

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

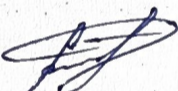
## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

# Розробка універсальної побутової пральної машини

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

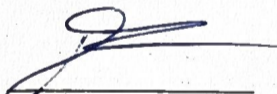
Шифр МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент  
2 курсу група ЕТм-24-1

  
Підпис


Федорчук В.С.  
Ініціали, прізвище

Керівник

  
Підпис, дата

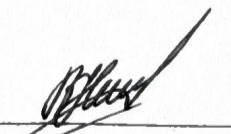
к.т.н., доц. Романець Т.П.  
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Тимошенко О.  
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:  
Зав. кафедри МАЕЕС

  
Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.  
Ініціали, прізвище

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.

10.12.2025р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Федорчук Володимир Сергійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка універсальної побутової пральної машини

керівник роботи Романець Тарас Петрович, 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 звіт з переддипломної практики, технічні характеристики пральних машин

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

Вступ. 1. Огляд та аналіз конструкцій пральних машин з похилими барабанами. 2. Розробка конструкції пральної машини. 3. Розрахунок основних вузлів машини. Загальні висновки. Перелік джерел посилання.

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

1. Пральні машини (ДО, А1). 2. Гідрокінематична схема машини (СЗ, А1).

3. Вибір кількості роторів (ТК, А2). 4. Вибір схеми привода (ТК, А2).

5. Складальне креслення машини (СК, А1\*3). 6. Електрична схема машини (ЕЗ).

## 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. Огляд та аналіз конструкцій пральних машин з похилими барабанами	до 15.10.25р.	
2. Розробка конструкції пральної машини	до 30.10.25р.	
3. Розрахунок основних вузлів машини	до 15.11.25р.	
5. Оформлення пояснювальної записки	до 25.11.25р.	
5. Оформлення графічної частини	до 10.12.25р.	

Студент

Підпис

В.С. Федорчук  
Ініціали, прізвище

Керівник роботи

Підпис

Т.П. Романець  
Ініціали, прізвище

# АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи студента  
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

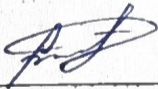
1. Прізвище, ім'я та по батькові Федорчук Володимир Сергійович

2. Тема магістерської роботи Розробка універсальної побутової пральної машини

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

4. Об'єм магістерської роботи: креслень 7 арк., сторінок записки 67

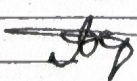
5. Вдосконалення технічних та споживчих властивостей побутових машин і приладів означає точне виконання заданих технологічних операцій при мінімальних затратах електроенергії, води, миючих засобів та ручної праці. Перш за все це відноситься до таких трудомістких операцій, як оброблення білизни (прання, прасування). Всі пральні машини, що випускаються, в даний час за основними функціональними характеристиками – ефективність прання, зниження міцності зразків, ефективність віджиму, також за питомими показниками – матеріаломісткість, металомісткість, витрати електроенергії мають відповідати вимогам ДСТУ EN 60456:2017. Існує необхідність створення побутових автоматичних пральних машин, які можуть економити час, витрати води, витрати синтетичних миючих засобів та енергію. Створення таких ПМА можливо на базі пральних машин з вертикальним чи нахиленим конічним барабаном, що обертається, без активатора з механічним скидачем або самоскиданням білизни в сполученні з гідроструменями, які направлені зверху на білизну. Такі пральні машини мають автоматичну технологічність, можуть виконувати операції прання-полоскання - віджиму набагато швидше і краще для будь-якої тканини, оскільки частота обертання барабану нічим не обмежена. Метою роботи є розробка універсальної побутової безактиваторної пральної машини з похилими барабанами. В роботі виконано вибір кількості пральних роторів пральної машини планетарного типу з похилими барабанами. Виконані кінематичні та динамічні розрахунки, в результаті яких була теоретично підтверджена правильність ідеї машини з похилими роторами, були розраховані кути нахилу осей та твірних роторів, розміри ротора та габаритні розміри машини. На підставі всіх розрахунків розроблена конструкція прально-віджимної машини планетарного типу з похилими конічними роторами та описана робота на ній. Розроблена електрична схема машини, яка запобігає можливості пошкодження електродвигуна від теплових та механічних навантажень, та дає можливість простого та легкого управління операціями прання.

Підпис студента   
" 10 " 12 20 25 р.

## РІШЕННЯ ЕК:

Протокол 4 від " 26 " 12 20 25 р.

Оцінка проекту ЕК серед 13 / 86  
Рекомендації ЕК -

Особливі відмітки -  
Технічний секретар Гуцук А.В. 

" 26 " 12 20 25 р.

## Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз конструкцій пральних машин з похилими барабанами	7
1.1 Класифікація пральних машин .....	7
1.2 Пральні машини з похилими барабанами .....	11
Висновки до першого розділу .....	14
2 Розробка конструкції пральної машини .....	15
2.1 Обґрунтування необхідності створення універсальної побутової безактиваторної пральної машини з похилими барабанами .....	15
2.2 Обґрунтування вибору кількості пральних роторів та нахил їх осей ...	18
2.3 Гідрокінематична схема пральної машини .....	23
Висновки до другого розділу .....	26
3 Розрахунок основних вузлів машини .....	27
3.1 Розрахунок конічного похилого ротора	27
3.2 Розрахунок геометричних розмірів ротора та допоміжного бака	33
3.3 Розрахунок потужності приводу	41
3.4 Вибір схеми приводу	55
Висновки до третього розділу .....	63
Загальні висновки .....	64
Перелік джерел посилання .....	65
Додаток А .....	68

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дага
Виконав		Федорчук В.С.		
Перевір.		Романець Т.П.		
Н.контр.				
Затвер.		Неймак В.С.		

Розробка універсальної побутової пральної машини

Літера	Аркуш	Аркушів
М	4	67

ХНУ гр. ЕТМ-24-1

## ВСТУП

Головною метою галузі є виробництво високоякісної, конкурентоспроможної продукції. Одночасно вкрай важливо забезпечувати постійне покращення якості виготовленої техніки, спираючись на сучасний рівень конструктивної та технологічної досконалості. У випадку сучасної побутової техніки рівень її досконалості визначається не лише високими основними функціональними показниками, але й високим ступенем автоматизації та зниженою матеріало- та енергоємністю.

Покращення технічних та енергоефективних властивостей машин і приладів передбачає забезпечення належного функціонування заданих технологічних операцій з мінімальним споживанням електроенергії, води, мийних засобів та праці. Це стосується, перш за все, трудомістких операцій, таких як прання та прасування.

Усі пральні машини, що виробляються на даний момент, повинні відповідати вимогам стандарту ДСТУ EN 60456:2017, виходячи з їх основних функціональних характеристик (ефективність прання, пом'якшення тканин, ефективність віджиму), а також питомих показників (витрата матеріалів, витрата металу та споживання електроенергії). Наразі найбільшого поширення набули горизонтальні барабанні пральні машини. Існує потреба у створенні автоматичних побутових пральних машин (АПМ), які економлять час, воду, синтетичні мийні засоби (СМЗ) та енергію.

Створення цих пральних машин з вертикальним або похилим обертовим конічним барабаном без приводу, що передбачає механічне або автоматичне вивантаження білизни в поєднанні з водяними струменями, спрямованими зверху. Ці пральні машини виготовляються автоматично та можуть виконувати цикли прання, полоскання та віджимання набагато швидше та якісніше для будь-якого типу тканини, оскільки частота обертання барабана необмежена.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		5

Метою цієї роботи є розробка універсальної побутової пральної машини без приводу з нахиленими барабанами.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

# 1 ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ПРАЛЬНИХ МАШИН З НАХИЛЕНИМИ БАРАБАНАМИ

## 1.1 Класифікація пральних машин

Технічні характеристики пральних машин (ПМ) регламентуються національними стандартами [2, 3, 25, 26] та іншими нормативними документами.

Оскільки більшість національних нормативних документів, що стосуються класифікації пральних машин, застаріли та не відповідають сучасним вимогам, ми спробуємо спрощену класифікацію на основі наявних на нашому ринку побутової техніки пральних машин.

Сучасні ПМ поділяються за способом активації мийного розчину:

- вібраційними;
- з обертовими робочими елементами;
- зі спрямованим потоком рідини або повітря.

Перший тип ПМ є найпоширенішим. Серед тих, що використовуються в нашому повсякденному житті, нам знайомі з мішалкою та барабанним типами (майже всі сучасні пральні машини).

Варто зазначити, що ПМ з мішалкою мають бак з обертовою мішалкою (лопати, диск з лопатями). Хоча існує й інший варіант (мішалка нерухома, а бак обертається), цей варіант досить рідкісний у повсякденному використанні. Ці машини зовсім не складні: вони прості та недорогі. Однак, якість прання цих побутових пральних машин не можна ігнорувати.

Існує ще один тип пральних машин: так звані повітряно-бульбашкові машини. У цих машинах змішування мийного розчину (і видалення бруду з одягу) відбувається завдяки введенню бульбашок повітря в розчин спеціальним повітродувом. Ці бульбашки мають значний проникаючий ефект: вони проштовхують одяг у потік води, тим самим підвищуючи ефективність

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

7

прання. Однак останнім часом з різних причин ці пральні машини виробляються в невеликих кількостях.

Іншим варіантом є барабанна пральна машина, яка є найбільш широко використовуваною [29]. Ці машини конструктивно відрізняються в основному лише способом завантаження одягу: вертикальне та фронтальне завантаження. Завдяки різним додатковим технічним інноваціям, якість прання цих машин порівнянна з якістю промислових пральних машин. Основою цих пральних машин є бак, що містить мийний розчин, в якому обертається барабан із завантаженим одягом. Ось основні параметри, за якими класифікуються прально-сушильні машини:

- за здатністю нагрівати розчин миючого засобу;
- за ступенем механізації та автоматизації процесів прання (малі, напівавтоматичні (наприклад, EUREKA), автоматичні та повністю автоматичні прально-сушильні машини);
- за швидкістю віджиму (на основі класу віджиму: ступеня залишкової вологості в одязі);
- за максимальною вагою білизни (сухої);
- за розміром та типом корпусу (класичний, вертикальний, вбудований, вузький тощо);
- за набором основних програм прання та додаткових функцій;
- за системою керування (механічна, електромеханічна, електронна);
- за здатністю сушити;
- за споживанням енергії;
- за класом (якістю прання) тощо. Будь-яка класифікація дозволяє порівнювати прилади за їх характеристиками. Побутова техніка, включаючи пральні машини, не є винятком. Згідно з результатами єдиного європейського тесту EN 95/12 (Директива Європейської Комісії 95/12/ЄС від 23 травня 1995 року) для випробувань пральних машин, зроблено такі висновки:
- ефективність прання на основі результатів серії з 5 випробувань;

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		8

- ефективність пральної машини на основі параметрів споживання електроенергії та води;
- ефективність віджиму на основі параметрів мінімальної залишкової вологості.

На основі цих даних визначаються класи споживання енергії, прання та віджиму пральних машин. Класи встановлюються від А до G.

Клас D приблизно відповідає оцінці «задовільно», клас C — «добре», клас B — «дуже добре», а клас A — «відмінно». Класи E, F та G зустрічаються рідко та вказують на гіршу продуктивність.

Під час процесу прання одяг проходить складну хімічну та механічну обробку. Для досягнення вищої якості білизни важливо забезпечити оптимальний баланс факторів, що впливають на якість прання. Основними факторами є пральна здатність, піноутворення та температура прального розчину, характер та інтенсивність механічної дії, кількість прального розчину на кілограм сухої білизни, а також об'єм і форма бака для прання.

Поєднання цих факторів визначає технологічні параметри як процесу прання, так і пральної машини. Ключові технічні та технологічні параметри включають: потужність машини, номінальне завантаження сухої білизни на прання, кількість розчину на кілограм білизни, рівень заповнення бака для прання, залишкову вологість після останнього циклу віджимання та знос тканини.

Процес прання здійснюється завдяки інтенсивній циркуляції мийного розчину, який проникає між шарами тканини без необхідності механічного втручання. Ця циркуляція створюється вихорами, що утворюються під час роботи активатора – швидко обертового пластикового диска. Рівномірне та ретельне прання одягу забезпечується безперервним обертанням розчину в різних напрямках.

Після прання відбувається процес полоскання. Використаний розчин мийного засобу зливається у злив, а водопровідна вода потрапляє в резерву-

ар. Барабан з одягом обертається в цій воді протягом певного часу, потім його зливають, і процес повторюється тричі.

Після полоскання барабан обертається з максимальною швидкістю, і завдяки відцентровій силі вода зливається з одягу, який залишається вологим. Цикл завершено. Прально-сушильна машина пере одяг таким самим чином і сушить його потоком повітря, нагрітого шляхом проходження через спіраль, нагріту електричним струмом (принцип фена).

Щодо конкретної моделі ПМ, споживач не може впливати на деякі фактори (якщо він уже зробив свій вибір). Він може максимізувати час безпребійної роботи ПМ, лише дотримуючись інструкцій з експлуатації та обравши правильний сервіс.

Хотів би зосередитися на такому параметрі, як термін служби прально-го засобу (ймовірно, певного продукту чи послуги). Це залежить від багатьох факторів: виробничих та конструктивних характеристик, якості компонентів, виробників, дотримання експлуатаційних стандартів, інтенсивності роботи конкретного ПМ тощо. Багато виробників (хоча й не всі) прагнуть покращити цей параметр. Типовим прикладом є європейський виробник побутової техніки (включаючи ПМ), щоб збільшити термін служби своєї продукції, впровадив систему контролю якості, де кількість працівників, безпосередньо задіяних у виробництві, порівнянна з кількістю працівників, які працюють у сфері контролю якості.

Найближчим часом очікується введення нових параметрів класифікації пральних машин у зв'язку з розширенням можливостей обслуговування (наприклад, збільшення асортименту програм прання, покращення дизайну та функціональності тощо). Ще однією тенденцією у виробництві пральних машин різних брендів є максимальна стандартизація моделей у межах певної лінійки продуктів (дизайн, конструктивні особливості, аксесуари, набір основних функцій тощо).

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		10

Підсумовуючи, хотілося б зазначити наступне: основні параметри класифікації конкретної моделі ПМ описані в її інструкціях з експлуатації; важливо просто розрізнити, які з них є базовими, а які ні. Природно, конструкції машин постійно вдосконалюються. Деякі з них представлені в графічному розділі МАР 25.00.00.000 ДО.

## 1.2 Пральні машини з нахиленими барабанами

### 1.2.1 Автоматична пральна машина

У технічному описі МАР 25.00.00.000 ДО описано машину, розроблену британською компанією "Hover Limited". Барабан пральної машини, який також функціонує як центрифуга, має форму усіченого конуса. У нижній частині барабана встановлено диск з лопатями (привід), який активує мийний розчин. Під час процесу прання привід і барабан обертаються в протилежних напрямках з високою швидкістю, тоді як привід обертається з низькою швидкістю. Під час прання делікатних речей привід можна вимкнути, і прання здійснюється за рахунок повільного обертання барабана. Цикл віджиму виконується за рахунок високошвидкісного обертання перфорованого барабана. Привід обертається з тією ж швидкістю та в тому ж напрямку, що й барабан під час циклу віджиму.

Описана машина має прямокутну рамну конструкцію зі скошеною передньою частиною, на яку монтуються зовнішні панелі корпусу. Кришка горловини мийного бака кріпиться до передньої панелі корпусу. Бак зібраний за допомогою штапованих деталей, кріплень та привареної до них труби. До дна бака приварена маточина, яка підтримує вал барабана. До верхньої частини бака кріпиться чавунний противага для двигуна. Електродвигун кріпиться до бака за допомогою кронштейнів. Поверхня бака та барабана покрита шаром силікатної емалі. Бак підвішений до рами двома пружинами та утримується під кутом двома допоміжними пружинами та сталевим тросом.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		11

Конструкція кріплення троса зменшує навантаження на пружини та не обмежує рух бака. Горловина бака герметизована високогіфрованою еластичною гумовою втулкою.

Привід і барабан приводить в рух однофазний, короткозамкнений, реверсивний, асинхронний електродвигун. Живиться від мережі змінного струму (АС) напругою 220-250 В. Його номінальна потужність становить 520 Вт, а швидкість обертання – 1460 об/хв.

Усередині бака знаходиться барабан з лопатевим диском. Діаметр перфорованої циліндричної частини барабана становить 440 мм, глибина – 330 мм, а діаметр горловини – 235 мм. Усередині барабана розташовані чотири прямокутні ребра та виконавчий механізм. Ребра та виконавчий механізм виготовлені з пластику. Диск лопатей має діаметр 136 мм і на зовнішній поверхні має шість профільованих лопатей. Ці лопаті виступають на 12,5 мм з верхні диска.

Оскільки машина має виконавчий механізм, вона має недоліки машини з виконавчим механізмом. Це призводить до більшої втрати міцності тканини під час прання, що означає більшу витрату води порівняно з барабанними пральними машинами. Вал пральної машини має складну конструкцію і тому є дорожчим у виробництві.

Привідний вал барабана є порожнистим і встановлений на підшипниках з ущільненням в опорній маточині. Вал виконавчого механізму проходить через внутрішню частину вала барабана. На нижніх кінцях цих валів встановлено два виконавчі механізми.

### 1.2.2 Пральна машина, патент США № 4114406

Пральна машина (рис. 2, креслення МАМР 25.00.00.000 ДО) має сферичний бак, що містить рідину для прання, та сферичний контейнер для оброблюваних продуктів, стінки якого дозволяють рідині потрапляти всередину. Бак встановлений на валу та обертається навколо осі, що проходить через

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		12

його діаметр від приводного блоку. Контейнер також встановлений на валу та обертається навколо своєї діаметральної осі всередині бака від приводного блоку. Осі обертання бака та контейнера перетинаються.

Недоліками машини є складність виготовлення бака та контейнера з правильною сферичною формою, а також складність виготовлення люка барабана та контейнера для завантаження та розвантаження білизни. Виготовлення конструкції вала машини вимагає значних трудовитрат та матеріальних витрат.

### 1.2.3 Пральна машина з віджимом без приводу

Показано на рис. 3, креслення МАРМ 25.00.00.000 ДО. Прання здійснюється в обертовому вертикальному барабані. Барабан має форму усіченого конуса, що розширюється вгору, причому тангенс кута нахилу твірної до вертикалі дорівнює або перевищує коефіцієнт тертя мокрого одягу об поверхню барабана. Під час прання (або віджиму), коли барабан обертається, одяг піднімається завдяки відцентровим силам. Під час підйому одяг стикається зі струменями води, що виходять з отворів круглого живильника, розташованого над барабаном. Струмені проникають в одяг, покращуючи його очищення та полегшуючи його видалення. Замість того, щоб бути виштовхуваним струменями води з отворів живильника, одяг стикається з розвантажувачем, розташованим у верхній частині барабана, який його виштовхує. Потім повний цикл повторюється. Завдяки конічній конструкції бака для прання, без збільшення розмірів машини, можна встановити допоміжний бак, в який після першого прання закачується розчин для прання для повторного використання.

Показано вертикальну пральну машину з конічним барабаном, яка пропонує високі параметри продуктивності. Незважаючи на просту конструкцію та автоматизований технічний процес, вона вимагає спеціальних при-

строїв для прошовування білизни вниз після того, як вона піднімається конічною поверхнею корпусу барабана.

У цьому відношенні заслуговує на увагу пральна машина з похилим барабаном, в якій білизна падає під дією сили тяжіння після підйому корпусу барабана [4].

#### 1.2.4 Похила пральна машина

Згідно із заявкою № 53-3187, Японія, показаною на рис. 4, креслення МАРМ 25.00.00.000 ДО. Прання здійснюється в похилому циліндричному барабані, який отримує обертальний рух від електродвигуна через ремінну передачу. У цьому випадку ведений шків інтегрований з пральним барабаном вздовж його корпусу. Нахил осі прального барабана відносно горизонталі становить  $300^\circ$ .

Цей незначний нахил осі прального барабана відносно горизонталі означає, що ця машина має недоліки пральних машин з горизонтальним розташуванням барабана, а саме обмежену кількість обертів барабана протягом циклу прання та, отже, низьку продуктивність прання. Система приводу машини вимагає довгих ременів і, як наслідок, високої вартості.

Висновки першого розділу.

У першому розділі цієї роботи проведено огляд та аналіз робочих елементів барабанних пральних машин. Розглянуто класифікацію пральних машин з нахиленими барабанами.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

14

## 2 РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРАЛЬНОЇ МАШИНИ

### 2.1 Обґрунтування необхідності створення універсальної побутової пральної машини без приводів з похилими барабанами

Машини PMN та PMA з горизонтальними барабанами широко використовуються у всьому світі.

Ці машини виготовляються автоматично, але мають суттєвий недолік: коефіцієнт розподілу під час прання повинен бути менше одиниці. Це необхідно для того, щоб відцентрова сила не притискала одяг до корпусу, і він міг падати після підйому на певну висоту [8].

$$n \leq \sqrt{\frac{1}{2D}} = \frac{0,7}{\sqrt{D}}, \text{ об/с}, \quad (2.1)$$

де  $D = 2R$  - внутрішній діаметр барабана, м.

Звідси критична частота обертання барабана повинна бути:

$$\Phi = \frac{F}{G} = \frac{m\omega^2 R}{mg} = \frac{4m\pi^2 R}{mg} \leq 1, \quad (2.2)$$

де  $F = m\omega^2 R$  - відцентрова сила;

$G = mg$  - сила тяжіння білизни.

Тому швидкість обертання горизонтальних барабанів у сучасних пральних машинах не перевищує 50-60 об/хв.

Така швидкість обертання не забезпечує гарної турбулентності потоку, оскільки швидкість руху білизни відносно розчину низька, що збільшує час прання до 20-40 хвилин, що на порядок довше, ніж у пральних машинах з активатором.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Щоб скоротити час прання та покращити його якість, необхідно розташувати барабан пральної машини вертикально або під кутом та змінити принцип руху білизни всередині бака. Це усуне обмеження швидкості обертання барабана, оскільки відцентрова сила не протидіятиме силі тяжіння білизни. Існують пральні машини з вертикальним конічним барабаном пральної машини [18]. Ці машини, що пропонують високі функціональні параметри, просту конструкцію та автоматизацію технологічного процесу, потребують спеціальних пристроїв для розвантаження білизни після її підйому по конічній поверхні корпусу барабана. Тому необхідно створити пральну машину з похилими барабанами, в якій білизна падає під дією сили тяжіння після підйому по конічній, похилій поверхні корпусу (рис. 2.1).

Щоб одяг піднімався та опускався власною вагою, барабан повинен виконувати планетарний рух. Це включає обертання навколо власної осі (відносний рух) та обертання навколо центральної вертикальної осі машини (поступальний рух). У такій пральній машині потрібно 2, 3 або 4 барабани, щоб збалансувати маси пральних барабанів та одягу, який піднімається через їхні конічні корпуси.

Нахил осі прального барабана  $OA$  відносно вертикалі та конічної поверхні барабана, а також кут нахилу твірної барабана відносно осі, створює змінний кут нахилу твірних відносно центральної вертикальної осі. Максимальне значення кута нахилу на стороні  $CE$  становитиме [відсутнє значення], а мінімальне значення кута нахилу на стороні  $BD$  становитиме [відсутнє значення].



го значення. У цей момент загальна відцентрова сила, що дорівнює різниці між обертовими відцентровими силами навколо осей ОА та ОО, стає дуже малою і більше не притискає одяг до корпусу барабана. В результаті одяг падає під дією сили тяжіння. Одяг, що рухається вниз, потім підтягується вгору відцентровою силою та зустрічається зі струменями, що виходять з кільцевого живильника. Ці струмені проникають в одяг, покращуючи його очищення невеликою кількістю води. Чим вища швидкість обертання барабанів пральної машини, тим швидше та частіше одяг рухається вгору та вниз, що зменшує час прання.

У режимі віджиму вода, що надходить у стаціонарний бак, перекачується насосом не до циркуляційного живильника, а до збірного бака.

Порівняно з машиною попереднього прання (ПМП) "Вятка-автомат", запропоноване рішення скоротить час прання та споживання електроенергії приблизно в 10 разів, витрату води на прання на 70-90%, а загальну витрату води на 20-35%. Також зменшить споживання синтетичних мийних засобів на 50-70% та зменшить забруднення навколишнього середовища. Керування автоматизацією значно спрощується.

## 2.2 Обґрунтування вибору кількості роторів прання та нахилу їх валів

Для збалансування інерційних сил планетарної системи та підвищення продуктивності пральної машини необхідно проектувати машину щонайменше з двома роторами, хоча можливі три або чотири (аркуш МАРМ 25.00.00.000 ТК1).

Нахил валів роторів прання вибирається виходячи з умови підйому білизни вздовж генератора SE ротора прання (рис. 2.1) та падіння на дно ротора у генератора VD. Ця умова виконується, якщо виконується наступний вираз:

$$\beta + \alpha + 1 \geq \theta \text{ або } \operatorname{tg}\beta + \operatorname{tg}\alpha \geq f, \quad (2.1)$$

де  $\beta$  - кут осі нахилу ротора;  
 - кут твірної нахилу ротора;  
 $\theta$  і  $f$  - кут і коефіцієнт тертя по поверхні мокрої білизни прального ротора.

При максимальному куті СЕ твірної  $\alpha + \beta$ , для якого більше коефіцієнта тертя тангенс мокрої білизни по поверхні прального ротора, від відцентрової сили на миттєвому радіусі сумарної  $R_{\text{бі}}$  велика сила виникає вздовж ротора твірної СЕ, яка вверх ротора переміщує білизну. Тому вибрана наступна величина кутів:

$$\beta = 17^\circ$$

$$\alpha = 15^\circ$$

Перевіримо при куті тертя  $\theta \approx 20^\circ$  : виконання умови (2.1)

$$17 + 15 > 20; \quad 32^\circ > 20^\circ.$$

Умова виконується(2.1).

А при сторони нахилу мінімальному куті ВD рівному  $\beta - \alpha$ , виникає сила, яка вздовж ВD від відцентрової сумарної сили буде мала, а величина твірної кута нахилу ВD буде меншою від кута тертя, тобто

$$17 - 15 < 20; \quad 2^\circ < 20^\circ,$$

тобто для нашого випадку це розміри бака нерухомого і впишемо в нього по черзі два, три та чотири ротора пральних з вибраними раніше кута-

ми нахилу їх осей та твірних, а після цього порівняємо параметри таких машин.

Для вибору кількості барабанів пральних ми використовуватимемо однакові розміри машини, тобто білизна буде падати на дно барабана під дією сили тяжіння.

Розміри прального ротора для двороторної та трироторної машин (аркуш МАР 25.00.00.000 ТК1) будуть за конструкцією однаковими. Оскільки в трироторній машині, порівняно з двороторною, кількість білизни, що падає на кожен ротор, переться одночасно, продуктивність машини трироторної буде на третину вищою, ніж у двороторної. Тому трироторна машина є більш економічно ефективною, а отже, кращою.

Порівняємо параметри чотирироторної та трироторної машин. Розрахуємо площу листа алюмінієвого для виготовлення відповідної трироторної та чотирироторної машин, використовуючи розміри листа МАР 25.00.00.000 ТК1 (рис. 2 та 3).

Площа бічної поверхні конуса усіченого можна розрахувати за формулою:

$$S_{\text{біч}} = \pi l(R + r), \quad (2.2)$$

де  $l$  – довжина усіченого конуса твірної;

$R$  і  $r$  – відповідно радіуси конуса основи.

Для машини трьохроторної:

Площа одної бічної поверхні ротора:

$$S_{\text{біч1}}^3 = 3,14 \cdot 477(173 + 50) = 334174,40 \text{ мм}^2.$$

Площа загальна листа для виготовлення роторів:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		20

$$S_{заг}^3 = 3S_{біч1}^3 = 3 \cdot 334174,40 = 1002523 \text{ мм}^2 \approx 1 \text{ м}^2.$$

Для машин чотирьохроторної:

Площа поверхні ротора:

$$S_{біч1}^4 = 3,14 \cdot 473(142,5 + 24) = 247414,6 \text{ мм}^2.$$

Вся площа листа для чотирьох роторів:

$$S_{заг}^4 = 4S_{біч1}^4 = 4 \cdot 247414,6 = 989658,2 \text{ мм}^2 \approx 1 \text{ м}^2.$$

Як видно з розрахунків, витрати листа алюмінієвого для цих машин приблизно однакові:

Для машин трьохроторної.

Площа поверхні бічної одного ротора:

$$S_{біч1}^3 = 3,14 \cdot 477(173 + 50) = 334174,40 \text{ мм}^2.$$

Вся площа листа для трьох роторів:

$$S_{заг}^3 \approx S_{заг}^4 \approx 1 \text{ м}^2.$$

Зрівняємо об'єми чотирьох та трьох роторів машин.

Об'єм конуса усіченого знаходимо за формулою:

$$V = \frac{\pi}{3} H(R^2 + r^2 + Rr), \quad (2.3)$$

де  $H$  – висота конуса усіченого;

$R$  і  $r$  – радіуси відповідно основ.

Для машини трьохроторної:

Об'єм ротора:

$$V_{13} = \frac{3.14}{3} \cdot 460 \cdot (173^2 + 50^2 + 273 \cdot 50) = 19788201 \text{ мм}^3$$

Весь об'єм робочий машини:

$$V_{заг}^3 = 3V_{13} = 3 \cdot 19788201 = 59364603 \text{ мм}^3 \approx 59,4 \text{ л}$$

Для машини чотирьохроторної:

Об'єм одного ротора:

$$V_{14} = \frac{3.14}{3} \cdot 460 \cdot (142,5^2 + 24^2 + 142,5 \cdot 24) = 11706658 \text{ мм}^3$$

Весь робочий об'єм машини:

$$V_{заг}^4 = 4V_{14} = 4 \cdot 11706658 = 46826632 \text{ мм}^3 \approx 46,8 \text{ л}$$

Як видно з обчислень, при одній і тій же витраті матеріалу, об'єм робочий машини трьохроторної більший за об'єм робочий машини чотирьохроторної на:

$$\Delta V = V_{заг}^3 - V_{заг}^4 = 59,4 - 46,8 = 12,6 \text{ л.}$$

					МПМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		22

Тому зупиняємо свій вибір для подальшої розробки на машині з трьома роторами.

### 2.3 Схема гідрокінематична пральної машини

У аркуші МАМР 25.00.00.000 С3 проекту наведено гідрокінематичну схему побутової планетарної пральної машини з нахиленими конічними роторами.

Похиłe розташування конічних пральних роторів з рухомими валами та їх кінематичне з'єднання з нерухомим баком забезпечує одночасне обертання пральних роторів навколо їх похилої та планетарної осей, а також навколо планетарної осі симетрії. В результаті, при обертанні пральних роторів кут нахилу їх утворюючих відносно вертикалі змінюється від максимального, при цьому мокрий одяг падає під дією струменів з живильника та власної ваги.

Розглянемо схему гідрокінематичну пральної машини. У середині корпусу 1 розташований бак 2, що розширюється вгору, з отвором 3 внизу та похилими конічними мийними роторами 4. Три похилі конічні ротори [2], що мають отвори 5 на своїх вершинах, розташовані симетрично відносно осі центрального вертикального вала 6, можуть обертатися або навколо осі вала 6, або навколо своїх похилих осей 8. Мийні ротори 4 кінематично з'єднані зі стаціонарним баком 2 зубчастими ремінними передачами 9. У верхній частині стаціонарного бака розташований кільцевий живильник 10 з отворами, розташованими по всій довжині живильного кільця, який з'єднаний трубою з нагнітальним каналом 11 насоса 13, через регулювальний клапан 12. Насос приводиться в дію першим ступенем двоступінчастого ремінного приводу 16 від двигуна 15. Насос розташований на проміжному валу ремінного приводу, який встановлений на підвісці 14 разом з двигуном. 15.

Між корпусом 1 та стаціонарним баком 2 розміщена ємність 17 з отворами в її основі. Перший отвір з'єднаний з всмоктувальним каналом через регулювальний клапан 12 насоса 13, а другий - через регулювальний клапан 18. Регулювальний клапан 18 є двонаправленим. У режимах віджиму та прання він відкриває вихід води зі стаціонарного бака 2 через отвір 3 в його основі, а під час зливу або повторного використання мийного розчину - з ємності 17. Зливна труба також з'єднана з випускним каналом 12 насоса 13 через регулювальний клапан 20.

Пральна машина з віджимом працює наступним чином: під час прання регулювальні клапани 19 та 20 закриті, а двонаправлений регулювальний клапан 18 відкриває подачу води до насоса 13 зі стаціонарного бака 2 через отвір 3; клапан 11 відкритий. Білизна завантажується в пральні ротори 4 якомога рівномірніше, при цьому на кожен ротор завантажуються різні види одягу, після чого заливається пральний розчин. Двигун 15 через перший ступінь ремінної передачі 16 приводить у рух проміжний вал із прикріпленим до нього насосом 13, а через другий ступінь – вал 6 та опору 7. Завдяки кінематичному зв'язку 9 похилі пральні ротори 4 обертаються навколо своїх похилих осей 8, приводячи в рух оброблювану білизну, зволожену пральним розчином. При цьому створюється відцентрова сила, яка діє на білизну та пральний розчин. Таким чином, пральні ротори обертаються як навколо своєї похилої, так і навколо планетарної осей, навколо вертикальної осі симетрії. У режимі прання білизна під дією осьової сили, що створюється відцентровою силою, рухається вгору вздовж утворюючих роторів 4, слідуючи за стрілками. У цьому випадку розчин виштовхується відцентровою силою через отвори 5 у стаціонарний резервуар 2, звідки він подається через отвір 3 насосом 13, через випускний канал 12, регулювальний клапан 11 та трубу до живильника 10. При обертанні роторів на  $180^\circ$  навколо власної осі 8 кут нахилу роторів генератора 4 зменшується до мінімуму, при цьому відцентрова сила зменшується через малий миттєвий радіус обертання відносно вертика-

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

льної осі машини. Через це одяг притискається до стінок роторів 4 і під дією сили тяжіння падає на дно барабана. Падаючий одяг знову піднімається завдяки відцентровій силі, як показано стрілкою. Піднімаючись, одяг стикається зі струменями з отворів кільцевого живильника 10, які проникають у одяг і посилюють його прання невеликою кількістю води. Чим вища частота обертання пральних роторів 4, тим швидше та частіше одяг піднімається та опускається, що зменшує час прання.

В кінці циклу прання клапан 11 закривається, а клапан 19 відкривається. Насос 13 перекачує мийний розчин зі стаціонарного резервуара 2 до резервуара 17 через випускний канал 12 та клапан 19. Після цього клапан 19 закривається, а клапани 11 та 20 відкриваються, забезпечуючи стікання залишків розчину через зливну трубу. Тепер машина готова до циклу полоскання, який виконується аналогічно циклу прання.

У режимі віджиму мийні ротори 4 функціонують як ротори центрифуги, де білизна повторюється циклічно вздовж стінок ротора (слідуючи стрілкам) та випадає, обертаючись на 180°. Віджата вода надходить через отвори 5 у резервуар 2, звідки вона через отвір 3, клапан 18, насос 13 та клапан 20 потрапляє в каналізаційну систему через зливну трубу. Для наступного циклу прання можна використовувати мийний розчин з резервуара 17. Для цього спочатку відкривають клапани 18 та 11, а потім закривають клапани 19 та 20. Насос 13 перекачує розчин з резервуара 17 через трубу та дросельно-лінійний живильник 10 до резервуара 2. Коли резервуар 17 порожній, клапан 18 активується, і процес прання відбувається аналогічно описаному вище.

Автоматичне підняття та опускання білизни під час обертання ротора дозволяє активувати цикли прання, полоскання та віджимання, використовуючи невелику кількість води, скорочуючи час та вартість прання, покращуючи якість прання та мінімізуючи споживання води. Розміщення ємності для зберігання використаного мийного розчину всередині машини, без збільшення її габаритів, дозволяє використовувати його повторно, тим самим розширюючи технологічні можливості машини та знижуючи витрати на

прання. Запропоноване рішення може бути використане при створенні напівавтоматичних, а ще краще – автоматичних машин, оскільки процес автоматизований та легко автоматизується.

Висновки другого розділу.

У другому розділі цієї роботи демонструється необхідність універсальної побутової пральної машини без приводів з похилими барабанами. Зроблено обґрунтування вибору кількості пральних роторів та нахилу їх осей. Розроблено схему гідрокінематичну пральної машини.

					МПМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

### 3 РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ ВУЗЛІВ МАШИНИ

#### 3.1 Розрахунок кінчного похилого ротора

3.1.1 Кінчний похилий ротор пральної машини, показаний на листі МАРМ 25.00.00.000 РР. Кут нахилу твірної, дорівнює  $\alpha = \alpha_r = \alpha_b$ . Тоді:

$$\varpi_{\kappa} = \frac{\varpi_e \sin(180^\circ - \beta - \alpha)}{\sin \alpha} = \frac{\varpi_e \sin(\beta + \alpha)}{\sin \alpha}; \quad (3.1)$$

де  $\varpi_e$  - переносна кутова швидкість навколо головної осі ОО головного вала  $\varpi_e = 2\pi n / 60$ ,  $\text{с}^{-1}$ , де  $n$ , об/хв – частота обертання головного вала (води-ла).

3.1.2 Відцентрові сили на білизну, що діють в роторі при його роботі з кутовою швидкістю  $\varpi_e$  навколо осі ОО:

- в точці В

$$F'_B = m_{\text{м.б.}} R_{\text{н}} \varpi_e^2 \quad (3.2)$$

- в місці С

$$F'_C = m_{\text{м.б.}} (R_{\text{н}} + d \cos \beta) \varpi_e^2 \quad (3.3)$$

- в місці D

$$F'_D = m_{\text{м.б.}} R_{\text{в}} \varpi_e^2 \quad (3.4)$$

- в місці Е

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$F'_E = m_{м.б.} (R_B + D \cos \beta) \omega_e^2 \quad (3.5)$$

де  $m_{м.б.}$  - маса мокрої білизни;

$D$  – діаметр великий ротора;

$d$  – діаметр малий ротора;

$R_B$  - відстань від точки  $D$  до осі  $OO$  обертання вала головного;

$R_H$  - відстань осі обертання від головного вала до точки  $B$ ;

$\beta$  - кут нахилу осі  $OA$  відносно осі  $OO$ .

$$L = H / \cos \alpha = (D - d) / 2 \sin \alpha$$

де  $L$  – довжина ротора твірної.

$$R_B = R_H + L \sin(\beta - \alpha)$$

$$\text{тоді } R_B = R_H + \frac{(D - d) \sin(\beta - \alpha)}{2 \sin \alpha} \quad (3.6)$$

де  $H = \frac{D - d}{2 \operatorname{tg} \alpha}$  - висота ротора.

З конструктивних міркувань вибирається відстань  $R_H$ .

На білизну в роторі діють сили, які при обертанні з кутовою швидкістю  $\omega_r$  навколо осі  $AO$ :

- в місці  $B$

$$F''_B = -\frac{m_{м.б.} d \omega_r^2}{4} = -\frac{m_{м.б.} d \omega_e^2 \sin^2(\beta + \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \quad (3.7)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

- в місці С

$$F_C'' = \frac{m_{м.б.} d \varpi_r^2}{2} = \frac{m_{м.б.} d \varpi_e^2 \sin^2(\beta + \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \quad (3.8)$$

- в місці D

$$F_D'' = -\frac{m_{м.б.} D \varpi_r^2}{2} = -\frac{m_{м.б.} D \varpi_e^2 \sin^2(\beta + \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \quad (3.9)$$

- в місці E

$$F_E'' = \frac{m_{м.б.} D \varpi_r^2}{2} = \frac{m_{м.б.} D \varpi_e^2 \sin^2(\beta + \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \quad (3.10)$$

Результуюча відцентрової сили, яка діють вздовж ротора твірних:

- в місці B

$$F_B = F_B' \sin(\beta - \alpha) + F_B'' \sin \alpha - G \cos(\beta) \quad (3.11)$$

- в місці D

$$F_D = F_D' \sin(\beta - \alpha) + F_D'' \sin \alpha - G \cos(\beta) \quad (3.12)$$

- в місці C

$$F_C = F_C' \sin(\beta + \alpha) + F_C'' \sin \alpha - G \cos(\beta) \quad (3.13)$$

- в місці E

$$F_E = F_E' \sin(\beta + \alpha) + F_E'' \sin \alpha - G \cos(\beta) \quad (3.14)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Складові результуючої відцентрової сили, які діють перпендикулярно твірним ротора:

- в місці В

$$F_B^\perp = F_B' \cos(\beta - \alpha) - F_B'' \cos \alpha + G \sin(\beta) \quad (3.15)$$

- в місці D

$$F_D^\perp = F_D' \cos(\beta - \alpha) - F_D'' \cos \alpha + G \sin(\beta) \quad (3.16)$$

- в місці С

$$F_C^\perp = F_C' \cos(\beta + \alpha) + F_C'' \cos \alpha + G \sin(\beta) \quad (3.17)$$

- в місці Е

$$F_E^\perp = F_E' \cos(\beta + \alpha) + F_E'' \cos \alpha + G \sin(\beta) \quad (3.18)$$

### 3.1.3 Умови руху одягу на роторі вздовж генераторів

Через рух ротора під час роботи одяг повинен підніматися вздовж генератора SE та опускатися під дією сили тяжіння вздовж генератора DV.

Одяг підніметься вздовж генератора SE, якщо складові сил, що діють вздовж роторів-генераторів, більші за складові сил, що діють перпендикулярно до роторів-генераторів, які помножені на коефіцієнт тертя одягу об поверхню ротора:

$$F > F^\perp f$$

де  $f$  – коефіцієнт Пуассона.

Умови руху матеріалу вздовж твірної DB:

- в місці B

$$\begin{aligned} F'_B \sin(\beta - \alpha) + F''_B \sin \alpha - G \cos(\beta) < \\ < f \left( F'_B \cos(\beta - \alpha) - F''_B \cos \alpha + G \sin(\beta - \alpha) \right) \end{aligned} \quad (3.19)$$

- в місці D

$$\begin{aligned} F'_D \sin(\beta - \alpha) + F''_D \sin \alpha - G \cos(\beta) < \\ < f \left( F'_D \cos(\beta - \alpha) - F''_D \cos \alpha + G \sin(\beta - \alpha) \right) \end{aligned} \quad (3.20)$$

Підйом матеріалу вздовж твірної CE:

- в місці C

$$\begin{aligned} F'_C \sin(\beta + \alpha) + F''_C \sin \alpha - G \cos(\beta) > \\ > f \left( F'_C \cos(\beta + \alpha) + F''_C \cos \alpha + G \sin(\beta + \alpha) \right) \end{aligned} \quad (3.21)$$

- в місці E

$$\begin{aligned} F'_E \sin(\beta + \alpha) + F''_E \sin \alpha - G \cos(\beta) > \\ > f \left( F'_E \cos(\beta + \alpha) + F''_E \cos \alpha + G \sin(\beta + \alpha) \right) \end{aligned} \quad (3.22)$$

Виконавши зведення та перетворень подібних членів, маємо:

падіння матеріалу вздовж твірної BD:

- в місці В

$$\begin{aligned} R_H [\sin(\beta-\alpha) - f \cos(\beta-\alpha)] - \frac{d \sin^2(180^\circ - \beta - \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \times \\ \times (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \frac{g}{\omega_e^2} [\cos(\beta-\alpha) + f \sin(\beta)] < 0, \end{aligned} \quad (3.23)$$

- в місці D

$$\begin{aligned} \left[ R_H + \frac{(D-d) \sin(\beta-\alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \right] [\sin(\beta-\alpha) - f \cos(\beta-\alpha)] - \\ - \frac{D \sin^2(180^\circ - \beta - \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \times (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \\ - \frac{g}{\omega_e^2} [\cos(\beta-\alpha) + f \sin(\beta-\alpha)] < 0, \end{aligned} \quad (3.24)$$

- в місці С (білизна падає):

$$\begin{aligned} (R_H + d \cos \beta) [\sin(\beta + \alpha) - f \cos(\beta + \alpha)] + \frac{d \sin^2(180^\circ - \beta - \alpha)}{2 \sin^2 \alpha} \times \\ \times (\sin \alpha - f \cos \alpha) - \frac{g}{\omega_e^2} [\cos(\beta + \alpha) + f \sin(\beta)] > 0, \end{aligned} \quad (3.25)$$

- в місці Е (білизна піднімається)

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$\left[ R_H + \frac{(D-d)\sin(\beta-\alpha)}{2\sin^2\alpha} + D\cos\beta \right] [\sin(\beta) - f\cos(\beta+\alpha)] + \frac{D\sin^2(180^\circ - \beta - \alpha)}{2\sin^2\alpha} \times (\sin\alpha - f\cos\alpha) - \frac{g}{\omega_e^2} [\cos(\beta+\alpha) + f\sin(\beta+\alpha)] > 0, \quad (3.26)$$

### 3.1.4 Кут нахилу твірної та кут нахилу ротора осі ОА.

Розглянемо нерівності (3.23), (3.25), (3.24), (3.26). Якщо в точках В і D значення лівої нерівності частини були б менші від нуля, необхідно, щоб виконувались наступні умови:

- 1)  $\sin\alpha - f\cos\alpha \geq 0$ , тобто  $tg\alpha \geq f$ ,  $\alpha \geq \theta$ ,
- 2)  $\sin(\alpha + \beta) - f\cos(\beta + \alpha) > 0$ , тобто  $tg(\beta - \alpha) < f$ ,
- 3)  $\cos(\beta - \alpha) + f\sin(\beta - \alpha) > 0$ , тобто  $ftg(\beta - \alpha) + f > 0$ .

Якщо в точках С і У значення лівих нерівностей частин (3.26) і (3.25) були б більше від нуля, слід забезпечити такі умови:

- 1)  $\sin\alpha - f\cos\alpha > 0$ , тобто  $tg\alpha > f$ ,  $\alpha \geq \theta$ ,
- 2)  $\sin(\beta - \alpha) - f\cos(\beta - \alpha) < 0$ , тобто  $tg(\beta + \alpha) > f$ ,
- 3)  $\cos(\beta + \alpha) + f\sin(\beta + \alpha) > 0$ , тобто  $ftg(\beta + \alpha) + f > 0$ .

Приймаємо: Отже, за наших умов цей коефіцієнт тертя задовольнить наші розрахунки, оскільки одяг рухатиметься разом з водою. Кут нахилу вала АО не повинен бути набагато більшим за кут, необхідний для того, щоб одяг швидше та вільніше падав вздовж генератора ВD під впливом власної

сили тяжіння. Приймаємо: При цих значеннях кута умови (3.27) та (3.28) повністю виконуються.

### 3.2 Розрахунок розмірів ротора та бака

3.2.1 Розрахунок геометричних розмірів ротора. Вибір кількості роторів показано в розділі 3; пральна машина бажано має 3 ротори. Приймаємо модуль об'ємної пружності  $i$ , отже, ефективний об'єм ротора, де  $m_p = 1,5 \text{ кг}$  = навантаження одного ротора. Виходячи з формули для об'єму усіченого конуса та конструктивно вибраного малого діаметра основи (дна ротора)  $m$ , обчислюємо висоту  $H_p$  та  $D$  = більший діаметр.

$$V = \frac{\pi}{5} H_p (R^2 + Rr + r^2) = 15 \text{ л} \quad (3.29)$$

де  $r$  - радіус ротора меншої основи;

$R$  – радіус ротора більшої основи;

$H_p$  – висота ротора.

$$\frac{\pi}{5} H_p (R^2 + 0,05R + 0,0025^2) - 0,015 = 0$$

Як видно з рисунка 3.1,  $H_p = \frac{R - 0,05}{\text{tg}15^\circ}$  тоді  $\pi R^3 - 0,0004 = 0,045 \text{tg}15^\circ$ , тобто  $R = 0,1734 \text{ м}$ ,  $H_p = 0,4605 \text{ м}$ .

Довжина ротора твірної  $L$ :

$$L = \frac{R - r}{\cos(90^\circ - \alpha)} \quad (3.30)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$L = \frac{0,1734 - 0,005}{\cos 75^\circ} = 0,4768\text{м}$$

Відстань від осі ОО до основи ротора  $R_H = 0,015\text{м}$ . В такому випадку відстань від верха ротора до осі ОО із (3.6):

$$R_B = 0,015 + 0,4768\sin 2^\circ = 0,0316\text{м}.$$

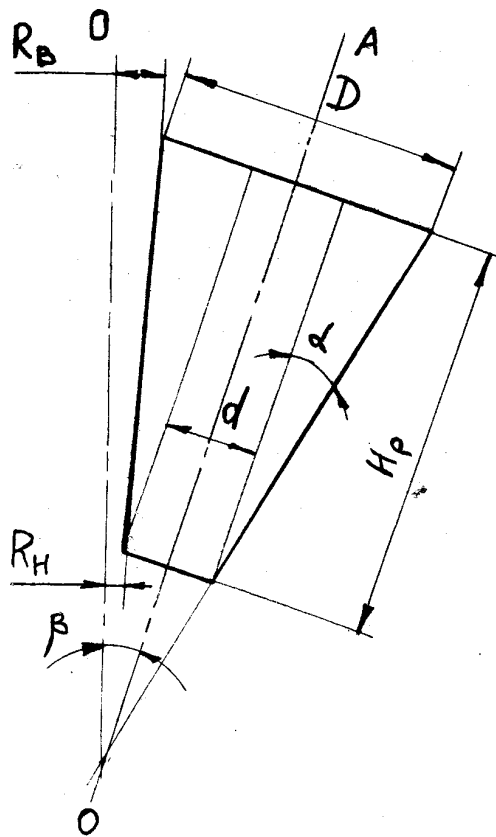


Рисунок 3.1 - Параметри ротора

### 3.2.2 Розрахунок розмірів бака.

Радіус допоміжного бака  $R_0$  дорівнює:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$R_0 = D \cos \beta + R_B + a + 2b \quad (3.31)$$

де  $a$  – запас для розміщення розміру бака зубчастих ременів,  
 $a = 0,015\text{ м}$ ;

$b$  – товщина ротора обичайки,  $b = 1,5 \cdot 10^{-3}\text{ м}$ ,

тобто

$$R_0 = 0,3468 \cdot \cos 17^\circ + 0,0316 + 0,015 + 2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} = 0,3783\text{ м},$$

$$D_0 = 0,7566\text{ м}.$$

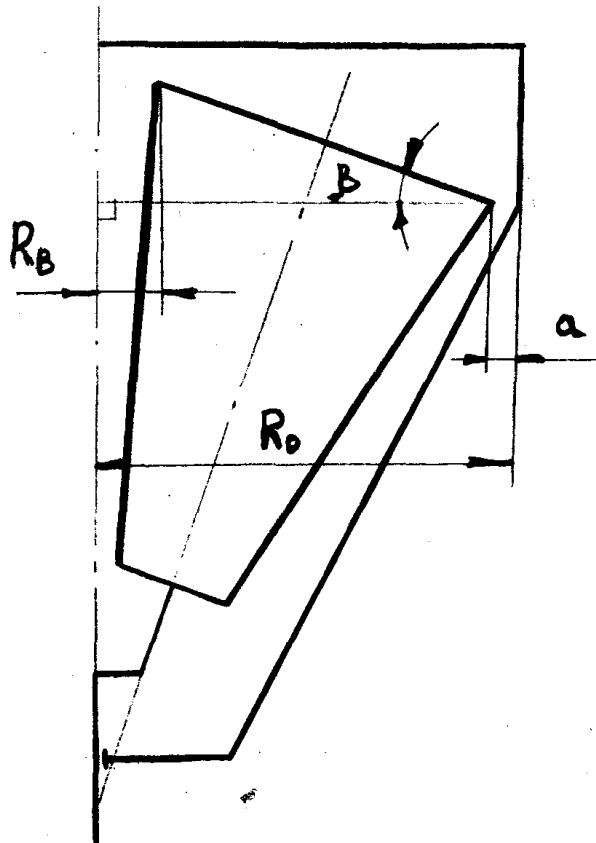


Рисунок 3.2 - Параметри бака допоміжного

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

36

З урахуванням припуску розмірів машини на розміщення амортизаторів та вільних коливань на них, ширина та глибина машини становитимуть приблизно 0,7606 м. Для запобігання випадковому вистрибуванню одягу з барабана під час прання та для розміщення зубчастих ременів на більшому діаметрі барабана буде встановлено відбивач у формі усіченого конуса висотою  $H_v = 0,07$  м (рис. 3.3).

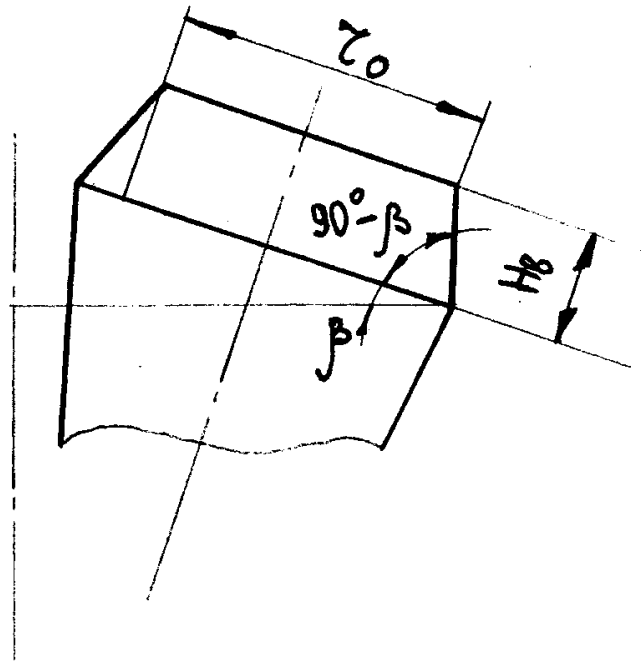


Рисунок 3.3 - Прибивач

Для цього відбивача менший радіусдорівнює:

$$L_b = \frac{H_v}{\sin(90^\circ - \beta)} \quad (3.32)$$

$$r_0 = 0,1734 - \frac{0,07}{\text{tg}73^\circ} = 0,152\text{м,}$$

його сторона  $L_b$ :

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$r_0 = R - \frac{H_\epsilon}{\operatorname{tg}(90^\circ - \beta)}, \quad (3.33)$$

$$L_B = \frac{0,07}{\sin 73^\circ} = 0,0732 \text{ м},$$

3.2.3 Розрахунок поверхонь площ та елементів об'ємів ротора.

Площа бічної сторони ротора:

$$S_B = \pi(R + r)L, \quad (3.34)$$

$$S_B = 3,14(0,1734 + 0,05) \cdot 0,4768 = 0,3346 \text{ м}^2$$

Площа бічної сторони прибивача:

$$S_B = \pi(R + r_0)L_0, \quad (3.35)$$

$$S_B = 3,14(0,1734 + 0,152) \cdot 0,732 = 0,0748 \text{ м}^2.$$

Площа основи ротора:

$$S_d = \pi r^2 \quad (3.36)$$

$$S_d = 3,14 \cdot 0,05^2 = 0,0079 \text{ м}^2.$$

Площа круга сторони осі ротора:

$$S_{oci} = \pi \cdot r_{oci}^2 \quad (3.37)$$

$$S_{oci} = 3,14 \cdot 0,014^2 = 0,0006 \text{ м}^2$$

Розрахунки бічних об'ємів поверхонь рефлектора та роторів, об'єму диска, з якого виготовлена нижня частина ротора, та об'єму вала ротора виконуються за такою формулою:

$$V = S \cdot H \quad (3.38)$$

Для виготовлення ротора потрібен об'єм матеріалу, а саме сплаву АД-1М, в якого густина  $\rho = 2800 \text{ кг/м}^3$  та товщина стінок  $\delta = 0,0015 \text{ м}$ :

$$V_{\delta} = 0,3346 \cdot 0,0015 = 0,0005 \text{ м}^3$$

3.2.4 Розрахунок передавального числа зубчастої муфти ротора до допоміжного бака.

Розрахуємо передавальне число зубчастої передачі при швидкості обертання головного валу (об/хв).

$$\omega_y = \frac{2\pi n_e}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 244,18}{60} = 25,57 \text{ с}^{-1} \quad (3.39)$$

Тобто переносна кутова швидкість  $\omega_e = 25,57 \text{ с}^{-1}$  з формули (3.1), а відносна:

$$\omega_r = \frac{\omega_e \cdot \sin(\beta + \alpha)}{\sin \alpha} = \frac{25,57 \cdot \sin 32^\circ}{\sin 15^\circ} = 52,35 \text{ с}^{-1} \quad (3.40)$$

Передаточне співвідношення зчеплення зубчатого [3]:

$$i = \frac{\omega_r}{\omega_e} = \frac{52,35}{25,57} = 2,0473. \quad (3.41)$$

3.2.5 Перевірка виконання умов падіння та підйому білизни.

За формулою (3.25) проведемо перевірку підйому білизни при  $n_e = 244,18$  об/хв в режимі прання:

$$(0,015 + 0,1\cos 17^\circ)(\sin 32^\circ - 0,2679\cos 32^\circ) + \frac{0,1\sin 32^\circ}{2\sin^2 15^\circ}(\sin 15^\circ - 0,267\cos 15^\circ) - \frac{9,81}{25,57^2}(\cos 32^\circ + 0,2679\sin 32^\circ) = 0,019 > 0.$$

Перевірку падіння одягу виконаємо скориставшись формулою (3.23) в режимі прання при  $n_e = 244,18$  об/хв ( $\omega_e = 25,57c^{-1}$ ):

$$0,015(\sin 2^\circ - 0,2679\cos 2^\circ) - \frac{0,1\sin^2 32^\circ}{2\sin^2 15^\circ}(\sin 15^\circ - 0,267\cos 15^\circ) - \frac{9,81}{25,57^2}(\cos 2^\circ + 0,2679\sin 2^\circ) = -0,0185 < 0.$$

Отже, бажаний результат руху білизни отримуємо при  $n_e = 244,18$  об/хв.

### 3.3 Розрахунок потужності приводу

#### 3.3.1 Розрахунок маси ротора та мокрої білизни

##### 3.3.1.1 Маса ротора з сплаву АД-1М дорівнює:

$$m_p = V_p \cdot \rho,$$

де  $V_p=0,0005 \text{ м}^3$  – об'єм ротора матеріалу, який згідно п.3.2.

$$m_p = 0,0005 \cdot 2800 = 1,4056 \text{ кг}$$

3.3.1.2 Маса прибивача ротора:

$$m_g = V_g \cdot \rho,$$

де  $V_B=0,0001 \text{ м}^3$  – об'єм відбивача матеріалу, який визначений в п.3.2.

$$m_g = 0,0001 \cdot 2800 = 0,3142 \text{ кг},$$

3.3.1.3 Маса основи ротора:

$$m_o = V_o \cdot \rho,$$

де  $V_d = 3,9 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  – об'єм матеріалу ротора, який визначений в п.3.2.

$$m_o = 3,9 \cdot 10^{-5} \cdot 2800 = 0,1092 \text{ кг}$$

3.3.1.4 Маса осі:

$$m_{oci} = V_{oci} \cdot \rho,$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41

де  $V_{oci} = 2,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$  – об'єм осі матеріалу ротора, який визначений в п.3.2.

$$m_{oci} = 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot 2800 = 0,071 \text{ кг}$$

3.3.1.5 Маса білизни сухої на яку розрахований один ротор  $m_0 = 1,5 \text{ кг}$ . Початкова відносна вологість білизни  $\varphi' = 150\%$ . Таким чином маса мокрої білизни [4] буде дорівнювати:

$$m_{м.б.} = \frac{\varphi' \cdot m_c}{100} + m_c = \frac{150 \cdot 1,5}{100} + 1,5 = 3,75 \text{ кг}, \quad (3.42)$$

а густина його  $\rho_{м.б.}$  [4] дорівнює:

$$\rho_{м.б.} = \frac{\rho_c m_c + \rho_m (m_{м.б.} - m_c)}{m_{м.б.}}, \quad (3.43)$$

де  $\rho_c = 1500 \text{ кг/м}^3$  - густина білизни сухої

$$\rho_{м.б.} = \frac{1500 \cdot 1,5 + 1000(3,75 - 1,5)}{3,75} = 1200 \text{ кг/м}^3.$$

### 3.3.2 Визначення моменту власної інерції ротора

#### 3.3.2.1 Розрахунок моменту власної інерції ротора (його стінок).

Згідно [5] момент стінок інерції ротора дорівнює різниці інерції власних моментів зовнішнього та внутрішнього конуса (рис. 3.4):

$$I'_p = I_{p\text{зовн.}} - I_{p\text{внутр.}} \quad (3.44)$$

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		42

$$I_{p\text{зовн.}} = \frac{3}{10} m_p \frac{R_p^{15} - r_p^{15}}{R_p^{13} - r_p^{13}} = 0,8 m_p \left( \frac{(R_p + \delta)^5 - (r_p + \delta)^5}{(R_p + \delta)^3 - (r_p + \delta)^3} \right)$$

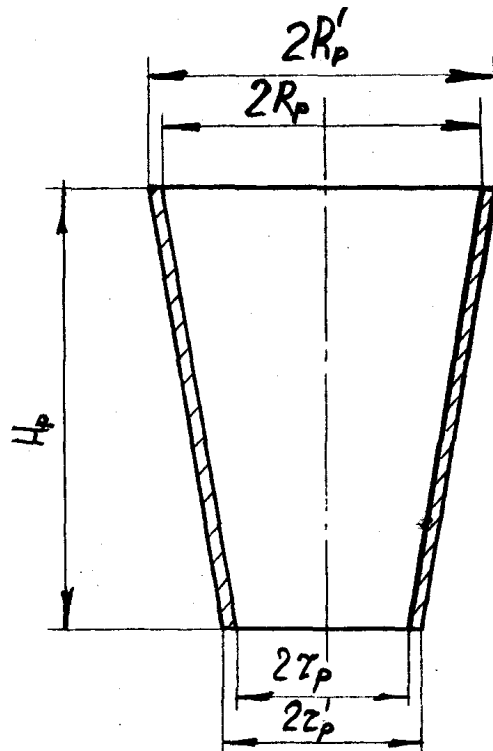


Рисунок 3.4 - Конус

$$I_{p\text{внутр.}} = \frac{3}{10} (m_p + 0,594) \frac{R_p^5 - r_p^5}{R_p^3 - r_p^3} \quad (3.45)$$

підставивши в формулу (3.45) значення  $I_{p\text{зовн.}}$  і  $I_{p\text{внутр.}}$  отримаємо:

$$I_p' = 0,0188 - 0,0184 = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

МРМА 25.00.00.000 ПЗ

Арк.

43

3.3.2.2 Розрахунок моменту власної інерції відбивача проводимо як в п.

3.3:

$$I_B = I_{\text{взовн.}} - I_{\text{ввнутр.}} \quad (3.46)$$

$$I_{\text{взовн.}} = \frac{3}{10} \cdot 0,314 \left( \frac{(R_{\text{e}} + \delta)^5 - (r_{\text{e}} + \delta)^5}{(R_{\text{e}} + \delta)^3 - (r_{\text{e}} + \delta)^3} \right) \quad (3.47)$$

$$I_{\text{ввнутр.}} = \frac{7}{10} m_B \frac{R_{\text{e}}^5 - r_{\text{e}}^5}{R_{\text{e}}^3 - r_{\text{e}}^3} \quad (3.48)$$

підставивши значення  $I_{\text{взовн.}}$  і  $I_{\text{ввнутр.}}$  в формулу (3.48) отримаємо:

$$I_{\text{e}} = (5,6237 - 5,5214) \cdot 10^{-3} = 1,0225 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.3.2.3 Розрахунок власного моменту інерції дна ротора [6]:

$$I_{\text{d}} = \frac{1}{2} m_{\text{д}} r_{\text{п}}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,1092 \cdot 0,05^2 = 1,375 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.49)$$

3.3.2.4 Розрахунок власного моменту інерції осі ротора [6]:

$$I_{oci} = \frac{1}{2} m_{oci} R_{oci}^2 = \frac{1}{2} \cdot 0,071 \cdot 0,014^2 = 1,715 \cdot 10^{-6} \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.50)$$

3.3.2.5 Власний момент інерції ротора дорівнює:

$$I_p = I_p' + I_\epsilon + I_\delta + I_{oci} \quad (3.51)$$

$$I_p = 4,4 \cdot 10^{-4} + 1,0225 \cdot 10^{-4} + 1,375 \cdot 10^{-4} + 1,715 \cdot 10^{-6} = 6,4147 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.3.3 Визначення моменту інерції матеріалу

3.3.3.1 Визначення моменту власної інерції білизни в роторі.

Кількість білизни в машині:

$$V_{м.б.} = \frac{m_{м.б.}}{\rho_{м.б.}} = \frac{3,75}{1200} = 0,003125 \text{ м}^3. \quad (3.52)$$

Ширина площі білизни розподілу в роторі  $a=0,5$  м, звідси знайдемо отриману висоту білизни:

$$S_m = \frac{V_{м.б.}}{b} = \frac{0,003125}{0,15} = 0,0208 \text{ м}^2. \quad (3.53)$$

Товщина білизни, яка збилася  $b=0,15$  м. Тобто площа білизни, яка нам потрібна:

$$c = \frac{S_m}{a} = \frac{0,0208}{0,5} = 0,0416 \text{ м}. \quad (3.54)$$

Згідно [5], момент інерції білизни навколо своєї осі:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		45

$$I_{м.б.} = \frac{1}{12} m_{м.б.} (a^2 + b^2) \quad (3.55)$$

$$I_{м.б.} = \frac{1}{12} \cdot 3,75 \cdot (0,5^2 + 0,15^2) = 0,0852 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

3.3.3.2 Визначення моменту інерції одягу навколо осі ротора.

Відстань від центра маси матеріалу до осі ротора АО (рис. 3.5):

$$x = \left( L_p - \frac{c}{2} \right) \sin \alpha \quad (3.56)$$

$$x = \left( 0,4768 - \frac{0,0416}{2} \right) \sin 15^\circ = 0,118 \text{ м}$$

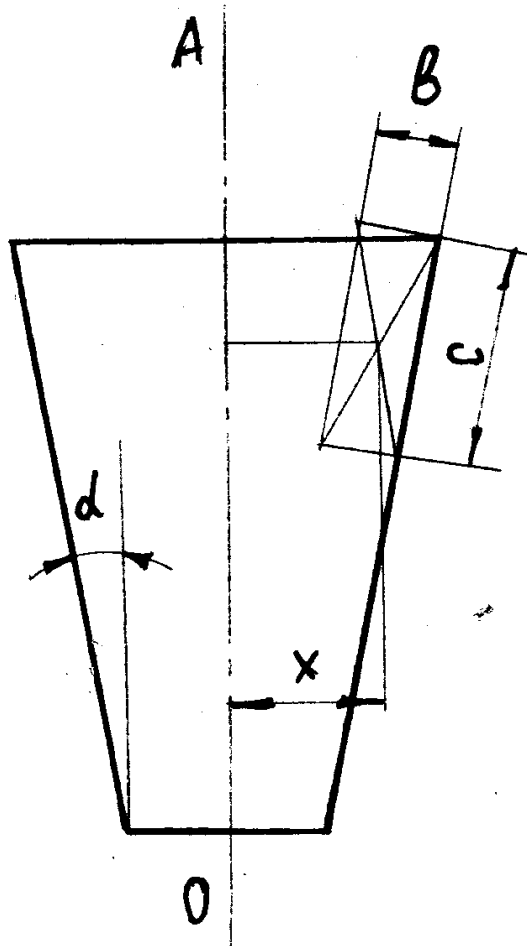


Рисунок 3.5 – Розташування білизни

Крутний момент білизни навколо осі ротора АО:

$$I_{м.б.ОА} = I_{м.б.з} + m_{м.б.} \cdot x^2 \quad (3.57)$$

$$I_{м.б.ОА} = 0,0852 + 3,75 \cdot 0,118^2 = 0,1374 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.3.3.3 Крутний момент ротора з одягом навколо осі ОА:

$$I_{рОА} = I_p + I_{м.б.ОА} \quad (3.58)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$I_{pOA} = 6,4147 \cdot 10^{-4} + 0,1374 = 0,1381 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.3.4 Розрахунок геометричних параметрів положення осі обертання ОО відносно центра ротора з мокрим одягом.

#### 3.3.4.1 Визначення центру ваги ротора з мокрим одягом

Для визначення спільного центру ваги ротора та мокрого одягу виберемо вісь ротора як початкову систему координат. Вісь x проходить через центр ваги осі. Отже, спільний центр ваги С буде розташований на відстані від осі у [5]. рис.3.6:

$$x_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{m_e x_1 + m_p x_2 + m_d x_3 + m_{м.б.} x_5}{m_{oci} + m_b + m_p + m_d + m_{м.б.}}, \quad (3.59)$$

де  $x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$ , а  $x_5$  – відстань осі до центра ваги мокрого одягу.

Формула (3.57) матиме вигляд:

$$x = \frac{m_{м.б.} x_5}{m_{oci} + m_b + m_p + m_d + m_{м.б.}}, \quad (3.60)$$

$$x = \frac{3,75 \cdot 0,118}{5,75} = 0,077 \text{ м}$$

Загальний центр ваги С буде знаходитись від осі  $x'$  на відстані:

$$y_C = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{\sum_{i=1}^n m_i} = \frac{m_e y_1 + m_p y_2 + m_d y_3 + m_{oci} \cdot 0 + m_{м.б.} y_5}{m_b + m_p + m_d + m_{oci} + m_{м.б.}}, \quad (3.61)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

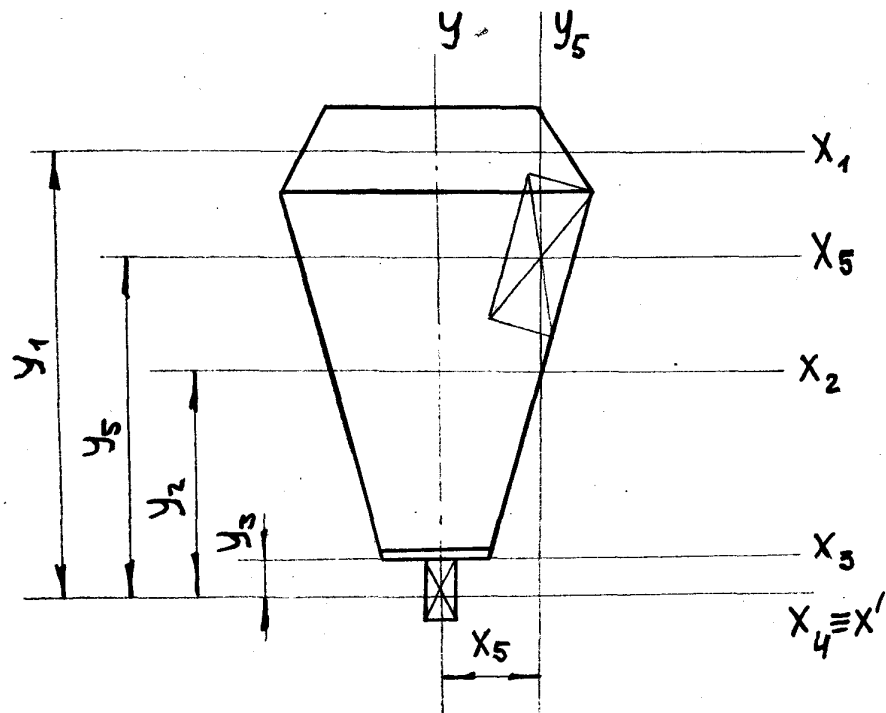


Рисунок 3.6 – Визначення моменту інерції

Тоді

$$y_c = \frac{0,3142 \cdot \left( \frac{0,04}{2} + 0,005 + 0,4605 + \frac{0,07}{2} \right) + 1,4056 \cdot \left( \frac{0,04}{2} + 0,005 + \frac{0,4605}{2} \right) + 3,75 \cdot \left( \frac{0,04}{2} + 0,05 + \left( 0,4768 \cdot \frac{0,5}{2} \right) \cos 15^\circ \right) + 0,1092 \cdot \left( \frac{0,04}{2} + \frac{0,005}{2} \right)}{5,75} = 0,28 \text{ м}$$

3.3.4.1 Розрахунок положення головної осі ОО відносно центра ваги ротора з мокрим одягом (рис. 3.7).

$$KC + KH + HG + GC \quad (3.62)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

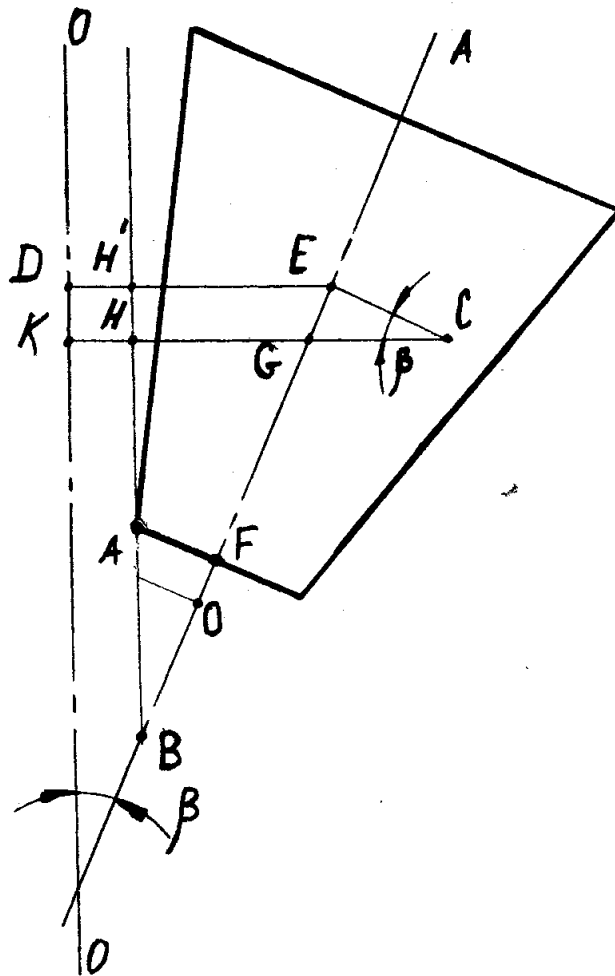


Рисунок 3.7 - Центр ваги ротора

Знайдемо відстань HG. З трикутника AFB маємо.

$$GC = \frac{0,077}{\cos 17^\circ} = 0,0805 \text{ м.} \quad (3.63)$$

Відстань CG в цій формулі це розмір від центра ваги C ротора з мокрим одягом до осі ротора:

$$OB = AF \cdot \text{tg}(90^\circ - \beta) - OF, \quad (3.64)$$

де FA – радіус основи ротора,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

FO – відстань від основи ротора центра ваги до центра ваги осі ротора.

Підставивши їх значення в формулу (3.64) отримаємо:

$$OB = 0,05 \cdot \operatorname{tg}73^{\circ} - (0,02 + 0,0025) = 0,141\text{м.}$$

Тоді:

$$BE = OB + OE \quad (3.65)$$

$$BG = BE - \frac{EC}{\operatorname{tg}(90^{\circ} - \beta)} \quad (3.66)$$

$$HG = BG \cdot \cos(90^{\circ} - \beta) \quad (3.67)$$

Підставимо числові значення величин в (3.67). Отримаємо:

$$KC = 0,015 + 0,1162 + 0,0805 = 0,2117\text{м.}$$

3.3.4.2 Момент інерції одинарного ротора відносно осі OO:

$$I_{OO_1} = I_{z_{OA}} + (m_p + m_{м.б.}) \cdot |KC|^2 \quad (3.68)$$

$$I_{OO_1} = 0,1381 + 5,75 \cdot 0,2117^2 = 0,3958\text{кг} \cdot \text{м}^2.$$

3.3.5 Розрахунок потужності привода універсальної пральної машини.

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		51

3.3.5.1 Корисна потужність [6]:

$$N_{\kappa} = \frac{3I_{oa} \cdot \varpi_e^2}{2 \cdot \tau_n}, \quad (3.69)$$

де  $\tau_n = 3 \dots 10c$  - час пуску. Вибираємо  $\tau_n = 6c$ .

$$N_{\kappa} = \frac{3 \cdot 0,3958 \cdot 25,57^2}{2 \cdot 6} = 64,696 \text{ Вт}.$$

3.3.5.2 Енергія що витрачається на подолання сил тертя:

- на головному валу [6]

$$N_{mp.1} = 3(m_p + m_{m.б.})\varpi_e \cdot g \cdot r_{B_1} \cdot f, \quad (3.70)$$

де  $r_{B_1}$  - радіус вала,  $r_{B_1} = 0,01m$ ;

$f = 0,02 \dots 0,06$  – коефіцієнт тертя [6], тоді:

$$N_{mp.1} = 3 \cdot 5,75 \cdot 25,57 \cdot 9,81 \cdot 0,01 \cdot 0,03 = 1,2981 \text{ кг} \cdot m^2;$$

- на трьох валах роторів:

$$N_{mp.2} = 3(m_p + m_{m.б.})\varpi_2 \cdot g \cdot r_{B_2} \cdot f \cos \beta + 3(m_p + m_{m.б.})\varpi_2 \cdot g \cdot r_{B_2} \cdot \sin \beta,$$

де  $r_{B_2}$  - радіус ротора,  $r_{B_2} = 0,014m$ ,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

$$N_{mp.2} = 3 \cdot 5,75 \cdot 52,35 \cdot 9,81 \cdot 0,014 \cdot 0,03 \cdot \cos 17^\circ + \\ + 3 \cdot 5,75 \cdot 52,35 \cdot 9,81 \cdot 0,014 \cdot \sin 17^\circ = 39,819 \text{ Bm.}$$

Потужність що витрачається на подолання тертя в підшипниках:

$$N_{mp.} = N_{mp.1} + N_{mp.2}, \quad (3.71)$$

$$N_{mp.} = 1,2981 + 39,819 = 41,1171 \text{ Bm}$$

3.3.5.3 Потужність що витрачається на тертя ротора об повітря.

Цю потужність можна знайти скориставшись результатами досліджень [7] дуже схожого до нашого варіанту.

Розрахункова втрата потужності на тертя об повітря складе:

$$N_{B_1} = 9 \cdot 10^{-3} \rho_B \cdot \omega_r^3 \left[ D_{рсп.}^5 \left( 1 + 5 \cdot \frac{H_p}{D_{рсп.}} \right) + D_{ксп.}^5 \left( 1 + 5 \cdot \frac{H_k}{D_{ксп.}} \right) \right], \quad (3.72)$$

де  $D_{рсп.}$  - середній діаметр ротора:

$$D_{рсп.} = \frac{0,3468 - 0,1}{2} = 0,1234 \text{ м,}$$

$D_{ксп.}$  - середній діаметр кільця:

$$D_{ксп.} = \frac{0,3468 - 0,15}{2} = 0,0984 \text{ м,}$$

Тобто:

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$N_{B_1} = 9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,2 \cdot 52,35^3 \left[ 0,1234^5 \cdot \left( 1 + 5 \cdot \frac{0,4605}{0,1234} \right) + 0,0984^5 \cdot \left( 1 + 5 \cdot \frac{0,4605}{0,0984} \right) \right] = 1,2203 \text{Вт}.$$

3.3.5.4 Сумарна витрата потужності необхідна для обертання головного вала:

$$N_{III} = N_{II} + N_{mp.} + N_{B}, \quad (3.73)$$

$$N_{III} = 64,696 + 41,1174 + 13,9633 = 119,7764 \text{Вт}$$

3.3.5.5 Потужність привода з втратами на двохступінчасту клинопасову передачу.

$$N_{op} = \frac{N_H}{\eta_{кр}} + \frac{N_{ПЗ}}{\eta_{кр}^2}, \quad (3.75)$$

де  $N_H = 93,3 \text{Вт}$  - потужність помпи;

$\eta_{кр}$  - ККД клинопасової передачі,  $\eta_{кр} = 0,98$ .

$$N_{op} = \frac{93,3}{0,98} + \frac{128,7918}{0,98^2} = 229,31 \text{Вт}.$$

Для нашої машини підходить двигун АД 180-4/71С1УХЛЧ, ГОСТ-162641 – 85.  $N_d = 180 \text{Вт}$ ,  $n_d = 1425 \text{об/хв}$ ,  $U = 220 \text{В}$ ..

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54

### 3.4 Вибір схеми приводу

3.4.1 Частота вала двигуна -  $n_d = 1425 \text{ об/хв}$ , а частота головного вала -  $n_e = 244 \text{ об/хв}$ , (п. 3.4.5). Знаходимо передаточне відношення  $i$ :

$$i = \frac{n_d}{n_e} = \frac{1425}{244} = 5,8402 \quad (3.76)$$

На валу двигуна стоїть шків діаметром  $D_1 = 63 \text{ мм}$ . Отож ведений шків [7]:

$$D_2 = D_1 i (1 - \xi), \quad (3.77)$$

де  $\xi = 0,02$  відносне ковзання в передачі для клинових пасів

$$D_2 = 63 \cdot 5,8402 \cdot (1 - 0,02) = 360,57 \text{ мм}$$

Оскільки кут обхвату пасом шківа повинен бути не менше  $120^\circ$  для клинопасової передачі [8], то:

$$\alpha_{\min} = \frac{57,3(D_2 - D_1)}{180^\circ - \alpha} = \frac{57,3 \cdot (360,57 - 63)}{180^\circ - 120^\circ} = 284,18 \text{ мм} \quad (3.78)$$

З урахуванням сказаного вище довжина пасу [7] буде складати:

$$L_p = 2a_{\min} + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a_{\min}} =$$

$$= 2 \cdot 284,18 + \frac{\pi}{2}(360,57 + 63) + \frac{(360,57 - 63)^2}{4 \cdot 284,18} = 1311,6 \text{ мм} \quad (3.79)$$

Вибираємо найближче стандартне значення [7]. Маємо  $L_m = 1400 \text{ мм}$ .

Осьова відстань дорівнюватиме [6]:

$$a = \frac{2L_m - \pi(D_2 + D_1) + \sqrt{[2L_m - \pi(D_2 + D_1)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} =$$

$$= \frac{2 \cdot 1400 - \pi(360,57 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 1400 - \pi(360,57 + 63)]^2 - 8(360,57 - 63)^2}}{8} = 334,21 \text{ мм} \quad (3.80)$$

У аркуші МАМР 25.00.00.000 ТК2 цей варіант конструкції трансмісії показано на рисунку 1. Насос встановлено на головному валу машини, який обертається зі швидкістю 244 об/хв. Діаметр насоса становить 800 мм. Це є основним недоліком цього варіанту конструкції трансмісії.

3.4.2 Розрахуємо розміри одноступеневого насоса та двигуна DASM-2 з урахуванням швидкості обертання вала. Передавальне число становить:

$$i = \frac{n_d}{n_e} = \frac{500}{244} = 2,0492. \quad (3.81)$$

На валу двигуна встановлено шків діаметром  $D_1 = 63 \text{ мм}$ , Знаходио розміри веденого шківа [7]:

$$D_2 = D_1 i (1 - \xi) = 63 \cdot 2,0492 \cdot (1 - 0,02) = 126,52 \text{ мм} \quad (3.82)$$

З конструктивних міркувань приймаємо, що відстань міжосьова  $a$  дорівнює 240 мм. В такому випадку розрахункова довжина пасу [7] буде дорівнювати:

$$\begin{aligned}
 L_p &= 2a + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} = \\
 &= 2 \cdot 240 + \frac{\pi}{2}(126,52 + 63) + \frac{(126,52 - 63)^2}{4 \cdot 240} = 781,9 \text{ мм}
 \end{aligned}
 \tag{3.83}$$

Беремо найближче стандартне значення [7], - отримаємо  $L_m = 800 \text{ мм}$ .  
Остаточна осьова відстань [6]:

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{2L_m - \pi(D_2 + D_1) + \sqrt{[2L_m - \pi(D_2 + D_1)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} = \\
 &= \frac{2 \cdot 800 - \pi(126,52 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 800 - \pi(126,52 + 63)]^2 - 8(126,52 - 63)^2}}{8} = \\
 &= 249,13 \text{ мм}
 \end{aligned}
 \tag{3.84}$$

Цей варіант системи приводу показано на рисунку 2. Діаметр насоса, встановленого на валу двигуна, становить 300 мм [8]. Недоліком цієї системи є те, що її важко збалансувати. Потрібно встановити кілька демпферів.

3.4.3 Розрахуємо розміри двоступеневої системи приводу із симетричним розташуванням двигуна та насоса відносно осі головного вала. Тип двигуна: AD 180-4/71S1UHLCH з частотою обертання вала. Передавальне число першого ступеня:

$$i_1 = \frac{n_o}{n_e} = \frac{1425}{700} = 2,0571
 \tag{3.85}$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

На вал двигуна встановлюємо шків діаметром  $D_1 = 63\text{мм}$ . Тоді діаметр веденого шківа першої ступіні дорівнює:

$$D_2 = D_1 i_1 (1 - \xi) = 63 \cdot 2,0571 \cdot (1 - 0,02) = 127,005\text{мм} \quad (3.86)$$

Приймаємо, що міжосьова відстань першої ступіні  $a_1 = 600\text{мм}$ . Розрахункова довжина паса [7] буде дорівнювати:

$$\begin{aligned} L_p &= 2a + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 600 + \frac{\pi}{2}(127,005 + 63) + \frac{(127,005 - 63)^2}{4 \cdot 600} = 1500,17\text{мм} \end{aligned} \quad (3.87)$$

Округлюємо до найближчого стандартного значення довжини паса [7]. Отримаємо  $L_m = 1400\text{мм}$ . Остаточна осьова відстань [6]:

$$\begin{aligned} a &= \frac{2L_m - \pi(D_2 + D_1) + \sqrt{[2L_m - \pi(D_2 + D_1)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} = \\ &= \frac{2 \cdot 1400 - \pi(127,005 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 1400 - \pi(127,005 + 63)]^2 - 8(127,005 - 63)^2}}{8} = \\ &= 549,84\text{мм} \end{aligned} \quad (3.88)$$

Передаточне число другої ступіні пасової передачі:

$$i_2 = \frac{700}{244} = 2,8689. \quad (3.89)$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Діаметр шків на валу двигуна  $D_1 = 63 \text{ мм}$ . Звідси діаметр веденого шків дорівнює [7]:

$$D_2 = D_1 i_2 (1 - \xi) = 63 \cdot 2,8689 \cdot (1 - 0,02) = 177,13 \text{ мм} \quad (3.90)$$

Оскільки передача, спроектована відповідно до вищезазначеного формулювання, повинна бути симетричною відносно осі головного вала, міжосьова відстань ремінної передачі другого ступеня становить . Розрахункова довжина ременя [7] дорівнює:

$$\begin{aligned} L_p &= 2a + \frac{\pi}{2}(D_2 + D_1) + \frac{(D_2 - D_1)^2}{4a} = \\ &= 2 \cdot 600 + \frac{\pi}{2}(177,13 + 63) + \frac{(177,13 - 63)^2}{4 \cdot 600} = 927,24 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.91)$$

Беремо найближче стандартне значення [7]. Отримаємо  $L_m = 900 \text{ мм}$ .  
Остаточна осьова відстань [6]:

$$\begin{aligned} a_2 &= \frac{2L_m - \pi(D_2 + D_1) + \sqrt{[2L_m - \pi(D_2 + D_1)]^2 - 8(D_2 - D_1)^2}}{8} = \\ &= \frac{2 \cdot 900 - \pi(177,13 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 900 - \pi(177,13 + 63)]^2 - 8(177,13 - 63)^2}}{8} = \\ &= 255,02 \text{ мм} \end{aligned} \quad (3.92)$$

Цей варіант системи передачі показано на рисунку 3 аркуша МАМР 25.00.00.000 ТК2. Насос розташований на проміжному валу. Номінальна робоча швидкість валу насоса становить 800 об/хв, а його діаметр – 180 мм. Ця система передачі дозволяє встановити чотири однакові амортизатори.

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

3.4.4 Розрахуємо розміри двоступеневої системи передачі з асиметричним встановленням двигуна та насоса відносно осі головного валу. На валу двигуна є шків певного діаметра, тому діаметр веденого шківа першого ступеня дорівнює:

$$D_2 = 127,005 \text{ мм.}$$

Найменша міжосьова відстань [7]:

$$a_{\min} = 0,55(D_1 + D_2) + T_0, \quad (3.93)$$

де  $T_0=6$  мм – висота перерізу паса О [7].

$$a_{\min} = 0,55(63 + 127,005) + 6 = 110,5 \text{ мм.}$$

Розрахункова довжина паса [7]:

$$L_p = 2 \cdot 110,5 + \frac{\pi}{2}(127,005 + 63) + \frac{(127,005 - 63)^2}{4 \cdot 110,5} = 528,73 \text{ мм} \quad (3.94)$$

Таблична довжина паса [7]  $L_m = 710$  мм. Остаточна осьова міжосьова відстань першої ступіні:

$$a_1 = \frac{2 \cdot 710 - \pi(127,005 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 710 - \pi(127,005 + 63)]^2 - 8(127,005 - 63)^2}}{8} = 203,25 \text{ мм} \quad (3.95)$$

Діаметр шківів веденого другої ступіні (7.15):  $D_2 = 177,13\text{мм}$ , ведучого  $D_1 = 63\text{мм}$ .

Найменша міжосьова відстань [7]:

$$a_{2\min} = 0,55(63 + 177,13) + 6 = 138,07\text{мм} \quad (3.96)$$

Розрахункова довжина паса другої ступіні:

$$L_p = 2 \cdot 138,07 + \frac{\pi}{2}(177,13 + 63) + \frac{(177,13 - 63)^2}{4 \cdot 138,07} = 679,93\text{мм} \quad (3.97)$$

Таблична довжина паса другої ступіні [7]  $L_m = 710\text{мм}$ . Таким чином, міжосьова відстань другої ступіні [6]:

$$a_2 = \frac{2 \cdot 710 - \pi(177,13 + 63) + \sqrt{[2 \cdot 710 - \pi(177,13 + 63)]^2 - 8(177,13 - 63)^2}}{8} = 155,96\text{мм} \quad (3.98)$$

Така конструкція непридатна, оскільки вимагає встановлення різних демпферів, оскільки система погано збалансована. Її схема наведена на рисунку 4 аркуша МАР 25.00.00.000 С3.

3.4.5 Після аналізу вибраних та перелічених варіантів конструкції приводу було обрано третій варіант (рисунок 3, МАР 25.00.00.000 ТК2). Цей варіант є оптимальним, оскільки передбачає встановлення чотирьох однакових демпферів, оскільки система добре збалансована (її центр ваги розташований близько до головної осі машини).

## Висновки третього розділу.

У третьому розділі цієї роботи було виконано кілька розрахунків, які підтверджують працездатність запропонованої конструкції. Зокрема, було розраховано кіничний похилий ротор. Також було розраховано геометричні розміри ротора та допоміжного бака. Було обрано схему приводу та розраховано його потужність.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено конструкцію та розрахунки універсальної побутової пральної машини з похилими барабанами.

Було обрано кількість пральних роторів для планетарної пральної машини з похилими барабанами. За допомогою креслень та розрахунків було визначено, що найвигіднішим варіантом є пральна машина з трьома роторами.

Було проведено кінематичні та динамічні розрахунки, які теоретично підтвердили точність концепції машини з похилими роторами. Було розраховано кути нахилу валів та генеруючих роторів, розміри ротора та габаритні розміри машини.

Було обрано систему приводу, яка дозволяє оптимально розмістити насос та двигун відносно головної осі машини. На основі всіх розрахунків розроблено конструкцію планетарної прально-відсмоктувальної машини з похилими конічними роторами та описано її роботу. Розроблено електричну схему машини, яка запобігає можливості пошкодження електродвигуна від теплових та механічних навантажень, а також дозволяє легко та легко керувати операціями прання.

					MPMA 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		63

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Попович М. Г. Електричні машини та електропривод побутової техніки: Підручник / М. Г. Попович, Л. Ф. Артеменко. – Київ: Либідь, 2004. – 352 с.
2. ДСТУ EN 60456:2017 (EN 60456:2016, IDT; IEC 60456:2010, MOD). Машини пральні побутові. Методи вимірювання функційних характеристик. — Чинний від 2019-01-01.
3. ДСТУ 4351:2014. Енергозбереження. Енергетичне маркування електрообладнання побутової призначеності. Визначення енергетичної ефективності пральних машин. — Чинний від 2015-07-01.
4. Андрухів А. І., Боднар І. П., Гаврилюк М. М. Деталі машин : підручник. — Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. — 528 с.
5. Кінаш Р. І., Гаврилюк М. М., Боднар І. П. Деталі машин : підручник. — Львів : Магнолія 2006, 2009. — 560 с.
6. Іванов Є. І., Ковальчук В. П. Деталі машин і основи конструювання : підручник. — Київ : Кондор, 2015. — 412 с.
7. Гребенюк В. В., Шульга В. П. Деталі машин : навчальний посібник. — Харків : НТУ «ХП», 2010. — 340 с.
8. Бондаренко М. Й. Інженерне проектування та розрахунок електропобутової техніки : навч. посіб. / М. Й. Бондаренко, С. А. Демішонкова. — Київ : КНУТД, 2019. — 185 с.
9. 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.
10. Мандрус В. І., Лещій Н. П., Зв'ягін В. М. Машинобудівна гідравліка. Задачі та приклади розрахунків. – Львів: Світ, 1995. – 264с.

11. Електропобутові товари : навч. посіб. / Г. А. Рижкова ; Дніпропетр. ун-т економіки та права. — Д. : ДУЕП, 2009. — 158 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 158.

12. Воляник О.Ю. Дослідження взаємодії робочих органів барабана відцентрової машини з оброблюваним матеріалом. Вісник КНУТД №5, 2020. С. 14-22.

13. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин[Текст]:підручник/ Я.Т. Кіницький.-К.:Наукова думка,2002.-659с.

14. О. Ю. Воляник, І. В. Петко Дослідження взаємодії обичайки та гребенів барабану з оброблюваним матеріалом під час обертання барабану з підвищеною швидкістю / Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2019. – №2. – С. 32–36.

15. 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.

16. Системи керування електропобутовими приладами : навч. посіб. / А. О. Лозинський, Б. Л. Копчак, В. В. Бушер ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т "Львів. політехніка", Одес. нац. політехн. ун-т. — Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2010. — 301 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 301.

17. Воляник О. Ю. Дослідження руху матеріальної точки під дією інтенсифікаторів раціональної форми перерізу у барабанних пральних машинах. / О.Ю. Воляник, І.В. Петко // Українсько-польські наукові діалоги. – 2017. – С.172-173.

18. Основи електропобутової техніки : навч. посіб. / І. В. Петко, О. П. Бурмістенков, Т. Я. Біла ; М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т технологій та дизайну, Каф. електромеханічних систем. — К. : КНУТД, 2013. — 238 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 237.

19. Ремонт та діагностика електропобутової техніки : навч. посіб. [для студ. спец. 7(8).05070206 напрям підготов. 6.051602] / М. Й. Бондаренко, І. В. Панасюк ; М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Київ. нац. ун-т технологій та дизайну. — К. : КНУТД, 2013. — 326 с. : іл., табл. — Бібліогр.: с. 325–326.

20. Білик І. С., Коваль О. М. Побутова електротехніка : навчальний посібник. — Київ : Кондор, 2016. — 312 с.

21. Горбатенко В. П. Побутові електромеханічні прилади. — Київ : Вища школа, 2008. — 284 с.

22. Кравченко В. І., Мельник М. С. Електропобутові машини та апарати : підручник. — Харків : НТУ «ХП», 2012. — 368 с.

23. Скляренко В. М. Конструкція та експлуатація побутової техніки. — Київ : Либідь, 2010. — 256 с.

24. Погрібний В. А. Автоматизовані системи керування побутовими машинами. — Львів : Львівська політехніка, 2015. — 220 с.

25. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. - Чинний від 01.07.95. К.: Держстандарт України, 1994. - 108 с.

26. ДСТУ 2721-94. Машини пральні побутові. Загальні технічні умови. - Чинний від 01.07.95. К.: Держстандарт України, 1994. - 108 с.

27. Блог з ремонту побутової техніки. URL: <https://gayka.com.ua/blog-majstra/> (дата звернення: 03.10.2025).

28. Петко І.В., Усольцев О.М. Аналіз механічного впливу на матеріал під час обробки в барабані з гребенями, що обертається //Вісник Технологічного університету Поділля: Науковий журнал. - Хмельницький, ТУ Поділля, 2000. -№ 5. - Частина І. - С. 30-32.

29. Петко І.В. Електропобутова техніка / І.В. Петко, О.П. Бурмістенков, Т.Я. Біла, М.Є. Скиба. – Хмельницький: ХНУ, 2017. – 213 с.

Додаток А

					МРМА 25.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		67