 \cdot 5 \cdot 0,514}{2} \cdot 6,18 = 7,36 \text{ Н}.$$

Визначимо амплітудне значення сили по дисбалансу при максимальній частоті обертання  $\omega_{\max} = 146 \text{ рад/с}$ :

$$P_{\max} = \frac{0,15 m D}{2} \omega_{\max}^2, \quad (3.46)$$

$$P_{\max} = \frac{0,15 \cdot 5 \cdot 0,514}{2} \cdot 146^2 = 4108,65 \text{ Н}.$$

Визначимо значення амплітуди вимушених коливань при максимальній частоті обертання:

$$A = \frac{P_{\max}}{k} \left( \frac{1}{\frac{\omega_{\max}^2}{\omega_0^2} - 1} \right), \quad (3.47)$$

$$A = \frac{4108,65}{4090,15} \cdot \left( \frac{1}{\frac{146^2}{6,18^2} - 1} \right) = 0,0018 \text{ м}.$$

Визначимо величину сили, що передається на фундамент за формулою:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						41
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\phi} = \frac{P_{\max}}{\frac{\omega_{\max}^2}{\omega_0^2} - 1}, \quad (3.48)$$

$$P_{\phi} = \frac{4108,65}{\frac{146^2}{6,18^2} - 1} = 7,37 \text{ Н}.$$

Визначаємо коефіцієнт передачі сили:

$$k_{nc} = \frac{P_{\phi}}{P_{\max}}, \quad (3.49)$$

$$k_{nc} = \frac{7,37}{4108,65} = 0,0018.$$

### 3.4 Розрахунок гідравлічного демпфера

Саме в гідравлічному демпфері відбувається процес гасіння вібрації. Дія в'язкого тертя призводить до дисоціації (розсіювання) енергії відповідно до 2-го закону Ньютона. Рівняння руху поршня, встановленого на штоку, виглядає наступним чином:

$$m_{\Sigma} \ddot{z} + k_n \dot{z} + k_c z = 0, \quad (3.50)$$

де  $z$ ,  $\dot{z}$ ,  $\ddot{z}$  – 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:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						42
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$z + \frac{k_n}{m_\Sigma} z + \frac{k_c}{m_\Sigma} z = 0. \quad (3.51)$$

Розв'язок рівняння (3.51) має вигляд:

$$z(t) = Ae^{-\beta t} (\sin \omega t + \varphi_0), \quad (3.52)$$

де  $A$ ,  $\varphi_0$  – сталі інтегрування, які визначаються з початкових умов ( $A$  – початкова амплітуда,  $m$ ;  $\varphi_0$  – початкова фаза коливань,  $rad$ );  $t$  – час,  $s$ ;  $\omega_0$  – частота вільних коливань з в'язким тертям,  $rad/s$ .

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 + \beta^2}. \quad (3.53)$$

Розв'язок рівняння (3.52) має місце лише при умові:

$$\omega_0^2 - \beta^2 > 0 \text{ або } k_c^2 < 4m_\Sigma k_n. \quad (3.54)$$

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

При наявності сил в'язкого тертя амплітуда вібрації залежить від часу і визначається за такою формулою:

$$A(t) = Ae^{k_c t} \quad (3.55)$$

Розрахунок гідравлічної заслінки включає в себе визначення її конструктивних розмірів, параметрів, каліброваних отворів і клапанів. Основним конструктивним розміром заслінки є діаметр поршня, який

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						43
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підбирається таким чином, щоб максимальний тиск рідини, відповідне максимальному зусиллю, не перевищувало допустимої межі ( $[p] < 2,5 \text{ МПа}$ ) [22], а температура нагріву заслінки не перевищувала  $100^\circ\text{C}$ .

Виходячи з вищевикладеного, встановить діаметр поршня  $d_n = 0,03 \text{ м}$ . Обсяг рідини, що витісняється поршнем, повинен перевищувати обсяг вільного простору над поршнем на величину обсягу штока. Кількість рідини, що проходить через калібровані отвори в поршні. Різниця між площею верхньої і нижньої поверхонь поршня дорівнює площі штока. Діаметр штока залежить від діаметра поршня:  $d_u = (0,2 \div 0,5)$  [17].

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

Площа штока визначається:

$$S_u = \frac{\pi d_u^2}{4}, \quad (3.56)$$

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

Максимальна міцність на стиск визначається за такою формулою::

$$P_{on.max} = S_u [p], \quad (3.57)$$

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

Ми приймаємо розрахункову довжину заслінки відповідно до діаметра поршня  $l = 3 \dots 5d_n$ ,  $l = 0,09 \dots 0,15 \text{ м}$ .

Площа отвору в поршні визначається за такою формулою:

$$S_{om} = \frac{(S_n - S_u)}{\mu} \cdot \sqrt{\frac{\gamma[p]}{2g}}, \quad (3.58)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						44
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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 визначаємо за формулою:

$$S_n = \frac{\pi d_n^2}{4}, \quad (3.59)$$

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

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

$$s = S_{om}/n, \quad (3.60)$$

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

Діаметр отворів знаходимо по формулі:

$$d_{om} = \sqrt{\frac{4s}{\pi}}, \quad (3.61)$$

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

Передбачається, що Діаметр отвору в силовому циліндрі збігається з діаметром отвору в поршні[2]. Далі, площа отвору в силовому циліндрі:

$$S_y = \frac{\pi d^2}{4} i, \quad (3.62)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

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

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

Загальна площа отворів:

$$S_\Sigma = S_u + S_{om}, \quad (3.63)$$

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

В якості робочого середовища гідравлічного демпфера ми використовуємо: індустріальне масло 20 ([24]артикул 214), питома вага  $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$ , модуль пружності  $E = 1,39 \cdot 10^9 \text{ Па}$ , кінематична в'язкість при  $t = 20^\circ\text{C}$   $\nu = 0,48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ .

### 3.5 Розрахунок пружинного демпфера

Пружинний демпфер містить 3 пружини, кожна з яких сприймає частину загального навантаження. Вихідними даними є: зусилля пружини при попередній деформації  $F_1 = 20 \text{ Н}$ ; при робочій деформації  $F_2 = 80 \text{ Н}$ ; попередній діаметр пружини  $D_{пр1} = 25 \text{ мм}$ , отриманий в результаті установки пружинного демпфера. Міцність пружини  $N_F \geq 10^7$ ; Максимальна швидкість переміщення рухомого кінця пружини  $\mathcal{G}_{\max} = 5 \text{ м/с}$ . Робочий хід пружини  $h = 5 \text{ мм}$  [1].

Зусилля пружини при максимальній деформації визначається:

$$F_3 = \frac{F_2}{1 - \delta}, \quad (3.64)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						46
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $\delta$  – відносний інерційний в інтервалі зазор 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  $d_\phi = 2,2 \text{ мм}$ . Жорсткість одного витка  $c_1 = 19,38 \text{ Н/мм}$ ; найбільший прогин одного витка  $s'_3 = 4,643 \text{ мм}$  ([1] ст. 211).

Максимальне дотичне напруження пружини:

$$\tau_3 = \frac{8F_3 D_{np1}}{\pi d_\phi^3}, \quad (3.65)$$

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

Визначаємо критичну швидкість за формулою:

$$g_{кр} = \frac{\tau_3 \left(1 - \frac{F_2}{F_3}\right)}{\sqrt{2G\rho \cdot 10^{-3}}}, \quad (3.67)$$

де  $G$  – модуль зсуву. Для пружинної сталі  $G = 7,85 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ ;  $\rho$  – динамічна щільність матеріалу  $\rho = 8 \cdot 10^3 \frac{\text{Н} \cdot \text{с}^2}{\text{м}^4}$  [9].

$$g_{кр} = \frac{568,3 \cdot \left(1 - \frac{80}{95}\right)}{\sqrt{2 \cdot 7,85 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 10^3 \cdot 10^{-3}}} = 2,57 \text{ м/с}.$$

Жорсткість пружини визначається за формулою:

$$c = \frac{F_2 - F_1}{h}, \quad (3.68)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						47
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$c = \frac{80 - 20}{0,005} = 12000 \text{ Н/м.}$$

Число робочих витків пружини:

$$n = \frac{c_1}{c}, \quad (3.69)$$

$$n = \frac{19380}{12000} = 1,62.$$

Повне число витків:

$$n_1 = n + n_2, \quad (3.70)$$

де  $n_2$  – число опорних витків  $n_2 = 1,5$  [1].

$$n_1 = 1,62 + 1,5 = 3,12$$

Середній діаметр пружини:

$$D_{np} = D_{np1} - d_\delta, \quad (3.71)$$

$$D_{np} = 0,025 - 0,0022 = 0,0228.$$

Індекс пружини:

$$i = \frac{D_{np}}{d_\delta}, \quad (3.72)$$

$$i = \frac{0,0228}{0,0022} = 10,36.$$

Попередня деформація пружини:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						48
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$s_1 = \frac{F_1}{c}, \quad (3.73)$$

$$s_1 = \frac{20}{12000} = 0,0017 \text{ м.}$$

Робоча деформація пружини:

$$s_2 = \frac{F_2}{c}, \quad (3.74)$$

$$s_2 = \frac{80}{12000} = 0,0067 \text{ м.}$$

Максимальна деформація пружини:

$$s_3 = \frac{F_3}{c}, \quad (3.75)$$

$$s_3 = \frac{95}{12000} = 0,0079 \text{ м.}$$

Довжина пружини при максимальній деформації:

$$l_3 = (n_1 + 1)d_0, \quad (3.76)$$

$$l_3 = (12 + 1) \cdot 0,0022 = 0,0091 \text{ м.}$$

Довжина пружини у вільному стані:

$$l_0 = l_3 + s_3, \quad (3.77)$$

$$l_0 = 0,0091 + 0,0079 = 0,017 \text{ м.}$$

Довжина пружини при попередній деформації:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						49
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$l_1 = l_0 - s_1, \quad (3.78)$$

$$l_1 = 0,017 - 0,0017 = 0,0153 \text{ м.}$$

Крок пружини у вільному стані  $t = d_0 = 0,0022 \text{ м.}$

Напруження в пружині при попередній деформації:

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

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

Напруження в пружині при робочій деформації:

$$\tau_2 = \frac{F_2}{F_3} \tau_3, \quad (3.80)$$

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

Коефіцієнт, що враховує кривизну витка пружини:

$$k = \frac{4i - 1}{4i + 4} + \frac{0,615}{i}, \quad (3.81)$$

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

Довжина розверненої пружини:

$$l \approx 3,2 D_{np} n_1, \quad (3.82)$$

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

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						50
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса пружини:

$$m \approx 19,25 \cdot 10^{-6} D_{gh} d_{\delta}^2 n_1, \quad (3.84)$$

де  $D_{np}$ ,  $d_{\delta}$  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 займає пружина:

$$V = 0,785 D_{np}^2 l_1, \quad (3.85)$$

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

Внутрішній діаметр пружини:

$$D_{np2} = D_{np1} - 2d_{\delta}, \quad (3.86)$$

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

Максимальна енергія, яка накопичується пружиною:

$$U = \frac{F_3 s_3}{2}, \quad (3.87)$$

$$U = \frac{95 \cdot 0,0079}{2} = 0,375 \text{ Дж}.$$

### 3.6 Висновки до третього розділу

Проведено розрахунки барабану пральної машини, визначені навантаження на вал барабану.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						51
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Проведені розрахунки гідравлічного демпфера, що пропонується поставити для гасіння вібрації на пральній машині.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ З ПРЯМИМ ПРИВОДОМ

### 4.1 Моделювання приводу

Електродвигун в пральній машині генерує обертовий момент, який передається на барабан. Для моделювання електродвигуна ми можемо використати рівняння, яке описує динаміку електричного двигуна постійного струму або асинхронного двигуна. В даному випадку ми будемо використовувати стандартне рівняння для асинхронного двигуна, яке описує взаємодію між струмом, моментом і швидкістю обертання:

$$J_{\text{двиг}} \cdot \ddot{\theta}_{\text{двиг}} = M_{\text{електр}} - M_{\text{опір, двиг}}, \quad (4.1)$$

де:

$J_{\text{двиг}}$  — момент інерції двигуна,

$\ddot{\theta}_{\text{двиг}}$  — прискорення обертання двигуна,

$M_{\text{електр}}$  — момент, який генерується електродвигуном,

$M_{\text{опір, двиг}}$  — момент опору двигуна (тертя, втрати тощо).

Момент, який генерується двигуном, можна виразити через потужність двигуна і швидкість обертання:

$$M_{\text{електр}} = P_{\text{двиг}} / \omega_{\text{двиг}}, \quad (4.2)$$

де:

$P_{\text{двиг}}$  — потужність двигуна,

$\omega_{\text{двиг}}$  — кутова швидкість двигуна.

Потужність двигуна в свою чергу залежить від напруги та струму, що подається на нього:

$$P_{\text{двиг}} = U_{\text{подача}} \cdot I_{\text{струм}} \cdot \eta_{\text{двиг}}, \quad (4.3)$$

де:

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$U_{\text{подача}}$  — подана напруга,

$I_{\text{струм}}$  — струм через двигун,

$\eta_{\text{двиг}}$  — коефіцієнт корисної дії двигуна.

Прямий привід передає момент від електродвигуна безпосередньо на барабан. Для цього необхідно врахувати механічний зв'язок між двигуном та барабаном:

$$M_{\text{електр}} = I \cdot \theta, \quad (4.4)$$

де:

$I$  — момент інерції барабана,

$\theta$  — прискорення обертання барабана.

Так, рівняння для обертання барабана можна записати у вигляді:

$$I \cdot \theta = M_{\text{електр}} - M_{\text{опір}}, \quad (4.5)$$

де  $M_{\text{опір}}$  — момент опору, який залежить від тертя в підшипниках, опору води і тканини.

Момент двигуна передається на барабан безпосередньо, що можна описати рівнянням:

$$T_{\text{motor}} = J_b \cdot \alpha_b, \quad (4.6)$$

де  $T_{\text{motor}}$  — момент двигуна,  $J_b$  — момент інерції барабана,  $\alpha_b$  — кутове прискорення барабана.

Навантаження залежить від маси завантаження ( $m_{\text{load}}$ ) і впливає на момент інерції:

$$J_b = J_{b0} + m_{\text{load}} \cdot r_b^2, \quad (4.7)$$

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



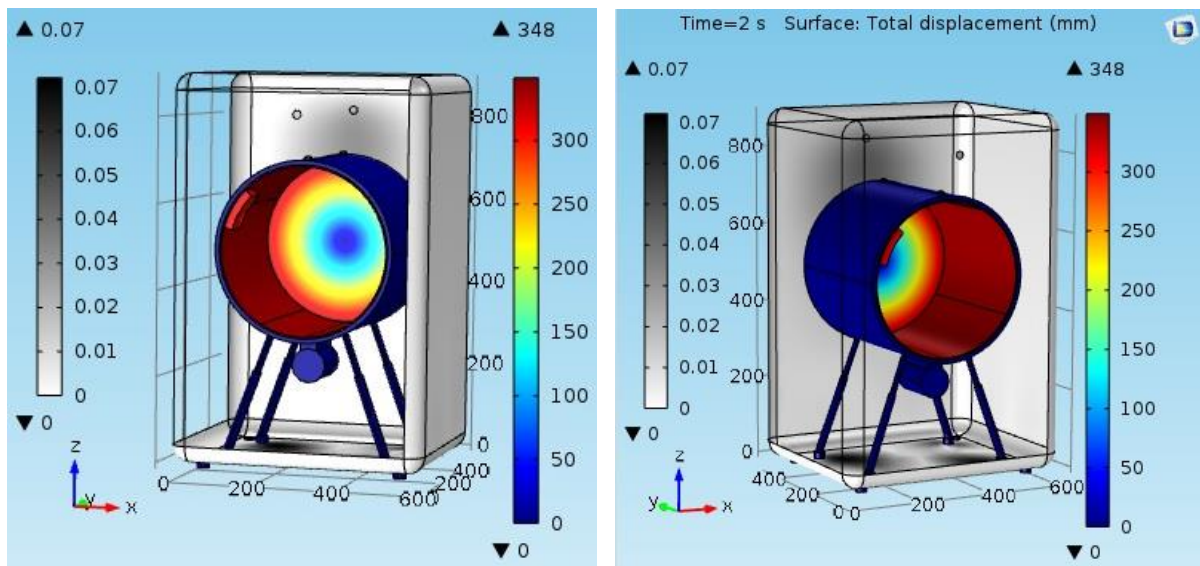


Рисунок 4.2 – Вплив вібрації в барабані та конструкції пральної машини  
Отримані значення представлені в кількісному вигляді на рис.4.3.

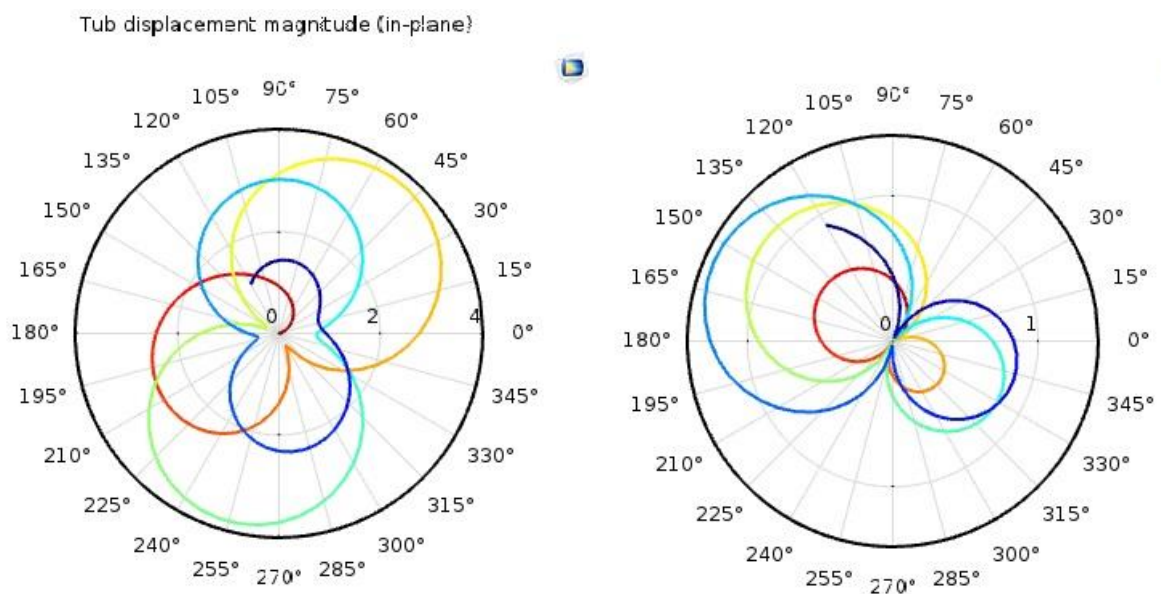


Рисунок 4.3 – Вплив вібрації в барабані та конструкції пральної машини.

## 4.2 Результати моделювання

У реальності вібрації в пральних машинах з'являються через нерівномірність розподілу білизни по барабану та інші фактори, як, наприклад, обертання барабана і відцентрові сили.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

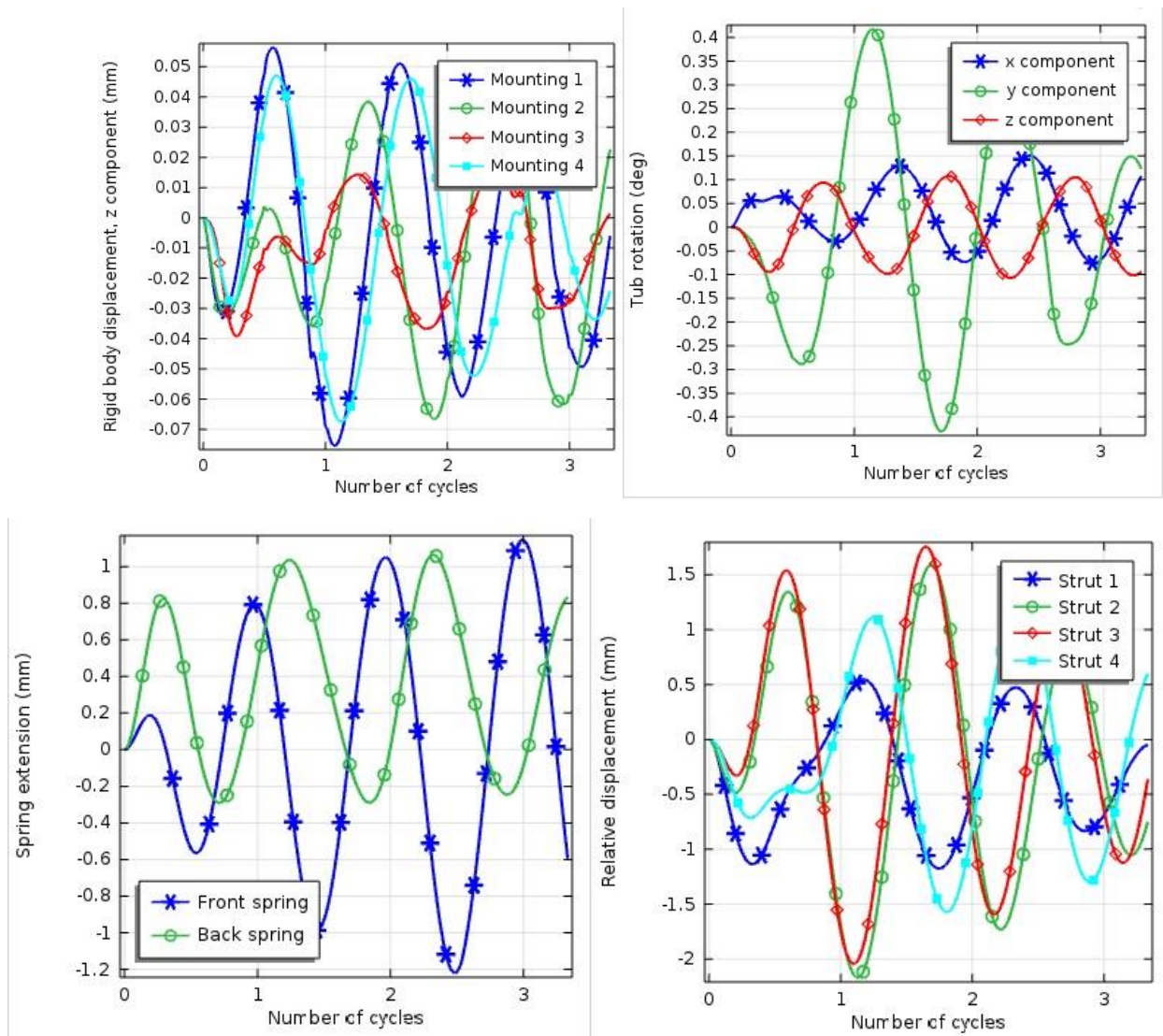


Рисунок 4.4 – Результати моделювання

Для спрощення можемо використовувати модель, яка описує систему з масами (білизною), що розподілені по барабану, а також враховує відцентрові сили та момент інерції.

Основні фактори:

1. Нерівномірний розподіл білизни по барабану: Ми можемо вважати, що білизна розподілена не рівномірно, і таким чином в кожній точці барабана маси будуть коливатися.
2. Відцентрові сили: При обертанні барабана білизна буде створювати відцентрові сили, які також впливають на вібрації.

Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3. Частота обертання барабана: Це основний параметр, який впливає на величину вібрації. Вібрації будуть більш вираженими при високих частотах обертання.

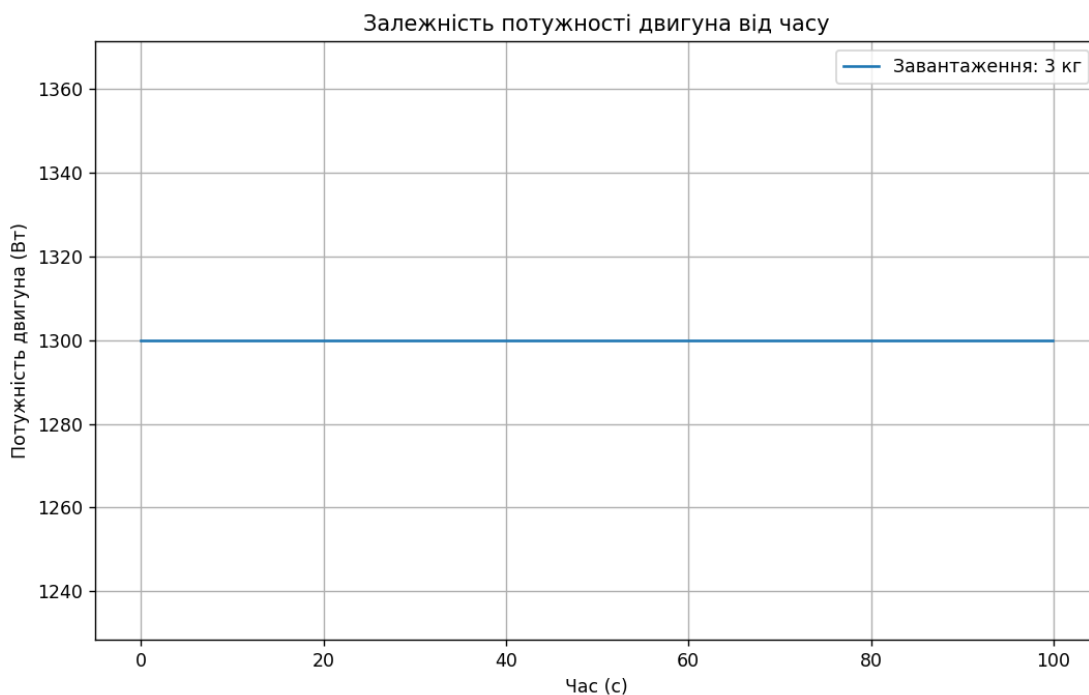


Рисунок 4.4 – Залежність потужності двигуна від часу

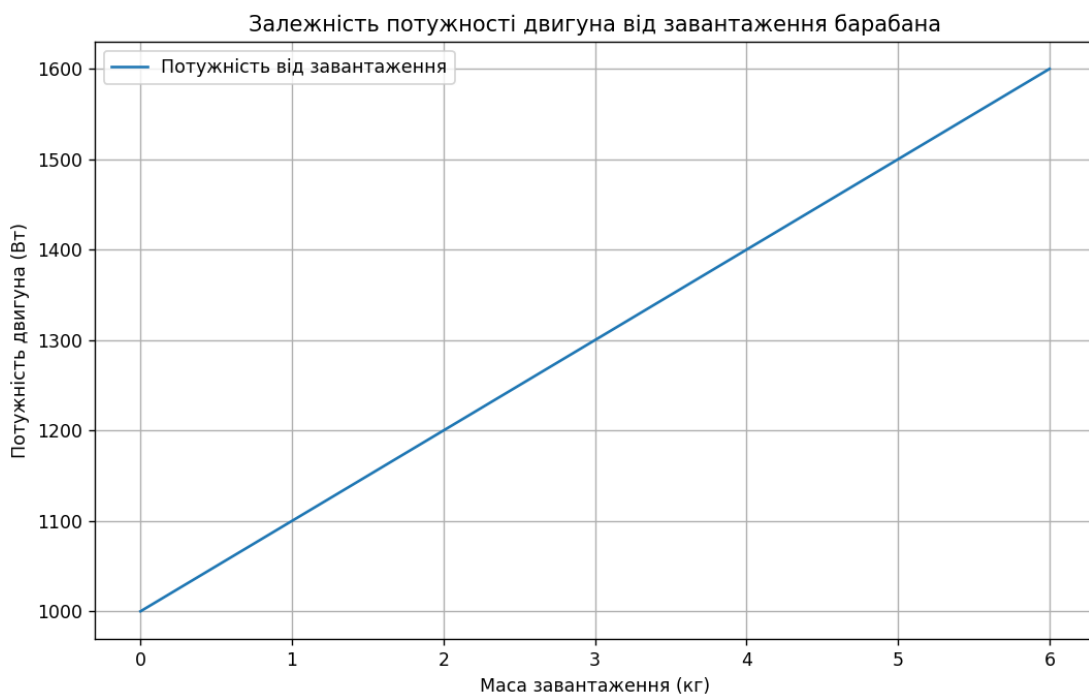


Рисунок 4.5 – Залежність потужності двигуна від завантаження барабану

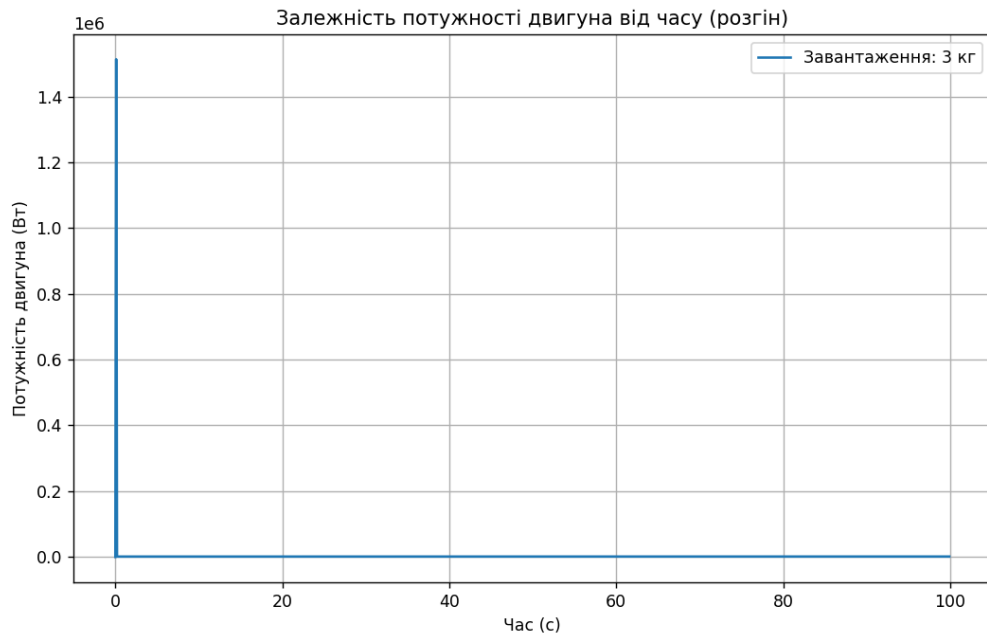


Рисунок 4.6 – Залежність потужності двигуна від часу розгону



Рисунок 4.7 – Залежність швидкості двигуна від часу розгону

Врахуємо, що кожна точка барабана коливається через зміни сили тяжіння, моментів інерції та сили тертя. Прискорення, яке викликає вібрації, можна описати через коливання маси:

Для нерівномірного розподілу білизни маси будуть змінюватися вздовж радіусу. Можна використовувати випадковий розподіл маси на барабані з

певним розподілом ймовірностей (наприклад, рівномірний або нормальний). Тоді можна задати як випадкову величину, що змінюється від мінімуму до максимуму з деякою ймовірністю.

Можемо використовувати модель випадкових величин, щоб визначити, як саме розподіляється маса по барабану. Наприклад, можемо взяти розподіл маси як нормальний розподіл в межах барабана:

де сума йде по всіх точках барабана з нерівномірним розподілом маси.

Тепер напишемо програму, яка моделює ці вібрації, а також буде графіки залежності вібрації від нерівномірності розподілу та частоти обертання барабана (Додаток А).

Масу білизни в кожній точці барабана ми генеруємо з нормальним розподілом. Для кожної точки барабана обчислюємо відцентрові сили, потім обчислюємо прискорення вібрацій через суму цих сил.

Покажемо, як вібрація змінюється в часі при нерівномірному розподілі білизни. Для різних частот обертання барабана будемо графіки вібрацій (Рис.4.8 - 4.12)

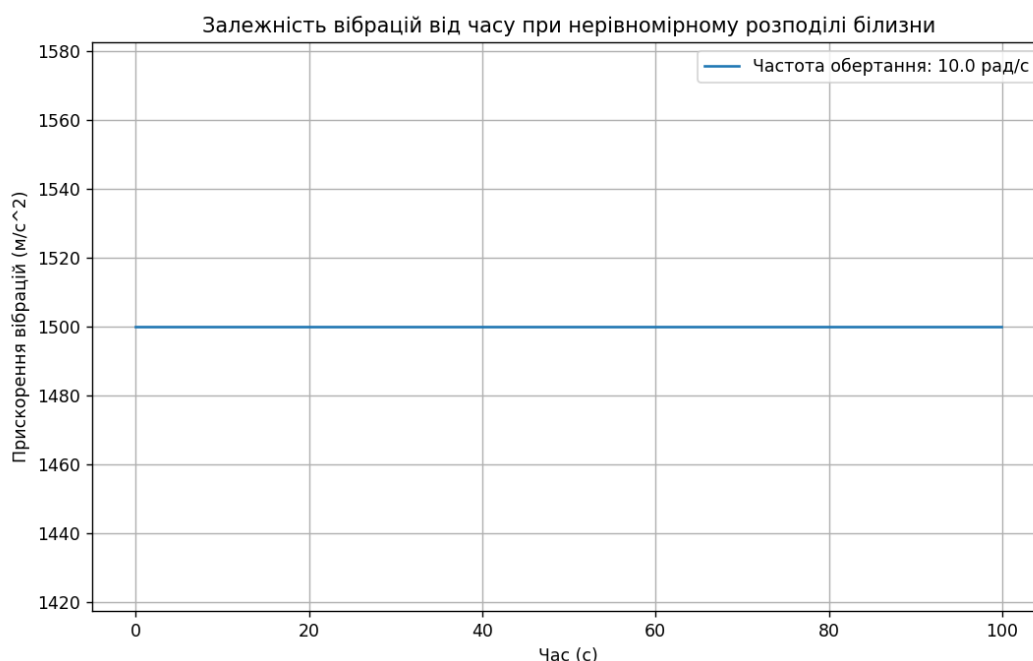


Рисунок 4.8 – Залежність вібрації від часу при рівномірному розподілі білизни на початку прання

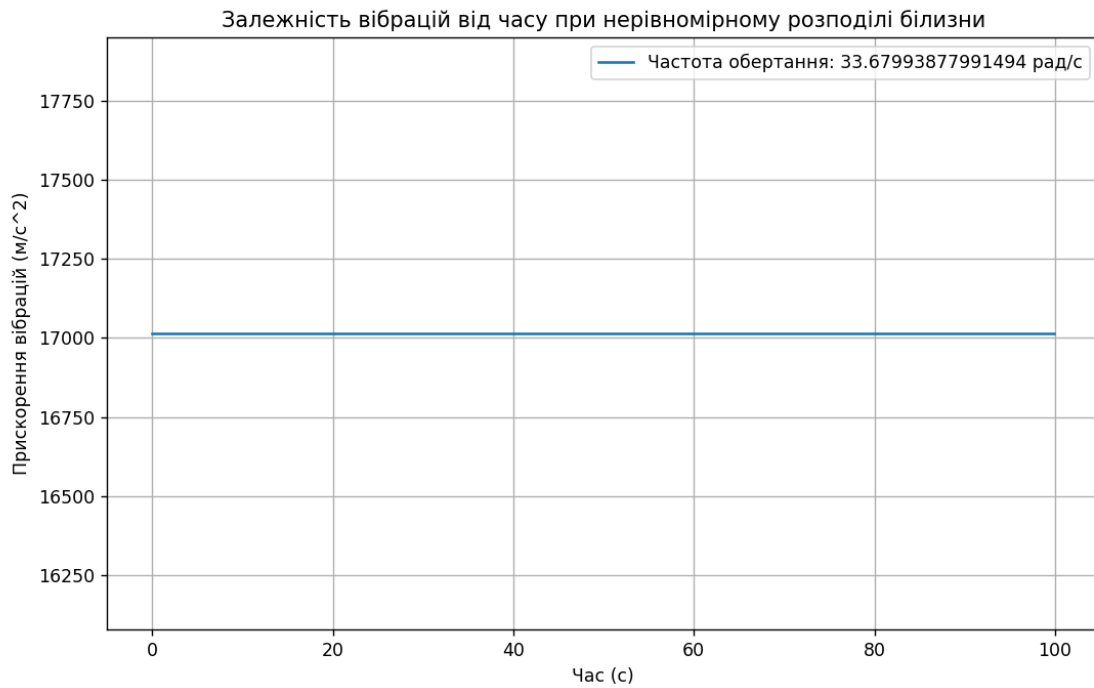


Рисунок 4.9 – Залежність вібрації від часу при рівномірному розподілі білизни при подачі миючого засобу

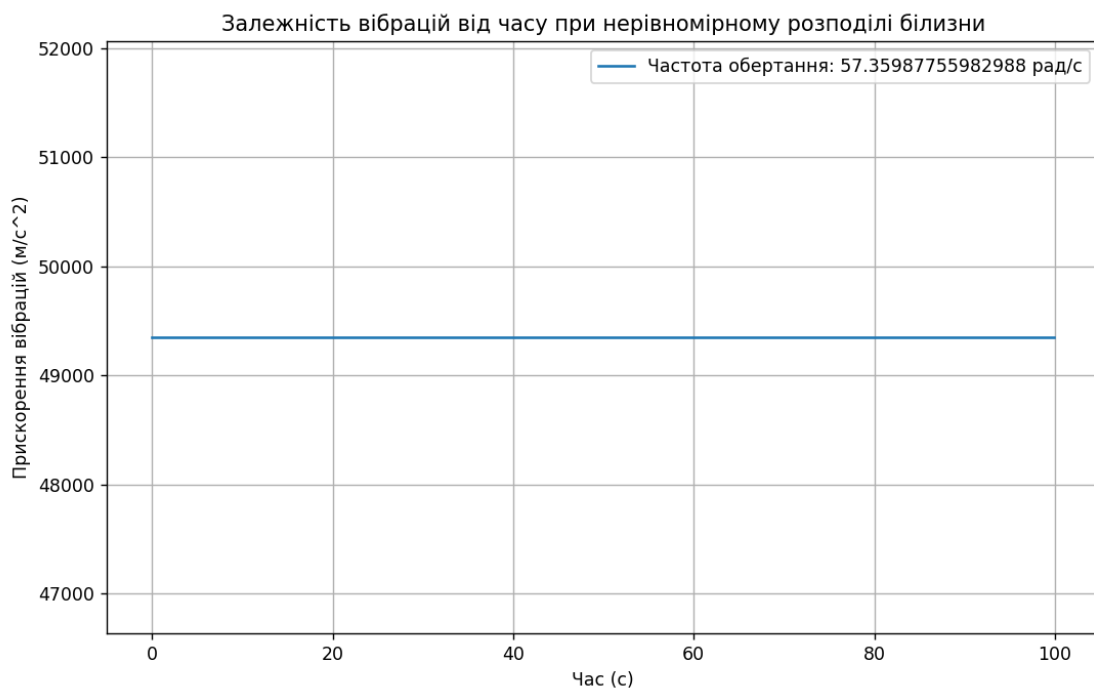


Рисунок 4.10 – Залежність вібрації від часу при рівномірному розподілі білизни при замочуванні

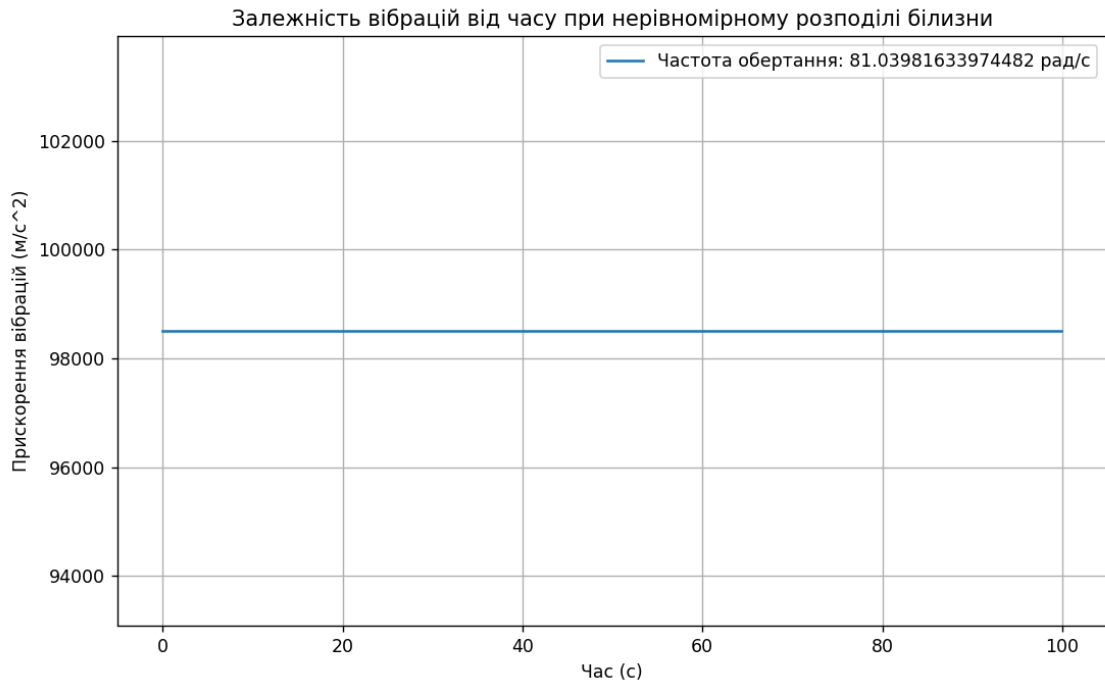


Рисунок 4.11 – Залежність вібрації від часу при рівномірному розподілі білизни при пранні

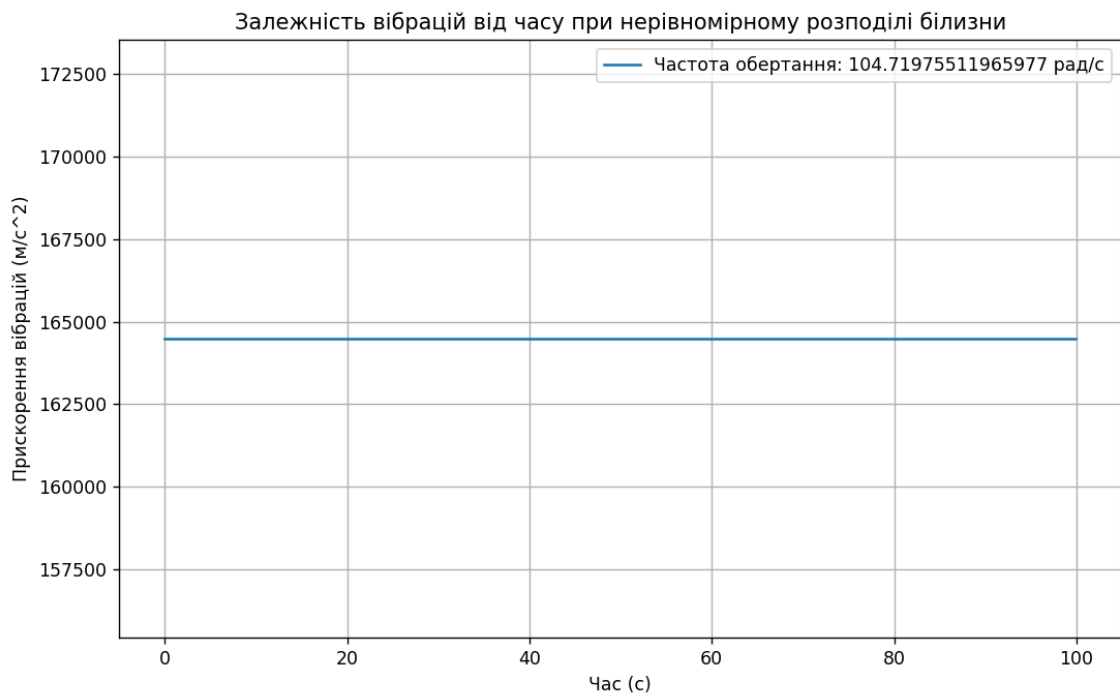


Рисунок 4.12 – Залежність вібрації від часу при рівномірному розподілі білизни при віджиманні

Для врахування динамічних характеристик:

- 1) Необхідно врахувати, як швидкість обертання барабана змінюється від 0 до максимальної під час пуску, використовуючи рівняння руху для барабана.
2. Швидкість барабана буде змінюватися поступово, що призведе до змін у відцентрових силах та, відповідно, до динаміки вібрацій.
3. Врахуємо не лише постійну швидкість, а й зміну прискорення в часі, щоб графіки стали більш реалістичними.

Змінюється швидкість барабана в часі, і це впливає на розподіл відцентрових сил і, відповідно, на вібрації. Чим більша швидкість, тим сильніше відцентрові сили і вібрації. На графіках ми бачимо динамічні зміни вібрацій у часі, а не сталі лінії. Вібрації будуть змінюватися залежно від частоти обертання барабана та її змін протягом часу (Рис4.13-4.16).

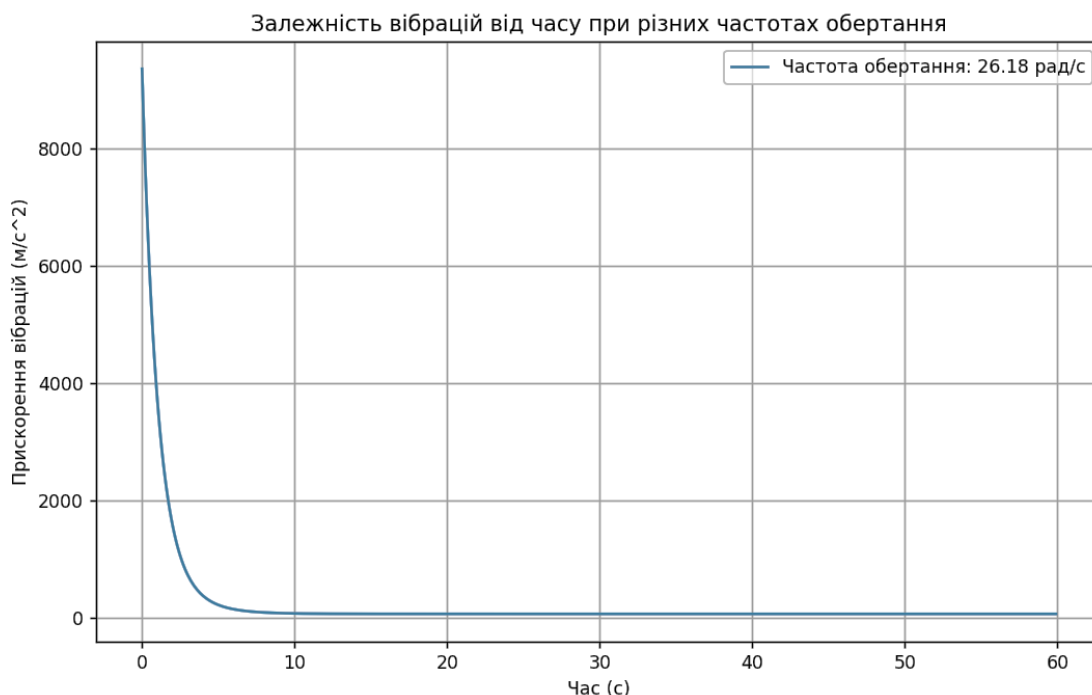


Рисунок 4.13 – Залежність вібрації від часу при нерівномірному розподілі білизни при замочуванні

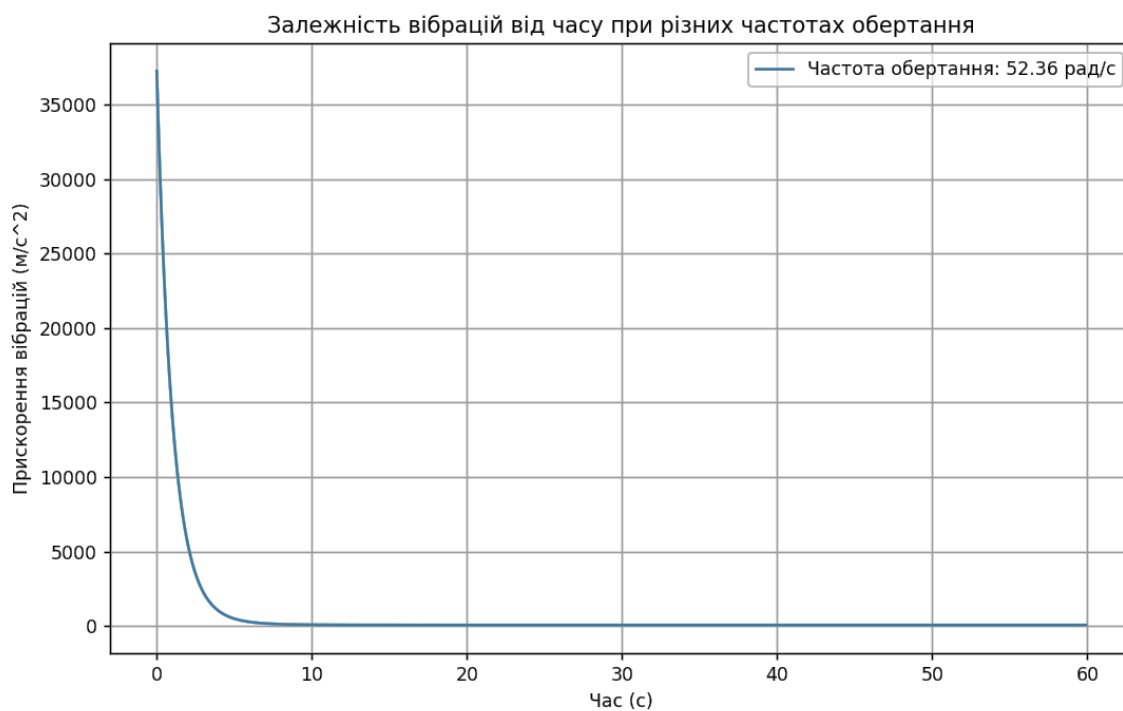


Рисунок 4.14 – Залежність вібрації від часу при нерівномірному розподілі білизни при подачі миючого засобу

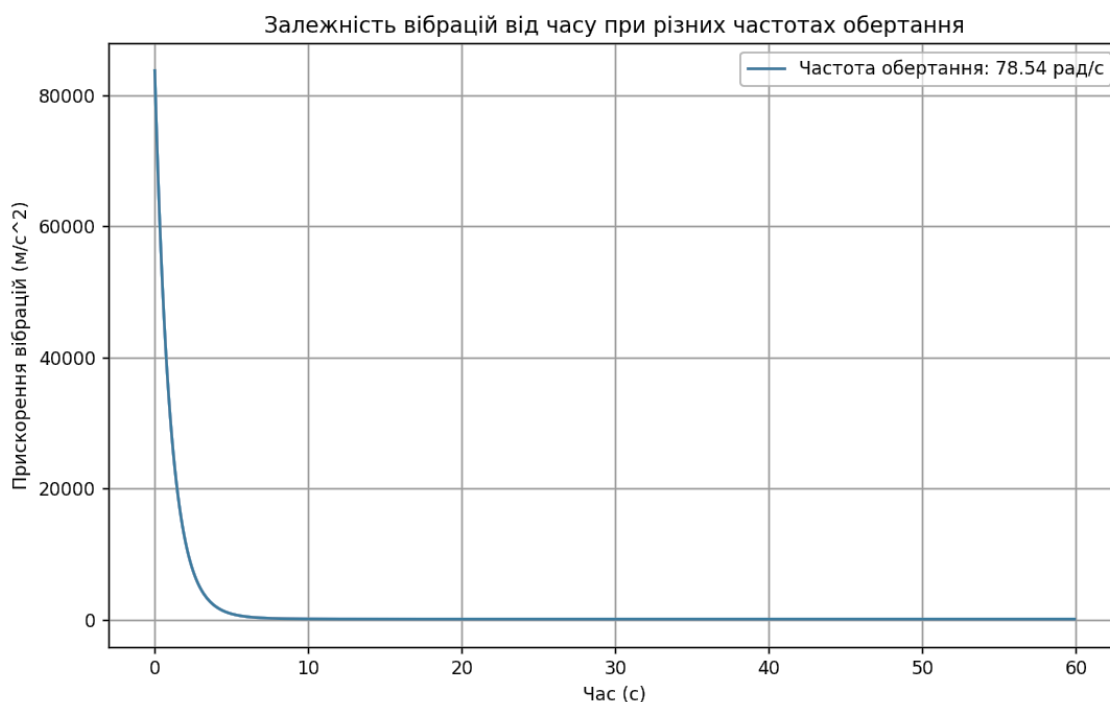


Рисунок 4.15 – Залежність вібрації від часу при нерівномірному розподілі білизни при пранні

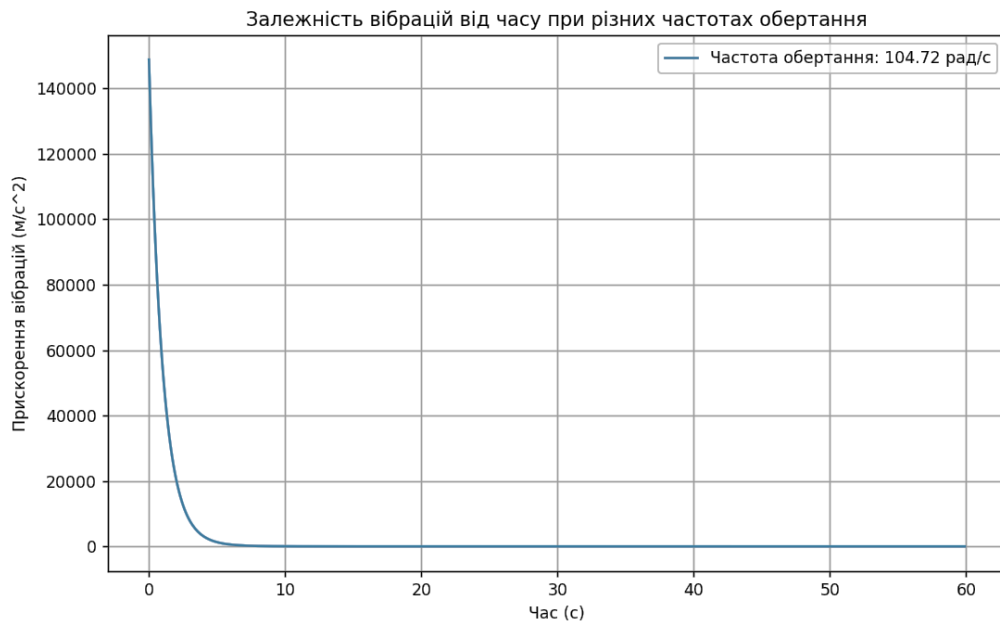


Рисунок 4.16 – Залежність вібрації від часу при нерівномірному розподілі білизни при віджиманні

Ми можемо побудувати 3D графік, де на осях будуть: Час (с), Частота обертання барабана (рад/с), Прискорення вібрацій (м/с<sup>2</sup>). Це поверхня, яка показує залежність вібрацій від часу і частоти обертання барабана. Видно, як вібрації змінюються в залежності від обертання барабана (частоти) і часу.

3D графік вібрацій пральної машини

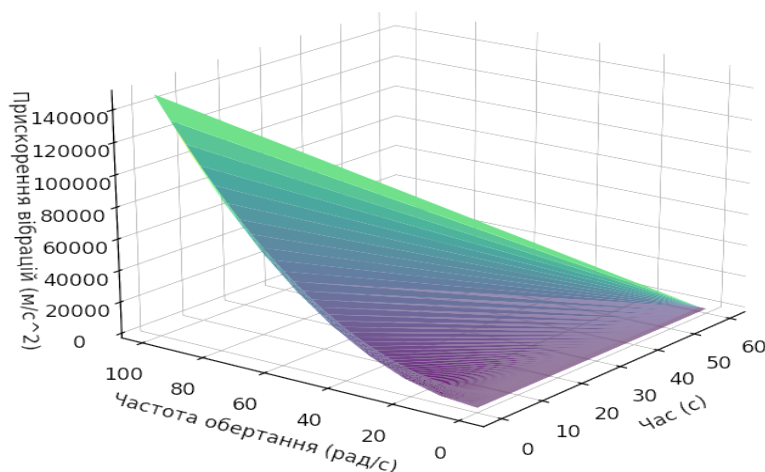


Рисунок 4.16 - 3D графік, який відображає динаміку вібрацій для різних частот обертання!

3D графік вібрацій пральної машини

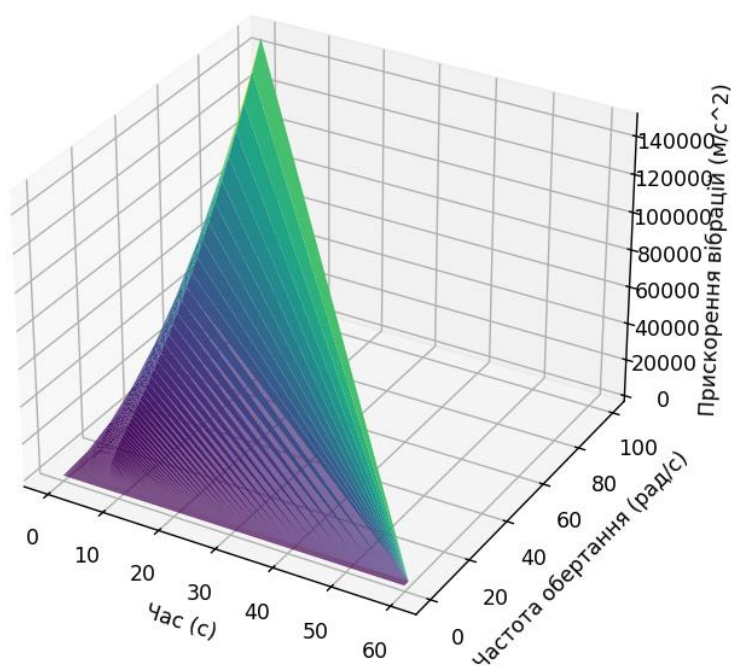


Рисунок 4.17 - 3D графік, який відображає динаміку вібрацій для різних частот обертання!

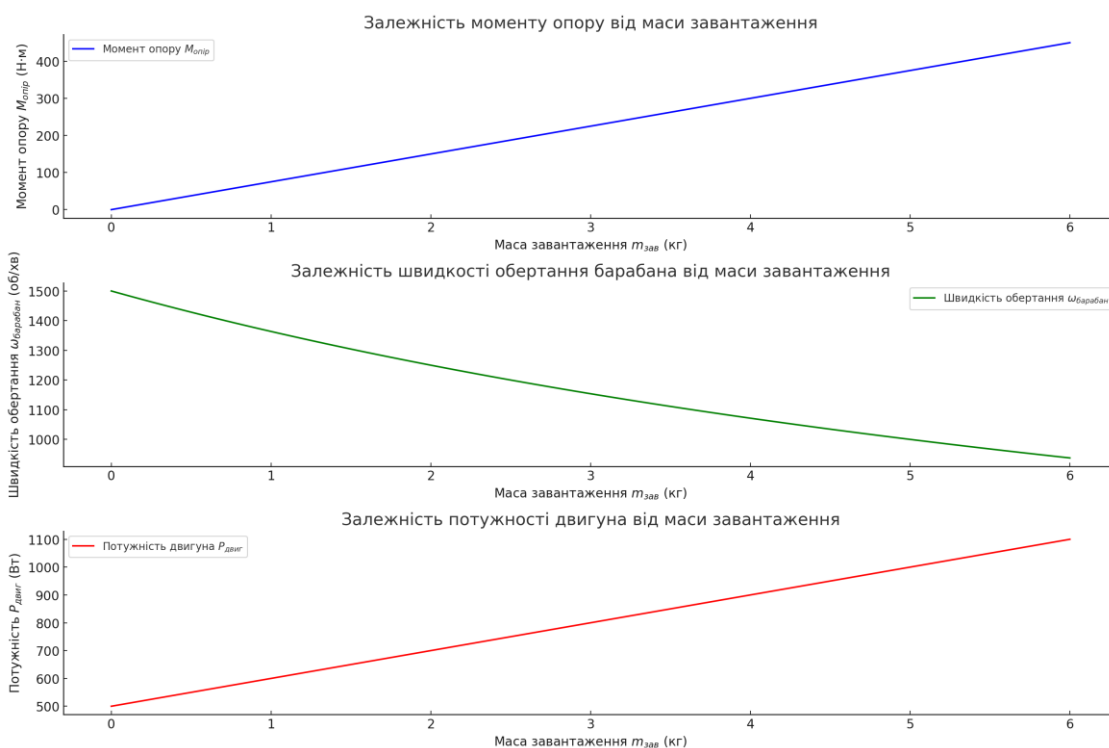


Рисунок 4.18 Залежність параметрів пральної машини від ваги завантаження

### 4.3 Висновки до четвертого розділу

Моделювання показує стійкість конструкції до динамічних впливів при збиранні з різною частотою. Вібрація не передається назовні. Конструкція безпечна у використанні. Отримані результати дозволяють аналізувати роботу пральної машини з прямим приводом з урахуванням механічного зв'язку між двигуном і барабаном, впливу маси завантаження на момент інерції, ефективності очищення і енергоспоживання.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						67
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі пропонується сучасна пральна машина з фронтальним завантаженням з прямим приводом. Пральна машина оснащена пральним барабаном з функцією обертання навколо горизонтальної осі, а також двигуном, розташованим на цій осі. Таке розташування дозволяє ефективно здійснювати процес прання вагою до 5 кг, а наявність прального барабана збільшує швидкість процесу прання і дозволяє виконувати операцію прального Преса. Таким чином, процес прання в пральній машині може бути автоматизований, і вона конкурентоспроможна серед сучасних автоматичних пральних машин.

Пральна машина, що відповідає технічним вимогам конструктивного і функціонального призначення:

- Габарити виробу:
- Довжина -500 мм;
- Ширина-600 мм;
- Висота-800 мм;

Елементи дисплея розташовані на передній панелі і розподілені відповідно до функціональним призначенням.

Таке розташування забезпечує максимальну зручність при роботі, а також відповідає вимогам експлуатації виробу.

Конструкція розроблена з урахуванням обраних зовнішніх вимог і відповідних технологічних вимог. Проведено моделювання демпфування вібрацій при пранні.

Також був проведений розрахунок приводу прального барабана і визначено діапазон швидкостей обертання в 300-800 об/хв.

Розроблена пральна машина відноситься до 4-ї групи складності, в якій несучою конструкцією є корпус.

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						68
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Моделювання показує стійкість конструкції до динамічних впливів при збиранні з різною частотою. Вібрація не передається назовні. Конструкція безпечна у використанні.

Розроблена математична модель дозволяє аналізувати роботу пральної машини з прямим приводом з урахуванням механічного зв'язку між двигуном і барабаном, впливу маси завантаження на момент інерції, ефективності очищення і енергоспоживання. Дана модель може бути використана для подальших досліджень і оптимізації пральних машин.

Таким чином, запропонована в магістерській дисертації конструкція пральної машини є закінченою розробкою.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						69
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. International Electrotechnical Commission. (2004). Household and similar electrical appliances test code for the determination of airborne acoustical noise. IEC 60704-2-10 Ed.
2. IEC. (2004). Household and similar electrical appliances test code for the determination of airborne acoustical noise. IEC 60704-2-10 Ed.
3. Commission, E. (2010). Commission Regulation (EU) No 1015/2010 of 10 November 2010 implementing directive 2009/125/EC of the European Parliament and of the Council with regard to Eco-design requirements for household washing machines. In: Official Journal of the European Union. Available at: <https://eurlex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32010R1015>.
4. Conrad, D. & Soedel, W. (1995). On the problem of oscillatory walk of automatic washing machines. Journal of Sound Vib., 188, 301-314.
5. Kelly, G. (1996). Schaum's outline of theory and problems of mechanical vibrations. New York, USA: McGraw-Hill. pp. 64-85.
6. Sergio, A. D. (2003). The design of washing machine prototype. Materials and Design, 24, 331-338.
7. Lee, J. Y. (1998). Modeling and dynamic analysis of a front loaded washing machine. Journal of Sound and Vibration of Korea, 8(4), 670-682.
8. Murray P., Henderson, M.I., Marcetic, D., Marcinkiewicz, J.G., Sadasivam, V., & Rajarathnam, A.V. (2004.). Method and system for determining washing machine load unbalance. US Patent 0,211,009 A1.
9. Barpanda, D., Tudor, J. M., & Siavoshani, S. J. (2007). An engineering approach to noise abatement in washing machines. Paper Number 334, NOISE-CON, Oct 22-24, Reno, NV.
10. Jong-Soo Choi, Dennis K. McLaughlin, & Donald E. Thompson. (2003). Experiments on the unsteady flow field and noise generation in a centrifugal pump impeller. Journal of Sound and Vib., 263, 493-514.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						70
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Ryan, K.F.& Sribar, R. (2000). Horizontal axis clothes washing machine with balance rings. US Patent 6, 158,257.

12. Donida, F., Ferretti, G., & Schiavo, F. (2006). Modeling and simulation of a washing machine. In: Proceedings of the 50th International Anipla Congress. Roma, pp. 14–15 .

13. Green, K., Champneys, A.R., Friswell, M. I.,& Muñoz, A.M. (2008). Investigation of a multi-ball, automatic dynamic balancing mechanism for eccentric rotors. Phil. Trans. R. Soc. A. DOI: 10.1098/rsta.2007.2123.

14. Загальні основи фізики: У двох книгах. Кн. 1. Механіка. Термодинаміка та молекулярна фізика. Навч. Посібник / І.Г. Богацька, Д.Б. Головка, А.А. Малярєнко, Ю.Л. Ментковський; за ред. Д.Б. Головка, Ю. Л. Ментковського. – К.: Либідь, 1998. – 192 с.

15. Мандрус В. І., Лещій Н. П., Зв'ягін В. М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. – Львів: Світ, 1995. – 264с.

					MPMA 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						71
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Додаток А

### Код програми для керування пральною машиною

```
import time

def rotate_drum(direction: str, speed: int, duration: int):
    """
    Функція для керування двигуном (барабаном).
    :param direction: Напрямок обертання ('clockwise' або
'counterclockwise').
    :param speed: Швидкість обертання (об/хв).
    :param duration: Тривалість обертання (секунди).
    """
    print(f"[Двигун] Обертання барабана: напрямок={direction},
швидкість={speed} об/хв, час={duration}с")
    time.sleep(duration)

def fill_water(temperature: int):
    """Функція для заповнення води до заданої температури."""
    print(f"[Вода] Заповнення барабана водою,
температура={temperature}C")
    time.sleep(2)

def drain_water():
    """Функція для зливу води."""
    print("[Вода] Злив води...")
    time.sleep(2)

def spin_drum(speed: int, duration: int):
```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						72
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

"""Функція для віджиму білизни."""
print(f"[Віджим] Швидкість={speed} об/хв,
тривалість={duration}с")
time.sleep(duration)

def wash_cycle(mode: str):
    """Головна функція для виконання циклу прання."""
    if mode == 'швидке прання':
        print("\n--- Швидке прання ---")
        fill_water(30)
        rotate_drum('clockwise', 50, 5)
        rotate_drum('counterclockwise', 50, 5)
        drain_water()
        spin_drum(800, 10)
    elif mode == 'делікатне прання':
        print("\n--- Делікатне прання ---")
        fill_water(20)
        rotate_drum('clockwise', 30, 5)
        rotate_drum('counterclockwise', 30, 5)
        drain_water()
        spin_drum(400, 10)
    elif mode == 'інтенсивне прання':
        print("\n--- Інтенсивне прання ---")
        fill_water(60)
        rotate_drum('clockwise', 70, 10)
        rotate_drum('counterclockwise', 70, 10)
        drain_water()
        spin_drum(1000, 15)
    else:

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

```

print("[Помилка] Невідомий режим прання!")

print("[Завершено] Програма прання завершена!\n")

def main():
    """Головна функція для взаємодії з користувачем."""
    print("\nЛаскаво просимо до системи керування пральною
машиною!")

    print("Доступні режими:")
    print("1. Швидке прання")
    print("2. Делікатне прання")
    print("3. Інтенсивне прання")

    choice = input("\nВведіть номер програми (1/2/3): ").strip()

    if choice == '1':
        wash_cycle('швидке прання')
    elif choice == '2':
        wash_cycle('делікатне прання')
    elif choice == '3':
        wash_cycle('інтенсивне прання')
    else:
        print("[Помилка] Некоректний вибір!")

if __name__ == "__main__":
    main()

```

					МРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змін.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74