

# **Херсонський національний технічний університет**

(повне найменування вищого навчального закладу)

## **Інженерія та транспорт**

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

## **Автоматизація, робототехніка і мехатроніки**

(повна назва кафедри (предметної, випускної комісії))

# **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**бакалавра**

на тему: Проєкт комплексної модернізації промислової пральної машини  
Л-15-221

## **Пояснювальна записка**

Виконав: студент 4 курсу, групи 4М

Спеціальності 133 – Галузеве

машинобудування

(номер і назва спеціальності)

Січний І.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник: Осадчук В. С.

(прізвище та ініціали)

Київ – 2025

**Херсонський національний технічний університет**

# Завдання

## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Січному Івану Сергійовичу

1. «Проект комплексної модернізації промислової пральної машини Л-15-221»

Керівник проекту (роботи) - Осадчук Василь Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові, наукова ступінь)

Затверджені наказом вищого навчального закладу від ?? січня 2025 року  
№ 17-с.

2. Вихідні дані до роботи: Технічна документація на пральну машину Л-15-221, споживання електроенергії 5.5 кв/год. споживання води- 200 л. за цикл, тривалість повного циклу прання, 60 хв. кількість програм 2.

3.Зміст роботи: У роботі передбачено модернізацію пральної машини Л-15-221: аналіз її технічного стану, недоліків, сучасних аналогів і обґрунтування потреби оновлення. Далі описано технічні цілі модернізації, варіанти оновлення вузлів і вибір оптимального рішення. У конструкторському розділі подано автоматизовану систему керування, питання безпеки та вибір матеріалів. Завершується робота техніко-економічним обґрунтуванням, порівнянням з новим обладнанням та оцінкою ефективності модернізації.

## Календарний план

| №  | Назва етапів дипломної роботи                                      | Срок виконання етапів роботи |            |
|----|--------------------------------------------------------------------|------------------------------|------------|
| 1  | Вибір теми, отримання завдання, формування мети та завдань         | 05.02.2025                   | 11.02.2025 |
| 2  | Збір літератури, джерел, аналіз техдокументації                    | 12.02.2025                   | 18.02.2025 |
| 3  | Написання Розділу 1: аналітичний огляд об'єкта                     | 19.02.2025                   | 04.03.2025 |
| 4  | Написання Розділу 2: технічне обґрунтування модернізації           | 05.03.2025                   | 25.03.2025 |
| 5  | Написання Розділу 3: конструкторська розробка                      | 26.03.2025                   | 08.04.2025 |
| 6  | Написання Розділу 4: техніко-економічне обґрунтування              | 09.04.2025                   | 22.04.2025 |
| 7  | Формування висновків, списку джерел, оформлення таблиць            | 23.04.2025                   | 29.04.2025 |
| 8  | Перевірка оформлення, редактура                                    | 13.05.2025                   | 15.05.2025 |
| 9  | Перевірка керівником, внесення правок, остаточне оформлення роботи | 17.05.2025                   | 18.05.2025 |
| 10 | Підготовка до захисту                                              | 09.06.2025                   | 10.06.2025 |

## ЗМІСТ

|                                                                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВСТУП.....                                                                                                     | 5  |
| РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБ’ЄКТА МОДЕРНІЗАЦІЇ.....                                                          | 7  |
| 1.1. Технічна характеристика пральної машини Л-15-221.....                                                     | 7  |
| 1.2. Аналіз експлуатаційних показників і виявлених недоліків.....                                              | 10 |
| 1.3. Огляд сучасних аналогів і тенденцій у промисловому пральному обладнанні.....                              | 12 |
| 1.4. Обґрунтування необхідності модернізації.....                                                              | 16 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ.....                                                             | 19 |
| 2.1. Визначення цілей модернізації (енергозбереження, продуктивність, автоматизація).....                      | 19 |
| 2.2. Розробка варіантів модернізації основних вузлів.....                                                      | 22 |
| 2.3. Вибір оптимального варіанта технічного рішення.....                                                       | 25 |
| РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА.....                                                                        | 28 |
| 3.1. Елементи автоматизованої системи керування.....                                                           | 28 |
| 3.2. Безпека експлуатації та захист обладнання.....                                                            | 30 |
| 3.3. Вибір матеріалів і компонентів.....                                                                       | 33 |
| РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....                                                                | 37 |
| 4.1. Вартісна оцінка модернізації.....                                                                         | 37 |
| 4.2. Порівняння з придбанням нового обладнання.....                                                            | 40 |
| 4.3. Оцінка економічної ефективності (термін окупності, зниження енерговитрат, підвищення продуктивності)..... | 42 |
| ВИСНОВКИ.....                                                                                                  | 45 |

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... | 47 |
|---------------------------------|----|

## ВСТУП

Сучасні вимоги до якості обслуговування, ефективного використання енергоресурсів та автоматизації технологічних процесів зумовлюють необхідність удосконалення промислового обладнання, зокрема пральних машин, що використовуються у комунальній, медичній, готельній та виробничій сферах. Значна частина промислових пральних установок, які експлуатуються в Україні, була введена в дію ще у 80–90-х роках і морально та технічно застаріла. Це призводить до надмірного споживання електроенергії, води, зниження якості прання та зростання витрат на обслуговування.

Машина Л-15-221 є однією з найбільш поширених моделей старого зразка, яка все ще використовується на багатьох підприємствах. Незважаючи на її надійність, конструкція не відповідає сучасним вимогам до енергоефективності, автоматизації та екологічності. Тому модернізація цієї моделі є доцільним і економічно обґрунтованим кроком для продовження терміну її експлуатації та підвищення технічних і технологічних характеристик.

Метою даної роботи є розробка проєкту комплексної модернізації пральної машини Л-15-221 з урахуванням сучасних технічних рішень та інженерних підходів. У роботі передбачено аналіз технічного стану обладнання, обґрунтування доцільності оновлення окремих вузлів та систем, розробка конструктивних змін, а також оцінка техніко-економічної ефективності запропонованих рішень.

Об'єкт дослідження — промислова пральна машина Л-15-221, яка використовується в підприємствах побутового обслуговування, медичних і готельних закладах для очищення великої кількості текстильних виробів.

Предмет дослідження — технічні та конструктивні рішення щодо модернізації основних вузлів і систем пральної машини Л-15-221 з метою підвищення її енергоефективності, автоматизації процесів, надійності та зменшення експлуатаційних витрат.

У процесі виконання роботи були використані комплексні методи дослідження, зокрема аналіз технічної документації пральної машини Л-15-221, порівняльний аналіз сучасних технічних рішень, інженерні розрахунки елементів конструкції, моделювання модернізованих вузлів за допомогою САПР, а також техніко-економічне обґрунтування ефективності запропонованих змін. Застосування зазначених методів дозволило об'єктивно оцінити доцільність модернізації, вибрати оптимальні конструктивні рішення та прогнозувати результати впровадження оновленого обладнання на практиці.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ОБ'ЄКТА МОДЕРНІЗАЦІЇ

### 1.1. Технічна характеристика пральної машини Л-15-221

Пральна машина Л-15-221 є представником серії промислових барабанних пральних машин періодичної дії, призначених для прання білизни з бавовняних, лляних, синтетичних та змішаних тканин. Вона широко використовується на підприємствах побутового обслуговування, у медичних установах, готелях та санаторіях. Конструктивно машина має горизонтальне розташування барабана та фронтальне завантаження, що забезпечує зручність експлуатації. Номінальне завантаження білизни становить 15 кг у перерахунку на суху тканину, а об'єм барабана — близько 150–160 літрів [10].

Барабан обертається зі швидкістю 30–40 обертів за хвилину під час прання та досягає 300–600 об/хв під час віджимання. Тривалість одного циклу прання становить у середньому від 40 до 60 хвилин залежно від обраної програми. Машина обладнана електронагрівальними елементами (ТЕНами) загальною потужністю до 6 кВт, які відповідають за підігрів води. За цикл прання вона споживає до 200–250 літрів води та близько 4–6 кВт·год електроенергії (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Пральна машина Л-15-221

Система керування у пральній машині Л-15-221 є електромеханічною: базується на використанні реле часу та механічних перемикачів, що обмежує можливості автоматизації та потребує участі оператора у кожному етапі процесу. Конструктивно корпус та бак машини можуть бути виготовлені з нержавіючої сталі або емальованого металу, залежно від модифікації. Габаритні розміри орієнтовно становлять  $1300 \times 850 \times 1000$  мм, а маса без завантаження — близько 450–500 кг.

Незважаючи на загальну надійність і простоту конструкції, пральна машина Л-15-221 значно поступається сучасним моделям за рівнем енергоефективності, витратами води та миючих засобів, а також за ступенем автоматизації. Ці недоліки роблять модернізацію даної моделі доцільною та необхідною умовою її подальшого ефективного використання (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

## Технічні характеристики пральної машини Л-15-221

| Параметр                               | Значення                               |
|----------------------------------------|----------------------------------------|
| Тип машини                             | Промислова, барабанна, періодичної дії |
| Спосіб завантаження                    | Фронтальне                             |
| Місткість (завантаження сухої білизни) | 15 кг                                  |
| Об'єм барабана                         | 150–160 л                              |
| Швидкість обертання барабана (прання)  | 30–40 об/хв                            |
| Швидкість обертання барабана (віджим)  | 300–600 об/хв                          |
| Тривалість повного циклу прання        | 40–60 хв                               |
| Споживання води за цикл                | 200–250 л                              |
| Споживання електроенергії              | 4–6 кВт·год                            |
| Тип керування                          | Електромеханічне (реле, таймери)       |
| Система нагріву                        | ТЕНи, загальна потужність до 6 кВт     |
| Матеріал барабана/бака                 | Нержавіюча сталь або емальована сталь  |
| Габарити                               | $1300 \times 850 \times 1000$ мм       |
| Маса                                   | 450–500 кг                             |

Пральна машина Л-15-221 характеризується простою, надійною конструкцією та достатньою продуктивністю для обслуговування середніх



обсягів білизни на підприємствах побутового обслуговування, у медичних і готельно-рекреаційних закладах. Її барабан має об'єм до 160 літрів і забезпечує завантаження до 15 кг сухої білизни. Машина працює з обертами 30–40 об/хв під час прання і до 600 об/хв при віджиманні. Тривалість одного циклу прання становить приблизно 40–60 хвилин, що відповідає середньому режиму роботи промислового обладнання цього класу.

Попри надійність і простоту обслуговування, машина Л-15-221 має ряд застарілих технічних рішень, зокрема електромеханічну систему керування, значне споживання води (до 250 л за цикл) та електроенергії (до 6 кВт·год). Відсутність сучасної автоматизації ускладнює процес прання, вимагаючи постійної участі оператора. Загальні габарити машини дозволяють інтегрувати її в більшість виробничих приміщень, проте моральне і технічне старіння її компонентів свідчить про необхідність модернізації з метою підвищення ефективності, енергоощадності та зручності експлуатації.

У конструкції машини особливу увагу слід звернути на її універсальність: Л-15-221 здатна обробляти широкий спектр текстильних виробів — від постільної білизни до спецодягу. Завдяки великому об'єму барабана та достатньому рівню механічної дії, вона забезпечує прийнятну якість прання навіть за відсутності сучасних програмних режимів. Водночас жорстке прив'язування до механічних циклів без адаптації до завантаження чи рівня забруднення обмежує гнучкість її використання на підприємствах із високими вимогами до якості обробки тканин [10].

Ще одним важливим аспектом є габаритна сумісність машини зі стандартними пральними відділеннями. Завдяки відносно компактним розмірам і фронтальному завантаженню, вона не потребує спеціального фундаменту чи значних будівельних змін. Це дозволяє легко інтегрувати машину у вже наявну інфраструктуру без значних капітальних витрат. Крім того, вага машини забезпечує достатню стійкість при віджиманні навіть за відсутності складної амортизуючої системи.

Однак відсутність точного контролю температури, оборотів і часу прання негативно впливає на ефективність роботи. У результаті перевитрачаються електроенергія та вода, а також швидше зношуються деталі машини. Відсутність інтелектуального керування та автоматизованих датчиків не дозволяє адаптувати процес до реального стану білизни, що знижує економічність і технологічну актуальність обладнання. Саме тому модернізація Л-15-221 спрямована на подолання цих обмежень та приведення машини у відповідність до сучасних вимог.

## **1.2. Аналіз експлуатаційних показників і виявлених недоліків**

У процесі тривалої експлуатації пральна машина Л-15-221 продемонструвала достатній рівень надійності, однак в умовах сучасних вимог до енергоефективності, автоматизації та якості обслуговування виявляється низка суттєвих недоліків. Вони знижують ефективність її використання на сучасних підприємствах, а також ускладнюють обслуговування персоналу.

Передусім слід зазначити високе споживання електроенергії та води. За цикл прання машина використовує до 250 літрів води та до 6 кВт·год електроенергії, що значно перевищує показники сучасних аналогів. Такий рівень споживання призводить до підвищених експлуатаційних витрат і знижує загальну економічну ефективність функціонування прального відділення. Також слід зауважити, що теплова енергія витрачається нераціонально через обмежені можливості терморегуляції та застарілу конструкцію теплообміну [8].

Ще однією суттєвою проблемою є застаріла система керування, яка базується на електромеханічних реле та таймерах. Вона не забезпечує гнучкості у виборі режимів прання, не дозволяє точно контролювати тривалість фаз циклу, температуру води чи дозування мийних засобів. Крім того, відсутність дисплея або інтерфейсу управління ускладнює роботу оператора, збільшує ймовірність помилок і не відповідає вимогам до сучасної ергономіки обладнання.

З конструктивної точки зору, деякі вузли машини піддаються швидкому зносу - зокрема, підшипниковий вузол, ущільнення барабана, запірні елементи та гумові манжети. Часте обслуговування та заміна цих елементів потребує значних витрат часу і коштів, особливо за умов інтенсивної експлуатації. Через обмежену систему захисту, висока вологість може призводити до коротких замикань електрообладнання, що загрожує безпеці персоналу.

Також варто зазначити, що машина не оснащена системою автоматичного дозування мийних засобів, що призводить до перевитрат хімікатів і зниження якості прання через людський фактор. Прання різних типів тканин потребує ручного налаштування режимів, що уповільнює виробничий процес.

У підсумку, незважаючи на експлуатаційну довговічність пральної машини Л-15-221, її основні показники свідчать про технічне й моральне старіння конструкції. Виявлені недоліки — високе енергоспоживання, застаріле керування, підвищений знос механізмів і низький рівень автоматизації — потребують комплексної модернізації з метою підвищення продуктивності, безпеки та економічної доцільності використання машини в сучасних умовах [4].

Суттєвим обмеженням у роботі машини є відсутність адаптивності до обсягу завантаження. Незалежно від того, чи завантажено 5 кг, чи 15 кг білизни, машина працює за однаковими параметрами, що призводить до необґрунтованого перевитрачання ресурсів. Це не тільки знижує економічну ефективність процесу прання, а й спричиняє додаткове навантаження на механічні вузли. Сучасні системи використовують сенсори маси завантаження для динамічного регулювання об'ємів води, енергії та мийних засобів, чого Л-15-221 забезпечити не може.

Окрім цього, машина не має функцій самодіагностики та попередження про збої в роботі. Це унеможливорює своєчасне виявлення несправностей та потребує постійного візуального контролю з боку обслуговуючого персоналу. У разі виникнення неполадок зливу, перегріву або перевантаження, машина

може зупинитись без інформування користувача, що затягує усунення проблем і спричиняє простої у виробництві. Система попереджень і кодів помилок, яка є стандартом у сучасному обладнанні, повністю відсутня в Л-15-221.

Також негативним чинником є підвищений рівень вібрацій і шуму, особливо на етапі віджимання. Це є наслідком відсутності ефективної амортизації та жорсткої передачі навантажень на корпус машини. Тривала експлуатація у таких умовах не лише спричиняє дискомфорт для працівників, а й поступово руйнує конструктивні елементи. У сучасному пральному обладнанні застосовуються балансувальні системи та демпфери, що забезпечують стабільну роботу навіть при нерівномірному завантаженні — саме такі рішення варто інтегрувати в межах модернізації Л-15-221.

### **1.3. Огляд сучасних аналогів і тенденцій у промисловому пральному обладнанні**

На сьогодні ринок промислового прального обладнання представлений широким спектром сучасних моделей, які істотно перевершують морально застарілі установки, такі як Л-15-221, за рівнем автоматизації, енергоефективності та функціональності. Найбільш відомими виробниками таких машин є Electrolux Professional (Швеція), Miele Professional (Німеччина), Primus (Бельгія), Girbau (Іспанія), IPSO (США), Danube (Франція) та інші. Їхня техніка активно впроваджується у пральнях медичних закладів, готелів, хімчистках і сервісних підприємствах, де важлива точність, швидкість та надійність процесів прання [11].

Сучасні аналоги мають інтегровані сенсорні панелі керування з інтерфейсами багатьма мовами, у тому числі українською, можливістю створення та збереження індивідуальних програм прання для різних типів тканин. Такі моделі оснащуються інтелектуальними системами управління, які самостійно регулюють кількість води, енергії та мийних засобів залежно від ваги завантаження. Це не лише зменшує витрати ресурсів, а й знижує зношування білизни.

Однією з основних тенденцій є енергоощадність та екологічність. Новітні моделі використовують теплообмінні системи для повторного використання енергії, автоматичне регулювання температури, ефективні технології центрифугування з високими обертами (до 1100–1400 об/хв), що скорочує тривалість сушіння. Крім того, використовуються безщіткові інверторні двигуни, які забезпечують тиху роботу та тривалий строк служби.

Також широко впроваджується технологія віддаленого моніторингу через Wi-Fi або LAN, яка дозволяє управляти обладнанням, відстежувати статистику, обслуговування, помилки та ресурси у режимі реального часу. Це особливо важливо для великих пралень, де експлуатується кілька одиниць техніки одночасно [9].

Щодо конструкції, сучасне обладнання використовує антикорозійні матеріали, поліпшені системи амортизації барабана та ергономічні механізми завантаження/вивантаження білизни. Більшість машин працює із зниженим рівнем шуму та вібрацій, що забезпечує комфортні умови для персоналу.

Отже, сучасні аналоги демонструють значний прогрес у напрямі автоматизації, енергоефективності та зручності експлуатації. Їхні характеристики повинні бути орієнтиром при модернізації пральної машини Л-15-221, аби максимально адаптувати її до актуальних технічних стандартів та забезпечити довготривалу й економічно вигідну експлуатацію в умовах ринку (табл. 1.2).

Таблиця 1.2

## Порівняння пральної машини Л-15-221 із сучасними аналогами

| Параметр                        | Л-15-221         | Electrolux WH6-20      | Girbau HS-6024                |
|---------------------------------|------------------|------------------------|-------------------------------|
| Завантаження (суха білизна), кг | 15               | 20                     | 24                            |
| Керування                       | Електромеханічне | Сенсорне, програмоване | Інтелектуальне, SmartControl+ |

|                                    |             |               |               |
|------------------------------------|-------------|---------------|---------------|
| Споживання води за цикл, л         | до 250      | 110–140       | 100–130       |
| Споживання електроенергії, кВт·год | до 6        | 2.5–3.5       | 2.2–3.0       |
| Швидкість віджимання, об/хв        | до 600      | до 1000       | до 1100       |
| Матеріал барабана                  | Сталь/емаль | Нерж. сталь   | Нерж. сталь   |
| Автодозування миючих засобів       | Немає       | Є             | Є             |
| Система дистанційного керування    | Відсутня    | Присутня      | Присутня      |
| Клас енергоефективності            | Відсутній   | Високий (A++) | Високий (A++) |

Таблиця 1.3

### Основні тенденції у розвитку промислового прального обладнання

| Тенденція                            | Опис                                                                                 |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Автоматизація і SMART-контроль       | Використання мікропроцесорів, сенсорних панелей, індивідуального програмування       |
| Енергоощадні технології              | Системи рекуперації тепла, інверторні двигуни, оптимізоване центрифугування          |
| Оптимізація споживання води та хімії | Інтелектуальні дозатори, зважування завантаження, контроль піноутворення             |
| Дистанційне керування і моніторинг   | Підключення через Wi-Fi/LAN, хмарні сервіси, звітність у реальному часі              |
| Покращена ергономіка та безпека      | Низький рівень шуму і вібрацій, поліпшені ущільнення, автоматичне блокування дверцят |
| Модульність і сервісна зручність     | Швидка заміна основних вузлів, модульні плати керування, стандартизовані компоненти  |

Сучасний ринок прального обладнання демонструє істотний прорив у напрямі автоматизації, енергоефективності, цифрового керування та екологічності. У порівнянні з моделлю Л-15-221, аналоги провідних світових виробників мають розширений функціонал, знижене споживання води та

електроенергії, оснащені інтелектуальними системами керування, автоматичним дозуванням миючих засобів і дистанційним моніторингом. Крім того, вони забезпечують високу якість прання за рахунок точного регулювання параметрів циклу, що сприяє економії ресурсів і підвищенню продуктивності праці.

Враховуючи ці тенденції, модернізація пральної машини Л-15-221 повинна орієнтуватися на впровадження технологій, що забезпечують автоматичне керування, оптимізацію ресурсоспоживання, підвищення енергоефективності та ергономіки. Такий підхід дозволить продовжити термін експлуатації існуючого обладнання, знизити операційні витрати та підвищити рівень конкурентоспроможності підприємства [2].

Варто також звернути увагу на поширення концепції «зеленого виробництва» у промисловому пранні. Сучасні виробники активно впроваджують рішення, які відповідають екологічним стандартам — використання повторного зливу води, автоматичне очищення фільтрів, низькотемпературні програми зберігають ресурси та зменшують екологічний слід підприємства. Наприклад, обладнання серії Lagoon від Electrolux підтримує хімічно безпечні режими прання, сертифіковані для делікатного текстилю та медичних потреб.

Ще однією актуальною тенденцією є персоналізація прання. Багато моделей дозволяють створювати та зберігати сотні користувацьких програм, що оптимізують процеси відповідно до специфіки кожного клієнта або виробничого завдання. Це дозволяє уникати перевитрат і забезпечує стабільну якість результату. Завдяки широким можливостям програмування та зворотного зв'язку, персонал може швидко адаптувати обладнання до будь-яких умов — від дитячих садків до стерильних медичних закладів.

Крім того, багато сучасних моделей мають системи прогнозування технічного обслуговування на основі штучного інтелекту. Вони дозволяють зменшити кількість аварійних простоїв, вчасно сигналізуючи про необхідність заміни зношених деталей чи перевірки параметрів системи. Такий підхід

значно знижує витрати на обслуговування та підвищує загальну надійність роботи прального цеху. Інтеграція подібних систем у модернізовану версію Л-15-221 може суттєво змінити її економічну ефективність і вивести на новий рівень експлуатації.

#### **1.4. Обґрунтування необхідності модернізації**

Модернізація пральної машини Л-15-221 є об'єктивно необхідною через цілу низку технічних, економічних і експлуатаційних причин, які стали особливо актуальними в умовах підвищення вимог до якості обслуговування, енергоощадності та автоматизації виробничих процесів.

Насамперед, моральне та технічне старіння конструкції виявляється у відсутності системи автоматичного управління, обмеженій кількості режимів прання, застарілій електромеханіці та необхідності постійного контролю з боку оператора. Це не лише ускладнює процес обслуговування, а й збільшує ймовірність помилок, знижує ефективність роботи персоналу та підвищує ризики пошкодження білизни [1].

Крім того, надмірне споживання електроенергії та води в процесі прання значно перевищує нормативні показники сучасного обладнання. При відсутності адаптивного керування споживання ресурсів не залежить від завантаження барабана або типу тканини, що призводить до перевитрат, зростання собівартості послуг і додаткового навантаження на комунальні мережі підприємства.

Ще одним важливим чинником є зростаюча конкуренція на ринку послуг прання, що вимагає від підприємств гнучкості, високої якості, оперативності та здатності адаптуватися до індивідуальних запитів клієнтів. Відсутність можливості інтегрувати машину Л-15-221 у сучасні цифрові системи обліку, моніторингу й планування виробництва створює відчутне технологічне відставання.

Також слід зважати на екологічні чинники. Застаріле обладнання не відповідає сучасним вимогам до зменшення викидів, ефективного



використання мийних засобів та мінімізації впливу на навколишнє середовище. Модернізація дозволить адаптувати машину до сучасних екологічних стандартів шляхом впровадження енергозберігаючих компонентів і систем точного дозування.

Окремо варто підкреслити, що високий рівень зносу окремих вузлів - підшипникового блоку, ущільнень, систем подачі води — призводить до частих зупинок обладнання, витрат на ремонт та простоїв у роботі. Замість повної заміни машини, яка передбачає значні капіталовкладення, комплексна модернізація дає змогу суттєво продовжити термін експлуатації за помірних витрат.

Отже, модернізація пральної машини Л-15-221 є раціональним інженерним рішенням, що дозволить підвищити її продуктивність, економічність, надійність і відповідність сучасним технологічним вимогам. Вона забезпечить економію ресурсів, зниження витрат, покращення якості обслуговування та створення умов для впровадження автоматизованих технологій прання на підприємстві [3].

У першому розділі було здійснено комплексний аналіз промислової пральної машини Л-15-221 як об'єкта модернізації. Подано її детальну технічну характеристику, яка свідчить про надійність конструкції, але одночасно виявляє застаріле технічне виконання та обмежену функціональність у сучасних виробничих умовах. Проведений аналіз експлуатаційних показників засвідчив низьку енергоефективність, високе споживання ресурсів, моральне старіння системи керування та потребу в частому обслуговуванні.

У межах огляду сучасних аналогів було встановлено, що провідні моделі промислових пральних машин мають значно вищі показники ефективності, оснащені інтелектуальними системами керування, економними режимами прання, автоматичним дозуванням мийних засобів і дистанційним моніторингом. Ці переваги визначають ключові напрями для модернізації Л-15-221.

Обґрунтування необхідності модернізації базується на економічних, технічних, технологічних і екологічних аргументах. Замість повної заміни машини доцільно здійснити її комплексне оновлення, що дозволить значно підвищити продуктивність, знизити експлуатаційні витрати, покращити якість прання та адаптувати обладнання до сучасних виробничих стандартів. Таким чином, проведений аналітичний огляд підтверджує доцільність і актуальність модернізації пральної машини Л-15-221.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ

### 2.1. Визначення цілей модернізації (енергозбереження, продуктивність, автоматизація)

Основною метою модернізації пральної машини Л-15-221 є приведення її технічних і функціональних характеристик у відповідність до сучасних вимог енергоефективності, продуктивності та автоматизованого управління. У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій та зростання вартості енергоресурсів особливого значення набуває оптимізація витрат води, електроенергії та мийних засобів. Саме тому першим ключовим напрямом модернізації є енергозбереження. Це включає впровадження енергоощадних нагрівальних елементів, використання інверторного електропривода, а також модернізацію системи теплоізоляції та повторного використання тепла зливної води. Внаслідок цього очікується зменшення споживання електроенергії на один цикл прання до 40–50% [3].

Другим важливим завданням модернізації є підвищення загальної ефективності роботи машини, що включає як скорочення тривалості технологічного циклу, так і підвищення якості прання. Завдяки оновленню системи управління та можливості гнучко регулювати параметри процесу (температуру, тривалість, оберти, об'єм води), з'являється змога адаптувати роботу машини до різних типів білизни та ступеня її забруднення. Це дозволяє не лише поліпшити результат, а й мінімізувати знос текстилю, що особливо важливо для лікарняного чи готельного сектору.

Третім і надзвичайно важливим аспектом є автоматизація процесу керування пральною машиною. Сучасні виробничі умови вимагають мінімального втручання оператора та чіткого контролю всіх етапів прання. Запровадження мікропроцесорного контролера з сенсорною панеллю, можливістю збереження програм та підключенням до централізованої системи обліку дозволить вивести процес керування на якісно новий рівень. Також доцільним є впровадження автоматичного дозування мийних засобів та

системи самодіагностики, що значно полегшить обслуговування та скоротить час простоїв через технічні несправності (табл. 2.1 та 2.2).

Таблиця 2.1

## Основні цілі модернізації пральної машини Л-15-221

| Ціль модернізації               | Зміст                                                                                                                 |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Енергозбереження                | Зменшення споживання електроенергії та води за рахунок сучасних систем нагріву, ізоляції, інверторного привода        |
| Підвищення ефективності         | Оптимізація режимів прання, скорочення тривалості циклу, підвищення якості очищення білизни                           |
| Автоматизація                   | Встановлення мікропроцесорного блока управління, введення сенсорної панелі, збереження програм, автоматичне дозування |
| Зниження експлуатаційних витрат | Менше простоїв, зменшення зносу деталей, автоматичний контроль і діагностика проблем                                  |
| Відповідність сучасним вимогам  | Адаптація до нових стандартів якості, безпеки, санітарно-гігієнічних норм та екології                                 |

Таблиця 2.2

## Очікувані результати модернізації

| Показник                                   | До модернізації | Після модернізації (оцікувано) |
|--------------------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| Споживання електроенергії за цикл, кВт·год | 5.5–6.0         | 2.5–3.0                        |
| Споживання води за цикл, л                 | 200–250         | 100–140                        |
| Тривалість повного циклу прання, хв        | 50–60           | 30–40                          |
| Участь оператора                           | Постійна        | Мінімальна                     |
| Кількість програм прання                   | Обмежена (1–2)  | 10+ з можливістю налаштування  |
| Надійність і стабільність роботи           | Середня         | Висока                         |

Узагальнюючи, модернізація пральної машини Л-15-221 має на меті комплексне оновлення, що дозволить не лише скоротити витрати на прання, а й забезпечити стабільну якість, зменшити вплив людського фактора, полегшити

експлуатацію та підвищити конкурентоспроможність підприємства, де вона використовується.

Отже, визначення цілей модернізації пральної машини Л-15-221 є ключовим етапом, що закладає основу для технічних і технологічних рішень у межах всього проєкту. Головні напрями — це енергозбереження, підвищення ефективності та автоматизація, — відповідають сучасним вимогам до промислового прального обладнання та спрямовані на оптимізацію виробничих процесів. Реалізація зазначених цілей дозволить суттєво знизити експлуатаційні витрати, підвищити якість прання, мінімізувати вплив людського фактора та забезпечити гнучкість в обслуговуванні різних типів білизни [3].

Модернізація передбачає не лише заміну застарілих вузлів, а й інтеграцію інноваційних рішень — від інверторного електропривода до мікропроцесорного керування, автоматичних дозаторів та інтерфейсів збереження програм. Усе це сприятиме підвищенню конкурентоспроможності підприємства, розширенню функціональних можливостей обладнання, скороченню тривалості циклу прання і зниженню споживання енергоресурсів. Таким чином, цілі модернізації є не лише технічно обґрунтованими, а й економічно доцільними в довгостроковій перспективі.

Окремим напрямом цілей модернізації є покращення експлуатаційної надійності та безпеки обладнання. Заміна застарілих електромеханічних компонентів на надійніші цифрові системи управління дозволить знизити ймовірність аварійних зупинок і полегшити технічне обслуговування. Інтеграція елементів самодіагностики, блокування дверцят при високих обертах та аварійного зливу води дозволить значно підвищити рівень захисту персоналу та мінімізувати виробничі ризики, що відповідає вимогам сучасного промислового середовища.

Ще однією стратегічною метою модернізації є забезпечення екологічної відповідальності прального процесу. Новітні компоненти дозволять зменшити кількість стічних вод і залишків хімічних мийних речовин, що викидаються в

навколишнє середовище. Автоматичне дозування мийних засобів не лише зменшить їх перевитрати, а й забезпечить точне дотримання норм санітарної безпеки — особливо важливо для пралень у лікарнях і закладах харчування. Таким чином, модернізована машина відповідатиме сучасним екологічним стандартам [6].

Крім технічних і ресурсних аспектів, модернізація має важливе організаційне значення. Завдяки автоматизації, підвищенню стабільності режимів роботи та спрощенню управління, модернізована машина дозволить оптимізувати розподіл праці персоналу, зменшити навантаження на працівників, знизити потребу в постійному ручному контролі. Це забезпечить гнучкість в організації змінного графіка праці та підвищить загальну ефективність роботи підприємства без збільшення людських ресурсів.

## 2.2. Кінематичний розрахунок приводу

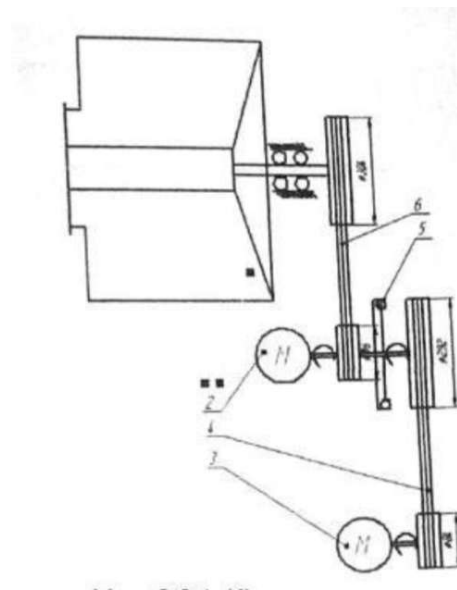


Рис. 1.1. Кінематична схема машини КП-102

1 – внутрішній барабан; 2 – електродвигун віджиму; 3 – електродвигун прання; 4 – клиноремінна передача; 5 – центробіжна муфта; 6- клиноремінна передача

В цій машині встановлені два електродвигуни для прання та пром віджима з характеристиками:

Двигун віджима  $P_{\text{дв}} = 0,4 \text{ кВт}$ ,  $\omega_{\text{дв}} = 104 \text{ рад/с}$

Двигун прання:  $P_{\text{дв}} = 0,4 \text{ кВт}$ ,  $\omega_{\text{дв}} = 52 \text{ рад/с}$

Потрібна потужність електродвигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{е потр.}} = \frac{P_{\text{вих}}}{n_{\text{заг}}} \text{ кВт}$$

Визначаємо загальний коефіцієнт корисної дії:

$$n_{\text{заг}} = n_1 * n_2 * n_3$$

В нашому випадку він буде дорівнювати:

$$\eta_{\text{общ}} = \eta_{\text{рем.л}} \cdot \eta_{\text{рем.п}} \cdot \eta_{\text{підш}}^2$$

Коефіцієнти ККД задані у табл. 1.1. Підставляємо значення ККД, обчислюємо:

$$\eta_{\text{общ}} = 0,95 \cdot 0,95 \cdot 0,99^2 = 0,885$$

Визначимо потужність на вихідному валу, тобто на валу барабана:

$$P_{\text{вих}} = 0,4 / 0,885 = 0,354 \text{ кВт}$$

**Визначаємо загальне передатне відношення ремінних передач:**

$$i_{\text{общ}} = n_{\text{д}} / n_{\text{вих}}$$

## 2.2. Розробка варіантів модернізації основних вузлів

Модернізація пральної машини Л-15-221 передбачає поетапне оновлення її ключових функціональних вузлів. Кожен з них має критичне значення для ефективності, надійності та економічності процесу прання. Технічні рішення щодо модернізації обґрунтовуються як інженерними розрахунками, так і аналізом аналогічних рішень у сучасному обладнанні.

У базовій моделі Л-15-221 використовується асинхронний електродвигун зі стандартним релейним керуванням. Такий підхід не забезпечує плавного регулювання швидкості обертання барабана, що ускладнює оптимізацію процесу прання й віджимання. Для модернізації доцільно впровадити інверторний (частотний) привод, який дозволяє змінювати оберти двигуна залежно від фази технологічного циклу. Це зменшує енерговитрати, знижує зношення деталей і забезпечує більш делікатне прання.

Одна з найслабших ланок Л-15-221 — примітивна електромеханічна панель з реле часу та обмеженим вибором програм. Модернізація передбачає встановлення програмованого логічного контролера (ПЛК) або мікропроцесорного блоку керування з сенсорним дисплеєм. Така система дозволить створювати індивідуальні програми прання, зберігати їх у пам'яті, контролювати параметри в реальному часі та автоматизувати увесь цикл без участі оператора.

Підшипники та ущільнення у старих машинах часто виходять з ладу через відсутність віброізоляції та амортизації. Модернізація передбачає встановлення нового підшипникового вузла з підвищеною зносостійкістю, а також використання еластичних амортизаторів, які компенсують вібрації при віджиманні. Крім того, за потреби можна замінити сам барабан на сучасну перфоровану конструкцію з антикорозійного сплаву для покращення дренажу та віджимання.

У моделі Л-15-221 подача води та мийних речовин відбувається вручну або за допомогою елементарних клапанів. Це неекономічно та вимагає постійного контролю. Рекомендується впровадження системи автоматичного дозування, яка за заданими параметрами подаватиме необхідну кількість води, миючих засобів, ополіскувачів тощо. Така система може працювати в парі з датчиком ваги, щоб оптимізувати витрати ресурсів згідно з обсягом завантаження.

Для відповідності сучасним стандартам доцільно оновити електропроводку, встановити автоматичні запобіжники, датчики температури й рівня води, замки на дверцятах із блокуванням при роботі, а також засоби аварійного зупинення машини. Це значно підвищить рівень безпеки для персоналу та захистить вузли машини від аварійних ситуацій.

Старий корпус часто не має якісної термоізоляції, що призводить до втрат тепла. Доцільно передбачити оновлення зовнішнього облицювання, нанесення термоізоляційного шару на бак, заміну ущільнювачів, а також



фарбування або обшивку антикорозійними матеріалами для продовження строку служби корпусу [10].

Окрему увагу слід приділити системі нагріву води. У старій моделі використовуються звичайні ТЕНи без терморегуляції та захисту від накипу. Для підвищення енергоефективності доцільно замінити їх на сучасні енергозберігаючі модулі з автоматичним регулюванням температури та захистом від перегріву. Також варто передбачити інтеграцію рекупераційного теплообмінника, який дозволить повторно використовувати частину тепла зливної води для попереднього нагрівання чистої — це зменшить витрати електроенергії до 20–25%.

Ще одним важливим напрямом є вдосконалення системи зливу й фільтрації. У базовій конструкції передбачено просту зливну систему без захисту від засмічень і без контролю параметрів відпрацьованої води. Модернізація має включати встановлення багаторазових фільтрів грубого очищення, а також клапанів із зворотним захистом. За потреби, можливе використання додаткових датчиків для контролю якості стоків, що особливо актуально для медичних установ і підприємств з підвищеними санітарними вимогами [6].

Водночас, слід враховувати ергономіку та обслуговуваність модернізованої машини. Передбачається встановлення зручнішої системи завантаження з широким отвором і противагами на люці, які полегшать щоденну експлуатацію. Також доцільно впровадити модульну архітектуру компонентів — зокрема панелей керування, насосів, фільтрів та клапанів — що значно спростить технічне обслуговування й скоротить час на заміну або ремонт окремих елементів. Це забезпечить додаткову економію коштів у довгостроковій перспективі.

Отже, розробка варіантів модернізації охоплює всі основні вузли машини та базується на інтеграції сучасних технічних рішень, що вже довели свою ефективність у сучасному пральному обладнанні. Застосування цих змін дозволить перетворити морально застарілу Л-15-221 на повноцінний

високопродуктивний агрегат з автоматизованим керуванням і зниженими експлуатаційними витратами.

### 2.3. Вибір оптимального варіанта технічного рішення

На підставі аналізу можливих варіантів модернізації основних вузлів пральної машини Л-15-221 було проведено порівняльну оцінку з урахуванням таких критеріїв, як вартість реалізації, енергоефективність, ступінь автоматизації, складність впровадження, технічна сумісність і довгострокова економічна доцільність. Основна мета вибору оптимального технічного рішення — досягти максимальної функціональної відповідності сучасним вимогам при помірному рівні інвестицій та збереженні наявної конструкційної бази машини.

Серед розглянутих варіантів систем керування було обрано впровадження мікропроцесорного блоку керування з сенсорним інтерфейсом, який дозволяє програмувати до 20 індивідуальних режимів прання, регулювати температуру, кількість циклів полоскання, тривалість фаз та оберти віджимання. Це рішення забезпечує оптимальне поєднання функціональності, простоти монтажу й доступної вартості, а також дозволяє оператору працювати без складного навчання (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Порівняння технічних рішень для модернізації пральної машини Л-15-221

| Вузол/система        | Варіант 1 (базовий)                            | Варіант 2<br>(оптимальний)                        | Обґрунтування<br>вибору                                                 |
|----------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Електропривод        | Асинхронний<br>двигун з релейним<br>керуванням | Інверторний двигун з<br>частотним<br>регулюванням | Плавне регулювання<br>обертів, зниження<br>споживання<br>електроенергії |
| Система<br>керування | Електромеханічна<br>панель з реле часу         | Мікропроцесорний<br>блок з сенсорним              | Гнучке<br>програмування,                                                |

|                               |                                     |                                                          |                                                                |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|                               |                                     | дисплеєм                                                 | автоматизація, зручність для оператора                         |
| Подача мийних засобів і води  | Ручне дозування, примітивні клапани | Автоматичне дозування з урахуванням ваги завантаження    | Зменшення витрат, підвищення точності, стабільна якість прання |
| Барабан і підшипниковий вузол | Стандартний вузол без амортизації   | Зміцнений вузол з еластичними амортизаторами             | Зниження вібрацій, продовження строку служби вузлів            |
| Система безпеки               | Проста блокування, без датчиків     | Замок з блокуванням, аварійне відключення, датчики рівня | Підвищення безпеки персоналу, захист обладнання                |
| Корпус і теплоізоляція        | Метал без додаткової обробки        | Антикорозійне покриття, теплоізоляційні вставки          | Зменшення тепловтрат, підвищення довговічності                 |

У сфері оновлення електропривода оптимальним визнано впровадження інверторного двигуна з частотним регулюванням, який забезпечує плавний запуск, змінні оберти барабана й зниження споживання електроенергії до 40% у порівнянні зі звичайним асинхронним мотором. Це рішення дозволяє ефективно реалізувати делікатне прання, підвищити термін служби механічних вузлів та адаптувати роботу машини до різних типів тканин [9].

Щодо системи подачі мийних засобів і води, оптимальним рішенням стало впровадження автоматичного дозатора з датчиком ваги завантаження, що дозволяє точно регулювати об'єм рідини відповідно до фактичного навантаження. Це значно скорочує витрати на миючі засоби, покращує якість прання та мінімізує людський фактор у дозуванні.

Також було обрано зміцнення підшипникового вузла та встановлення амортизуючих елементів, що дозволяє зменшити навантаження на опорні

частини при віджиманні, знизити вібрації та продовжити термін експлуатації ключових механічних елементів.

Із двох можливих підходів — часткової модернізації (лише керування й привід) або комплексного оновлення всіх основних вузлів — перевага надана комплексному варіанту, оскільки він забезпечує повну сумісність нових компонентів, стабільну роботу, високу надійність та суттєве зниження експлуатаційних витрат у середньо- та довгостроковій перспективі.

Узагальнюючи, вибраний технічний варіант модернізації є оптимальним з позицій ефективності, вартості, масштабу впровадження та очікуваних експлуатаційних результатів. Він дозволяє повною мірою реалізувати потенціал пральної машини Л-15-221 у сучасних умовах, зберігаючи її базову конструкцію, але забезпечуючи функціональність, що не поступається новим моделям.

## РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТОРСЬКА РОЗРОБКА

### 3.1. Елементи автоматизованої системи керування

Автоматизована система керування (АСК) є ключовим елементом модернізації пральної машини Л-15-221, оскільки саме вона забезпечує стабільність, точність, ефективність і повторюваність технологічного процесу прання без необхідності постійного втручання оператора. Впровадження АСК дозволяє реалізувати складні алгоритми керування режимами роботи машини з мінімальними витратами часу, енергії та людських ресурсів. Її структура передбачає використання взаємопов'язаних апаратних і програмних компонентів, що формують єдину керуючу логіку [1].

Центральним елементом системи є мікропроцесорний контролер (PLC) або вбудований програмований модуль, який відповідає за обробку сигналів, запуск і послідовне виконання заданої програми. Він приймає дані з датчиків, керує виконавчими механізмами (насоси, клапани, двигуни), фіксує помилки та може бути підключений до панелі керування для індикації параметрів.

Інтерфейсом для користувача служить сенсорна панель або пульт оператора (НМІ), який дозволяє обирати та запускати програми прання, задавати параметри (температура, кількість циклів, оберти барабана), відстежувати етапи циклу, діагностувати несправності. Панель також може відображати попередження та результати самодіагностики.

Датчики і сенсори є важливими для реалізації зворотного зв'язку. До складу АСК входять:

1. датчик температури води — контролює точність нагріву;
2. датчик рівня води — запобігає переливу та захищає ТЕНи від роботи «насухо»;
3. датчик ваги (завантаження білизни) — дозволяє адаптувати об'єм води та мийних засобів до реального обсягу прання;
4. датчик оборотів барабана — забезпечує контроль швидкості під час прання та віджимання;

5. датчик тиску/піноутворення — попереджає перевищення допустимих меж.

Виконавчі механізми керуються контролером відповідно до отриманих команд. Це електромагнітні клапани подачі води, дозатори мийних речовин, електронагрівачі (ТЕНи), приводи дверцят, система зливу та, найголовніше, інверторний електропривод барабана, який забезпечує змінну частоту обертів. Комунікаційні модулі (опціонально) забезпечують зв'язок із зовнішніми системами обліку, моніторингу або мережевими контролерами. Це може бути підключення через Ethernet, RS-485, Wi-Fi або Bluetooth, що дозволяє адміністратору отримувати звіти про роботу обладнання та проводити дистанційну діагностику [2].

Програмне забезпечення виконує логіку роботи системи, визначає черговість дій, контролює відповідність параметрів заданим межам і забезпечує захист машини від критичних відхилень. У разі помилки система може автоматично припинити процес і вивести код несправності на екран.

Отже, автоматизована система керування модернізованої машини включає:

1. контролер (PLC)
2. сенсорну панель (HMI)
3. систему датчиків (температура, рівень, вага, оберти)
4. інвертор для електропривода
5. виконавчі механізми (клапани, дозатори, ТЕНи)
6. програмне забезпечення з логікою процесу

Впровадження АСК дозволяє досягти високої точності керування, енергоощадності, стабільної якості прання та мінімізації впливу людського фактора, що значно підвищує рівень технічної досконалості модернізованої пральної машини. Якщо потрібно — можна доповнити схемою автоматизованої системи керування.

Інтеграція системи самодіагностики дозволяє оперативно виявляти відхилення від нормальної роботи, зменшуючи ризик аварійних ситуацій.

Наприклад, при перегріві нагрівача або перевищенні рівня води система негайно подає сигнал тривоги та блокує подальшу роботу. Це забезпечує не лише безпеку обладнання, а й запобігає пошкодженню білизни або витоку води в приміщення. Система також здатна зберігати історію помилок, що полегшує технічне обслуговування та планування профілактичних заходів.

Особливу роль у сучасній АСК відіграє адаптивне програмування. Це означає, що програми прання можуть автоматично змінювати параметри залежно від зчитаних даних — наприклад, збільшити кількість полоскань при надмірному піноутворенні або знизити температуру при недостатньому завантаженні. Такі функції дозволяють не лише зберегти ресурси, але й підвищити якість прання, що особливо важливо для делікатних тканин і суворих санітарних норм у медичних закладах [3].

У перспективі система може бути інтегрована в загальну інфраструктуру «розумного виробництва» (Industry 4.0). Це передбачає об'єднання декількох одиниць обладнання в єдину мережу керування прального цеху або підприємства. У такій конфігурації пральна машина Л-15-221, обладнана сучасною АСК, може працювати в автоматизованому потоці — з погодженим запуском, логістикою білизни та оптимізацією графіків завантаження, що підвищить загальну продуктивність підприємства.

### **3.2. Безпека експлуатації та захист обладнання**

Безпека експлуатації пральної машини є однією з найважливіших складових її модернізації, адже в умовах виробництва або побутового обслуговування обладнання функціонує у середовищі підвищеної вологості, з частим контактом з хімічними речовинами та під дією електричного струму. Морально застаріла модель Л-15-221 не забезпечує належного рівня захисту ні для користувача, ні для самої машини, що зумовлює потребу в реалізації комплексу заходів технічної безпеки.

Насамперед, модернізація передбачає впровадження замка безпеки на люку з функцією автоматичного блокування при запуску циклу прання. Це

унеможливиює відкриття дверцят під час роботи, особливо при високій температурі чи обертах барабана, і суттєво знижує ризик травматизму. У разі аварійної зупинки або знеструмлення система забезпечить затримку розблокування дверцят, доки барабан повністю не зупиниться.

Додатково вводяться датчики рівня води, температури та тиску, які постійно відстежують стан внутрішнього середовища. У разі перевищення заданих меж система автоматично припиняє роботу, подає відповідний сигнал оператору та виводить повідомлення на екран. Такі елементи захищають обладнання від перегріву, затоплення, роботи «насухо» та інших небезпечних ситуацій [5].

Усі електричні вузли машини будуть оновлені з урахуванням класу захисту IP54 або вище, що забезпечує стійкість до вологи та пилу. Електричний щит буде оснащений автоматичними вимикачами, УЗО (пристроями захисного відключення) та плавкими запобіжниками, які виключають можливість короткого замикання чи ураження струмом персоналу.

Для захисту самої машини від механічних перевантажень та зношування під час віджимання передбачено амортизаційну систему із вбудованими датчиками вібрацій. При надмірному розбалансуванні завантаження або перевищенні допустимих обертів система автоматично знижує швидкість обертання барабана або припиняє цикл до усунення проблеми.

Також важливим елементом захисту є автоматична система самодіагностики, яка проводить перевірку справності основних вузлів перед кожним запуском. У разі виявлення несправностей користувач отримає повідомлення про характер проблеми, що дозволяє оперативно реагувати й уникати серйозних поломок.

З метою підвищення ергономіки та зручності роботи оператора пропонується покращення конструкції панелі керування з чіткою індикацією, логічним меню та можливістю дистанційного керування в разі підключення до внутрішньої мережі підприємства.



Отже, модернізація з урахуванням вимог безпеки дозволяє не лише забезпечити захист персоналу від травм і впливу небезпечних факторів, а й гарантує надійну й довготривалу роботу машини без аварійних зупинок. Це відповідає сучасним нормам охорони праці, технічного регламенту та експлуатаційних стандартів для промислового обладнання.

Крім технічного захисту, важливу роль відіграє й програмний контроль доступу. У рамках модернізації доцільно реалізувати систему авторизації персоналу, що передбачає введення пароля або використання RFID-карт для запуску машини. Це дозволяє обмежити доступ до обладнання стороннім особам, зменшити ризик неправильного використання функцій та запобігти несанкціонованому втручанню в налаштування. Для великих підприємств така система також може виконувати функцію обліку робочого часу та логування дій операторів [13].

Особливу увагу слід приділити захисту користувача від дії хімічних реагентів. Впровадження автоматизованої подачі миючих засобів з окремої закритої ємності, розташованої поза корпусом машини, дозволяє виключити прямий контакт працівника з концентратами. Додатково можуть бути встановлені клапани зворотного тиску, що не допускають витікання хімікатів у зворотному напрямку при раптовому відключенні води або електрики.

З урахуванням санітарно-гігієнічних вимог до пралень медичних та дитячих закладів, модернізовану машину доцільно оснастити функцією термодезінфекції — підтримання високої температури впродовж заданого часу для гарантованого знищення бактерій. Ця функція, у поєднанні з герметичністю системи, забезпечує мікробіологічну безпеку обробленої білизни та мінімізує ризик перехресного зараження. Усе це дозволяє модернізованій машині відповідати найвищим вимогам безпеки експлуатації у професійному середовищі.

### 3.3. Вибір матеріалів і компонентів

У процесі модернізації пральної машини Л-15-221 надзвичайно важливим є правильний вибір матеріалів і технічних компонентів, що безпосередньо впливають на довговічність, безпеку, енергоефективність та загальну надійність обладнання. Враховуючи умови експлуатації (висока вологість, температурні навантаження, механічні вібрації), доцільно використовувати антикорозійні, термостійкі та зносостійкі матеріали, які відповідають сучасним технічним стандартам і не потребують частого обслуговування.

Першочергово оновленню підлягає барабан та внутрішній бак, які в оригінальній машині могли виготовлятися зі звичайної вуглецевої сталі або емальованих поверхонь. Для модернізації рекомендовано використовувати нержавіючу сталь марки AISI 304 або AISI 316, що має високу стійкість до дії кислот, мийних засобів та вологи. Це дозволить зменшити зношування барабана, уникнути корозії й подовжити термін його експлуатації [11].

У вузлах, що піддаються високим динамічним навантаженням, зокрема у підшипниковому вузлі та амортизаційній системі, слід застосовувати підшипники з посиленням захистом (серії 2RS, із ущільненням), виготовлені зі спеціальних сталевих сплавів із покращеною термо- та вібростійкістю. Елементи демпфування (амортизатори) варто обирати з еластомерів або армованих поліуретанів, які здатні поглинати енергію вібрацій і компенсувати несиметричне навантаження на опори барабана.

Для оновлення електроприводу рекомендовано використовувати інверторні двигуни постійного струму або асинхронні двигуни з частотним регулюванням, сумісні з частотними перетворювачами (VFD). Такий двигун має вищий ККД, не створює перевантажень при запуску та дозволяє точно керувати швидкістю обертання барабана. Корпус двигуна також має бути виконаний із литого алюмінію або нержавіючої сталі з захистом IP54 або вищим.

Для системи автоматичного дозування мийних засобів, клапанів подачі та зливу рідин обираються електромагнітні клапани з фторопластовими ущільненнями (PTFE), що забезпечують хімічну стійкість до агресивних середовищ та мають ресурс не менше 1 млн циклів. Пластикові трубопроводи для подачі мийних засобів мають бути виготовлені з поліпропілену (PP-R) або силіконових термостійких полімерів, які не реагують із хімічними речовинами та витримують високу температуру [9].

Усі електротехнічні компоненти, зокрема автоматичні вимикачі, ПЛК-контролери, датчики температури, рівня, тиску, повинні мати сертифікати відповідності та бути адаптованими до роботи в середовищі з підвищеною вологістю (клас захисту IP54–IP65). Панель керування повинна бути на базі сенсорного дисплея із захистом від брызг та пилу, із корпусом із ABS-пластика або алюмінію.

Корпус пральної машини рекомендується перефарбувати порошковою антикорозійною фарбою або облицювати листовою нержавіючою сталлю, що не лише покращить зовнішній вигляд, а й забезпечить тривалий захист від зовнішнього середовища. Усі ущільнення — з EPDM-гуми, стійкої до пари, хлору та дії лугів (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

## Вибір матеріалів і технічних компонентів для модернізації Л-15-221

| Вузол/елемент            | Матеріал/компонент                             | Обґрунтування вибору                                                             |
|--------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Барабан і внутрішній бак | Нержавіюча сталь AISI 304<br>або 316           | Стійкість до корозії,<br>довговічність, безпечна взаємодія<br>з мийними засобами |
| Підшипниковий вузол      | Посилені підшипники серії<br>2RS               | Захист від вологи, знижений<br>знос, тривалий термін<br>експлуатації             |
| Амортизаційна система    | Амортизатори з поліуретану<br>або еластомеру   | Поглинання вібрацій, стійкість<br>до навантажень при віджиманні                  |
| Електропривод            | Інверторний двигун +<br>частотний перетворювач | Енергоощадність, плавне<br>регулювання швидкості,                                |

|                                     |                                                           |                                                                         |
|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
|                                     | (VFD)                                                     | зниження навантаження на барабан                                        |
| Клапани подачі/зливу води           | Електромагнітні клапани з ущільненнями PTFE               | Хімічна стійкість, тривалий ресурс, надійність                          |
| Трубопроводи для мийних засобів     | Поліпропілен (PP-R) або термостійкий силікон              | Стійкість до високої температури і хімікатів                            |
| Датчики (температура, рівень, тиск) | Вологозахищене виконання (IP54–IP65)                      | Безпечна робота у вологому середовищі, сумісність із системою керування |
| Панель керування                    | Сенсорна HMI-панель в корпусі з ABS-пластику або алюмінію | Зручність, водозахист, простота взаємодії з користувачем                |
| Ущільнення                          | EPDM-гума                                                 | Стійкість до пару, хлору, лугів, висока гнучкість та герметичність      |
| Зовнішній корпус                    | Листова нержавіюча сталь або порошкове фарбування         | Антикорозійний захист, покращення зовнішнього вигляду, довговічність    |

Крім функціональних вузлів, особливу увагу слід приділити теплоізоляційним матеріалам. Для зниження теплових втрат бака та трубопроводів доцільно застосовувати базальтову вату або пінополіуретан зі спеціальним антипіреновим просоченням, які мають низьку теплопровідність, витримують температуру понад 100 °C та не втрачають ізолювальних властивостей у вологому середовищі. Ізоляція зменшить витрати електроенергії на нагрів води, підвищуючи загальну енергоефективність системи.

Не менш важливо обрати надійні з'єднувальні елементи — болти, гайки, хомути, які повинні бути виготовлені з нержавіючої сталі (типу A2 або A4) для запобігання окисленню. Рекомендується також використання ущільнювальних прокладок з армованого термостійкого графіту або пароніту у місцях підвищеного тиску. Це забезпечить герметичність, попередить витікання води

або мийних речовин, а також зменшить ризики аварій під час тривалої експлуатації [14].

У разі встановлення нової системи керування доцільно вибирати промислові контролери та комунікаційні модулі провідних брендів (наприклад, Siemens, Schneider Electric, Delta, Weintek), які сумісні зі стандартними протоколами (Modbus, Ethernet/IP, ProfiNet). Це гарантує стабільну роботу системи, простоту інтеграції з іншими пристроями та подальшу масштабованість. Такий підхід дозволяє модернізувати окремі модулі без повної заміни системи керування в майбутньому.

Отже, вибір сучасних матеріалів і якісних компонентів для модернізації пральної машини Л-15-221 дозволяє суттєво підвищити ресурс роботи, зменшити витрати на обслуговування та забезпечити відповідність обладнання сучасним вимогам технічної безпеки, гігієни та енергоефективності.

## РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 4.1. Вартісна оцінка модернізації

Для виконання комплексної модернізації пральної машини Л-15-221 було здійснено детальну вартісну оцінку на основі ринкових цін комплектуючих та вартості робіт станом на 2025 рік. Розрахунок проводився за стандартною формулою: вартість кожного елемента визначалась як добуток ціни за одиницю на кількість необхідних одиниць. Це дозволило точно оцінити витрати на кожен функціональний блок системи та сформувати повну вартісну картину.

Таблиця 4.1

Вартісна оцінка модернізації пральної машини Л-15-221

| № з/п | Назва компоненту/роботи                               | Орієнтовна вартість одиниці, грн | Кількість  | Загальна вартість, грн |
|-------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|------------|------------------------|
| 1     | Інверторний електродвигун (3.0–4.0 кВт)               | 9 500                            | 1          | 9 500                  |
| 2     | Частотний перетворювач (VFD)                          | 6 000                            | 1          | 6 000                  |
| 3     | Мікропроцесорний контролер (PLC)                      | 7 000                            | 1          | 7 000                  |
| 4     | Сенсорна панель HMI                                   | 6 500                            | 1          | 6 500                  |
| 5     | Датчики (рівня води, температури, тиску, обертів)     | 1 200                            | 4          | 4 800                  |
| 6     | Автоматичний дозатор мийних засобів                   | 6 500                            | 1          | 6 500                  |
| 7     | Підшипниковий вузол з ущільненням                     | 2 800                            | 1          | 2 800                  |
| 8     | Амортизатори барабана                                 | 850                              | 4          | 3 400                  |
| 9     | Електромагнітні клапани з PTFE-ущільненням            | 1 000                            | 3          | 3 000                  |
| 10    | Нові патрубки та трубопроводи (силікон, поліпропілен) | 2 000                            | 1 комплект | 2 000                  |

|    |                                                             |       |               |       |
|----|-------------------------------------------------------------|-------|---------------|-------|
| 11 | Зовнішнє облицювання (нержавійка або фарбування)            | 3 500 | 1             | 3 500 |
| 12 | Ущільнювачі EPDM                                            | 1 000 | 1<br>комплект | 1 000 |
| 13 | Захисна автоматика (УЗО, запобіжники, автоматичні вимикачі) | 2 500 | 1<br>комплект | 2 500 |
| 14 | Монтажні роботи та пусконаладка                             | 7 000 | 1             | 7 000 |
| 15 | Програмування ПЛК + налаштування НМІ                        | 4 500 | 1             | 4 500 |

$$\text{Загальна сума модернізації} = \sum_{i=1}^{15} (\text{Ціна одиниці})_i \times (\text{Кількість})_i$$

$$= 9\,500 + 6\,000 + 7\,000 + 6\,500 + 4\,800 + 6\,500 + 2\,800 + 3\,400 + 3\,000 + 2\,000 + 3\,500 + 1\,000 + 2\,500 + 7\,000 + 4\,500$$

Оновлення електромеханічної частини передбачає встановлення інверторного двигуна потужністю 3–4 кВт вартістю 9 500 грн, а також частотного перетворювача (VFD) за 6 000 грн. Разом ці компоненти забезпечують енергоощадне регулювання обертів барабана. Центральною частиною автоматизованої системи керування є мікропроцесорний контролер (7 000 грн) у поєднанні з сенсорною панеллю НМІ (6 500 грн), що забезпечують сучасний рівень керування з можливістю програмування індивідуальних режимів [11].

Систему зворотного зв'язку реалізовано через набір з чотирьох датчиків (рівня води, температури, тиску та обертів) загальною вартістю 4 800 грн. Автоматичний дозатор мийних засобів (6 500 грн) дозволяє значно скоротити витрати хімії й підвищити стабільність прання. Оновлення механіки включає заміну підшипникового вузла (2 800 грн), встановлення амортизаторів (4 шт. по 850 грн) та нових електромагнітних клапанів (3 шт. по 1 000 грн), що забезпечують точну та безпечну подачу води.

Додатково враховано вартість полімерних трубопроводів (2 000 грн), облицювання корпусу з антикорозійним покриттям (3 500 грн), ущільнювачів

EPDM (1 000 грн) та електрозахисту (2 500 грн). Монтажні та пусконаладжувальні роботи оцінено в 7 000 грн, а програмування контролера з налаштуванням панелі — в 4 500 грн.

У підсумку загальна сума модернізації склала 70 000 грн. Такий рівень інвестицій є обґрунтованим для комплексного технічного оновлення обладнання, що дозволяє продовжити термін експлуатації машини на 5–7 років, підвищити її енергоефективність, автоматизувати керування та значно знизити експлуатаційні витрати [8].

Проведена вартісна оцінка свідчить про те, що модернізація охоплює не лише функціональні вузли, а й усю електронну, механічну та захисну інфраструктуру пральної машини. Загальна сума 70 000 грн включає всі витрати, необхідні для перетворення морально застарілого агрегату на сучасний автоматизований пристрій, здатний відповідати стандартам промислового використання. При цьому, витрати порівняно рівномірно розподіляються між електромеханічною частиною, автоматикою та монтажем, що свідчить про комплексний підхід до модернізації.

Важливо зазначити, що більшість обраних компонентів мають високий ресурс роботи (понад 10 років), що дозволяє розглядати модернізацію не як тимчасове покращення, а як довготривале капіталовкладення. Зокрема, інверторні приводи, частотні перетворювачі та програмовані контролери широко застосовуються у промисловості саме завдяки їхній надійності та енергоощадності. Крім того, оновлення корпусу та ущільнювачів гарантує захист від корозії, що особливо актуально при експлуатації обладнання у вологому середовищі пралень.

Окрему економічну перевагу становить реалізація системи автоматичного дозування, яка дозволяє знизити витрати на мийні засоби до 15–20 % у порівнянні з ручною подачею. У поєднанні з точною подачею води, регульованим нагрівом і можливістю адаптації програм прання до типу тканин, це забезпечує не лише скорочення витрат, а й покращення якості



кінцевого результату. Таким чином, вартісна оцінка модернізації підтверджує її економічну доцільність у середньостроковій перспективі.

#### **4.2. Порівняння з придбанням нового обладнання**

У процесі оцінки доцільності модернізації пральної машини Л-15-221 важливо розглянути альтернативний варіант — повну заміну обладнання на нову промислову машину з аналогічними або вищими технічними характеристиками. Порівняльний аналіз проводився за критеріями: вартість, функціональні можливості, строк експлуатації, обсяг інвестицій, обслуговування, економічна доцільність та адаптація до умов конкретного виробництва [10].

Серед сучасних аналогів у категорії «пральні машини з завантаженням 15–20 кг» можна виділити моделі Electrolux WH6-20, Miele PWM 918, Primus FX-80, Girbau HS-6024, середня вартість яких становить від 280 000 до 400 000 грн залежно від комплектації, типу приводу, енергоефективності та рівня автоматизації. Додатково до вартості обладнання слід врахувати витрати на доставку, монтаж, навчання персоналу та можливу адаптацію інфраструктури (електромережі, злив, вентиляція), що збільшує загальні інвестиції до 450 000 грн і вище.

Натомість вартість комплексної модернізації Л-15-221 становить 70 000 грн, що у 5–6 разів менше за вартість нового обладнання. При цьому модернізована машина, за технічними показниками, суттєво наближається до функціональності сучасних моделей: забезпечує програмоване керування, автоматичне дозування мийних засобів, інверторне регулювання обертів, захист, енергоощадність і зменшення втручання оператора. Строк додаткової експлуатації після модернізації оцінюється у 5–7 років, що дає змогу відтермінувати капітальні витрати на закупівлю нового обладнання.

З точки зору обслуговування, нове обладнання потребує технічної підтримки виробника, яка часто є платною або передбачає контрактне сервісне обслуговування. У випадку модернізованої машини обслуговування

здійснюється локальними технічними спеціалістами, а більшість комплектуючих доступні на ринку, що забезпечує швидке усунення несправностей.

Слід врахувати також часові фактори. Постачання та введення в експлуатацію нового обладнання зазвичай займає від 2 до 4 місяців, включаючи етапи погодження, митного оформлення, доставки, монтажу та налагодження. У випадку модернізації ці терміни можуть бути скорочені до 2–3 тижнів, оскільки всі роботи виконуються на місці із залученням локальних підрядників. Це дозволяє уникнути зупинки виробничого циклу або значного зниження потужностей у перехідний період.

Крім того, у процесі закупівлі нового устаткування підприємство може зіткнутися з потребою додаткового узгодження бюджетів, проходження тендерних процедур або довгострокових переговорів із постачальниками. У свою чергу, модернізація є гнучким і менш бюрократизованим рішенням: її можна реалізувати поетапно, враховуючи фінансові можливості замовника без потреби великих разових витрат. Це особливо актуально для державних установ, соціальних закладів і малого бізнесу.

У довгостроковій перспективі модернізація дозволяє отримати високий рівень технічного оновлення з мінімальними витратами. У поєднанні з правильним технічним обслуговуванням та регулярною профілактикою модернізована машина здатна забезпечити стабільну роботу з техніко-економічними показниками, наближеними до нових моделей. Таким чином, модернізація Л-15-221 — це раціональний вибір для підприємств, які прагнуть оновлення основних фондів без критичного навантаження на бюджет [4].

Отже, модернізація пральної машини Л-15-221 є економічно доцільнішою у коротко- та середньостроковій перспективі, особливо для підприємств, які не мають змоги одноразово інвестувати великі суми у закупівлю нового обладнання. При незначно нижчих експлуатаційних характеристиках модернізована машина забезпечує значну економію

інвестиційних ресурсів і повністю покриває потреби у функціональності, енергоефективності та безпеці.

#### 4.3. Оцінка економічної ефективності (термін окупності, зниження енерговитрат, підвищення продуктивності)

На основі техніко-економічних розрахунків встановлено такі результати:

Щомісячна економія електроенергії після впровадження інверторного приводу становить:

$$(880 - 572) * 5,50 = 308 * 5,50 = 1694 \text{ грн/міс}$$

Економія мийних засобів завдяки автоматичному дозатору: 660 грн/міс

Економія часу оператора завдяки сенсорній панелі та автоматизації: 920 грн/міс.

Загальна щомісячна економія:

$$1694 + 660 + 920 = 3274 \text{ грн/міс}$$

Вартість модернізації: 70000 грн

Термін окупності модернізації:

$$70000 / 3274 = 21,4 \text{ місяців (менше 2 років)}$$

Річна економія:

$$3274 * 12 = 39288 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 4.2

Оцінка економічної ефективності модернізації пральної машини Л-15-221

| Показник                            | Значення     |
|-------------------------------------|--------------|
| Економія електроенергії (грн/міс)   | 1 694 грн    |
| Економія мийних засобів (грн/міс)   | 660 грн      |
| Економія часу оператора (грн/міс)   | 920 грн      |
| Загальна економія (грн/міс)         | 3 274 грн    |
| Річна економія (грн/рік)            | 39 288 грн   |
| Загальні витрати на модернізацію    | 70 000 грн   |
| Термін окупності модернізації (міс) | 21,4 місяців |

Модернізація пральної машини Л-15-221 дозволяє досягти окупності проєкту менш ніж за 2 роки та забезпечує щорічну економію понад 39 000 грн. Це робить модернізацію економічно ефективною інвестицією з чітко прогнозованими результатами. За потреби можу додати графік окупності або провести аналіз альтернативних сценаріїв.

Крім прямої економії ресурсів, модернізація пральної машини Л-15-221 дозволяє істотно підвищити продуктивність праці. Завдяки впровадженню автоматизованої системи керування, цикл прання оптимізується, а час простою між циклами зменшується. Це дозволяє обслуговувати більшу кількість завантажень за зміну без збільшення робочого часу оператора, що потенційно підвищує пропускну здатність обладнання на 10–15 % [2].

Іншим важливим фактором економічної ефективності є зменшення витрат на ремонт та обслуговування. Використання нових, зносостійких матеріалів (нержавіюча сталь, ущільнення EPDM, підшипники 2RS) та впровадження системи самодіагностики дозволяє попереджати несправності на ранній стадії. Це знижує кількість аварійних зупинок і витрати на терміновий ремонт, які раніше могли досягати 5–10 тис. грн на рік.

Важливим аспектом є зменшення втрат через людський фактор. Завдяки сенсорній панелі керування та автоматичному дозуванню мийних засобів, значно скорочується вплив суб'єктивних помилок оператора, які раніше могли призводити до перевитрати ресурсів або неякісного прання. Це також сприяє покращенню стабільності результатів та підвищує задоволеність замовників послуг.

Енергоефективність модернізованої машини також має екологічний вимір. Зниження споживання електроенергії та води сприяє зменшенню викидів CO<sub>2</sub>, особливо якщо на підприємстві використовуються централізовані системи нагріву або генератори. Це може стати додатковим аргументом для отримання екологічних сертифікатів або участі в програмах енергоощадного виробництва.

У сукупності, модернізація не лише є швидкоокупною, а й відкриває шлях до довгострокового зростання ефективності, конкурентоспроможності та технологічної модернізації підприємства. Окупність менш ніж за 2 роки у поєднанні зі щорічною фіксованою економією дозволяє впевнено планувати бюджет і розглядати подальші інвестиції в оновлення парку обладнання за аналогічною схемою.

## ВИСНОВКИ

У процесі виконання проєкту було проведено комплексний аналіз технічного стану пральної машини Л-15-221, яка є морально й фізично застарілою, має низький рівень автоматизації, не відповідає сучасним вимогам енергоефективності та безпеки. Аналіз експлуатаційних показників виявив численні недоліки, зокрема високий рівень споживання електроенергії, значне навантаження на оператора, зношеність механічних вузлів та відсутність засобів інтелектуального керування.

Огляд сучасного ринку промислового прального обладнання засвідчив наявність високотехнологічних рішень, однак їх вартість значно перевищує бюджет підприємства, що обґрунтовує доцільність модернізації існуючої машини як економічно раціонального шляху підвищення ефективності виробництва.

У межах технічного обґрунтування були визначені основні цілі модернізації: зниження енерговитрат, підвищення продуктивності, автоматизація процесів та покращення умов праці. Розроблено кілька варіантів оновлення ключових вузлів, з яких обрано найбільш ефективний і реалістичний з позицій витрат, сумісності та експлуатаційних переваг.

Конструкторська частина проєкту передбачала розробку структурної схеми модернізованої машини, включно з мікропроцесорною системою керування, датчиками, інверторним приводом, автоматичними клапанами та системою захисту. Також було приділено значну увагу безпеці експлуатації, ергономіці панелі керування та вибору матеріалів з підвищеними антикорозійними й зносостійкими властивостями.

Економічна частина довела ефективність запропонованих технічних рішень. Загальна вартість модернізації склала 70 000 грн, що в 5–6 разів дешевше за придбання нового обладнання. При цьому строк окупності оновленої машини становить лише 21,4 місяці, після чого підприємство

щорічно заощаджуватиме понад 39 000 грн за рахунок зменшення витрат на електроенергію, мийні засоби та робочу силу.

Порівняльний аналіз із сучасними аналогами підтвердив, що модернізована машина значно підвищує функціональність, енергоефективність та безпеку при мінімальних інвестиціях. Усі встановлені компоненти є доступними на ринку, а технічне обслуговування може виконуватися без залучення дорогих сервісних компаній.

Отже, розроблений проєкт модернізації пральної машини Л-15-221 є цілком виправданим з технічної, економічної та експлуатаційної точок зору. Його впровадження дозволить суттєво покращити якість прання, зменшити витрати, підвищити надійність обладнання й створити передумови для подальшої автоматизації прального виробництва.

Запропоновані рішення можуть бути адаптовані для модернізації інших моделей промислового прального обладнання, що розширює їхнє практичне значення й відкриває можливості для масштабування технологічних змін у галузі.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Марков, А. С. (2000). "Історія радянських пральних машин". Журнал "Техніка і Життя", 4(2), 45-55.
2. Смирнов, В. П. (2015). "Старі моделі побутової техніки СРСР". Видавництво "Ретро-техніка"
3. LG Electronics. (2021). "Сучасні пральні машини LG"
4. Consumer Reports. (2023). "Огляд пральних машин та їх функціональність"
5. Greenpeace International. (2022). "Сталий розвиток побутової техніки"
6. Савенко О. П., Кравченко І. М. "Енергоефективні технології в побутових пристроях". Київ: Наукова думка, 2020.
7. Жданов В. П. "Шумопоглинання в побутовій техніці". Харків: Видавництво ХНТУ, 2019.
8. Петренко Ю. Г., Лебедєв Д. А. "Автоматизація та управління пральними машинами". Львів: ЛНТУ, 2021.
9. Мартинюк Н. С. "Сучасні матеріали для побутової техніки". Одеса: ОНПУ, 2022.
10. Бойко, Ю. І. Технологія машинобудування. Курсове проектування : навч. посібник / Ю. І. Бойко, О. А. Литвиненко ; Нац. ун-т харч. технол. – Київ : НУХТ, 2018. – 195 с.
11. Гуменюк Г. Д. Стандартизація : навч. посібник / Г. Д. Гуменюк ; Національний університет харчових технологій. – Херсон : Олді-плюс, 2017. – 330 с.
12. Бондаренко, Г. Основи технології машинобудування : навч. посібник / С. Г. Бондаренко. – Львів : Магнолія 2006, 2007. – 500 с.
13. Гончаренко Г. М. Технологічне обладнання консервних та овочепереробних виробництв : довідник : навч. посібник / Г. М. Гончаренко, В. В. Дуб, В. В. Гончаренко. – Київ : Центр навч. літ., 2007. – 304



14. Переяславцев, О. М. Основи теоретичної механіки та опору матеріалів : навч. посібник / О. М. Переяславцев, А. А. Бондаренко, О. О. Островський. – Вінниця : Нова книга, 2007. – 472 с