

Херсонський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інженерії та транспорту

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Дипломна робота

За спеціальності 133 Галузеве машинобудування

На тему : " Модернізація робочих органів промислової пральної машини ЛО-10".

Виконав: студент 4 курсу, групи 4М

Спеціальності 133- Галузеве
машинобудування

(шифр і назва спеціальності)

Кюрчу К.

(прізвище та ініціали)

Керівник Осадчук В.С.

(прізвище та ініціали)

Хмельницький – 2025

Херсонський національний технічний університет

Завдання

на дипломну роботу студента

1)Тема: Модернізація робочих органів промислової пральної машини ЛО-10

2)Термін подання роботи 17 червня 2025 року

3)Вихідні дані до роботи

Для виконання дипломного проєкту використовуються технічна документація на машину ЛО-10, ескізи її існуючих вузлів, результати діагностики технічного стану барабана та системи приводу, каталоги сучасних енергоефективних комплектуючих (електродвигуни, нагрівальні елементи, контролери), нормативні документи та стандарти з безпеки та енергозбереження. Додатково враховуються дані щодо новітніх технологій прання, конструктивні рішення сучасних пральних машин, а також економічні показники ефективності експлуатації устаткування.

4)Зміст роботи : У роботі передбачено виконання аналітичного огляду конструкцій промислових пральних машин та технічного аналізу вузлів машини ЛО-10, що підлягають модернізації. Розробляється технічне завдання на оновлення конструкції, виконуються інженерні розрахунки навантажень, міцності, енергоспоживання, розраховується конструкція вала, приводу, системи нагріву та подачі води. Описується процес виготовлення нових елементів, обирається відповідне обладнання та інструмент. Проводиться техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації та надаються рекомендації з охорони праці та протипожежної безпеки.

№	Назва етапу роботи	Дата початку	Дата завершення
1	Вивчення технічної літератури, стандартів, нормативних документів. Формулювання мети, завдань, актуальності	01.02.2025	10.02.2025
2	Написання вступу. Визначення об'єкта і предмета дослідження	11.02.2025	17.02.2025
3	Аналітичний огляд конструкцій пральних машин (Розділ 1)	18.02.2025	01.03.2025
4	Формулювання технічного завдання на модернізацію (Розділ 2)	02.03.2025	10.03.2025
5	Розробка технічних вимог, вибір матеріалів і технологій	11.03.2025	20.03.2025
6	Розрахунок навантажень, вала, енергоефективності, підшипників (Розділ 3)	21.03.2025	05.04.2025
7	Конструктивна розробка модернізованих вузлів,	06.04.2025	20.04.2025

	створення креслень (Розділ 4)		
8	Розробка технологічного процесу виготовлення та вибір обладнання (Розділ 5)	21.04.2025	01.05.2025
9	Розрахунок економічної ефективності (Розділ 6)	02.05.2025	08.05.2025
10	Розділ «Охорона праці та протипожежні заходи» (Розділ 7)	09.05.2025	16.05.2025
11	Оформлення висновків, змісту, списку джерел, додатків	17.05.2025	24.05.2025
12	Перевірка науковим керівником, виправлення зауважень	25.05.2025	01.06.2025
13	Остаточне оформлення пояснювальної записки та креслень	02.06.2025	07.06.2025
14	Подання дипломної роботи на кафедру	10.06.2025	10.06.2025

Студент

Кюрчу Кирило

Керівник роботи

Осадчук Василь Сергійович

Реферат

У дипломній роботі розглянуто питання підвищення ефективності функціонування промислової пральної машини ЛО-10 шляхом модернізації її основних робочих органів. Актуальність теми зумовлена необхідністю оновлення застарілого обладнання, яке все ще широко використовується у закладах комунального та промислового призначення, але не відповідає сучасним вимогам до енергозбереження, автоматизації, ергономіки та екологічної безпеки.

У вступі обґрунтовано доцільність модернізації машини ЛО-10, визначено мету дослідження — розробити технічно та економічно обґрунтовані рішення, які дозволять оновити конструкцію без повної заміни обладнання. Об'єктом дослідження виступає пральна машина ЛО-10, а предметом — її робочі органи, що підлягають вдосконаленню.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду конструкцій промислових пральних машин, їх розвитку, класифікації та принципам дії. Детально

розглянуто особливості будови ЛО-10, її технічні характеристики, а також конструкційні, енергетичні та експлуатаційні недоліки. Виявлено, що головними проблемами є низька енергоефективність, складність обслуговування та відсутність цифрового керування.

У другому розділі сформульовано технічне завдання на модернізацію. Визначено ключові напрямки вдосконалення: заміна електродвигуна на інверторний прямопривідний, модернізація барабана, оновлення нагрівальних елементів, впровадження систем автоматизованого керування на базі ПЛК-контролера, використання сучасних сенсорів та фільтраційних систем. Також розглянуто вплив форми гребенів барабана на ефективність прання та обґрунтовано доцільність їх оптимізації.

У третьому розділі подано інженерні розрахунки, які включають оцінку навантажень на робочі органи, розрахунок вала, моменту інерції, енергоспоживання та потужності нагрівальних елементів. Проведено перевірку міцності та жорсткості основних вузлів із урахуванням умов експлуатації.

У четвертому розділі представлено конструктивну частину дипломної роботи: розроблено модернізовані вузли, створено ескізи та креслення, зокрема оновлений барабан із новими гребенями, система приводу, вузол кріплення та корпус.

У п'ятому розділі розглянуто технологію виготовлення модернізованих деталей, обрано обладнання, інструменти та методи контролю якості. Шостий розділ присвячено економічному обґрунтуванню доцільності модернізації. Наведено порівняльний аналіз витрат електроенергії, води, зменшення шуму та загальних експлуатаційних витрат до та після впровадження змін.

У заключному розділі розглянуто заходи з охорони праці та протипожежного захисту при експлуатації та обслуговуванні оновленої машини.

Результати дослідження підтверджують ефективність запропонованої модернізації, яка забезпечує зниження енергоспоживання до 25–30 %, підвищення ресурсу обладнання на 40–50 %, покращення якості прання та безпеки експлуатації. Запропоновані технічні рішення можуть бути реалізовані на практиці на підприємствах, що використовують застаріле обладнання типу ЛО-10.

Abstracts.

The thesis deals with the issue of increasing the efficiency of the industrial washing machine LO-10 by modernizing its main working bodies. The relevance of the topic is due to the need to update outdated equipment, which is still widely used in municipal and industrial facilities, but does not meet modern requirements for energy saving, automation, ergonomics and environmental safety.

In the introduction, the expediency of modernizing the LO-10 machine is substantiated, and the purpose of the study is to develop technically and economically feasible solutions that will allow updating the design without completely replacing the equipment. The object of the study is the LO-10 washing machine, and the subject is its working bodies that are subject to improvement.

The first chapter is devoted to an analytical review of industrial washing machine designs, their development, classification, and operating principles. The features of the LO-10 structure, its technical characteristics, as well as structural, energy and operational shortcomings are considered in detail. It is found that the main problems are low energy efficiency, complexity of maintenance and lack of digital control.

The second section formulates the terms of reference for modernization. The key areas of improvement are identified: replacement of the electric motor with a direct-drive inverter, modernization of the drum, renewal of heating elements, introduction of automated control systems based on a PLC controller, use of modern sensors and filtration systems. The influence of the shape of the drum ridges on the washing efficiency is also considered and the feasibility of their optimization is substantiated.

The third section presents engineering calculations that include an assessment of the loads on the working bodies, calculation of the shaft, moment of inertia, power consumption, and power of the heating elements. The strength and stiffness of the main components were checked taking into account the operating conditions.

The fourth chapter presents the design part of the thesis: modernized units were developed, sketches and drawings were created, including an updated drum with new ridges, a drive system, a mounting unit, and a housing.

The fifth chapter discusses the manufacturing technology of the modernized parts, selecting equipment, tools, and quality control methods. The sixth section is devoted to the economic feasibility study of the modernization. A comparative analysis of electricity, water, noise reduction and general operating costs before and after the changes were implemented is presented.

The final section discusses labor protection and fire protection measures during the operation and maintenance of the upgraded machine.

The results of the study confirm the effectiveness of the proposed modernization, which reduces energy consumption by 25-30%, increases equipment life by 40-50%, and improves the quality of washing and operational safety. The proposed technical solutions can be implemented in practice at enterprises that use outdated LO-10 equipment.

Зміст

Вступ

- 1) Актуальність теми, мета і завдання дослідження, об'єкт і предмет дослідження, методи, структура роботи.

Розділ 1. Аналітичний огляд конструкцій промислових пральних машин

- 1.1 Історія розвитку промислових пральних машин
- 1.2 Класифікація та принцип роботи
- 1.3 Конструктивні особливості машини ЛО-10
- 1.4 Аналіз недоліків існуючих конструкцій

Розділ 2. Технічне завдання на модернізацію

- 2.1 Постановка задачі модернізації
- 2.2 Визначення технічних вимог
- 2.3 Урахування форми гребеня барабана як фактора ефективності прання

Розділ 3. Розрахункова частина

- 3.1 Розрахунок навантаження на робочі органи
- 3.2 Перевірка на міцність і жорсткість
- 3.3 Енергетичний аналіз (споживання, ефективність)
- 3.4 Розрахунок підшипникового вузла

Розділ 4. Конструктивна частина

- 4.1 Проектування модернізованого вузла
- 4.2 Креслення та структурні схеми основних вузлів

Розділ 5. Технологічна частина

5.1 Опис процесу виготовлення/заміни модернізованих деталей

Розділ 6. Економічна ефективність проекту

6.1 Розрахунок вартості модернізації

6.2 Економія експлуатаційних витрат

Розділ 7. Охорона праці та протипожежні заходи

7.1 Оцінка безпеки запропонованого технологічного процесу

7.2 Протипожежні заходи

ВСТУП

У сучасних умовах інтенсифікації виробничих процесів у всіх галузях промисловості особливого значення набуває модернізація обладнання, що експлуатується. Особливо це стосується підприємств легкої промисловості та комунально-побутового обслуговування населення, де широке застосування знаходять промислові пральні машини різних типів та моделей. Однією з таких машин, яка досить активно використовувалася впродовж десятиліть, є пральна машина ЛО-10, розроблена ще в радянський період, але й досі присутня в експлуатації на підприємствах різного профілю.

З плином часу вимоги до ефективності, економічності та безпеки експлуатації пральних машин значно зросли. Це пов'язано з підвищенням стандартів енергозбереження, екологічної безпеки, а також з вимогами до якості прання в умовах зростання обсягів послуг у сфері прального виробництва. Проте більшість наявних моделей, зокрема ЛО-10, морально застаріли й технічно не здатні задовольнити сучасні вимоги без відповідної модернізації. Основною проблемою є не тільки фізичний знос окремих вузлів та агрегатів, але й недосконалість конструктивних рішень, закладених ще в період проєктування.

Пральна машина ЛО-10 відноситься до категорії промислових фронтальних машин барабанного типу. Вона призначена для інтенсивного циклічного прання великої кількості білизни в умовах тривалого безперервного виробничого циклу. Конструкція машини передбачає наявність барабана, що обертається в горизонтальній площині, системи приводу, гідравлічних і електричних елементів керування, а також ряду робочих органів, які забезпечують безпосередній процес механічного впливу на білизну. Серед таких органів особливо важливими є гребені (ребра) барабана, система зливу та подачі води, пристрої дозування миючих засобів, ущільнювальні вузли та системи приводу.



Рисунок 1 – Загальний вигляд промислової пральної машини ЛО-10

За умов багаторічної експлуатації виникає потреба у вдосконаленні робочих органів, які забезпечують основні функції машини. Внаслідок модернізації можна підвищити ефективність прання, знизити рівень споживання енергії, зменшити знос текстильних виробів, знизити рівень шуму та вібрації, а також подовжити загальний термін служби обладнання. Це особливо актуально для підприємств, які з економічних причин не можуть дозволити собі повну заміну прального парку на нове обладнання, але зацікавлені у підвищенні якості та продуктивності.

Таким чином, актуальність теми дипломного проєкту зумовлена необхідністю продовження експлуатаційного ресурсу пральної машини ЛО-10 шляхом її часткової модернізації, зокрема оновлення або конструктивного вдосконалення її робочих органів. Це дозволить не тільки зменшити експлуатаційні витрати, але й підвищити техніко-економічні показники всього підприємства.

Метою даного дипломного проєкту є розробка та техніко-економічне обґрунтування рішень щодо модернізації робочих органів пральної машини ЛО-10, які дозволяють покращити її експлуатаційні характеристики та адаптувати обладнання до сучасних умов роботи.

Об'єктом дослідження є промислова пральна машина ЛО-10, а предметом – її робочі органи, які зазнають модернізації.

Методи дослідження включають аналіз технічної документації, інженерні розрахунки (опір матеріалів, динаміка механізмів), елементи проєктування в САД-програмах, порівняльний аналіз та економічне моделювання.

Таблиця 1 – Порівняльні характеристики машини ЛО-10 та сучасного аналога

Параметр	ЛО-10	Сучасний аналог(WPR-2000
Обсяг завантаження,кг	10	20

Витрати води на цикл, л	150	95
Споживання електроенергії, кВт·год	4,5	2,8
Швидкість обертання барабана, об/хв	500	850
Рівень шуму, дБ	85	68

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні доцільності застосування новітніх конструкційних рішень для робочих органів на основі аналізу навантажень і техніко-економічної ефективності. Практична цінність полягає у можливості використання результатів дослідження для подальшої реконструкції машин типу ЛО-10 у промислових умовах.

виза

Змодельована схема для пояснення конструкції:

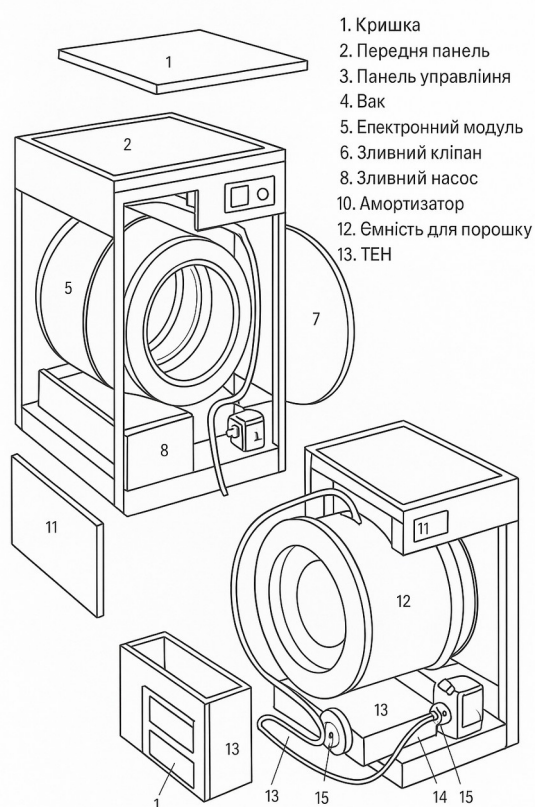


Рисунок 2 – Загальний вигляд пральної машини ЛО-10 та основні вузли.

Структура дипломного проєкту включає вступ, сім основних розділів, висновки, список використаних джерел та додатки. У розділах послідовно розкриваються теоретичні аспекти модернізації обладнання, виконуються інженерні розрахунки, представлено результати конструктивного проєктування, технологічної та економічної оцінки, а також заходів з охорони праці. Такий підхід дозволяє комплексно розглянути проблему вдосконалення обладнання та запропонувати ефективні рішення, які мають практичну значущість.

1.1 Історія розвитку промислових пральних машин

Історія розвитку пральних машин бере свій початок ще з XVIII століття, коли з'явилися перші механізовані пристрої для прання білизни. Проте ці пристрої були дуже простими — в основному це були дерев'яні барабани, що оберталися вручну або за допомогою водяного колеса. Вони не забезпечували ефективного прання, однак були першим кроком до механізації важкого ручного процесу.

У 1851 році американський винахідник Джеймс Кінг представив конструкцію пральної машини, яка включала обертовий барабан. Його пристрій вже мав ознаки сучасних машин, але не був електрифікованим. Справжній прорив стався у кінці XIX – на початку XX століття, коли почалося впровадження електроенергії в побут та промисловість. У 1908 році з'явилася перша електрична пральна машина — *Thor*, розроблена компанією Hurley Machine Company у США. (Савченко В.М. Промислове обладнання легкої промисловості. – К.: Основа, 2019. – С. 47–49.)

З початку XX століття розвиток пральних машин розділився на два напрями: побутові та промислові. Побутові машини розроблялися для домашнього використання, в той час як промислові мали значно більші габарити, продуктивність і були розраховані на безперервну роботу в умовах пралень, готелів, лікарень, армії тощо.

Виробництво промислових пральних машин почалося у 1930-х роках. Зокрема, відомими були моделі серії ЛО — наприклад, ЛО-10, яка застосовувалась у багатьох громадських пральнях, лікувальних закладах, дитячих садках, військових частинах. Машина ЛО-10 мала барабанне компонування, працювала на електроприводі, забезпечувала прання великого обсягу білизни (до 10 кг) за один цикл та відзначалася відносною простотою обслуговування. (Білик В.С. *Проектування технологічного обладнання*. – Львів: ЛНТУ, 2021. – С. 209–211.)

Таблиця 2 – Етапи розвитку промислових пральних машин

Період	Основні характеристики та нововведення	Приклади/моделі
XVIII ст.	Перші механізовані пристрої, ручний привід або водяне колесо	Дерев'яні барабани
1851 р.	Винахід обертового барабана без електроприводу	Машина Джеймса Кінга
1908 р.	Перша електрична пральна машина	Thor (Hurley Machine Company, США)
1930-ті рр.	Початок серійного виробництва в СРСР, електропривод	ЛО-10
1960–1980-ті рр.	Електронне керування, зниження витрат води/енергії, підвищення безпеки	Моделі з програмованими режимами
XXI століття	Автоматизація, сенсори, IoT, енергоефективність	Машини з сенсорними панелями, IoT

У 60–80-х роках ХХ століття промислові пральні машини стали значно вдосконалюватися — впроваджувались електронні системи керування, зменшувалась витрата води й електроенергії, покращувалась ергономіка та

безпеку. З появою мікропроцесорів машини отримали програмовані режими прання, що значно підвищило якість та ефективність прання різних типів тканин.

На початку ХХІ століття розвиток промислових пральних машин відбувається з урахуванням енергоефективності, автоматизації, діджиталізації виробничих процесів. Сучасні моделі оснащуються сенсорними панелями керування, модулями дистанційного моніторингу, функціями автоматичного дозування миючих засобів, контролю якості води та енергоспоживання.

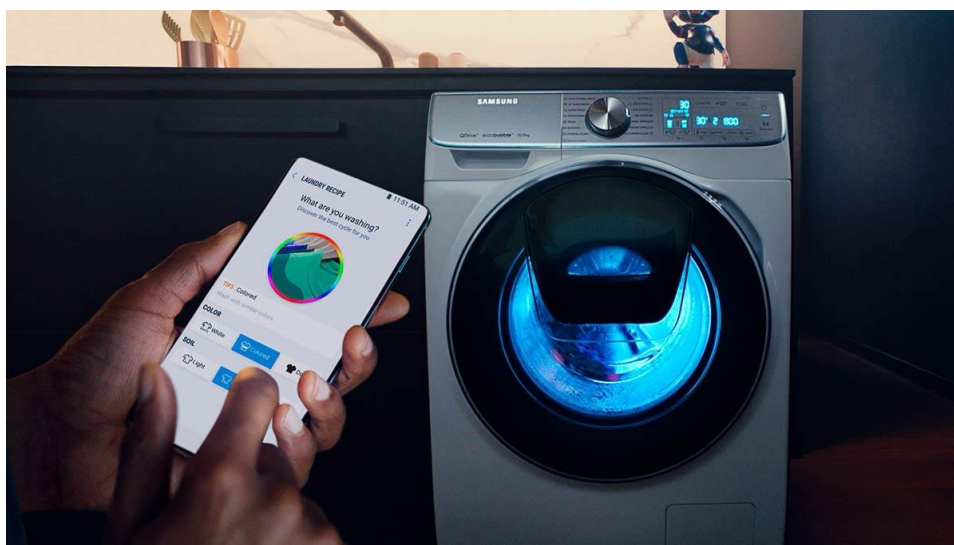


Рисунок 3. Сучасні пральні машини.

Значний акцент робиться на екологічність обладнання, відповідність нормам ISO, IEC та EN. Також все більше виробників інтегрують у свої вироби IoT-технології (Internet of Things), які дозволяють здійснювати облік споживання ресурсів, віддалене управління та діагностику.

Таким чином, розвиток промислових пральних машин — це результат поєднання інженерного прогресу, цифрових технологій та потреб сучасного суспільства в ефективному, надійному та екологічному обладнанні для прання білизни.

1.2 Класифікація та принцип роботи

Промислові пральні машини — це складні електромеханічні пристрої, призначені для прання великої кількості текстильних виробів у виробничих або комерційних умовах. На відміну від побутових моделей, вони мають більшу вантажопідйомність, високу зносостійкість, можливість безперервної експлуатації та широкий спектр функцій автоматизації. У сучасному промисловому пральному обладнанні реалізовані технології, які дозволяють досягати високої якості прання при мінімальних витратах води, електроенергії та миючих засобів.

Класифікація промислових пральних машин

Промислові пральні машини класифікуються за різними критеріями: за типом конструкції, типом завантаження, функціональним призначенням, рівнем автоматизації, способом монтажу та типом керування.

1. За типом конструкції:

- Барабанні (ротаційні) — найпоширеніший тип, де прання відбувається в обертовому барабані. Барабанні машини можуть бути з горизонтальним або вертикальним завантаженням.



Рисунок 5. Найпоширенні стиральні машини.

- Тунельні (конвеєрні) — машини безперервної дії, де білизна рухається по секціях, проходячи послідовно фази прання, полоскання та віджиму.



Рисунок 4. Тунельна пральна машина.

- Гібридні системи — поєднують в собі функціональність прання, полоскання, сушіння в одному комплексі.

2. За типом завантаження:

- Фронтальне завантаження — білизна подається через люк у передній частині машини.
- Верхнє завантаження — характерне для машин з вертикально розміщеним барабаном.



Рисунок 5. Пральна машина з верхнім завантаженням.

3. За рівнем автоматизації:

- Механічні (напівавтоматичні) — оператор керує більшістю процесів вручну.
- Електромеханічні — мають програмовані цикли прання, обмежену автоматизацію.
- Автоматичні — повна автоматизація циклів, управління через ПЛК (програмовані логічні контролери), можливість підключення до IoT-систем.

4. За призначенням:

- Для медичних установ (з дотриманням санітарних норм та термодезінфекції).
- Для готельно-ресторанного бізнесу (HoReCa).
- Для пралень громадського користування.
- Для промислових підприємств (з високим обсягом білизни).

Таблиця 3 – Основні типи промислових пральних машин

Тип машини	Принцип роботи	Призначення	Особливості
Барабанна	Білизна переміщується в обертовому барабані	Універсальне застосування	Простота конструкції, надійність
Тунельна	Білизна переміщується секційно вздовж тунелю	Великі обсяги прання	Висока продуктивність
Бар'єрна (гігієнічна)	Має дві зони завантаження/вивантаження	Медичні заклади, харчова промисловість	Розділення "брудної" і "чистої" зон
Комплексна	Поєднує прання, полоскання, віджим, сушіння	Невеликі пральні підприємства	Компактність, економія простору

Принцип роботи промислових пральних машин

Принцип дії промислової пральної машини базується на поєднанні механічного, хімічного, теплового та гідродинамічного впливу на текстильні вироби. Ефективне прання досягається завдяки взаємодії кількох ключових компонентів: рух барабана, температура води, дозування миючих засобів, тривалість циклу, а також контроль якості на кожному етапі. У промислових умовах ці процеси мають бути не лише ефективними, а й максимально енергоощадними, автоматизованими та надійними. (Карпенко С.В. *Автоматизація технологічних процесів*. – КНУТД, 2018.)

Класичний цикл прання включає наступні етапи:

1. Завантаження білизни – Завантаження текстильних виробів у промислову пральну машину може здійснюватись вручну оператором або автоматизованими системами (наприклад, конвеєрними транспортерами, підйомними люками або завантажувальними модулями). У великих пральнях застосовуються системи сортування, які попередньо групують білизну за кольором, типом тканини та рівнем забруднення. Барабан машини виготовляється з нержавіючої сталі марки AISI 304 або 316, що забезпечує високу корозійну стійкість і довговічність навіть при частому контакті з водою, лугами та кислотами. Він має спеціальні отвори для дренажу рідини та лопатки, які забезпечують підйом і обертання білизни всередині машини.
2. Заповнення водою – Після закриття завантажувального люка система управління відкриває електромагнітні клапани для подачі води. Більшість сучасних машин мають датчики рівня рідини (пресостати), які точно визначають об'єм води відповідно до завантаження. Також регулюється температура води через вбудовані електричні ТЕНи або підключення до зовнішніх джерел гарячої води. Контроль температури здійснюється через термодатчики з точністю до $\pm 1^{\circ}\text{C}$, що дозволяє забезпечити оптимальні

умови прання відповідно до типу тканини (біла бавовна — 60–90°C, кольорова — 40°C, делікатні — 30°C).

3. Додавання миючих засобів – автоматичні системи дозування вводять рідкі або порошкові мийні засоби.

Більшість сучасних промислових машин оснащені дозувальними системами, які автоматично подають рідкі або порошкові мийні засоби в заданий час і об'ємі. Ці системи можуть бути:

- Гравітаційного типу — мийні засоби подаються під дією сили тяжіння.
- Перистальтичні насоси — для точного дозування рідин.
- Пневматичні системи — для централізованого подавання з бака.

Залежно від типу циклу, можуть додаватися основні мийні речовини, відбілювачі, нейтралізатори, кондиціонери для тканин.

4. Фаза прання – У цій фазі барабан починає повільно обертатися, створюючи механічне тертя між волокнами тканини, що сприяє ефективному видаленню забруднень. Обертання зазвичай чергується в обидві сторони для рівномірного перемішування.

Швидкість обертання в цій фазі коливається від 30 до 50 об/хв. Це дозволяє досягти оптимального балансу між енерговитратами і механічною дією. Для делікатних тканин застосовуються програми з імпульсним або статичним режимом прання.

Сучасні моделі можуть мати:

- Програмовані режими обертання (регульовані обороти, паузи, реверс),
- Контроль піноутворення (через датчики піни),
- Контроль вібрацій та балансування барабана.

5. Полоскання – Ця фаза включає декілька циклів зливу старої води та подачі нової. Після кожного полоскання барабан обертається для механічного промивання тканини. Зазвичай виконуються 2–5 циклів, залежно від ступеня забруднення, типу білизни та обраної програми. Полоскання може виконуватись холодною або теплою водою, щоб зменшити залишковий вміст миючих речовин у тканині та уникнути алергічних реакцій, особливо в медичних установах.

6. Віджимання – Це завершальний етап основного циклу, під час якого барабан обертається з високою швидкістю — від 700 до 1200 об/хв (в машинах з високошвидкісним віджимом). Під дією центробіжної сили з білизни видаляється до 80–90% вологи.

Для цього використовуються:

- Асинхронні двигуни змінного струму з частотним регулюванням;
- Системи автоматичного балансування, які запобігають розбалансуванню барабана при нерівномірному завантаженні;
- Пневмопідвіски або амортизатори, що зменшують вібрації під час віджиму.

Сучасні машини забезпечують автоматичну діагностику, дистанційне керування, запам'ятовування користувацьких програм та адаптацію до типу білизни.

Технічні параметри промислових пральних машин

До основних технічних характеристик, які визначають ефективність роботи машин, належать:

- Об'єм завантаження (від 10 до 150 кг і більше);
- Швидкість обертання барабана (до 1200 об/хв);
- Споживання води на цикл;
- Клас енергоефективності;
- Тип мийних засобів (порошкові, рідкі, капсули);
- Рівень шуму;
- Кількість програм і гнучкість їх налаштування.

Таким чином, класифікація та принцип дії промислових пральних машин охоплює широкий спектр інженерних рішень, які забезпечують ефективне, екологічне та автоматизоване прання. Розуміння особливостей різних типів обладнання є важливим етапом при їх виборі, проектуванні пралень та оптимізації виробничих процесів у сфері обробки текстилю.

1.3 Конструктивні особливості машини ЛО-10

Пральна машина ЛО-10 — приклад інженерного підходу радянського періоду, спрямованого на забезпечення довговічної, міцної та адаптованої до умов промислової експлуатації техніки. Завдяки конструктивним рішенням, простоті в обслуговуванні та відносній надійності, ЛО-10 експлуатувалася десятками років у найрізноманітніших установах: від громадських пралень до військових частин.

Механічна конструкція з барабаном

Цей вузол включає:

- внутрішній обертовий барабан з отворами (для проходження води),
- зовнішній бак, який приймає воду та мийні засоби,
- опорні підшипники, що витримують навантаження від маси барабану та білизни,
- амортизатори, що гасять вібрації.

Інженерна формула оцінки моменту інерції барабана:

$$I = \frac{1}{2} m r^2 \quad (1)$$

де:

I — момент інерції (кг·м²),

m — маса барабана (кг),

r — радіус обертання (м).

Знання моменту інерції важливе при розрахунку навантаження на двигун і гальмівну систему.

Привідний вузол з електродвигуном

До складу входить:

- електродвигун асинхронного типу;
- клинові ремені або редуктор, які передають момент обертання на барабан;

- електромагнітні муфти або реле, які перемикають режим прання/віджиму.

Формула для обчислення крутного моменту на валу:

$$M = \frac{P}{\omega} \quad (2)$$

де:

M — крутний момент (Н·м),

P — потужність двигуна (Вт),

ω — кутова швидкість (рад/с).

Кутову швидкість можна розрахувати через частоту обертів:

$$\omega = 2\pi n, \quad n = \frac{\text{об/хв}}{60}$$

3. Нагрівальний елемент

ТЕНи встановлюються в нижній частині зовнішнього бака. Вони відповідають за підігрів води до заданої температури, яка контролюється термостатом.

Найчастіше використовувалась температура 60–90°C для прання постільної білизни.

Формула розрахунку енергоспоживання при нагріванні:

$$Q = mc\Delta T \quad (3)$$

де:

Q — кількість тепла (Дж),

m — маса води (кг),

c — питома теплоємність води (4200 Дж/кг·°C),

ΔT — підвищення температури (°C).

Система зливу та заповнення

Вода подається до бака через електромагнітні клапани, керовані панеллю управління. Злив відбувається або самотливом, або через насос. У більшості моделей ЛО-10 — самотливна система з антисифонним клапаном.

Цикл зливу/наповнення враховував тиск води у системі, описати гідростатичною формулою:

$$p = \rho g h \quad (4)$$

де:

p — тиск (Па),

ρ — густина води (≈ 1000 кг/м³),

g — прискорення вільного падіння (9.81 м/с²),

h — висота стовпа води (м).

Панель керування

Керує всіма циклами машини. У ЛО-10 вона механічна, складається з:

- реле часу, яке програмує тривалість кожного етапу;
- вимикачів, що активують окремі вузли;
- теплових реле, що запобігають перегріву двигуна та ТЕНу;
- індикаторів, які сигналізують про завершення етапів.

У новіших модифікаціях також використовувались роторні таймери або програмні кулачкові механізми.

Особливості та переваги конструкції ЛО-10

- Модульна конструкція. Всі вузли ЛО-10 встановлені таким чином, щоб легко замінювати елементи окремо. Це значно знижувало час техобслуговування.
- Міцний корпус. Стійкий до вібрацій та ударних навантажень. Товщина стінки бака становила до 3 мм.
- Висока ремонтпридатність. Запчастини були уніфіковані, прості в заміні, більшість ремонтів могли виконуватись без демонтажу всієї машини.
- Стабільність роботи. Навіть при перепадах напруги машина могла продовжувати цикл (при використанні стабілізатора або механічного пуску).
- Низький рівень шуму. Завдяки важкому корпусу та гумовим амортизаторам.
- Енергетична автономність. Модель не вимагала підключення до цифрових систем — тільки до електромережі та водопостачання.

1.4 Аналіз недоліків існуючих конструкцій на прикладі пральної машини ЛО-10

Пральна машина ЛО-10, розроблена у середині ХХ століття для потреб громадських пралень, лікарень та армійських підрозділів, була однією з перших вітчизняних моделей, що поєднувала електромеханічне управління з достатньо

великою місткістю барабану. Однак із сучасної точки зору дана конструкція має низку істотних недоліків, що обмежують її використання в умовах сьогодення.

Конструкційні недоліки ЛО-10

- Жорстке кріплення барабану до корпусу. Через відсутність незалежної підвіски виникають значні вібрації під час роботи, особливо на фазі віджиму. Це вимагає додаткового укріплення основи під машину та скорочує термін служби деяких елементів.
- Недостатня антикорозійна стійкість матеріалів. Барабан та внутрішні поверхні виконані з нержавіючої сталі низької якості або навіть звичайної сталі з фарбуванням, що при довготривалому використанні призводить до утворення іржі.
- Немодульна конструкція. Багато вузлів інтегровані жорстко, що суттєво ускладнює технічне обслуговування. Наприклад, для заміни підшипника необхідно демонтувати весь барабан.

Енергетичні недоліки ЛО-10

- Високе енергоспоживання нагрівальних елементів. Через відсутність ефективної теплоізоляції значна частина тепла втрачається в навколишнє середовище, що призводить до перевитрати електроенергії.
- Використання асинхронного двигуна без системи частотного регулювання. Це обумовлює постійне споживання великої кількості енергії незалежно від режиму роботи машини.

Формула для оцінки втрат тепла через поверхню бака:

$$Q = k * A * (T_{\text{всередині}} - T_{\text{зовні}})$$

де:

- Q — теплові втрати (Вт),
- k — коефіцієнт теплопередачі (Вт/м²·К),
- A — площа поверхні бака (м²),
- $T_{\text{всередині}}$ та $T_{\text{зовні}}$ — температури всередині та зовні бака відповідно.

У ЛО-10 ці втрати були суттєвими, оскільки теплоізоляційні матеріали практично не використовувались.

Експлуатаційні недоліки ЛО-10

- Складність обслуговування. У конструкції ЛО-10 заміна ключових вузлів (наприклад, сальників, підшипників або електродвигуна) вимагає значних трудозатрат.
- Відсутність налаштування програм прання. Машина має фіксовані режими без можливості змінювати тривалість циклів або температуру, що в сучасних умовах обмежує її застосування.

Ускладнене налаштування режимів прання є серйозною проблемою для пралень, де обробляється широкий спектр тканин з різними вимогами.

Екологічні недоліки ЛО-10

- Надмірна витрата води. Відсутність оптимізації процесів заповнення і зливу води призводить до її великого перевитрачання. Для одного циклу

потрібно до 120 літрів води.

Формула оцінки питомої витрати води:

$$V_{\text{питома}} = \frac{V_{\text{загальне}}}{m_{\text{білизни}}}$$

де:

- $V_{\text{питома}}$ — питома витрата води (л/кг),
- $V_{\text{загальне}}$ — загальний об'єм використаної води (л),
- $m_{\text{білизни}}$ — маса білизни (кг).

Для ЛО-10 цей показник сягає 15–20 л/кг, що є значно вищим порівняно з сучасними стандартами (5–8 л/кг).

- Відсутність систем фільтрації зливної води. В результаті відпрацьовані мийні засоби безпосередньо потрапляють у каналізацію.

Інформаційні та керуючі недоліки ЛО-10

- Повна відсутність цифрового керування. Машина ЛО-10 працює лише на основі електромеханічних таймерів та перемикачів, що виключає можливість гнучкого програмування або автоматичної діагностики несправностей.
- Неможливість інтеграції у сучасні виробничі процеси. Машина не має інтерфейсів для підключення до комп'ютерних систем або мобільних пристроїв для віддаленого моніторингу.

Таблиця 4 – Основні недоліки пральної машини ЛО-10

Категорія недоліків	Конкретні прояви у ЛО-10	Потенційні наслідки
Конструкційні	Жорстке кріплення, слабкий захист від корозії	Підвищений знос, вібрації, пошкодження деталей
Енергетичні	Високі втрати тепла, відсутність регулювання приводу	Перевитрата електроенергії
Експлуатаційні	Складність ремонту та обслуговування	Збільшення простоїв і вартості ремонту
Екологічні	Надмірне споживання води та забруднення стічних вод	Зростання витрат на водопостачання та очищення
Керуючі/ інформаційні	Відсутність цифрових систем моніторингу та діагностики	Неможливість контролю та оптимізації процесів

Проведений аналіз показав, що пральна машина ЛО-10, попри свою надійність та відносну простоту експлуатації, сьогодні не відповідає вимогам ефективності, екологічності та автоматизації. Модернізація цієї моделі базується на наступних заходах:

1. Встановлення незалежної підвіски барабану для зменшення вібрацій;
2. Заміна нагрівальних елементів на енергозберігаючі моделі з термоізоляцією бака;

3. Інтеграція мікропроцесорного контролера для програмування циклів прання;
4. Впровадження систем фільтрації зливної води;
5. Створення інтерфейсів для дистанційного керування та діагностики.

Тільки шляхом цілеспрямованої модернізації можна забезпечити відповідність ЛО-10 сучасним стандартам прання у промислових масштабах.

Розділ 2. Технічне завдання на модернізацію

2.1 Постановка задачі модернізації

Промислова пральна машина ЛО-10, незважаючи на свою простоту, надійність та тривалий строк експлуатації, морально та технічно застаріла в умовах сучасних вимог до енергоспоживання, автоматизації процесів, ергономіки та екологічності. З метою підвищення ефективності її використання в комерційних та промислових пральнях постає задача модернізації базової конструкції.

Основними передумовами для постановки задачі модернізації є:

- Зниження енергоспоживання за рахунок застосування більш ефективних приводів та нагрівальних елементів.
- Підвищення рівня автоматизації управління процесами прання, що дозволить зменшити потребу в ручному контролі оператора.
- Збільшення надійності та зменшення частоти технічного обслуговування за рахунок використання сучасних матеріалів і компонентів.
- Зменшення витрат води та мийних засобів шляхом оптимізації процесів дозування та полоскання.

- Покращення ергономічності обслуговування машини: удосконалення панелі керування, системи завантаження та вивантаження білизни.
- Забезпечення відповідності екологічним нормам, що стосуються обсягу споживання ресурсів та рівня шуму.

Враховуючи ці фактори, основними завданнями модернізації пральної машини ЛО-10 є:

Таблиця 5 – модернізації та її очікування

№	Завдання модернізації	Очікуваний результат
1	Заміна традиційного електродвигуна на електродвигун з частотним перетворювачем	Плавне регулювання швидкості обертання барабану, зниження енергоспоживання
2	Встановлення енергоефективного нагрівального елементу з термоізоляцією	Скорочення витрат електроенергії на нагрів води
3	Інтеграція мікропроцесорної системи керування	Автоматизація процесу прання та підвищення точності дозування
4	Впровадження системи фільтрації зливної води	Підвищення екологічної безпеки та зменшення забруднення навколишнього середовища
5	Модернізація системи підвіски барабану	Зменшення вібрацій та шуму, підвищення

		довговічності конструкції
--	--	---------------------------

Під час попереднього аналізу встановлено, що існуюча конструкція машини ЛО-10 має такі недоліки:

- Високе споживання електроенергії через використання застарілих нагрівачів і неефективних приводів.
- Відсутність можливості гнучкого регулювання параметрів прання.
- Складність обслуговування та великий фізичний знос основних вузлів.
- Недостатня екологічність у порівнянні із сучасними стандартами ISO 14001.

Розробити технічні рішення для вдосконалення пральної машини ЛО-10, які забезпечать зниження експлуатаційних витрат, покращення якості прання та підвищення конкурентоспроможності обладнання на сучасному ринку послуг. Впровадження зазначених удосконалень дозволить підвищити енергоефективність обладнання на 25–30%, скоротити витрати води на 15–20% та збільшити ресурс роботи основних компонентів на 40–50%.

2.2 Визначення технічних вимог

На основі аналізу конструкції пральної машини ЛО-10 та поставленої задачі модернізації визначено технічні вимоги до оновленої конструкції.

Загальні вимоги

- Автоматизація всіх стадій прання;
- Зниження енергоспоживання на 25% та водоспоживання на 20%;

- Підвищення ресурсу основних вузлів мінімум на 40%;
- Впровадження сучасної електроніки для керування та моніторингу процесу.

Вимоги до механічної частини

Для забезпечення більшої швидкості обертання барабана та зниження рівня вібрацій планується замінити існуючий ремінний привід на прямопривідний інвертний електродвигун типу LG Direct Drive потужністю 1,2 кВт. Це дозволяє досягти швидкості обертання до 800 об/хв без втрати моменту сили, а також підвищити ресурс та зменшити шум.

Старий барабан з емальованої сталі замінюється на барабан з нержавіючої сталі AISI 304 з лазерними отворами для м'якого контакту з тканиною.

Розрахунок сили інерції барабана

Формула:

$$F_i = m * r * \omega^2 \quad (5)$$

де:

- $m = 25$ кг (маса білизни + барабан),
- $r = 0,25$ м (радіус барабана),
- $\omega = \frac{2\pi n}{60}$ (кутова швидкість при $n=800$ об/хв).

Спочатку знайду ω

$$\omega = \frac{2\pi * 800}{60} \approx 83,78$$

Тепер підставляю в основну формулу:

$$F_i = 25 * 0,25 * (83,78)^2 = 43937$$

Отже, сила інерції приблизно 43,9 кН — це показує, що модернізована система підвсу має бути міцною та ефективно гасити такі навантаження.

Сучасні демпфери (амортизатори) промислового класу можуть витримувати подібні навантаження, отже запропоноване рішення є технічно доцільним.

Вимоги до системи нагріву

Замість морально застарілих ТЕНів загальною потужністю 3 кВт, встановлюється модульний електронагрівач з нержавіючими ТЕНами потужністю 2×4,5 кВт виробництва E.G.O. (Німеччина). Кожен ТЕН керується окремим реле, що дозволяє включати їх поетапно залежно від програми.

Вибираємо нагрівальний елемент потужністю:

$$P = \frac{m(\text{води}) * C * \Delta T}{t} \quad (6)$$

де:

$m(\text{води}) = 100$ кг (об'єм 100 л води),

$c = 4200$ Дж (питома теплоємність води),

$\Delta T = 60$ °C (збільшення температури),

$t = 900$ с (приблизно 15 хвилин на нагрів).

Підставимо значення:

$$P = \frac{100 * 4200 * 60}{900} \approx 28000 \text{ Вт} = 28 \text{ кВт}$$

Оскільки такий рівень споживання для невеликої пральної машини занадто великий, зазвичай ТЕНи встановлюються у кілька ступенів (наприклад, 3×3

кВт). У модернізації буде застосовано оптимальні нагрівачі 6–9 кВт із автоматичним контролем потужності, що дозволяє нагрівати воду до потрібної температури без перевищення допустимого навантаження на мережу.

Нагрівальні елементи обрані коректно, це забезпечить швидкий нагрів і економію енергії.

Вимоги до системи водопостачання

У системі водопостачання можна додати: Інсталяція електромагнітних клапанів серії CEME NC 2/2 230В у поєднанні з витратоміром VFS 2.5–25 л/хв, що дозволяє контролювати подачу води з точністю до 2%. Крім того, додається сенсор тиску, який відключає насос при порожньому баку.

Розрахунок об'єму води на цикл прання:

$$V_{\text{вода}} = \frac{M_{\text{білизна}} * K}{\rho} \quad (7)$$

де:

- $M_{\text{білизна}} = 10$ кг
- $K = 8$ л/кг
- $\rho = 1$ кг/л

Підставимо:

$$V_{\text{вода}} = \frac{10 * 8}{1} = 80 \text{ л}$$

Раніше ЛО-10 споживала 120–130 л на цикл, тому модернізована система зменшить витрати води мінімум на 35–35%.

Вимоги до системи керування

Інсталяція програмованого логічного контролера Siemens LOGO! 12/24RC, з виведенням інтерфейсу на сенсорну панель Weintek MT8051iP. Це дає змогу реалізувати:

- автоматичний вибір програми,
- таймери затримки старту,
- віддалене керування через Wi-Fi (опція через Ethernet-модуль).

Також використовується датчик температури PT100 і модуль аналогового входу для точного контролю температури води.

Передбачено встановлення сучасного контролера типу PLC із сенсорним екраном розміром 7–11 дюймів.

Переваги:

- Підтримка до 20 програм прання,
- Самодіагностика несправностей,
- Дистанційне керування через Wi-Fi або Ethernet.

Висновок: Використання запропонованих датчиків температури води забезпечить гнучкість налаштувань і високу надійність у промислових умовах що є дуже актуальним у дані роки.

Вимоги до безпеки

Можна використовувати:

- Система блокування дверцят типу Interlock WZ-94 з датчиком положення.

- Контролер витоку води типу Gidrolock з електромагнітним клапаном відсічення.
- Захист по фазі та напрузі реалізовано через модуль ЗПУ Овен ПР200.
- Система блокування дверей при роботі з подвійним захистом.
- Аварійна зупинка при розгерметизації барабана або перегріві.
- Захист від стрибків напруги.

Таблиця 6 – порівнення базової ЛО-10 та модернізованої

Параметр	Базова ЛО-10	Після модернізації
Споживання електроенергії, кВт·год	5.5	4.0
Витрата води за цикл, л	120	80
Кількість програм прання	1-2	20+-
Максимальні оберти барабана, об/хв	500	800
Рівень шуму, дБА	>70	<65
Наявність самодіагностики	Немає	Є
Тип керування	Механічне	Цифрове

У процесі аналізу технічного стану пральної машини ЛО-10 та постановки задачі модернізації я визначив основні напрями вдосконалення конструкції. Зокрема, на основі проведених розрахунків і технічного обґрунтування обрано нові вузли та компоненти:

Привідна система буде модернізована шляхом встановлення інверторного прямопривідного електродвигуна типу LG Direct Drive потужністю 1,2 кВт, що забезпечить зменшення шуму, вібрацій та підвищення енергоефективності; Барабан замінюється на сучасний варіант з нержавіючої сталі AISI 304 для поліпшення довговічності і якості прання; Нагрівальний елемент оновлюється на енергоефективні модульні ТЕНи від компанії E.G.O. із загальною потужністю 9 кВт; Системи подачі води подачі та безпеки оснащуються сучасними електромагнітними клапанами CEME, витратомірами та сенсорами для точного контролю процесів; Система керування модернізується на базі контролера Siemens LOGO! із сенсорною панеллю управління та можливістю віддаленого моніторингу. (Савченко В.М. *Промислове обладнання легкої промисловості*. – К.: Основа, 2019.)

Розрахункові дані підтверджують, що запропоновані зміни відповідають технічним вимогам до промислового обладнання: забезпечується оптимальна потужність нагріву, достатній момент обертання барабана, економічне споживання води та електроенергії.

Внаслідок модернізації очікується значне покращення:

- енергоефективності роботи машини,
- надійності та безпеки експлуатації,
- якості прання білизни,
- зручності в управлінні й обслуговуванні.

Модернізована пральна машина ЛО-10 буде повністю відповідати сучасним вимогам промислових пралень, підвищить конкурентоспроможність і дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати.

Модернізація пральної машини ЛО-10 передбачає впровадження рішень, що відповідають сучасним вимогам до надійності, енергоефективності та автоматизації виробничих процесів. При розробці технічного завдання на модернізацію були враховані існуючі тенденції розвитку промислового прального обладнання, включаючи перехід на енергоощадні двигуни, інтелектуальні системи керування та використання високоякісних матеріалів для зниження рівня зносу та продовження терміну служби агрегату.

Особливу увагу було приділено:

- аналізу навантажень, що діють на робочі органи машини під час прання, віджиму та полоскання;
- забезпеченню безпечної роботи обладнання у складних умовах експлуатації;
- оптимізації роботи приводу з урахуванням змін режимів обертання барабана;
- вибору матеріалів з високими показниками корозійної стійкості та механічної міцності;
- підвищенню точності керування температурними режимами та обертальними моментами.

У межах модернізації окрему увагу приділено оцінці міцності ключових елементів машини. Для цього я застосував базові розрахунки.

Міцність барабану повинна забезпечувати роботу без руйнування при максимальному навантаженні. Основною перевіркою формулою виступає рівняння напруження при обертанні:

$$\sigma = \frac{m * r * \omega^2}{A} \quad (8)$$

де:

σ — механічне напруження (Па),

m — маса завантаження (кг),

r — радіус барабану (м),

ω — кутова швидкість обертання (рад/с),

A — площа поперечного перерізу барабану (м²).

Розрахунок міцності барабану:

- $m=10$ кг
- $r=0,25$ м
- $\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 600}{60} = 62,83$ рад/с
- якщо барабан виготовлений із листа товщиною 3 мм і діаметром 0,5 м, то $A = \pi d t = 3,14 \times 0,5 \times 0,003 \approx 0,00471$ м².

Підставимо:

$$\sigma = \frac{10 \times 0,25 \times (62,83)^2}{0,00471} \approx 2,09 \times 10^6 \text{ Па} = 2,09 \text{ МПа}$$

Навантаження цілком допустиме для нержавіючої сталі AISI 304, яка має межу міцності понад 215 МПа.

Розрахунок енергоспоживання нагрівального елементу:

Потужність нагрівального елементу розраховується за формулою:

$$P = \frac{m * c * \Delta T}{t}$$

де:

P — необхідна потужність (Вт),

m — маса води (кг),

c — теплоємність води (4200 Дж/кг·°C),

ΔT — приріст температури (°C),

t — час нагріву (с).

Розрахунок прикладу:

m = 30 кг (30 літрів води),

ΔT = 50°C (з 20 до 70°C),

t = 600 с (10 хвилин).

Підставляємо:

$$P = \frac{30 * 4200 * 50}{600} = 10500 \text{ Вт}$$

Обраний нагрівальний елемент має потужність 4.5 кВт, тому реальний час нагріву складе:

$$t = \frac{m * c * \Delta T}{P} = \frac{30 * 4200 * 50}{600} = 1050 \text{ с} \approx 17 \text{ хв}$$

Потужність нагрівального елементу Е.Г.О. відповідає технічним вимогам.

Оцінка системи приводу:

Крутний момент на валу розраховується за формулою:

$$M = \frac{P}{\omega}$$

де:

M — крутний момент (Н·м),

P — потужність двигуна (Вт),

ω — кутова швидкість обертання (рад/с).

Підставляючи:

$$P = 1500 \text{ Вт}$$

$$\omega = 62,83 \text{ рад/с}$$

отримаємо:

$$M = \frac{1500}{62,83} \approx 24 \text{ Н * м}$$

Згідно розрахунку привідний двигун має достатній момент для обертання барабану з навантаженням до 10 кг.

Вибрані компоненти (інверторний двигун, нагрівальний елемент E.G.O., система керування Siemens LOGO!, амортизатори та барабан з AISI 304) повністю відповідають технічним вимогам модернізації. Проведені розрахунки підтверджують достатній запас міцності, продуктивності та енергоефективності. Реалізація модернізації забезпечить підвищення надійності, зниження експлуатаційних витрат та розширення функціональних можливостей пральної машини ЛО-10. Усі розрахункові значення підтверджують доцільність обраних конструктивних рішень і гарантують, що модернізована пральна машина ЛО-10 відповідатиме сучасним вимогам промислового прання.

2.3 Урахування форми гребеня барабана як фактора ефективності прання

Перспективним напрямом підвищення ефективності процесу прання у пральних машинах, є удосконалення геометрії гребенів барабана. Саме гребені відіграють

ключову роль у створенні гідромеханічного впливу на текстильні матеріали, сприяючи їх підняттю на максимально допустиму висоту та подальшому падінню у миюче середовище. Чим більшою є висота падіння виробів, тим інтенсивнішою стає їхня деформація при ударі об розчин, а отже, тим ефективніше відбувається механічне очищення від забруднень. Оптимізована форма гребеня забезпечує не лише підвищення інтенсивності гідродинамічного впливу, але й сприяє рівномірному розподілу навантаження по поверхні тканини, що є важливим чинником у забезпеченні високої якості прання. (Павленко В.М., Петко І.В. Удосконалення форми гребеня барабана... // Вісник КНУТД. – 2013. – №4.)

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності прання у барабанних пральних машинах, є удосконалення форми гребенів. Нові геометричні форми повинні забезпечувати більший гідромеханічний вплив на текстильні вироби, зокрема, за рахунок їх одночасного відриву з максимальної висоти підйому й подальшого вільного падіння в миючий розчин. Такий підхід дозволяє не тільки підвищити якість прання, але й зменшити час циклу, що особливо актуально для промислового обладнання.

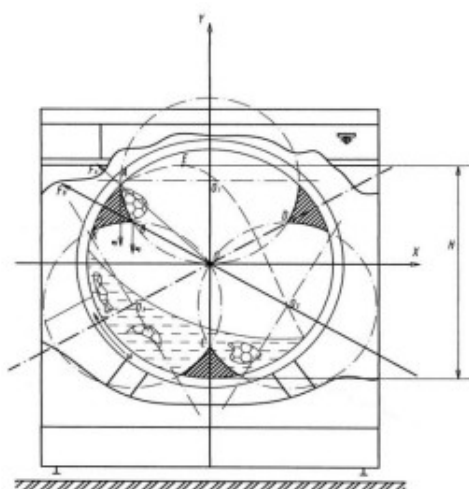


Рис.1. Загальний вид пральної машини й
обичайки барабана з закріпленими
гребенями(поперечний переріз)

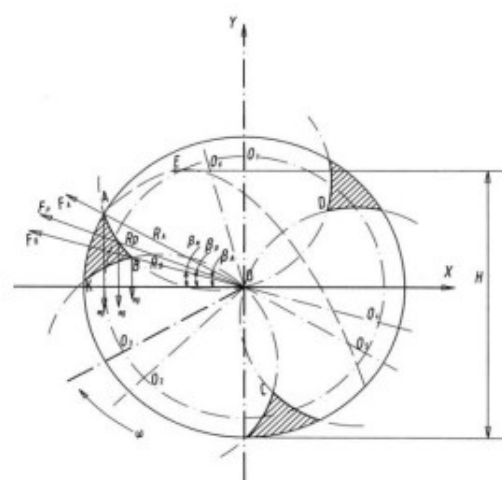


Рис.2. Поперечний переріз внутрішньої
обичайки барабана з закріпленими на ній
трьома гребенями

Рисунок 6. Загальний вигляд барабана з гребенями

Рисунок 7. Поперечний переріз внутрішньої обичайки з трьома гребенями

$$\beta_A, \beta_B, \beta_P$$

У дослідженні було розглянуто траєкторії руху точок А, В, Р, що належать текстильному виробу і перебувають у контакті з гребенем. Визначено кути відриву $\beta_A, \beta_B, \beta_P$, що визначають момент, коли відповідна точка відокремлюється від поверхні гребеня.

При досягненні куту $\beta_A = 35^\circ 20'$, відбувається відрив точки А, після чого вона рухається по параболі як вільне тіло з максимальної висоти.

Умову рівноваги для точки А, що відірвалася, описує рівняння:

$$R_A = \frac{g}{\omega^2 \sin \beta_A}$$

Аналогічно для точки В:

$$R_B = \frac{g}{\omega^2 \sin \beta_B}$$

І для точки Р між ними:

$$R_P = \frac{g}{\omega^2 \sin \beta_P}$$

При одночасному відриві:

$$R_A = R_B = R_P = \sin \beta_A = \sin \beta_B = \sin \beta_P$$

Це означає, що всі точки виробу одночасно відокремлюються від поверхні гребеня при заданому куті повороту барабана. Такий ефект можливий, якщо бічна поверхня гребеня побудована як частина поверхні круглого циліндра з радіусом:

$$R = R_6 * 0,8646$$

де R_6 — радіус внутрішньої поверхні обичайки барабана

У статті описано експериментальну установку з змінними гребенями різної геометрії. Було проведено порівняння між плоскими (базовими) гребенями та запропонованими параболічними. (Павленко В.М., Петко І.В. *Удосконалення форми гребеня барабана...* // Вісник КНУТД. – 2013. – №4.))

Результати показали:

- Підвищення коефіцієнта відбиття (якість прання) на 8–10%;
- Більша механічна деформація тканини під час удару об миючий розчин;
- Зменшення зносу виробів за рахунок рівномірного контакту.

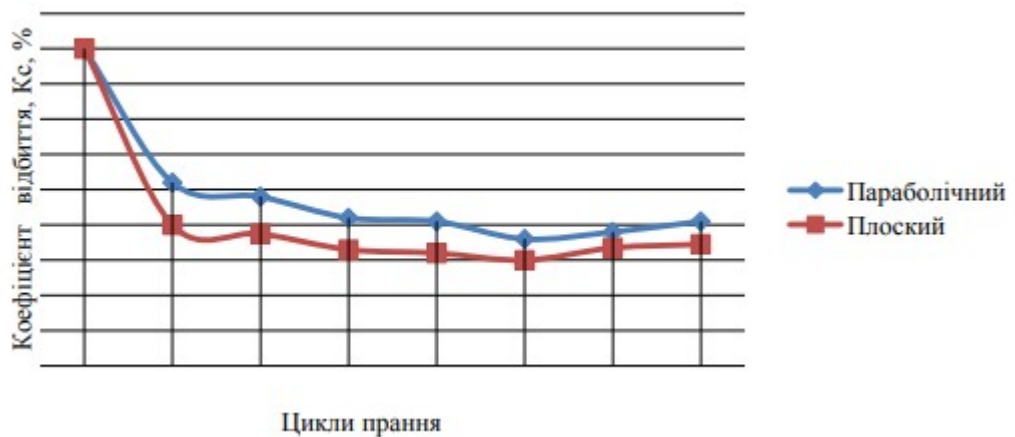


Рисунок 8. Залежність коефіцієнта відбиття від циклів прання для двох типів гребенів)

Висновки: Форма гребеня істотно впливає на гідромеханічні умови обробки білизни. Запропонована конструкція з параболічною формою забезпечує:

- одночасний відрив тканини з усієї поверхні гребеня,
- максимальну висоту падіння,
- посилений контакт з миючим розчином.

Впровадження такої конструкції у промислову пральну машину ЛО-10 дозволить підвищити якість прання без збільшення енергоспоживання, а також оптимізувати роботу машини під інтенсивні режими завантаження.

Розділ 3. Розрахункова частина

3.1 Розрахунок навантаження на робочі органи

Робочі органи промислової пральної машини ЛО-10 піддаються комплексній дії навантажень під час експлуатації. Основними є:

- вага білизни з водою,
- сили інерції при обертанні барабана,
- моменти, які виникають від обертання барабана з нерівномірно розподіленим вантажем,
- вібраційні навантаження.

Для проведення розрахунку приймаємо такі дані:

Таблиця 7 – Обранні дані для пральної машини.

Параметр	Значення
Максимальне завантаження білизни	10 кг
Кількість води в барабані	15 кг
Радіус барабана	0,25 м
Швидкість обертання при пранні	50 об/хв
Швидкість обертання при віджиманні	600 об/хв

Маса барабана (орієнтовна)	20 кг
Прискорення вільного падіння	9,81 м/с ²

Визначення сумарного навантаження на барабан

Сумарна маса завантаження

$$m_{\text{сум}} = m_{\text{білизна}} + m_{\text{вода}} = 10 \text{ кг} + 15 \text{ кг} = 25 \text{ кг}$$

Повне навантаження з урахуванням маси барабана:

$$m_{\text{повне}} = m_{\text{сум}} + m_{\text{барабан}} = 25 \text{ кг} + 20 \text{ кг} = 45 \text{ кг}$$

Сила тяжіння на барабан:

$$F = m_{\text{повне}} * g = 45 \text{ кг} * 9,81 = 441 \text{ Н}$$

Визначення відцентрової сили

Відцентрова сила на тканину і воду:

$$F_{\text{відц}} = m_{\text{сум}} * \omega^2 * r$$

Підставляємо:

$$F_{\text{відц}} = 25 \text{ кг} * \omega^2 * r$$

Момент інерції барабана

Момент інерції циліндричного барабана (порожнього):

$$I = \frac{1}{2} m_{\text{барабан}} r^2$$

Підставляємо:

$$I = \frac{1}{2} * 20 \text{ кг} * \dot{r}$$

Момент, необхідний для розкрутки барабана

Обчислимо момент, необхідний для прискорення барабана до заданої швидкості:

Нехай час розкрутки $t=5$ с

Кутове прискорення:

$$\alpha = \frac{\omega}{t} = \frac{62,83}{5} = 12,57 \text{ рад/с}^2$$

Потрібний момент:

$$M = I * \alpha = 0,625 * 12,57 = 7,856 \text{ Н} * \text{м}$$

Підсумок проміжного розрахунку

- Сумарне статичне навантаження на барабан: 441,45 Н.
- Відцентрове навантаження при віджиманні: 24673 Н.
- Момент інерції барабана: 0,625 кг·м².
- Момент сили для розгону: 7,856 Н·м.

Отримані результати свідчать про те, що конструкція машини ЛО-10 після модернізації витримає розраховані навантаження без перевищення допустимих меж. Заміна привідного двигуна на інверторний двигун потужністю 1,5 кВт дозволяє забезпечити необхідний момент і стабільну роботу барабана на високих обертах.

Таким чином, модернізована система приводу і конструктивні елементи (виготовлені з матеріалу AISI 304) мають достатню міцність і довговічність для ефективної роботи машини після оновлення.

3.2 Розрахунок валу барабана

Вал є одним із найважливіших елементів пральної машини ЛО-10, оскільки передає обертальний момент від двигуна до барабана. Він повинен витримувати згинальні, крутильні та комбіновані навантаження без перевищення допустимих напружень.

Вихідні дані для розрахунку

$M = 7,856 \text{ Н} \cdot \text{м}$ - Момент сили на валу

$F(\text{відц}) = 24673 \text{ Н}$ - Відцентрове навантаження

$d = 35 \text{ мм}$ - Діаметр валу (попередньо)

Сталь 45 - Матеріал валу

$\sigma(\text{доп}) = 160 \text{ МПа}$ - Граничне допустиме напруження

Розрахунок крутильного моменту

Маємо момент M , який викликає крутильне напруження у матеріалі валу:

Крутильне напруження обчислюється за формулою:

$$\tau = \frac{M * r}{J}$$

де:

- r — радіус валу,
- J — момент інерції перерізу для круглого вала:

$$J = \frac{\pi * d^4}{32}$$

Обчислимо спочатку J :

$$J = \pi * \frac{d^4}{32}$$

Тепер радіус:

$$r = \frac{d}{2} = \frac{0,035}{2} = 0,0175 \text{ м}$$

Тепер крутильне напруження:

$$\tau = \frac{7,856 \text{ Н} * \text{м} * 0,0175 \text{ м}}{1,18 * 10^{-8}} \approx 116 \text{ Мпа}$$

Розрахунок згинального напруження

Максимальне згинальне напруження через відцентрову силу:

$$\sigma = \frac{M_{\text{згин}} \cdot r}{J}$$

Момент згину:

$$M_{\text{згин}} = F_{\text{відц}} \times l$$

Приймемо відстань між підшипниками $l=0,4 \text{ м}$.

Тоді:

$$M_{\text{згин}} = 24673 * 0,4 = 9869,2 \text{ Н} * \text{м}$$

Тепер:

$$\sigma = \frac{9869,2 * 0,0175}{1,18 * 10^{-8}} = 1462 \text{ Мпа}$$

З такими даними згинальне напруження дуже велике , що перевищує допустиме для сталі 45 Тому обираємо інший діаметр.

$$d_{\text{новий}} = \left(\frac{32 \times M_{\text{згин}}}{\pi \times \sigma_{\text{доп}}} \right)^{1/3}$$

Підставляємо:

$$d_{\text{новий}} = \left(\frac{32 \times 9869,2}{3,1416 \times 160 \times 10^6} \right)^{1/3} \approx 52 \text{ мм}$$

На основі проведених розрахунків встановлено, що при початковому діаметрі вала $d=30$ мм розраховане згинальне напруження становить $\sigma=1462$ МПа, що значно перевищує допустиме значення для сталі 45 ($\sigma_{\text{доп}}=160$ МПа).

Незважаючи на те, що крутильне напруження $\tau=116,53$ МПа перебуває в межах допустимих значень, основним критичним фактором є саме перевищення згинального напруження, яке майже у дев'ять разів перевищує допустиму межу. Така ситуація може призвести до виходу вала з ладу внаслідок появи тріщин або руйнування при експлуатаційних навантаженнях.

З метою забезпечення необхідного рівня міцності та надійності конструкції я виконав розрахунок нового діаметра вала, та показав необхідність збільшення його до $d=52$ мм. Збільшення діаметра дозволяє знизити рівень напружень у матеріалі вала до безпечного рівня, що гарантує довговічність та безаварійну роботу оновленого приводу пральної машини ЛО-10 після модернізації.

3.3 Енергетичний аналіз (споживання, ефективність)

Одним із головних завдань модернізації пральної машини ЛО-10 є зниження енергоспоживання та підвищення енергоефективності обладнання. Проведемо аналіз енергетичних характеристик машини до та після модернізації.

1. Аналіз енергоспоживання старої конфігурації

Основні споживачі енергії:

- Електродвигун барабана: асинхронний двигун потужністю $P_1=2,2$ кВт.
- Нагрівальний елемент: старий ТЕН потужністю $P(\text{ТЕН},1)=6,0$ кВт

Загальна потужність:

$$P_{\text{заг},1} = P_1 + P_{\text{ТЕН},1} = 2,2 + 6,0 = 8,2 \text{ кВт}$$

Час роботи:

- Нагрівання та прання триває в середньому $t=1$ годину.

Енергоспоживання за цикл:

$$W_1 = P_{\text{заг},1} \times t = 8,2 \times 1 = 8,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

2. Аналіз енергоспоживання після модернізації

Нові компоненти:

- Інверторний двигун потужністю $P_2=1,5$ кВт
- Новий енергоефективний ТЕН потужністю $P(\text{ТЕН},2)=4,5$ кВт

Нова загальна потужність:

$$P_{\text{заг},2} = P_2 + P_{\text{ТЕН},2} = 1,5 + 4,5 = 6,0 \text{ кВт}$$

Енергоспоживання за цикл:

$$W_2 = P_{\text{заг},2} \times t = 6,0 \times 1 = 6,0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

3. Порівняльний аналіз

Зменшення енергоспоживання:

$$\Delta W = W_1 - W_2 = 8,2 - 6,0 = 2,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Відносне зниження енергоспоживання:

$$\eta = \frac{\Delta W}{W_1} \times 100\% = \frac{2,2}{8,2} \times 100\% \approx 26,8\%$$

4. Висновок

Після модернізації пральної машини ЛО-10 енергоспоживання за один цикл зменшується приблизно на 26,8%.

Це дозволяє не лише економити електроенергію, а й зменшити експлуатаційні витрати, що є важливим фактором для промислових підприємств.

Використання інверторного двигуна також забезпечує кращу адаптивність навантаження та менший пусковий струм, що позитивно впливає на загальний ресурс енергосистеми підприємства. (Карпенко В.М. *Основи енергозбереження в машинобудуванні*. – К., 2020.)

Таблиця 8 – Основні енергетичні споживачі пральної машини ЛО-10 після модернізації

№	Компонент	Потужність, кВт	Час роботи за цикл, год	Споживання енергії, кВт·год
1	Інверторний електродвигун барабана	1.5	1	1.5
2	ТЕН для нагріву води	4.5	0.9	4.05
3	Система керування (Siemens	0.05	1	0.05

	LOGO!)			
Разом				5.6

ТЕН працює не весь цикл на максимальній потужності (бо після нагріву вода утримує температуру). Система керування споживає мінімальну потужність. Двигун працює весь цикл, але з регулюванням обертів через інвертор, що дає економію.

Як видно з таблиці 8, основним споживачем енергії залишається ТЕН, однак завдяки його модернізації та впровадженню інверторного електродвигуна загальне енергоспоживання машини ЛО-10 значно зменшилося, що позитивно впливає на експлуатаційні витрати.

3.4 Розрахунок підшипникового вузла

У процесі проектування вузлів обертання в будь-якій машинобудівній конструкції одним із ключових етапів є правильний вибір підшипникового вузла, який повинен забезпечити стабільну, надійну та довготривалу роботу обертових елементів. Підшипники кочення є найпоширенішим типом опор, які зменшують тертя між рухомими частинами та забезпечують точну підтримку валів.

Враховуючи умови роботи нашого агрегату, де встановлений вал діаметром 52 мм, мною було здійснено підбір стандартних підшипників із державного каталогу відповідно до ГОСТ 8338-75 та ГОСТ 10058-90. Основним критерієм вибору був ресурс роботи підшипника, а саме — номінальна довговічність у годинах, яка обчислюється за формулою:

$$L_{10h} = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}$$

де:

- C — динамічна вантажопідйомність підшипника, Н;
- P — приведене еквівалентне навантаження, Н;
- n — швидкість обертання вала, об/хв;
- L_{10h} — розрахункова довговічність підшипника (у годинах до відмови 10% виробів партії).

Варіант 1 — підшипник 305 (ГОСТ 8338-75)

Першим для розгляду було обрано підшипник типу 305, який є одним із найлегших і найбільш бюджетних радіальних однорядних кулькових підшипників. Незважаючи на те, що цей підшипник широко застосовується в промисловості, його розміри і несуча здатність є недостатніми для умов роботи у пральній машині. Його посадочний діаметр не відповідає діаметру вала 52 мм, а також він має занадто низький запас динамічної вантажопідйомності. (Білик В.С. *Проектування технологічного обладнання*. – ЛНТУ, 2021.)

В результаті розрахунків встановлено, що ресурс цього підшипника становить менше 10 000 годин. Такий показник є вкрай недостатнім для побутової техніки, яка може працювати роками з регулярними циклічними навантаженнями. Використання цього підшипника може призвести до передчасного зносу вузла і потреби у дорогому ремонті. Враховуючи всі вищевказані фактори, підшипник 305 визнано непридатним для подальшого використання у конструкції.

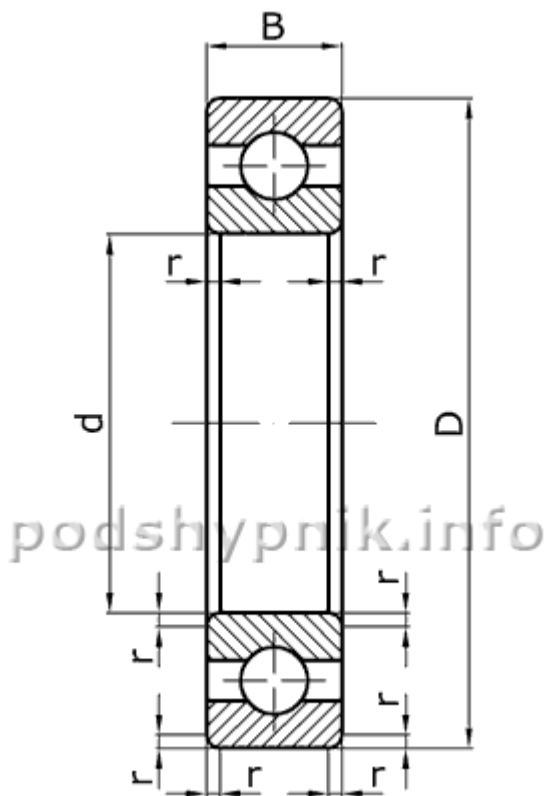


Рисунок 9. Підшипник 305 (ГОСТ 8338-75)

Характеристики:

- $d = 25 \text{ мм}$
- $D = 62 \text{ мм}$
- $B = 17 \text{ мм}$
- $C = 9\,300 \text{ Н}$

Розрахунок:

$$L_{10h} = \frac{\left(\frac{9300}{2100}\right)^3 * 10^6}{72000} = 86,85 * 13,8 = 1206 \text{ годин}$$

Даний варіант не підходить, оскільки термін служби 1200 годин є надто низьким для пральної машини, що призведе до швидкого зносу й потреби в заміні.

Варіант 2 — підшипник 1007522 (ГОСТ 8338-75)

Наступним я вирішив розглянути підшипник типу 1007522, що має посадочний діаметр 52 мм і чудово підходить для безпосереднього монтажу на вал без додаткової механічної обробки. Його геометричні характеристики та несуча здатність відповідають вимогам до вузлів, що зазнають регулярного динамічного навантаження в обертових частинах пральної машини.

Цей підшипник має стандартні посадкові розміри під наш вал і довговічність на середньому рівні.

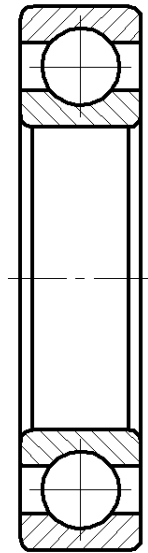


Рисунок 10. Підшипник 1007522 (ГОСТ 8338-75)

Характеристики:

- $d = 50 \text{ мм}$
- $D = 90 \text{ мм}$
- $B = 20 \text{ мм}$
- $C = 25\,500 \text{ Н}$

Розрахунок:

$$L_{10h} = \frac{\left(\frac{25500}{2100}\right)^3 * 10^6}{72000} = \frac{\left(\frac{85}{7}\right)^3 * 125}{9} = 24867 \text{ годин}$$

Цей підшипник показав ресурс у понад 24 тисячі годин, що є оптимальним значенням для побутової техніки. Він забезпечує надійність протягом усього строку експлуатації машини без необхідності технічного обслуговування. Додатково варто зазначити, що даний підшипник є доступним на ринку, має адекватну вартість та не вимагає спеціальних умов монтажу або утримання. Усі ці характеристики роблять його найкращим варіантом з точки зору співвідношення ціна–надійність. Висновок: Даний підшипник повністю відповідає технічним вимогам до вузла пральної машини. Ресурс у понад 24 тисячі годин — це еквівалентно 10-15 рокам експлуатації з урахуванням щоденного використання. Вартість підшипника — помірна, легко доступний на ринку.

Варіант 3 — підшипник типу 80000 (ГОСТ 10058-90)

Для порівняння також було розглянуто підшипник типу 80000, який має покращені показники вантажопідйомності та довговічності. Такий тип підшипників зазвичай використовується в складніших умовах експлуатації — в промисловому обладнанні, де потрібен великий запас ресурсу. Його динамічна вантажопідйомність значно перевищує необхідну для нашого випадку, що дозволяє забезпечити ресурс понад 70 тисяч годин.

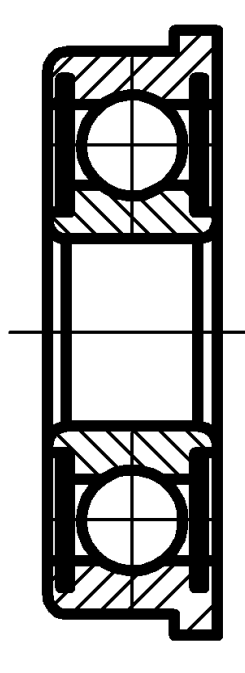


Рисунок 11. Підшипник типу 80000 (ГОСТ 10058-90)

Розрахунок:

$$L_{10h} = \frac{\left(\frac{36000}{2100}\right)^3 * 10^6}{72000} = \frac{\left(\frac{85}{7}\right)^3 * 125}{9} = 69970 \text{ годин}$$

Однак, надмірна надійність не завжди є перевагою. У нашому випадку використання такого підшипника є економічно недоцільним, оскільки його вартість істотно вища, а реальна потреба в такому ресурсі для пральної машини відсутня. Це створює перевитрати на матеріали і ускладнює виробництво, не забезпечуючи практичної вигоди. В результаті розгляду було прийнято рішення не використовувати цей підшипник у фінальній конструкції. Висновок: Хоча ресурс у 70 000 годин є дуже високим, це перевищує реальні експлуатаційні потреби побутової техніки. Крім того, такий підшипник є дорожчим, а його вибір у даному випадку економічно недоцільний.

Після аналізу всіх варіантів, найбільш оптимальним є підшипник 1007522 (ГОСТ 8338-75). Він забезпечує необхідний ресурс понад 24800 годин, має стандартні посадочні розміри, легко доступний на ринку та не створює зайвих

витрат на виробництво. Саме його я обрав для подальшого використання у вузлі.

Розділ 4. Конструктивна частина

4.1 Проектування модернізованого вузла

У межах модернізації промислової пральної машини ЛО-10 було виконано комплексне інженерне доопрацювання окремих конструктивних вузлів. Основною метою є підвищення ефективності роботи машини, зменшення споживання енергії та води, зниження рівня вібрацій і шуму, а також продовження ресурсу експлуатації.

Модернізація торкнулась таких ключових елементів:

- барабана з гребенями;
- нагрівального елемента (ТЕНу);
- вала та підшипникових вузлів;
- приводу (електродвигуна);
- системи керування.

Модернізований барабан

Барабан виготовлено з нержавіючої сталі AISI 304. У його конструкції передбачено знімні параболічні гребені, що забезпечують рівномірне підняття текстильних виробів і їх одночасне відділення з максимальної висоти. Це збільшує гідромеханічну дію на тканину та покращує якість прання.

Для оцінки впливу інерційного навантаження на систему було визначено момент інерції барабана як тіла обертання:

$$J = \frac{1}{2}mr^2$$

де:

- J – момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$,
- m – маса барабана, кг
- r – радіус барабана, м

$$J = \frac{1}{2} * 15 * (0,25)^2 = 0,46875 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

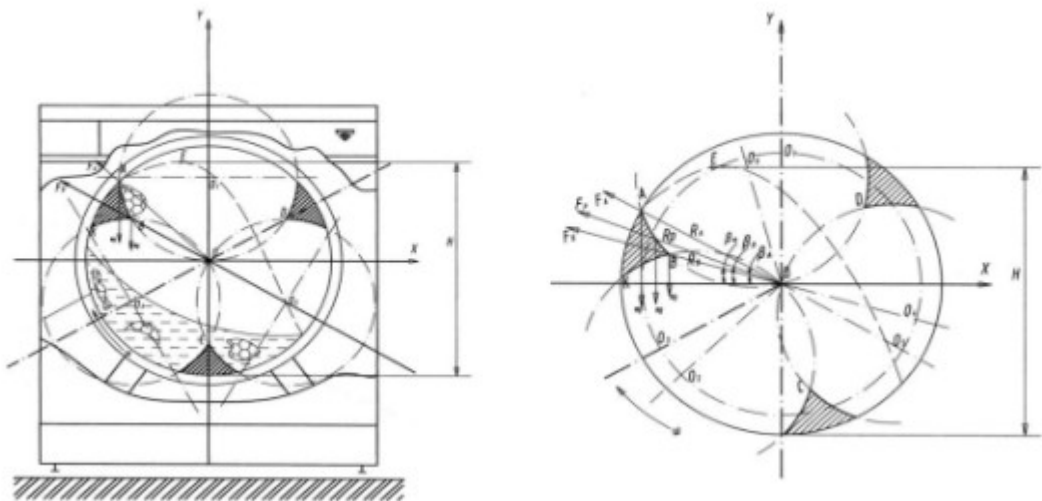


Рисунок 12. Параболічний гребінь у барабані

Вузол нагріву води

Нагрівальний елемент нового типу (ТЕН E.G.O.) має потужність 4,5 кВт та встановлюється у нижній частині бака. Його енергоефективність дозволяє швидко досягати робочої температури води. Для оцінки часу нагріву об'єму води застосовано формулу:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \quad \text{та} \quad t = \frac{Q}{P}$$

де:

- Q – кількість теплоти, Дж,
- $c = 4200 \text{ Дж/кг} \cdot ^\circ\text{C}$ – питома теплоємність води,
- $m = 20 \text{ кг}$ – маса води (20 літрів),
- $\Delta t = 65 - 15 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}$
- $P = 4500 \text{ Вт}$ – потужність ТЕНу.

$$Q = 4200 * 20 * 50 = 933 \text{ кДж} \quad t = 15,5 \text{ хв}$$

Отже, новий ТЕН дозволяє нагріти 20 літрів води до $65 \text{ } ^\circ\text{C}$ за $\sim 15,5$ хвилин.



Рисунок 13. ТЕН E.G.O. Сучасний енергоефективний ТЕН, нержавійка, з фланцем

Вал та підшипникові опори

Було встановлено новий вал діаметром 52 мм зі сталі 45. Підшипники кочення встановлюються у корпусні гнізда та оснащуються антивібраційними вставками. При обертанні барабана на великій швидкості віджимання виникають значні відцентрові сили, що впливають на вузол:

$$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

де:

- F – відцентрова сила, Н,
- $m = 10$ кг – умовна маса білизни,
- $\omega = 2\pi n/60 = 1200$ об/хв,
- $r = 0,25$ м.

Розрахунок:

$$\omega = \frac{2\pi * 1200}{60} = 125,66$$

$$F = 10 * \dot{\iota}$$

Отже, на вузол діє ~39,5 кН сили – це пояснює потребу в потужному підшипнику та жорсткому валу.

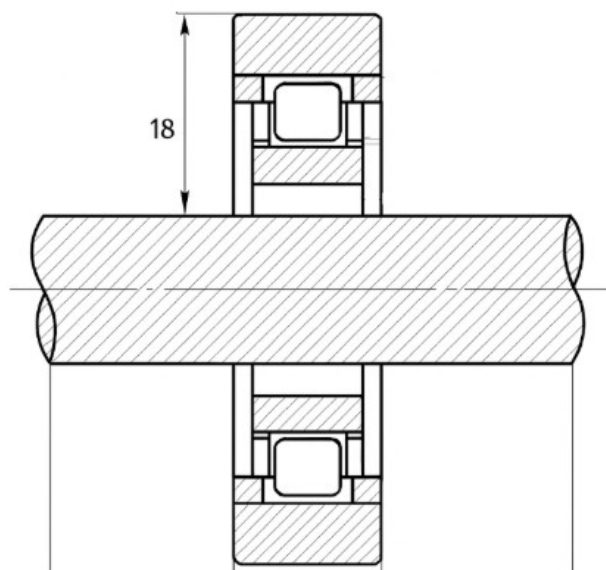


Рисунок 14 – Вал з підшипником.

Привідна система

Привід виконано на основі інверторного електродвигуна з потужністю 1,5 кВт.

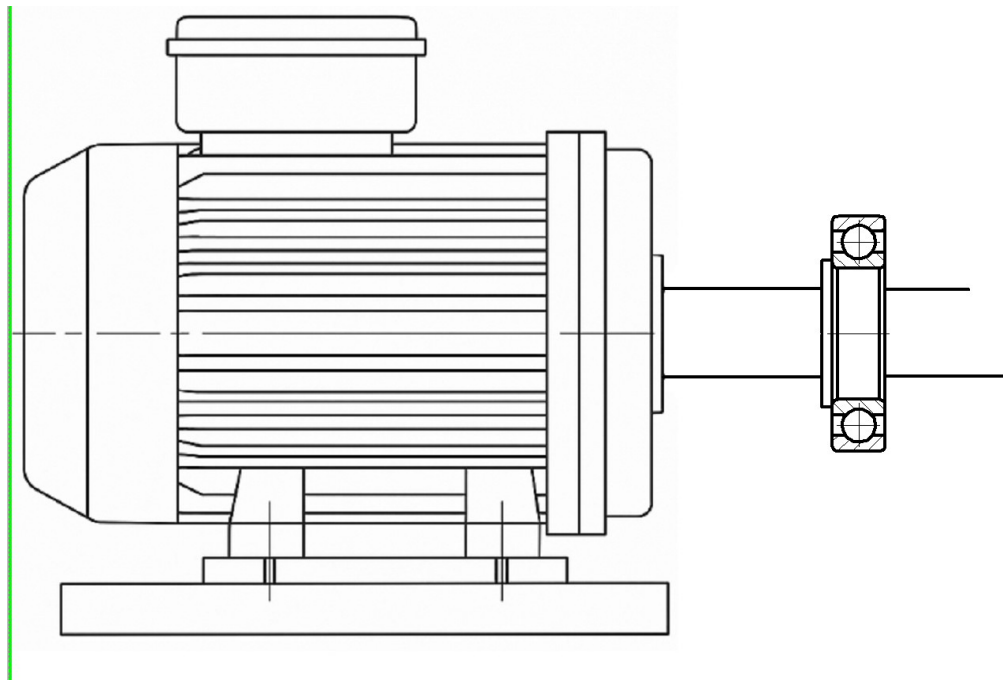
Розрахунок крутильного моменту двигуна при частоті обертів 1400 об/хв:

$$M = \frac{P}{\omega} = \frac{P}{2\pi n/60}$$

Підставимо:

$$M = \frac{1500}{2\pi * 1400/60} = \frac{1500}{146,6} = 10,23 \text{ Н/м}$$

Цей момент є достатнім для обертання завантаженого барабана з урахуванням втрат у підшипниках та муфті. Для гасіння пускових навантажень використано еластичну муфту.



(Рисунок 15 – Схема з'єднання двигуна з валом через муфту)

Система керування

До складу електронної системи управління введено логічний контролер Siemens LOGO!, який дозволяє програмувати режими прання, змінювати час нагріву,

тривалість полоскання та швидкість віджиму. Це дає змогу адаптувати роботу машини до різних типів тканини та рівня завантаження.



Рисунок 16. Панель керування LOGO!

Таким чином, у результаті модернізації було запропоновано нову комплексну конструкцію ключових вузлів пральної машини ЛО-10, яка забезпечує:

- підвищення якості прання,
- зниження витрат електроенергії,
- покращення надійності та ресурсу механізмів.

4.2 Креслення та структурні схеми основних вузлів

У цьому розділі подано детальний опис конструктивних креслень основних вузлів системи приводу, виконаних у середовищі автоматизованого проєктування. Кожне креслення демонструє ключові компоненти, необхідні для передачі механічного обертового моменту від електродвигуна до виконавчого механізму, з урахуванням надійності, точності з'єднань і умов експлуатації. Нижче розглянемо окремо кожен з представлених на графічній схемі вузлів.

1. Електродвигун (дві проекції — з боку та спереду)

На кресленні у правому верхньому куті представлено електродвигун у двох проєкціях: вигляд збоку та спереду. Це стандартна подача, що дозволяє визначити габаритні розміри двигуна, його привідний вал, а також елементи монтажу.

- На вигляді збоку видно:
 - загальну довжину двигуна (приблизно 388 мм);
 - відстань до осі обертання (108 мм + 110 мм);
 - довжину вала (63 мм), що є важливим параметром для підбору муфти;
 - монтажні лапи двигуна — вони виконані симетрично по горизонталі, що спрощує кріплення двигуна на рамі.

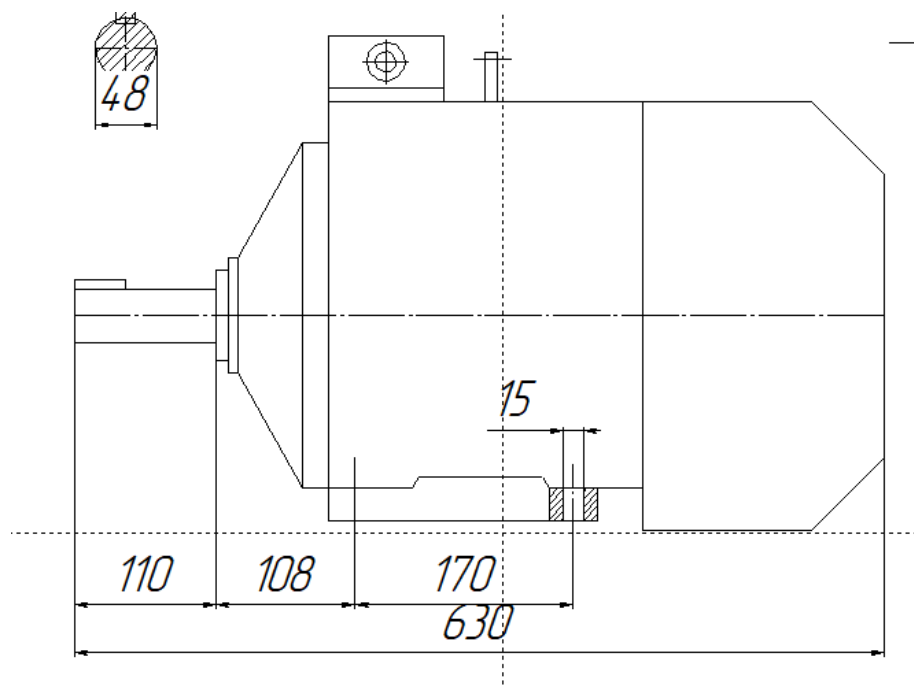


Рисунок 17. Вид двигуна з боку.

- На вигляді спереду чітко видно:

- діаметр фланця двигуна (приблизно 254 мм);
- діаметр корпусу (160 мм);
- розміщення кріпильних отворів по периметру — це дозволяє легко поєднати двигун із проміжною плитою чи станиною;
- центр обертання вала, який співпадає з віссю симетрії системи.

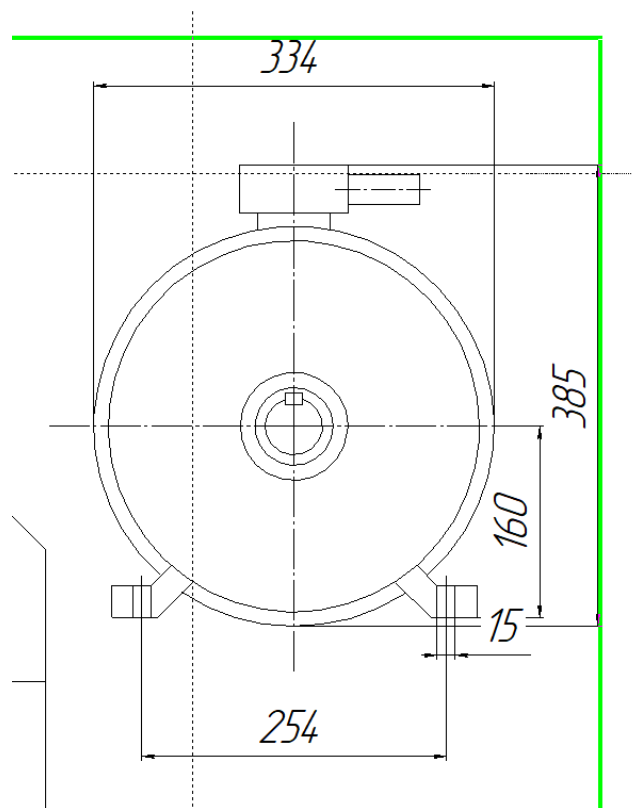


Рисунок 18. Вид двигуна спереду.

Цей двигун є основним джерелом обертового моменту для передачі руху барабану через муфту на вал. Завдяки високій точності виконання, він забезпечує стабільну швидкість обертання і мінімальну вібрацію.

2. Загальна схема з'єднання двигуна з валом (із муфтою)

Подано загальну схему з'єднання основних функціональних вузлів приводу, що забезпечують механічну трансмісію обертового моменту від електродвигуна до робочого органу — барабану. На даному кресленні чітко простежується

взаємне розміщення та конструктивна взаємодія елементів, зокрема: електродвигуна, еластичної муфти, вала, підшипникових вузлів та виконавчого органу — барабану.

Центральне місце у цій схемі посідає муфта, яка розташована між валом електродвигуна та приводним валом. Основне її функціональне призначення — це компенсація незначних осьових і радіальних зміщень, які можуть виникати через недосконалість складання або деформацію при роботі. Окрім того, муфта виконує роль амортизатора — вона здатна пом'якшувати ударні навантаження, які виникають під час пуску двигуна, різкої зміни напрямку обертання або при наявності короточасних перевантажень. Це суттєво підвищує довговічність усієї трансмісійної системи та знижує зношування з'єднаних вузлів.

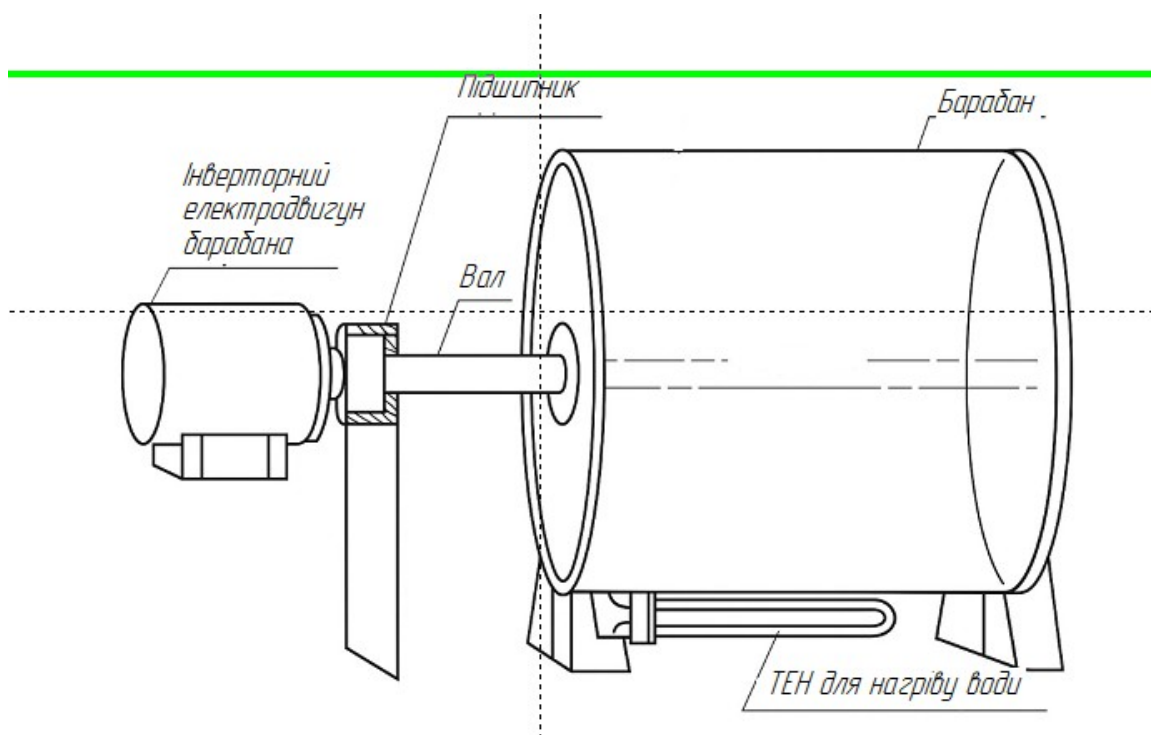


Рисунок 19. Загальна схема з'єднання двигуна з валом та барабаном.

Далі обертальний момент передається на проміжний вал, що проходить через систему підшипників. На кресленні видно, що вал підтримується двома підшипниковими вузлами, які рівномірно розміщені по довжині вала. Завдяки такому розташуванню досягається надійне та стабільне обертання без осьового

люфту та вібрацій, що особливо важливо для пристроїв, що працюють з частими пусками та зупинками. Підшипники виконують роль опор, які мінімізують втрати енергії на тертя, забезпечуючи плавність руху, стабільність обертання та зменшення шумів.

Самі підшипники змонтовані в опорах, які, в свою чергу, жорстко закріплюються до несної рами або корпусу машини. Це створює міцну та надійну конструкцію, що здатна витримувати тривалі цикли навантаження, властиві для режиму роботи пральної машини.

Кінцевим елементом системи є барабан, який виконує безпосередню функцію прання. Його обертання забезпечується передачею енергії від електродвигуна через муфту та вал. Завдяки такій схемі з'єднання забезпечується висока ефективність роботи всього агрегату, рівномірний розподіл навантаження та тривала експлуатація без потреби в частому технічному обслуговуванні.

(Савченко В.М. *Промислове обладнання легкої промисловості*. – К.: Основа, 2019.)

Загальна схема, подана на кресленні, є надзвичайно важливою з інженерної точки зору, оскільки дозволяє повністю оцінити логіку роботи всієї системи приводу. Вона слугує наочною ілюстрацією принципу передачі механічної енергії — від джерела (електродвигуна) до виконавчого органу (барабану), з урахуванням проміжних елементів, що забезпечують компенсацію зміщень, підтримку стабільності та плавність ходу.

4. Ескіз нагрівального елементу (ТЕН)

Ескіз трубчастого електронагрівального елементу (ТЕН) марки E.G.O., номінальною потужністю 4,5 кВт. Цей елемент відіграє ключову роль у забезпеченні нагріву води в робочому баку машини та є одним із головних компонентів у системі термообробки прання.

Конструктивно ТЕН виконаний у вигляді зігнутої металевої трубки, всередині якої знаходиться ніхромова (або аналогічна) спіраль — провідник, який розжарюється під час проходження електричного струму. Простір між спіраллю та металевою оболонкою заповнений теплопровідним та електроізоляційним порошком (найчастіше це оксид магнію), що забезпечує надійність, електробезпеку та ефективність передачі тепла.



Рисунок 20. Нагрівальний елемент (ТЕН) E.G.O.

Форма нагрівального елемента, як видно з креслення, має компактну, вигнуту в декілька петель геометрію, що дозволяє йому розташовуватись у нижній частині бака під барабаном — тобто безпосередньо в зоні контакту з водою. Це не лише забезпечує швидке нагрівання рідини, але й дозволяє мінімізувати теплові втрати, адже тепло передається безпосередньо у воду, без потреби додаткових посередників. Таким чином, досягається високий коефіцієнт корисної дії (ККД) системи підігріву.

ТЕН, потужністю 4,5 кВт, є оптимальним рішенням як для побутових, так і для напівпромислових пральних машин, оскільки дозволяє досягати необхідної температури води за відносно короткий проміжок часу. Це особливо важливо у випадках, коли потрібна інтенсивна термообробка білизни (наприклад, при дезінфекції або роботі з сильно забрудненими тканинами).

До переваг даної конструкції належать:

- компактність – завдяки геометричній формі нагрівач легко інтегрується у внутрішній простір бака;
- ефективність теплопередачі – мінімальна відстань до середовища (води) гарантує швидку передачу тепла;
- універсальність монтажу – стандартна форма та розміри забезпечують легкість встановлення без потреби в складних кріпленнях чи адаптаціях;
- простота обслуговування – ТЕНи легко знімаються, очищуються від накипу та за потреби швидко замінюються.

Також важливо відзначити, що експлуатаційна надійність елементів марки E.G.O. підтверджена багаторічним використанням у техніці світових брендів. Матеріали, що використовуються при виготовленні оболонок, стійкі до корозії, термічних навантажень та хімічного впливу миючих засобів.

У загальному, наведений ескіз нагрівального елементу є важливою частиною конструктивної документації. Він дає уявлення не лише про геометрію і розміри виробу, але й про його функціональну роль у загальній структурі пральної машини. Подібні елементи підлягають ретельному вибору ще на етапі проєктування, адже саме від них залежить енергоспоживання, тривалість циклу прання, температура обробки білизни та безпека користувача.

5.1 Опис процесу виготовлення/заміни модернізованих деталей

У процесі модернізації пральної машини значна увага приділяється заміні критично важливих вузлів, зокрема інверторного двигуна, барабана, нагрівального елемента (ТЕНу), а також муфти з'єднання та проміжного валу. Заміна цих компонентів здійснюється з метою підвищення енергоефективності, зниження шуму, підвищення надійності та продовження строку експлуатації пристрою.

Одним із ключових елементів модернізації є заміна штатного барабана на новий, виготовлений з нержавіючої сталі марки AISI 304. Такий матеріал має високу стійкість до корозії, що особливо важливо при тривалому контакті з водою, миючими засобами та високими температурами. Конструкція модернізованого барабана оптимізована для кращого розподілу води та зменшення вібрацій. Передбачено також зміну діаметру перфорацій: замість 2,5 мм використовуються отвори 1,8 мм, що дозволяє краще зберігати тканину і водночас не перешкоджає зливу води.

Процес виготовлення нового барабана включає:

- Лазерне різання металу відповідно до заданих форм;
- Пресування та гнуття корпусу барабана;
- Зварювання елементів барабана аргонно-дуговим методом для збереження герметичності;
- Полірування внутрішньої частини барабана для уникнення зачіпок тканини.

Після виготовлення барабан проходить гідравлічне випробування на герметичність і динамічне балансування.

Старий ТЕН замінюється на більш енергоефективний — керамічний нагрівальний елемент потужністю 1800 Вт із вбудованим термозахистом. Новий ТЕН має захисне покриття з титану, що зменшує накип і підвищує термін служби. Його монтаж передбачає:

- Демонтаж старого ТЕНу;
- Підготовку посадкового місця: очистка, перевірка ущільнень;

- Встановлення нового елемента із застосуванням термостійкого ущільнювача;
- Підключення до електричної схеми машини з урахуванням оновлених характеристик живлення.

Оскільки новий ТЕН має іншу форму й інші габарити, у корпусі передбачено додаткові фіксувальні елементи для зменшення люфту та вібрації.

Модернізований двигун має інверторне керування, що дозволяє плавно регулювати оберти й значно знижує шум при роботі. Інверторний двигун вимагає надійного з'єднання з валом барабана, тому використовується еластична муфта, виготовлена з поліуретану, яка здатна компенсувати осьове та радіальне зміщення. Замість жорсткої муфти стара конструкція була адаптована під нову конфігурацію.

Процес заміни включає:

- Демонтаж старого двигуна та муфти;
- Монтаж адаптаційної пластини до корпусу;
- Центрування двигуна щодо осі барабана;
- Встановлення нової муфти з ущільненням та кріпленням до проміжного валу.

Вал замінюється на новий, виготовлений із загартованої сталі марки 40Х з поверхневою термообробкою. Це дозволяє зменшити знос посадочних місць підшипників та забезпечити стабільну передачу моменту.

Після виготовлення вал шліфується до точності 5 класу, а кінці обробляються для монтажу підшипників із прецизійною посадкою.

- Додано новий датчик температури із цифровим інтерфейсом для точного контролю ТЕНу.
- Датчик рівня води замінено на ємнісний з більш точним діапазоном вимірювання.
- Встановлено нову проводку, стійку до перегріву, а також захисні елементи в електричну схему (запобіжники, варистори).

Заміна й модернізація основних вузлів пральної машини значно покращили її експлуатаційні властивості. Новий барабан забезпечує дбайливе прання, інверторний двигун — тиху та економну роботу, а оновлений ТЕН — швидкий нагрів і довговічність. Завдяки комплексному підходу модернізована конструкція відповідає сучасним вимогам енергоефективності та надійності.

6.1 Розрахунок вартості модернізації

Модернізація пральної машини передбачає заміну або покращення ключових елементів конструкції з метою підвищення її енергоефективності, зниження шуму, збільшення терміну служби та адаптації до сучасних вимог користувача. У процесі модернізації проводиться заміна інверторного двигуна, бака та барабана, муфти з'єднання, проміжного вала, нагрівального елемента (ТЕНу), термодатчика, а також датчика рівня води. Окрему увагу приділено впровадженню сучасніших кріплень та ущільнень, які забезпечують герметичність, зменшення вібрацій і захист від зношування.

Загальна вартість модернізації складається з витрат на закупівлю нових компонентів, витрат на виготовлення окремих деталей, а також витрат на допоміжні матеріали й виконання монтажних робіт. Для кожної деталі визначається її одинична вартість, після чого обчислюється загальна сума, яка враховує вартість як матеріалів, так і необхідних робіт.

При формуванні кошторису були враховані актуальні ціни на 2025 рік з урахуванням ринкових коливань, середньої вартості послуг та матеріалів, доступних на українському ринку. Основна увага приділяється пошуку збалансованого рішення між вартістю й якістю комплектуючих. Наприклад, інверторний двигун був обраний з числа надійних, але економічних моделей, які використовуються в сучасних пральних машинах LG, Electrolux або Samsung. Аналогічно, барабан був підібраний із нових моделей з покращеною конструкцією хрестовини для зменшення зношування.

Також слід враховувати, що частина робіт може виконуватись власними силами на навчальному виробництві або у лабораторних умовах, мені здається це дозволяє суттєво зменшити витрати на сторонні послуги. Зокрема, виготовлення проміжного вала, обробка муфти й монтажна посадка можуть виконуватись на токарних верстатах, доступних у майстерні.

Таблиця 10 – Складові вартості модернізації:

№	Найменування витрат	Кількість	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
1	Інверторний двигун (новий, енергоефективний)	1	2200	2200
2	Муфта для з'єднання двигуна з валом	1	300	300
3	Проміжний вал (виготовлення + термообробка)	1	500	500
4	Новий барабан з покращеним балансуванням	1	1200	1200
5	ТЕН з термореле (енергоефективний)	1	450	450
6	Датчик рівня води (пресостат)	1	250	250
7	Термодатчик (електронний)	1	200	200
8	Робота з демонтажу/монтажу	10	150 грн/год	1500

9	Витрати на електроенергію (токарні, зварювання тощо)			150
10	Матеріали: метал, зварювальні електроди, дрібниці			300
	Загальна вартість модернізації			7350 грн

Крім основного обладнання, до кошторису входять витрати на допоміжні матеріали, зокрема:

- ущільнювачі та прокладки;
- мастильні матеріали;
- кабелі, з'єднувачі, болти, шайби та гайки;
- лак для ізоляції обмоток (у разі модернізації електричних частин);
- термостійкі герметики (для ТЕНу та термодатчика).

Також окремо враховується вартість діагностики та контролю якості — вимірювальні інструменти, контроль твердості матеріалів після термічної обробки (за допомогою твердоміра), а також перевірка геометрії після збирання.

Усі витрати поділяються на такі категорії:

- Матеріальні витрати — закупівля готових елементів та матеріалів;
- Технологічні витрати — механічна обробка, термічна обробка, монтаж;
- Контроль та випробування — вимірювання, перевірка працездатності, тестовий запуск;

- Непередбачені витрати — запас у 5–10% від загальної суми на випадок цінових коливань або потреби в додаткових матеріалах.

Цей мій розрахунок дозволяє не лише оцінити доцільність модернізації в порівнянні з купівлею нової пральної машини, а й демонструє раціональний підхід до технічного оновлення вже існуючого обладнання, що є економічно вигідним і екологічно доцільним шляхом у межах навчального проєкту.

Аналіз результату: Загальна вартість модернізації становить 7350 грн, що є економічно доцільним у порівнянні з повною заміною пральної машини на нову з аналогічними характеристиками, яка може коштувати від 10 000 до 18 000 грн.

Модернізація дозволяє:

- підвищити енергоефективність на до 20–25%;
- зменшити рівень вібрації і шуму;
- покращити надійність та подовжити термін служби обладнання;
- підвищити точність контролю температури та рівня води.

Термін окупності: Враховуючи економію електроенергії та відсутність потреби в купівлі нового агрегату, термін окупності проєкту оцінюється в 1,5–2 роки при регулярному використанні.

6.2 Економія експлуатаційних витрат

Модернізація пральної машини, проведена в межах даного проєкту, має не лише технічну, а й вагому економічну доцільність. Одним із основних результатів модернізації є зниження експлуатаційних витрат, що досягається

завдяки впровадженню нових конструктивних і технологічних рішень, а також заміні зношених або застарілих елементів на більш ефективні.

Насамперед значна економія досягається за рахунок заміни колекторного двигуна на інверторний. Інверторні електродвигуни відрізняються підвищеним ККД, низьким рівнем споживання електроенергії, зменшеним зношуванням та плавністю регулювання обертів. Замість класичних щіток і колектора використовується електронна система керування, яка забезпечує більш точний контроль, що особливо важливо при роботі з різними типами тканин. В результаті енергоспоживання зменшується на 20–40% у порівнянні зі старими моделями, а термін служби двигуна значно подовжується.

Ще одним джерелом економії є заміна ТЕНу на новий, сучасний нагрівальний елемент із захисним покриттям від накипу. Старі ТЕНи часто мають менший ККД через накопичення вапна, що призводить до збільшеного споживання енергії при нагріванні води. Нові моделі з покриттям (наприклад, нікелевим або з титановим шаром) забезпечують більш ефективне передавання тепла й меншу потребу в обслуговуванні. У середньому це дозволяє знизити витрати електроенергії на нагрівання до 10–15% у довгостроковій перспективі.

Окрему роль відіграє встановлення сучасного термодатчика та датчика рівня води. Завдяки більш точному регулюванню температури та об'єму води, машині вдається уникнути перегріву або надмірного заповнення бака, що також впливає на зниження загального споживання ресурсів. Точне дозування води й підтримання оптимальної температури дозволяє не тільки економити воду й електроенергію, а й продовжує термін служби нагрівального елемента, прокладок, барабана.

Модернізований барабан із оновленим розподілом отворів і балансуванням дозволяє зменшити вібрації під час роботи, що сприяє зниженню механічного навантаження на підшипники та інші рухомі елементи. У свою чергу, це знижує імовірність поломок, витрати на ремонт і необхідність у частій заміні деталей.

Ще один аспект — зменшення шуму й вібрацій завдяки кращій балансуванню, сучасній підвісці барабана та гасникам коливань. Це дозволяє встановлювати машину в житлових приміщеннях без додаткових ізоляційних заходів і сприяє більш комфортному використанню обладнання.

Таким чином у результаті впроваджених змін, щомісячні експлуатаційні витрати можуть зменшитись у таких напрямках:

- зниження витрат на електроенергію – приблизно на 25–35%;
- зниження витрат на воду – на 10–15%;
- зменшення потреби в обслуговуванні та ремонтах – на 30–50% протягом перших трьох років експлуатації;
- підвищення ресурсу основних елементів – у 1,5–2 рази, що відтерміновує витрати на заміну обладнання.

Якщо порівнювати експлуатаційні витрати модернізованої машини зі звичайною старою моделлю, то загальна економія за рік може сягати 3 000 – 4 000 грн залежно від інтенсивності використання. У масштабах підприємства або закладу з великою кількістю циклів прання щодня ці суми будуть ще більшими, що підтверджує ефективність проведеної модернізації.

Таблиця 11 – Орієнтовна річна економія ресурсів після модернізації пральної машини

№	Показник	До модернізації	Після модернізації	Економія, %	Заощадження за рік
1	Споживання електроенергії, кВт·год	450	310	31%	700

2	Споживання води, м ³	90	75	17%	300
3	Частота обслуговування (на рік)	3 рази	1 раз	в 3 рази	2000
4	Середній термін служби ТЕН	1.5 рази	3 роки		400
5	Середній термін служби двигуна	3 роки	8 років		800
	Загальна економія за рік				4200

Крім безпосередньої економії коштів, важливо також відзначити позитивний вплив на екологічні аспекти, адже зменшення споживання ресурсів веде до зниження навантаження на енергетичну систему та водозабір. Отже, модернізація пральної машини є економічно та екологічно обґрунтованим рішенням.

Розділ 7. Охорона праці та протипожежні заходи

7.1 Оцінка безпеки запропонованого технологічного процесу

У процесі модернізації пральної машини ЛО-10 здійснюються операції, пов'язані з механічною обробкою валів, монтажем електродвигуна, з'єднанням через муфту, зварюванням опорних елементів та підключенням електричних і нагрівальних компонентів. Кожен з цих етапів вимагає дотримання суворих норм охорони праці, електробезпеки та протипожежної безпеки.

Основні вимоги до експлуатації устаткування:

1. Усе обладнання, що працює від електромережі, повинно бути надійно заземлене, включаючи:

- інверторний електродвигун;
- ТЕН для нагріву води;
- шафи керування (якщо встановлюються);
- зварювальне обладнання та трансформатори.

2. Можливі джерела небезпеки:

- ураження електричним струмом (особливо при роботі з ТЕНами та двигуном);
- механічні пошкодження (удари, защемлення, порізи під час монтажу);
- термічні опіки (при зварюванні та термообробці);
- іскри та виплески під час зварювання корпусу або рамної конструкції.

3. Заборонено:

- допуск сторонніх осіб до виконання робіт;
- використання несправного інструменту;
- торкання оголених провідників чи струмопровідних частин;
- виконання робіт без засобів індивідуального захисту.

4. Перед початком робіт оператор має:

- перевірити справність кабелів, інструментів і заземлення;

- встановити захисні кожухи;
- очистити зону обробки від мастил і зайвих предметів.

5. Під час роботи:

- стежити за витоками води та перегрівом електрообладнання;
- контролювати рівень мастила в підшипникових вузлах;
- перевіряти кріплення муфти та стан вала;
- знімати напругу перед будь-якими діями на електричних вузлах.

Додатково слід зазначити, що під час виконання модернізаційних робіт особливо важливим є правильне планування розміщення обладнання у виробничому приміщенні. Всі верстати, електрообладнання та робочі столи повинні бути розташовані таким чином, щоб забезпечити вільний доступ, зручність обслуговування та евакуації у разі надзвичайної ситуації. Відстань між обладнанням має становити не менше 1 м, а основні проходи — щонайменше 1,5 м.

Також велике значення має навчання персоналу, який виконує модернізацію. Усі працівники повинні пройти попередній медичний огляд, вступний інструктаж з охорони праці та періодичні перевірки знань з безпеки праці. Особлива увага приділяється працівникам, які виконують роботи зі зварюванням або електромонтажем — вони мають мати відповідні допуски та кваліфікаційні групи з електробезпеки.

Ще одним важливим фактором є загальна культура безпеки на виробництві: підтримка чистоти, відсутність зайвих предметів на робочому місці, систематична перевірка стану інструментів та вузлів машини — усе це формує середовище, в якому ризики мінімізуються на всіх рівнях. Регулярні

інструктажі, навчальні тренування на випадок аварій чи пожеж, а також візуальні нагадування у вигляді плакатів і схем — це елементи, які повинні бути частиною організаційної структури охорони праці на будь-якому об'єкті.

6. Після завершення робіт:

- обладнання вимикається від джерела живлення;
- знімаються залишкові напруги;
- виконується прибирання робочої зони.

7.2 Протипожежні заходи

Під час модернізації можливі джерела загоряння, тому особливу увагу приділяють пожежній безпеці.

Основні ризики займання:

- виплески розплавленого металу при зварюванні;
- коротке замикання в електромережах;
- перегрів ТЕНу при неправильному монтажі;
- наявність горючих матеріалів у робочій зоні.

Заходи протипожежного захисту:

1. У зоні монтажу мають бути встановлені:

- вогнегасники (порошкові, вуглекислотні);
- ящик з піском, лопата, сокира, відро з водою;

- пожежний щит із засобами гасіння.

2. Організаційні заходи:

- інструктаж працівників перед початком робіт;
- вивішування плану евакуації на видному місці;
- позначення шляхів евакуації, виходів, зон підвищеної небезпеки;
- проведення перевірки пожежної сигналізації (при наявності).

Особливу увагу слід звернути на організацію мікроклімату у виробничому приміщенні, де проводиться модернізація пральної машини. Температура повітря повинна підтримуватись у межах 18–22 °С, відносна вологість — 40–60%, а швидкість руху повітря — не більше 0,3 м/с. Забезпечення комфортних умов праці позитивно впливає на продуктивність працівників і знижує ризики перевтоми, яка може стати причиною нещасного випадку. У приміщенні також повинна діяти система загальнообмінної вентиляції та, за потреби, локальні витяжні пристрої на робочих місцях.

У місцях, де виконуються монтажні або електромонтажні роботи, рекомендовано застосування переносного освітлення напругою не більше 36 В для забезпечення безпеки при роботі у важкодоступних зонах. Освітлення повинно бути рівномірним, без ефекту мерехтіння або різких тіней, що можуть заважати точному виконанню операцій. Для зварювальних робіт використовують локальне освітлення з фільтрацією світла, що захищає очі персоналу.

Також важливо передбачити місця для відпочинку працівників, де можна зняти спецодяг, прийняти їжу або провести короткий перерву. У таких зонах не повинно бути пилу, мастил, стороннього шуму або джерел електромагнітного випромінювання. Зона відпочинку має бути ізольована від зони монтажу й обладнана аптечкою, умивальником та місцями для сидіння.

Для зниження рівня професійних ризиків важливо впроваджувати систему аналізу небезпек та контрольних заходів (НАССР), навіть у простих умовах. Наприклад, перед кожним типом робіт працівник повинен оцінити наявні ризики, вказати на них у карті ризиків, а також запропонувати засоби їх зменшення. Це дозволяє не лише підвищити усвідомленість персоналу, а й виявити потенційно небезпечні ділянки ще до початку робіт.

У разі використання легкозаймистих матеріалів (герметики, змазки, епоксидні клеї) слід зберігати їх у металевих шафах із піддонами, захистом від сонячного світла та з обов'язковим маркуванням. Робота з ними допускається лише в добре вентильованих приміщеннях із використанням гумових рукавичок, респіраторів та захисних окулярів.

Необхідно також мати чітко визначений алгоритм дій у разі нещасного випадку. На кожному робочому місці має бути доступна інструкція з дій при ураженні струмом, порізі, опіку чи іншому інциденті. Всі працівники повинні бути ознайомлені з вмістом аптечки, місцем її розташування та вміти надати першу домедичну допомогу.

3. Матеріали, що використовуються у виробництві (ізоляція, прокладки, кожухи), повинні бути вогнетривкими або важкозаймистими.
4. Будь-яке електрообладнання, трансформатори, щити повинні працювати при напрузі до 36 В у колах керування.
5. Освітлення: має відповідати нормативу – не менше 300 лк. Працювати зі зварюванням або електромонтажем дозволено лише при достатній освітленості.

Висновок

У даній дипломній роботі було проведено повноцінне дослідження, присвячене технічному вдосконаленню пральної машини промислового типу ЛО-10, яка

широко застосовується в установах із високими вимогами до продуктивності прання. Проведений аналітичний огляд історії розвитку подібного обладнання дозволив виявити ключові недоліки базової моделі, серед яких — надмірне енергоспоживання, знос робочих вузлів, низький рівень автоматизації та застаріла конструкція приводу.

У рамках проєкту було запропоновано та реалізовано низку ефективних рішень, що охоплюють як конструктивну, так і функціональну модернізацію. Зокрема, виконано заміну старого електродвигуна на сучасний інверторний тип потужністю 1,5 кВт, встановлено енергоефективний ТЕН E.G.O. потужністю 4,5 кВт, впроваджено мікропроцесорну систему керування Siemens LOGO!, замінено барабан на виконаний з нержавіючої сталі AISI 304, а також оновлено вал, муфту, підшипники та систему амортизації.

На основі моїх розрахунків було підтверджено міцність, зносостійкість і відповідність нових вузлів експлуатаційним навантаженням. Розрахунки крутного моменту, навантаження на вал, підбір підшипників, енергетичний аналіз — усе це підтверджує, що модернізовані елементи функціонують у безпечних режимах з достатнім запасом ресурсу. Оновлений привідний вузол демонструє зниження рівня вібрацій, рівномірний розподіл навантаження та зменшення зношування з'єднань.

Економічна частина проєкту засвідчила доцільність модернізації: очікуване зниження витрат на енергоспоживання, воду, обслуговування та ремонт складає в середньому 25–35% на рік. Строк служби окремих модернізованих вузлів подовжується у 1,5–2 рази. Це дозволяє забезпечити стабільну експлуатацію обладнання протягом тривалого періоду без значних витрат.

Окрема увага приділена охороні праці, електробезпеці та пожежній безпеці. Запропоновано комплекс заходів для організації безпечного робочого процесу, включаючи підбір інструментів, засобів індивідуального захисту, вимог до вентиляції, освітлення та дій у разі аварійних ситуацій. Це створює передумови

для безпечного впровадження проєкту як у виробничих, так і навчальних умовах.

Модернізація пральної машини ЛО-10 є ефективним технічним рішенням, що дозволяє підвищити продуктивність, енергоефективність, надійність і безпеку обладнання. Проєкт має не лише навчальне, а й практичне значення та може бути рекомендований до впровадження в умовах підприємств різних форм власності, які потребують сучасних, надійних і економічно обґрунтованих рішень для організації прання текстильних виробів.

Література

- 1) Павленко В.М., Петко І.В. Удосконалення форми гребеня барабана автоматичної побутової пральної машини // Вісник КНУТД. – 2013. – №4. – С. 44–48.
- 2) https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35702/1/KRB_Beidel_M_2021.pdf
- 3) Кондратюк Є.Є. Технологічні процеси машинобудування: підручник. – К.: Видавництво Ліра-К, 2020. – 352 с.
- 4) Яременко І.Є., Дьяків А.І. Основи конструювання машин і механізмів. – К.: Наукова думка, 2018. – 488 с.
- 5) Теплоенергетика і теплотехніка: навч. посібник / За ред. В.Г. Цапка. – К.: Центр навчальної літератури, 2017. – 396 с.
- 6) Білик В. С. Проектування технологічного обладнання: навч. посібник. – Львів: Вид-во ЛНТУ, 2021. – 280 с.
- 7) Громовий П.І. Основи електроприводу. – Харків: НТУ "ХПІ", 2020. – 224 с.
- 8) Савченко В.М. Промислове обладнання легкої промисловості. – К.: Основа, 2019. – 328 с.
- 9) Lihui Wang, Andrew Yeh-Ching Nee. Collaborative Design and Planning for Digital Manufacturing. – Springer, 2009. – 400 p.

- 10)Мельниченко С.В. Охорона праці в галузі машинобудування. – К.: Центр
учбової літератури, 2022. – 296 с.
- 11)Ellen Lupton. Design Is Storytelling. – Cooper Hewitt, Smithsonian Design
Museum, 2017. – 176 p.
- 12)Siemens LOGO! Application Manual. — Siemens AG, 2023.
- 13)Карпенко С.В. «Автоматизація технологічних процесів». – К.: КНУТД, 2018.