

Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет
Факультет транспорту та механічної інженерії
Кафедра галузевого машинобудування

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗА СТУПЕНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ «БАКАЛАВР»

ПРОЄКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ
СИСТЕМИ ПРАННЯ ІЗ ВБУДОВАНОЮ
ТЕХНОЛОГІЄЮ ПАРОВОЇ ОБРОБКИ
ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ

спеціальність 133 Галузеве машинобудування

освітня програма Галузеве машинобудування

Виконав: здобувач вищої освіти
групи М-41
Шкабура Максим Олександрович

(підпис)

Керівник:
к.т.н., доцент
Пуць Віталій Степанович

(підпис)

Кваліфікаційну роботу
допущено до захисту
«__» _____ 20__ р.
К.т.н., доцент
Гарант освітньої програми:
Пуць Віталій Степанович

(підпис)

Луцьк – 2025 року

ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет *транспорту та механічної інженерії*

Кафедра *галузевого машинобудування*

Ступінь вищої освіти: *бакалавр*

Галузь знань: *13 Механічна інженерія*

Спеціальність: *133 Галузеве машинобудування*

Освітня програма: *«Галузеве машинобудування»*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ *В. Пуць*

«___» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Шкабурі Максиму Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи *«Проектування автоматизованої системи прання із вбудованою технологією парової обробки текстильних виробів»*

Керівник роботи: *к.т.н, доцент Пуць Віталій Степанович*

затверджені наказом закладу вищої освіти від «18» березня 2025 р. № 163/01-02

2. Строк подання здобувачем вищої освіти кваліфікаційної роботи «04» червня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи *Технічна документація. Патентні матеріали. Технічні умови.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що потрібно розробити):

Вступ. 1 Оглядова частина. Огляд конструкцій пральних машин з вбудованою системою

парової обробки текстильних виробів. Патентний пошук. 2 Проектна частина. Розробка

конструкції ПМА з генератором пари. Обґрунтування структурної, гідравлічної схем ПМА.

Розрахунки конструктивних і технологічних параметрів модернізованих елементів пральної

машини. 3. Рекомендації з експлуатації розробленої машини. Правила безпечної експлуатації

пральної машини з парогенератором. Усунення типових несправностей. Теплоізоляція.

Висновки. Перелік джерел посилання. Додатки

5. Перелік графічного матеріалу:

1. Пральна машина з парогенератором. Схема гідравлічна – 1 лист ф. А2

2. Пральна машина з парогенератором. Схема структурна – 1 лист ф. А2

3. Пральна машина з парогенератором. Схема функціональна – 1 лист ф. А1

4. Пральна машина з парогенератором. Схема електрична – 1 лист ф. А1

5. Бак в зборі. Складальний кресленик – 1 лист ф. А1

6. Парогенератор. Складальний кресленик – 1 лист ф. А1

7. Робочі кресленики деталей – 1 лист ф. А1

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Пуць В.С., к.т.н., доцент		
Розділ 2	Пуць В.С., к.т.н., доцент		
Розділ 3	Пуць В.С., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання «18» березня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи бакалавра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Вступ</i>	<i>29.03.2025 р.</i>	
2.	<i>1 Оглядова частина</i>	<i>15.04.2025 р.</i>	
3.	<i>2 Проектна частина</i>	<i>10.05.2025 р.</i>	
4.	<i>3 Експлуатаційна частина</i>	<i>24.05.2025 р.</i>	
5.	<i>Формування списку використаних джерел</i>	<i>28.05.2025 р.</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки та графічної частини</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
7.	<i>Нормоконтроль</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
8.	<i>Інструментальна перевірка на академічний плагіат</i>	<i>04.06.2025 р.</i>	
9.	<i>Представлення кваліфікаційної роботи бакалавра до захисту</i>	<i>14.06.2025 р.</i>	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис) _____ *(Шкабура М.О.)*
(прізвище, ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ (підпис) _____ *(Пуць В.С.)*
(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Шкабура М.О. Проектування автоматизованої системи прання із вбудованою технологією парової обробки текстильних виробів. Рукопис.

Кваліфікаційна робота бакалавра ОП «Галузеве машинобудування» спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Луцький національний технічний університет. Луцьк, 2025.

Кваліфікаційна робота бакалавра складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку джерел посилання.

У кваліфікаційній роботі бакалавра запропоновано конструкцію автоматичної пральної машини, яка оснащена генератором пари. Виконано аналіз чинних конструкцій пральних машин з додатковими функціями для покращення показників дбайливого відпирання білизни. Розроблено гідравлічну та електричну схеми пральної машини, конструкцію генератора пари і складальний кресленик бака пральної машини з системою обробки білизни парою. Виконано розрахунки теплових режимів роботи, потужності електричного нагрівача генератора пари, корпусу генератора на міцність під час дії тиску пари, клапана тиску. Розроблено необхідні креслення конструкції.

Розроблено заходи з охорони праці і безпеки життєдіяльності під час експлуатації та обслуговування побутових пральних машин з функцією обробки білизни парою.

Ключові слова: ПОБУТОВА ПРАЛЬНА МАШИНА, СИСТЕМА ОБРОБКИ БІЛИЗНИ ПАРЮЮ, ГЕНЕРАТОР ПАРИ, КЛАПАН ТИСКУ, ЕЛЕКТРОНАГРІВАЧ, ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ НАСОС

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ		
Розроб.	Шкабура				Літ.	Аркуш	Аркушіє
Перевір.	Луць					2	69
Реценз.					ЛНТУ, ФТМІ, каф. ГМ, ст. гр. М-41		
Н. контр.	Мартинюк						
Затверд.	Луць						

ANNOTATION

Shkabura M.O. Design of an automated washing system with built-in technology for steam treatment of textile products. Manuscript.

Bachelor's qualification work OP "Industrial Mechanical Engineering" specialty 133 Industrial Mechanical Engineering. Lutsk National Technical University. Lutsk, 2025.

Bachelor's qualification work consists of an introduction, three sections, conclusions, list of references.

In the bachelor's qualification work, the design of an automatic washing machine equipped with a steam generator is proposed. An analysis of existing designs of washing machines with additional functions to improve the indicators of gentle washing of linen is performed. A hydraulic and electrical diagram of the washing machine, a design of a steam generator and an assembly drawing of the tank of a washing machine with a steam laundry treatment system are developed. Calculations of thermal operating modes, power of the electric heater of the steam generator, the generator housing for strength under the action of steam pressure, pressure valve have been performed. The necessary design drawings have been developed.

Measures for labor protection and life safety during operation and maintenance of household washing machines with the function of steam processing of linen have been developed.

Keywords: HOUSEHOLD WASHING MACHINE, STEAM TREATMENT SYSTEM OF LINEN, STEAM GENERATOR, PRESSURE VALVE, ELECTRIC HEATER, ELECTROMAGNETIC PUMP

					<i>КРБ 0029.00.00.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
						3
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ОГЛЯДОВА ЧАСТИНА	7
1.1 Пральні машини з вбудованою системою парової обробки	7
1.2 Огляд та аналіз патентних рішень.....	20
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	27
2.1 Розробка конструкції ПМА з генератором пари	27
2.2 Розробка гідравлічної схеми ПМА з генератором пари	28
2.3 Розробка структурної схеми пральної машини з генератором пари	30
2.4 Вибір конструкції клапану тиску	32
2.5 Розробка електричної схеми керування пральною машиною	34
2.6 Розрахунки конструктивних і технологічних параметрів модернізованих елементів пральної машини	40
2.6.1 Визначення надлишкового тиску в генераторі пари для утворення перегрітої водяної пари.....	40
2.6.2 Визначення потужності нагрівача генератора пари	43
2.6.3 Розробка конструкції клапану для створення надлишкового тиску в генераторі пари	50
2.6.4 Визначення швидкості струменю пари з сопла	54
2.6.5 Визначення товщини стінки корпусу генератора пари.....	55
2.6.6 Вибір насосу генератора пари	58
2.6.7 Розрахунок запобіжної мембрани генератора пари	58
3 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОЇ МАШИНИ	60
3.1 Правила безпечної експлуатації пральної машини	60
3.2 Особливості експлуатації пральних машин з функцією парової обробки..	61
3.3 Усунення типових несправностей пральних машин-автоматів з парогенератором	62
3.4 Забезпечення теплоізоляції корпусу генератора пари	64
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	67
ДОДАТКИ.....	69

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

4

ВСТУП

Серед численних побутових процесів прання текстильних виробів залишається одним із найскладніших і найтрудомісткіших, що зумовлює постійний попит на вдосконалення пральної техніки. Саме тому пральні машини посідають провідне місце у списку найпоширеніших видів побутових електроприладів.

Сучасні автоматизовані пральні машини здатні виконувати повний цикл прання без участі користувача: від набору води й вибору температурного режиму до полоскання та віджимання. Інтелектуальні системи керування, зокрема технології на основі «розмитої логіки» (Fuzzy Logic), дозволяють реалізувати тисячі комбінацій режимів прання відповідно до параметрів води, обсягу та типу завантаження. Датчики визначають жорсткість і температуру води, концентрацію мийного засобу, ступінь завантаження, що дає змогу максимально оптимізувати процес.

Останні тенденції розвитку побутової техніки спрямовані на інтеграцію пральних машин у локальну мережу з доступом до Інтернету, що дає змогу віддалено контролювати їхню роботу, автоматично передавати дані про можливі несправності та організовувати ефективне сервісне обслуговування.

Історично склалися кілька основних конструктивних типів пральних машин: пульсаторного, барабанного та активаторного типів. Серед них найбільше поширення отримали машини барабанного типу, в яких прання забезпечується обертанням горизонтального барабана, що створює тиск і тертя води та білизни.

На сьогодні особливої актуальності набувають пральні машини з використанням технології прання парою. Такий підхід дозволяє значно знизити споживання електроенергії та води, покращує якість прання, усуває статичну електрику, зменшує кількість складок та усуває неприємні запахи. Для видалення стійких або важкодоступних забруднень усе ширше застосовуються вбудовані парогенератори.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						5
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		

Актуальність теми. Удосконалення конструкції та функціональних можливостей пральних машин із впровадженням парових технологій відповідає сучасним вимогам енергоефективності, високої якості прання та комфортності користування. Це обумовлює необхідність дослідження й проєктування нових автоматизованих систем прання з інтегрованою паровою обробкою текстильних виробів.

Метою роботи є проєктування сучасної автоматизованої системи прання текстильних виробів із впровадженням технології парової обробки для підвищення ефективності видалення забруднень, економії ресурсів та покращення якості догляду за білизною.

Об'єктом дослідження є процес автоматизованого прання текстильних виробів.

Предметом дослідження є конструкція та принцип роботи автоматизованої пральної системи з вбудованою технологією парової обробки.

Методи дослідження. Для досягнення поставленої мети використано аналітичні методи дослідження, комп'ютерне моделювання робочих процесів, аналіз технічних характеристик існуючих пральних машин та порівняння варіантів конструктивних рішень.

Практичне значення. Результати дослідження можуть бути використані у процесі розробки та впровадження інноваційних пральних машин нового покоління, що відповідають вимогам енергоощадності, екологічності та високої якості обробки текстильних виробів.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		6

фондом боротьби з алергією (ВAF), що засвідчує їхню безпечність і доцільність використання для людей, які страждають на алергію та астму, а також для догляду за дитячими речами.

Таким чином, застосування сучасних пральних машин із технологією парової обробки не лише спрощує побут, але й сприяє покращенню якості життя, забезпечуючи високий рівень гігієнічної чистоти текстильних виробів та знижуючи ризик алергічних реакцій у членів родини.

Однією з інноваційних тенденцій у розвитку сучасних пральних машин є впровадження технологій обробки текстильних виробів парою, що дозволяє поєднувати якісне прання з делікатним доглядом за тканинами. Так, експерти компанії Electrolux розробили серію пральних машин із функцією обробки парою, яка забезпечує для одягу справжню процедуру SPA-догляду (SPA – скорочення від латинського виразу *Sanus per Aquam*, що означає «здоров'я за допомогою води»).

У цих моделях пара використовується для максимально обережної та ефективної обробки навіть найделікатніших матеріалів. Часто на етикетках одягу можна знайти рекомендації щодо ручного прання або хімічного чищення, а також складні комбінації тканин, що ускладнює правильний вибір режиму прання. Застосування пари дозволяє безпечно очищувати вироби зі шовку, вовни, кашеміру та їхніх сумішей, мінімізуючи ризик деформації чи пошкодження волокон. Таким чином, користувач отримує переваги професійного чищення у домашніх умовах.

Дослідження, проведені компанією Electrolux, показали, що близько половини звернень до хімчисток пов'язано не з необхідністю глибокого прання, а з бажанням «освіжити» одяг і повернути йому охайний вигляд. Для вирішення цієї задачі всі моделі нової серії пральних машин обладнані спеціальною програмою швидкого «освіження», яка дозволяє значно рідше звертатися до послуг хімчистки. Такий режим дезодорує тканини, відновлює їх природну

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		8

Інженери LG реалізували низку технічних рішень, що дозволяють поєднати високу якість прання з мінімальним зношуванням тканини. Так, модель WD-14370TD обладнана подвійною системою подачі пари, що забезпечує ефективне видалення шкідливих мікроорганізмів і підвищує якість прання приблизно на 21 % порівняно зі звичайними пральними машинами без парової технології. Пара діє на тканину делікатно, запобігаючи утворенню заломів, які часто виникають під час інтенсивного механічного впливу барабана.

Завдяки високій температурі пари, що під час прання може досягати 95 °С, пральні машини нового покоління ефективно знезаражують тканину, знищуючи до 99,9 % бактерій і алергенів. Це особливо важливо для сімей з маленькими дітьми та людей, схильних до алергічних захворювань.

Окрім покращеної якості прання, технологія обробки парою сприяє раціональному використанню ресурсів. Використання пари дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії, що витрачається на нагрів води, адже для створення пари потрібна приблизно удвічі менша кількість води, ніж для стандартного циклу прання. Додатково пара очищує внутрішні елементи пральної машини, що сприяє підтриманню її санітарного стану та продовжує термін експлуатації.

Режим короткочасного парового циклу «Освіжити» дозволяє швидко повернути одягу охайний вигляд без повного прання та хімічного чищення, що суттєво економить час і кошти користувачів. Висока проникаюча здатність пари забезпечує рівномірне зволоження волокон і сприяє ефективному видаленню неприємних запахів, що робить парову технологію універсальним і практичним засобом гігієнічного догляду за текстильними виробами.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		10

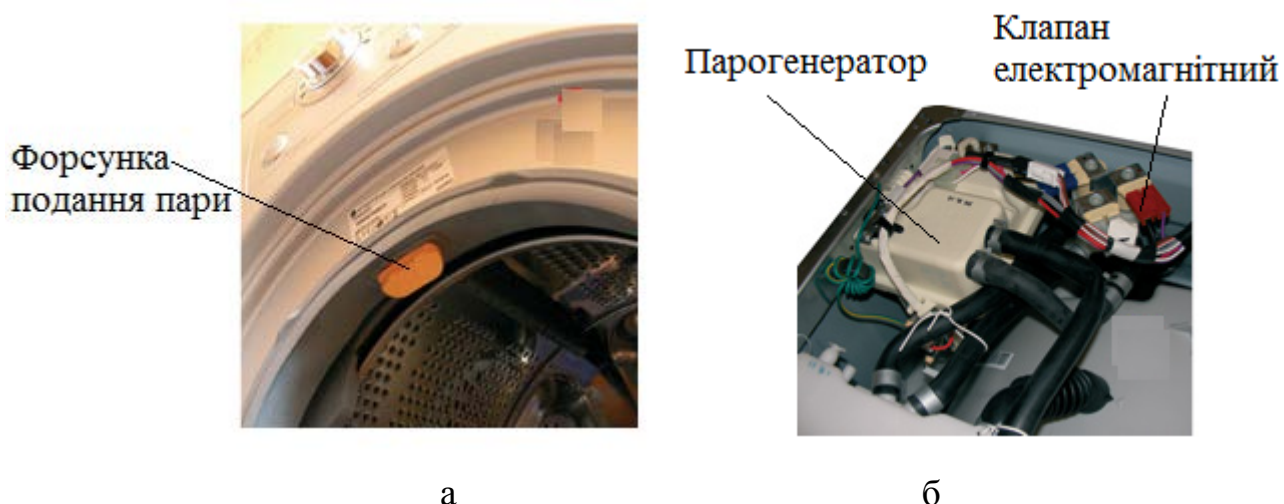


Рисунок 1.1 Елементи вузлів пральної машини з функцією парової обробки: а – завантажувальне вікно барабана; б – блок генерації пари.

Подача пари в барабан пральної машини здійснюється через спеціальну форсунку, розташовану у верхній частині завантажувального вікна, яка для зручності і безпеки закрита яскравою пластиковою накладкою (рисунок 1.1а) [2]. Пара транспортується до форсунки гнучкою гумовою трубкою, що з'єднана з парогенератором, розміщеним у задній лівій частині машини поряд з блоком електромагнітних клапанів (рисунок 1.1б) [7]. Через один із цих клапанів у генератор подається необхідна кількість води для утворення пари.

Керування режимами пральної машини здійснюється за допомогою поворотного селектора для вибору програми прання та окремої кнопки для активації режиму обробки паром. Однією з особливостей сучасної конструкції є можливість дистанційного керування усіма функціями за допомогою пульта або монітора, який можна встановити у будь-якому приміщенні будинку.

Барабан машини розрахований на завантаження до 7 кг білизни і здатний досягати швидкості віджимання до 1400 обертів за хвилину. Для зручності користувача передбачено рідкокристалічний дисплей, що відображає поточну інформацію про обраний режим роботи, залишковий час циклу та стан виконання програми.

Традиційною особливістю конструкції пральних машин LG є використання технології прямого приводу (Direct Drive) [13]. Відмова від традиційного приводного ременя дозволила конструкторам компанії суттєво знизити ймовірність механічних несправностей і зносу компонентів приводу, а також зменшити рівень шуму і вібрацій під час роботи машини.

Ще однією фірмовою особливістю є широке застосування антибактеріальних властивостей срібла [15]. У поєднанні з оптимізованими режимами обертання барабана, подовженим циклом прання та дворівневим нагрівом води це дало змогу розробити спеціальну програму «Одяг малюка», яка забезпечує особливо дбайливий і якісний догляд за дитячими речами. Дизайн машин також варіюється: поряд із класичними кольорами покупцеві пропонуються яскраві дизайнерські рішення, зокрема моделі з рожевим або червоним кольоровим оздобленням.

Інноваційні рішення швидко знаходять застосування у виробництві побутової техніки, постійно вдосконалюючись і доповнюючись новими функціями. Так, сучасна пральна машина Whirlpool AquaSteam реалізує технологію подачі пари протягом усього циклу прання, що забезпечує ефективне видалення плям, дезінфекцію одягу та одночасно дбайливе поводження з делікатними тканинами.

Завдяки такій технології можна безпечно очищувати навіть найтонші матеріали, наприклад, шовкову білизну чи мереживні вироби. Додатково передбачено режим «Освіжаючий паровий цикл», який за короткий час – близько 20 хвилин – дозволяє швидко і ефективно усунути неприємні запахи (наприклад, тютюновий дим) та розгладити дрібні складки на тканині. Це значно економить час користувача, дозволяючи підтримувати одяг у чистому й охайному стані навіть без повноцінного прання [15].

Завдяки здатності пари послаблювати натяг волокон тканини, мийний засіб проникає у їхню структуру значно глибше, що забезпечує високий рівень очищення та бездоганну якість прання. Особливий оздоровчий ефект досягається

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		12

під час роботи режиму «Антибактеріальне прання», який дозволяє ефективно знищувати бактерії навіть за умов низькотемпературного прання, наприклад при 40 °С. На завершальному етапі циклу барабан машини заповнюється паром, яка додатково обробляє текстильні вироби, знищуючи шкідливі мікроорганізми на поверхні тканини.

У конструкції пральної машини Whirlpool використано проточний нагрівальний елемент (ТЕН), розташований уздовж задньої стінки корпусу. Такий тип нагрівального елемента добре зарекомендував себе у побутовій техніці, зокрема в посудомийних машинах (рисунок 1.2). Подання води до проточного ТЕНу здійснюється через трубопровід, який підключений до блоку електромагнітних клапанів. Це дозволяє швидко і рівномірно нагрівати необхідний об'єм води для генерації пари.

Керування пральною машиною здійснюється за допомогою сенсорної панелі управління. Для вибору потрібної програми достатньо натиснути відповідний сектор на інтерактивному дисплеї [2]. У своїх топових моделях компанія Whirlpool вже тривалий час відмовляється від традиційних механічних поворотних перемикачів, впроваджуючи сучасну технологію Bluetouch, яка забезпечує інтуїтивно зрозуміле та зручне керування робочими режимами пральної машини.



Рисунок 1.2 Генератор пари проточного типу пральної машини Whirlpool [16]

Барабан пральної машини спроектовано для завантаження до 8 кг білизни. Максимальна швидкість обертання барабана під час віджимання становить 1400 обертів за хвилину. Виріб характеризується високим класом енергоефективності А+ та класом якості прання А, споживаючи за один повний цикл приблизно 69 л води.

Принцип дії функції парової обробки полягає у подачі пари під час прання безпосередньо у барабан, де вона змішується з водою. Така комбінація дозволяє максимально ефективно розчиняти мийний засіб і сприяє його глибокому проникненню у структуру волокон. Завдяки цьому забезпечується ретельне видалення забруднень при одночасно делікатному впливі на тканину, що значно підвищує якість прання порівняно зі звичайними режимами.

Крім того, пара у поєднанні з водою сприяє повному розчиненню залишків мийного засобу, що є важливим аспектом для людей із чутливою шкірою або схильних до алергічних реакцій. Важливою перевагою парової технології є підтримання стабільної температури у діапазоні 50–60 °С по всьому об'єму барабана. Такий температурний режим забезпечує ефективне знищення до 99 % найпоширеніших алергенів, зокрема шерсті тварин, пилку рослин і кліщів сапрофітів.

Алергени під впливом пари розчиняються і разом із залишками забруднень ефективно виполіскуються з тканини під час завершальних етапів циклу. Завдяки цьому забезпечується високий рівень гігієни текстильних виробів, що особливо важливо для сімей з дітьми та людей, чутливих до алергенів побутового середовища.

Додатковою перевагою сучасних пральних машин із функцією парової обробки є спеціальний режим «Освіжити», який дозволяє швидко усунути неприємні запахи та розгладити дрібні складки без використання мийних засобів, що для багатьох користувачів є важливим фактором з огляду на ризик алергічних реакцій на хімічні речовини. Використання цього режиму забезпечує повернення одягу чистого та свіжого вигляду всього за 20 хвилин. Ефективність

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		14

пральних машин LG із технологією True Steam у видаленні запахів і складок підтверджена сертифікатами міжнародної сертифікаційної організації INTERTEK, що є одним із провідних незалежних експертів у галузі випробувань і сертифікації побутової техніки.

Варто зазначити, що пральні машини LG із функцією True Steam демонструють приблизно на 20% вищу ефективність очищення порівняно з моделями класу А. Це досягається завдяки оптимізованому використанню ресурсів: для утворення пари в генераторі споживається значно менше води та електроенергії, ніж при традиційному підігріві всього об'єму води у барабані [13].

Серед новітніх рішень LG із функцією пари слід відзначити моделі LG F14B3PDS та LG F14B3PDS7 із серії BigIn, які при компактних габаритах (глибина лише 46 см) дозволяють одночасно прати до 8 кг білизни, що робить їх зручними для великої родини навіть у квартирах із обмеженим простором. Ці моделі обладнані надійним і довговічним мотором із прямим приводом, що мінімізує рівень шуму та знижує знос механічних елементів. Також реалізована запатентована технологія «6 Motion», що передбачає шість різних типів рухів барабана для максимально делікатного та водночас ефективного очищення тканин.

Керування машиною здійснюється через інтуїтивно зрозумілий сенсорний дисплей, що дозволяє легко налаштовувати програми та режими залежно від типу тканини та ступеня забруднення. Користувач може обрати, наприклад, режим «Освіжити» або «Гіпоалергенне прання», що особливо актуально для догляду за речами дітей та людей, схильних до алергій.

Слід наголосити, що дрібні органічні та неорганічні частки забруднень зазвичай осідають у проміжках між волокнами тканини, де дія прального порошку є обмеженою. Пара, проникаючи всередину волокон, руйнує ці частки на молекулярному рівні, що сприяє максимальному очищенню білизни від забруднень, алергенів і сторонніх запахів.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		15

Новітня технологія LG True Steam реалізована у пральних машинах за допомогою спеціального парогенератора, який перетворює воду в пару і подає її безпосередньо у барабан. Це дозволяє отримати суттєві переваги порівняно із традиційним пранням, зокрема покращену якість очищення текстильних виробів та суттєве скорочення часу на виконання циклу. Наприклад, прання звичайної сорочки за допомогою цієї технології займає менше двадцяти хвилин.

Окрім цього, парогенератор забезпечує значну економію електроенергії та води, що сприяє підвищенню енергоефективності побутового пристрою. Технологія True Steam ефективно знищує широкий спектр шкідливих мікроорганізмів – бактерії, пилок рослин, кліщів та інші алергени, що робить її особливо корисною для користувачів із алергічними захворюваннями.

Сучасні моделі пральних машин LG, такі як F14A8FDS5, F12A8HDS5 та F1495BDS7, вже оснащені даною технологією, що робить їх привабливим вибором для тих, хто цінує зручність, ефективність і економію часу [13].

Кожен з цих пристроїв також оснащений безшумним інверторним двигуном з прямим приводом (Inverter Direct Drive), який знижує рівень шуму та вібрацій під час роботи, а також подовжує термін служби обладнання. За рахунок оптимізації роботи двигуна ці машини економлять до 45% електроенергії у порівнянні з традиційними моделями.

Окрім парових функцій, у пральних машинах LG застосовується інноваційна технологія 6 Motion DD, що дозволяє реалізовувати різноманітні режими прання із різними типами рухів барабана, забезпечуючи ефективне й делікатне очищення навіть без застосування пари.

Технологія парової обробки знаходиться на піку популярності й активно розвивається. На ринку з'являється все більше побутової техніки, що базується на цій інновації. Зокрема, японський дослідницький інститут Nikkei Industrial Consumption Research Institute визнав побутову техніку з технологією парової обробки одним із найбільш затребуваних продуктів у першому півріччі минулого року.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		16

Варто відзначити, що компанія LG Electronics стала першою у світі, хто розробив і впровадив пральні машини з технологією Steam, заклавши основу для подальшого розвитку цієї галузі побутової техніки.

LG Steam – пральна машина від компанії LG Electronics, оснащена системою подачі пари, що значно покращує якість прання порівняно зі звичайними моделями.

Принцип дії парової системи базується на економії електроенергії, яка зазвичай витрачається на нагрівання води. Пара не тільки дезінфікує внутрішній простір барабана, а й здійснює щадний вплив на тканину, запобігаючи утворенню заломів, які часто виникають під час традиційного прання. Завдяки високій температурі пари, що може досягати 104 °С, парові пральні машини ефективно усувають бактерії, забезпечуючи гігієнічну чистоту одягу.

Технологія Steam не завдає шкоди тканинам, оскільки генератор пари рівномірно розподіляє її по вологому одягу, а сама пара швидко охолоджується на поверхні тканини, на відміну від води. Молекули пари рухаються значно швидше, ніж молекули води, що у поєднанні з меншим обсягом використаної води знижує тертя між тканиною і рідиною, мінімізуючи механічне навантаження на волокна.

Для додаткового захисту делікатних тканин у пральних машинах LG передбачена функція автоматичного визначення типу тканини. При виборі режимів прання для шовку, вовни та інших тканин, що не рекомендуються для обробки паром, парова функція вимикається, що забезпечує безпеку матеріалів.

Унікальна технологія парової обробки, що включає захист від алергенів, сприяє видаленню алергенних часток і знищенню бактерій, які можуть викликати алергічні реакції. Висока температура пари ефективно знищує мікроорганізми, які накопичуються в одязі, постільній білизні та інших текстильних виробах, при цьому м'яка дія пари зменшує ймовірність пошкодження тканини.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		17

Паровий цикл підтримує температуру близько 95 °С, що допомагає знизити тертя між водою та тканиною, що, в свою чергу, зменшує знос одягу. Пара також глибше проникає у структуру волокон завдяки своїм фізичним властивостям, що робить її більш ефективною у очищенні порівняно з використанням лише води.

Розроблений у LG короткочасний паровий цикл Steam Refresh призначений для усунення змінань і неприємних запахів з одягу без застосування мийних засобів. Цей цикл дозволяє значно зекономити на хімчистці і прасуванні, адже пара активно зволожує тканину і завдяки високій здатності абсорбції видаляє з неї сторонні запахи.

Властивості пари у процесі прання:

Завдяки своїм мікроскопічним розмірам і високій рухливості молекул, пара ефективно переносить тепло і вологу, що сприяє рівномірному нагріванню тканини;

Парова обробка послаблює зв'язки між плямами і волокнами тканини завдяки ефекту набухання кожного волокна, що значно полегшує їх видалення;

Високі абсорбційні властивості пари сприяють ефективному усуненню неприємних запахів;

Парова обробка також знімає статичний заряд з текстильних виробів, запобігаючи прилипанню пилу і бруду.

Крім активного використання пари в самому процесі прання, виробник передбачив і функцію очищення прального бака – Tub Clean. Ця програма дозволяє видаляти забруднення, що накопичуються всередині барабана і корпусу протягом тривалого використання машини. За даними виробника, ефективність парового очищення перевищує можливості звичайної гарячої води, що дозволяє уникнути необхідності ручного чищення бака і забезпечує гігієнічність пристрою [7].

Важливим параметром сучасної побутової техніки є рівень шуму під час роботи. Пральна машина LG Steam оснащена мотором із прямим приводом –

технологією Direct Drive, яка значно знижує рівень шуму. На відміну від традиційних конструкцій, де електродвигун розташований збоку барабана і рух передається за допомогою ременя і шківів, у даному випадку двигун безпосередньо кріпиться до барабана. Це виключає наявність додаткових рухомих елементів – ременів та шківів, що істотно зменшує шум при роботі.

Крім того, мотор Direct Drive не має щіток для зняття струму, які з часом зношуються і потребують заміни. Менша кількість деталей не лише знижує рівень шуму, а й підвищує надійність і довговічність пральної машини. В результаті користувач отримує більш тихий та довговічний пристрій, що відповідає сучасним вимогам комфорту і якості.

Ротор двигуна з прямим приводом (Direct Drive) виконаний у вигляді постійного магніту. Така «безщіткова» конструкція у поєднанні з компактними розмірами дозволяє розмістити двигун і барабан на одній осі, усуваючи необхідність у використанні шківа та приводного ременя. Це значно підвищує надійність і знижує рівень шуму під час роботи пристрою.

Кип'ятіння білизни традиційно вважається ефективним способом прання, особливо завдяки дезінфекційним властивостям температури близько 95 °С, яку реалізують у багатьох сучасних автоматичних пральних машинах. Однак появою пральних машин з функцією обробки паром створено нові можливості, що мають вагомні переваги порівняно з традиційним високотемпературним пранням.

По-перше, об'єм пари в декілька разів перевищує об'єм води, що дозволяє значно зменшити витрати води під час прання, а отже – скоротити час і електроенергію, необхідні для нагріву. Таким чином, пральні машини з паровою обробкою є більш економічними.

По-друге, завдяки глибокому проникненню пари у структуру волокон, вона більш ефективно розчиняє і видаляє забруднення, що дозволяє замінити традиційне замочування із застосуванням миючих засобів. Відпарювання при цьому менш травматичне для тканини, краще зберігає колір і форму одягу порівняно з кип'ятінням.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		19

Поєднання переваг парової обробки та сучасних пральних порошків і допоміжних засобів наближає ефективність прання в домашніх умовах до професійних результатів хімчисток.

Крім основного прання, парова функція дає змогу реалізувати додаткові режими догляду за речами. Наприклад, парове відпарювання нових текстильних виробів чи м'яких іграшок гарантує знищення шкідливих мікроорганізмів без шкоди для їхнього зовнішнього вигляду, що може бути суттєвим недоліком повного прання.

Паровою обробкою зручно усувати складки й зморшки, що виникають унаслідок тривалого або неправильного зберігання, а також освіжати пересохлі речі, значно полегшуючи подальше прасування.

Ще одна важлива перевага парової технології – усунення неприємних запахів із тканини.

Отже, застосування пари забезпечує високу якість очищення та дезінфекції при значному зниженні витрат води, електроенергії та часу. Це робить такі пральні машини особливо затребуваними в медичних установах, дитячих садках, закладах громадського харчування, готелях, а також надзвичайно корисними в повсякденному побуті звичайної родини.

1.2 Огляд та аналіз патентних рішень

Пральна машина барабанного типу з інтегрованим генератором пари детально описана у джерелі [3].

Конструктивно така пральна машина включає корпус, всередині якого горизонтально встановлений циліндричний бак. Всередині баку розміщено барабан, що може обертатися навколо своєї осі, приводний двигун забезпечує його обертання. Зовнішній водяний клапан, розташований з одного боку корпусу, служить для подачі води у бак через відповідні трубопроводи.

Особливістю цієї конструкції є наявність генератора пари, який подає пару безпосередньо у барабан через систему шлангів: окремий шланг подає воду до

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		20

генератора, а інший – пару у внутрішній простір барабана. Кінцева частина шлангу для подачі пари оснащена соплом, що розпилює пару для рівномірного розподілу по тканині.

Проте генератор пари, відомий із існуючих технічних рішень, має деякі недоліки. Його прямокутна форма з малою висотою і великою шириною створює труднощі при встановленні у пральну машину. Зазвичай генератор монтується у верхній частині пристрою – у проміжку між корпусом і баком, але цей простір дуже обмежений.

Крім того, у цьому вузькому проміжку вже розташовані інші важливі елементи: клапани, пружини підвіски та інші деталі, що додатково обмежує доступний об'єм для розміщення генератора пари. Це ускладнює як монтаж, так і подальше технічне обслуговування.

Корейська патентна публікація [3] описує пральну машину барабанного типу, оснащену функцією парової обробки білизни.

У запропонованій конструкції після завершення циклу віджимання відбувається операція сушіння, при якій вентилятор створює потік стисненого повітря. Нагрівач при цьому нагріває внутрішній простір сушильної камери. Проходячи через камеру, стисле повітря перетворюється на гаряче повітря, яке подається у барабан, що обертається, забезпечуючи сушку вологого одягу.

Таке рішення забезпечує високий рівень ефективності сушіння. Проте, сама операція прання в цій пральній машині базується виключно на механічній дії: падіння білизни і взаємодії з миючим засобом, що обмежує повноту видалення забруднень.

Для підвищення ефективності прання в цій конструкції пропонується нагрівання води до вищої температури за допомогою спеціального нагрівача, встановленого в нижній частині бака. Однак такий підхід має суттєвий недолік – збільшення витрат електроенергії і загального часу циклу прання через необхідність повного нагрівання об'єму води до заданої температури.

Технічним завданням запропонованого винаходу стало створення пральної машини з функцією обробки білизни парою, яка оснащена генератором пари і забезпечує покращення якості прання при одночасному зниженні енергоспоживання.

Генератор пари складається з нагрівача, який нагріває воду до утворення пари високої температури, патрубку для подачі цієї пари, а також парового клапана, що регулює подачу води, яка проходить через нагрівач.

Винахід [3] належить до пральних машин барабанного типу і, зокрема, до нового типу генератора пари, що забезпечує швидке та ефективне прання і сушку білизни. Крім того, ця технологія дозволяє досягти регенеруючого ефекту – усунення зморшок на тканинах, а також стерилізації білизни.

У традиційній пральній машині барабанного типу прання відбувається завдяки тертю між білизною і обертовим барабаном, який приводиться в рух електродвигуном. При цьому при завантаженні миючого засобу, води та білизни у барабан відбувається делікатне прання, яке не пошкоджує тканину і не заплутує речі, забезпечуючи ефективне очищення за рахунок поєднання води та механічної дії.

Однак пральні машини барабанного типу мають низку недоліків. По-перше, для замочування білизни перед основним пранням витрачається значна кількість води, що підвищує загальний обсяг споживання ресурсів. По-друге, звичайні машини не забезпечують належної стерилізації тканин, що є особливо важливим для сімей з дітьми чи людей із алергіями. По-третє, під час прання на білизні утворюється велика кількість зморшок, що вимагає додаткової ручної праці, зокрема прасування, що забирає час і зусилля користувача.

Основним завданням винаходу стало розроблення нового типу генератора пари для пральної машини барабанного типу, який дозволяє значно прискорити і підвищити ефективність прання та сушіння, а також забезпечити регенерацію тканин – усунення зморшок і стерилізацію білизни.

					<i>КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		22

Рішення цієї задачі полягає у впровадженні генератора пари, що дозволяє:

- зменшити витрати води за рахунок підвищення ефективності прання;
- усувати зморшки без додаткової праці користувача;
- забезпечувати стерилізацію та підвищувати якість сушіння білизни.

Таким чином, запропонована технологія суттєво покращує функціональні можливості пральної машини барабанного типу, підвищуючи комфорт і економічність її експлуатації.

Пральна машина барабанного типу з функцією обробки білизни парою включає корпус 1 (див. рис. 1.3), клапан подачі води 12, розташований у корпусі, циліндричний бак 2, зафіксований всередині корпусу, а також барабан 3, який може обертатися всередині бака.

У конструкції також передбачено короб, який містить нагрівач 8 для розігріву повітря, що подається у барабан, а також вентилятор 10, який забезпечує примусове надходження гарячого повітря. Для обробки білизни парою застосовується генератор пари 11, що подає пару безпосередньо у барабан.

Генератор пари включає вузол з камерою для проходження води, який має впускний отвір для подачі води та випускний отвір, обидва з'єднані з камерою. Вузол підключено до трубопроводу для подачі води, а клапан 12 регулює надходження води через впускний отвір. Випускний трубопровід сполучає вихід генератора з баком пральної машини. Для забезпечення швидкого нагрівання води у генераторі встановлено нагрівач.

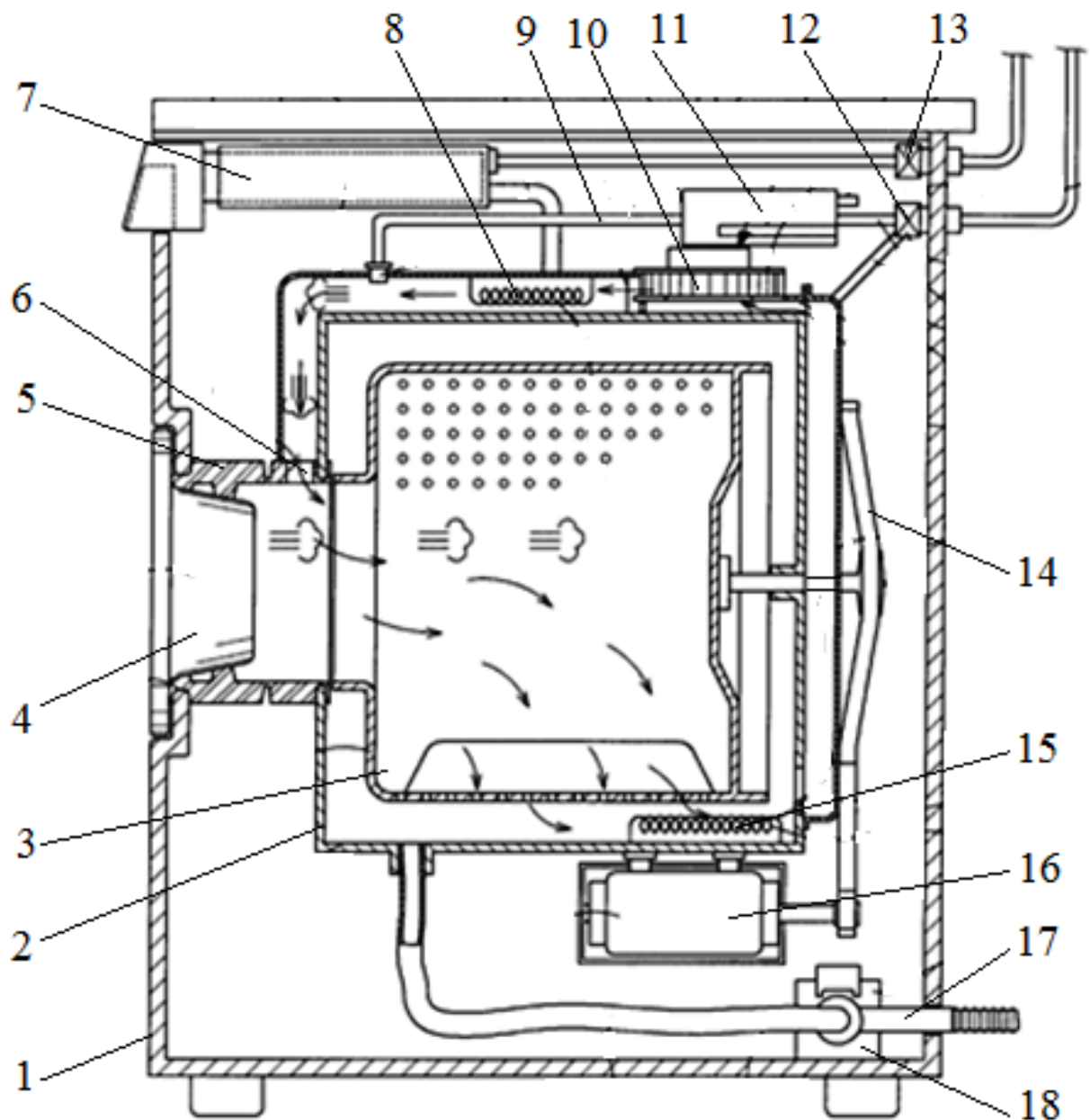


Рисунок 1.3 Схема пральної машини з генератором пари:

1 – корпус; 2 – бак; 3 – барабан; 4 – вікно; 5 – ущільнення; 6 – сопло подачі пари; 7 – місткість для миючих засобів; 8 – нагрівач для перегрівання пароповітряного потоку; 9 – трубопровід подачі пари; 10 – відцентровий вентилятор; 11 – генератор пари; 12 – електромагнітний клапан для подачі води в парогенератор; 13 – електромагнітний клапан для подачі води в бак; 14 – шків; 15 – нагрівач води в баку; 16 – електродвигун; 17 – трубопровід зливу води; 18 – насос для зливу води.

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

24

Генератор пари пральної машини додатково оснащений датчиком температури (на схемі не показаний), який контролює нагрівач. Датчик спрацьовує при досягненні заданої температури, що забезпечує автоматичне відключення подачі енергії для запобігання перегріванню. Вузол генератора виготовлений із металу з високою теплопровідністю для ефективного нагріву.

Під час початку циклу прання вода для прання і миючий засіб змішуються в місткості для миючих засобів (позначена під номером 7) і подаються у барабан (3). Одночасно активується генератор пари (11), що подає гарячу пару високої температури у барабан через бак. Це забезпечує рівномірне змочування білизни і відділення забруднень, підвищуючи ефективність прання навіть при використанні меншої кількості води.

Дана конструкція має промислову цінність завдяки можливості економії води, підвищенню якості прання, зменшенню утворення зморшок на тканині, а також отриманню гігієнічно чистої білизни.

Висновки до Розділу 1

Пральні машини з функцією обробки парою забезпечують дбайливе і ефективне прання, розгладжують складки та видаляють неприємні запахи без зайвого навантаження на тканину.

Використання пари дозволяє знизити витрати води і електроенергії, а також покращує якість прання за рахунок глибшого проникнення у волокна тканини та більш ефективного видалення забруднень і алергенів.

Технології прямого приводу (Direct Drive) та сучасні генератори пари сприяють зниженню рівня шуму, підвищенню надійності і терміну служби пральних машин.

Аналіз патентних рішень показав, що сучасні пральні машини барабанного типу з генераторами пари розробляються з урахуванням оптимального розміщення вузлів, контролю температури та управління процесом, що дозволяє

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		25

підвищити ефективність прання і сушіння, а також забезпечити гігієнічну чистоту білизни.

Застосування генератора пари дає змогу економити воду і енергію, зменшувати утворення зморшок і забезпечувати стерилізацію тканин, що особливо важливо для сімей з маленькими дітьми та людей, схильних до алергій.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		26

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка конструкції ПМА з генератором пари

За основу для технічної розробки пральної машини з генератором пари приймаємо патент [3], суть якого детально викладена в розділі 1, пункті 1.2. Цей патент описує конструктивні особливості пральної машини барабанного типу з інтегрованим генератором пари, що дозволяє підвищити ефективність прання, забезпечити стерилізацію білизни та зменшити утворення складок.

Для реалізації технічної розробки необхідно розробити гідравлічну схему пральної машини, яка включатиме подачу води в бак, генератор пари з нагрівачем, а також систему управління подачею пари та води. Важливо врахувати оптимальне розташування і взаємодію усіх елементів, щоб забезпечити максимальну продуктивність і надійність пристрою.

Додатково необхідно розрахувати основні технологічні та конструктивні параметри ключових вузлів і агрегатів пральної машини, таких як: об'єм барабана, швидкість обертання, параметри нагрівальних елементів, пропускна здатність клапанів, довжина і діаметр трубопроводів подачі пари та води. Ці розрахунки дозволять визначити оптимальні характеристики для забезпечення ефективної роботи системи обробки паром.

На основі отриманих розрахункових даних буде проведено підбір стандартних комплектуючих: насосів, клапанів, електромагнітних приводів, нагрівачів, датчиків температури та контролерів. Використання стандартних компонентів сприяє зниженню вартості виробництва і підвищенню надійності та ремонтпридатності пральної машини.

Як базова модель для модернізації може бути обрана будь-яка автоматична пральна машина з фронтальним або вертикальним завантаженням, що відповідає сучасним вимогам по енергозбереженню та екологічності. Такий підхід дозволить інтегрувати технологію генератора пари без значних змін у

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		27

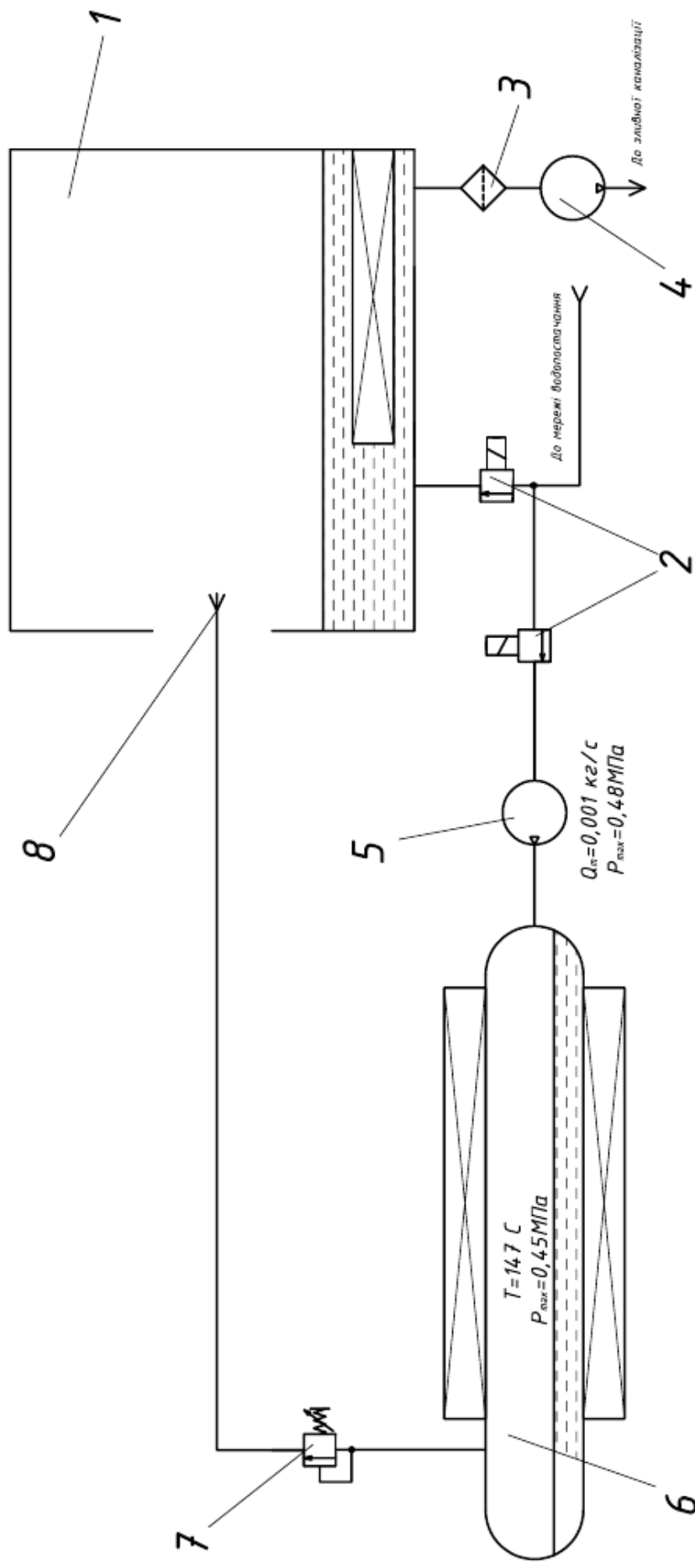


Рисунок 2.1 – Схема гідравлічна пральної машини з генератором пари:

1 - бак пральної машини; 2 - електромагнітний клапан заливання води; 3 - фільтр зливний; 4 – насос зливний; 5 – насос генератора пари; 6 – бойлер; 7 - клапан тиску пари; 8 - форсунка

Вода з водопровідної мережі подається до генератора пари через електромагнітний клапан 2, який відкривається при увімкненні системи. Одночасно активуються насос 5 і нагрівач генератора.

Насос підтримує постійну подачу води і створює надлишковий тиск у ємності генератора пари. Завдяки цьому тиску вода може закипяти при температурі, вищій за 100 °С. Контроль над максимальним тиском у генераторі здійснюється за допомогою клапана 7.

Пара через гнучкий трубопровід і форсунку 8 направляється у бак 1 пральної машини для обробки білизни.

Після завершення парової обробки програма активує роботу насоса 5 без нагрівання води, що дозволяє промити бойлер, охолодити його і видалити з нього залишки води, збагаченої мінеральними солями.

2.3 Розробка структурної схеми пральної машини автоматичної з генератором пари

Структурна схема керування пральною машиною (див. рис. 2.2) включає в себе наступні основні модулі:

- блок керування;
- блок індикації;
- блок живлення;
- блок комутації;
- драйвер для управління електродвигуном барабана;
- силовий драйвер для контролю температури нагрівача генератора пари;
- силовий драйвер нагрівача бака;
- силовий драйвер для керування насосами;
- силовий драйвер для керування електромагнітними клапанами.

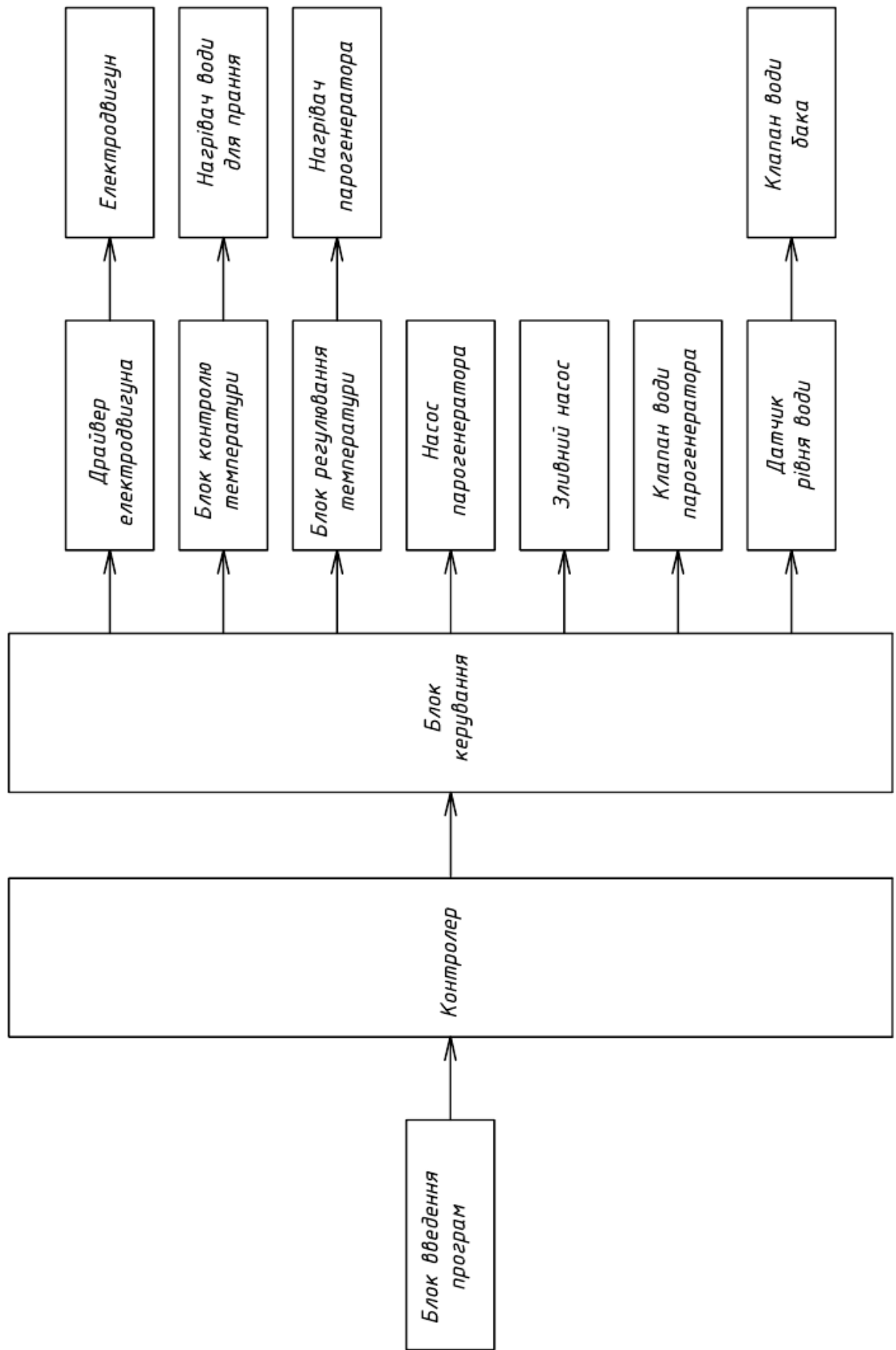


Рисунок 2.2 Схема структурна пральної машини з генератором пари

Для забезпечення стабільної роботи генератора пари необхідно підтримувати температуру в його камері на постійному рівні, що відповідає температурі кипіння води при визначеному надлишковому тиску. Це важливо для ефективного утворення пари необхідної якості та обсягу, а також для запобігання перегріву і можливих аварійних ситуацій.

Для контролю температури найдоцільніше застосувати систему терморегуляції із зворотним зв'язком. В такій системі датчик безперервно вимірює температуру, передаючи сигнал на регулятор, який у свою чергу коригує роботу нагрівача для підтримки заданого режиму. Для вимірювання температури доцільно використовувати термопару, яка має достатню точність, надійність і швидку реакцію на зміну температурного режиму.

Таким чином, застосування системи зворотного зв'язку на основі термопару забезпечує стабільний температурний режим у генераторі пари, що сприяє підвищенню ефективності прання та безпеці роботи пральної машини.

2.4 Вибір конструкції клапана регулювання тиску

Для підтримання заданого тиску пари в системі та забезпечення безпечної роботи генератора пари необхідно передбачити встановлення відповідного клапана регулювання тиску (запобіжного клапана). Такі клапани за принципом дії поділяють на два основні типи: клапани прямої дії та клапани непрямої дії.

У конструкціях прямої дії (рис. 2.3) рух замикаючого елемента відбувається безпосередньо під впливом тиску середовища на чутливий елемент. У свою чергу, у клапанах непрямої дії тиск середовища впливає спочатку на чутливий елемент, який переміщує підсилювальний механізм, що управляє основним замикаючим елементом.

Клапани прямої дії можна класифікувати за кількома критеріями:

- за напрямком прикладання робочого тиску до замикаючого елемента;
- за типом чутливого елемента;
- за методом створення керувального зусилля;

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		32

- за характером ходу замикаючого елемента;
- за величиною підйому замикаючої деталі;
- за способом сполучення вихідної порожнини клапана із зовнішнім середовищем.

Правильний вибір типу та параметрів клапана дозволяє підтримувати стабільний тиск у генераторі пари та запобігати аварійним ситуаціям при надмірному зростанні тиску.

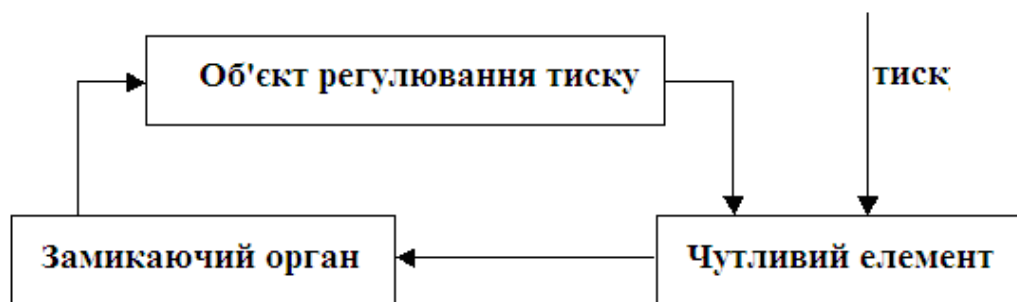


Рисунок 2.3 Структурна схема запобіжного клапана прямої дії

Запобіжні клапани прямої дії класифікують також за формою чутливого елемента: вони можуть бути плоскими (рис. 2.4а), сферичними (рис. 2.4б) або конічними. Характерною особливістю цих конструкцій є те, що робоче середовище (рідина або газ) діє безпосередньо на чутливий елемент, що забезпечує швидку реакцію клапана на зміну тиску.

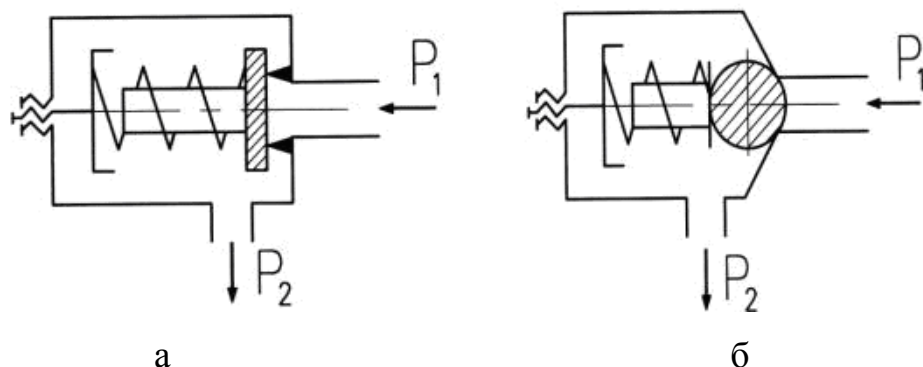


Рисунок 2.4 Принципові схеми роботи запобіжних клапанів прямої дії: а – конструкція з плоским чутливим елементом; б – конструкція з кульковим чутливим елементом.

Для генератора пари у пральній машині доцільно застосувати запобіжний клапан прямої дії, оснащений кульковим чутливим елементом. Така конструкція забезпечує надійне спрацьовування та стабільне підтримання заданого тиску пари.

2.5 Розробка електричної схеми керування пральною машиною

Принципова електрична схема керування пральною машиною побудована на базі мікропроцесорного блока, що відповідає за автоматизацію всіх робочих циклів. На рисунку 2.5 наведено загальний вигляд цієї схеми.

Автоматична пральна машина розрахована на прання до 5 кг сухої білизни за програмами, які обирає користувач.

Ядром керуючого блока є мікроконтролер. У даному випадку використовується мікроконтролер AT89C51, який працює на архітектурі MCS-51. Ця архітектура підтримує набір команд асемблера, що було розроблено компанією INTEL і згодом стало основою для багатьох сучасних процесорів цієї фірми.

Цифра «51» у позначенні мікроконтролера вказує на його належність до групи пристроїв, що працюють за набором команд MCS-51. Кристал контролера дозволяє використовувати вільні адресні виводи як порти для введення і виводу сигналів.

Перша цифра «89» свідчить про те, що програма може зберігатися як у зовнішній постійній пам'яті, так і у внутрішній пам'яті контролера, яку можна неодноразово (до 10 000 циклів) перезаписувати шляхом електронного стирання.

«AT» означає виробника – компанію ATMEL.

Таким чином, дана мікросхема фактично є мікроконтролером із вбудованою перепрограмованою пам'яттю, яка повинна бути попередньо запрограмована для виконання заданих функцій.

Програмування такого мікроконтролера виконується за допомогою стандартного програматора, наприклад, моделі UNIPRO.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		34

Блок керування обладнано клавіатурою з восьми кнопок, через яку користувач задає потрібну програму прання.

Блок індикації включає семисегментний дисплей і дев'ять світлодіодів для відображення стадій виконання програми. Опитування клавіатури та керування дисплеєм реалізовано у динамічному режимі за допомогою двох паралельних регістрів і транзисторів VT1 та VT2.

Силова частина схеми містить блок живлення з вихідними напругами: 12 В для реле і 5 В для цифрової логіки, а також два симістори та силові реле для керування виконавчими механізмами машини. Перемикання в силових ланцюгах відбувається тільки при відсутності струму, що дозволяє використовувати менш потужні реле й запобігає появі перехідних процесів.

Для приводу синхронного електродвигуна з постійними магнітами використовується спеціалізований керуючий модуль, до складу якого входить контролер AUIRS20302S разом із силовим драйвером. Нагрівальний елемент та насос підключаються безпосередньо до мережі змінного струму напругою 220 В.

Для забезпечення постійного температурного режиму та його точного регулювання у конструкції застосовано електронний терморегулятор. Як датчик температури доцільно використовувати термопару, розташовану у зоні нагрівання для максимальної точності вимірювання.

Контроль та підтримка температури у генераторі пари реалізовані через імпульсний терморегулятор, силовим елементом якого є симістор VS1. Схема цього модуля складається з двох ключових частин: вимірювального вузла, побудованого на операційному підсилювачі DA1.1, та блоку управління нагрівачем.

Блок управління містить компаратор DA1.2, транзистор VT5 та імпульсний трансформатор ТЗ, який виконує функцію гальванічної розв'язки між високовольтною частиною та низьковольтною керуючою електронікою. Така

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		36

конструкція гарантує безпечну експлуатацію та стабільну роботу генератора пари.

В якості чутливого елемента для вимірювання температури використовується крапельна термопара типу ТХК, виконана у вигляді з'єднання провідників зі сплавів «хромель» і «копель». Налаштування необхідного температурного режиму здійснюється регулюванням змінних резисторів R21 і R22 безпосередньо на терморегуляторі.

Панель керування пральної машини обладнана шістьма кнопками і світлодіодними індикаторами стану, розташованими поруч із кожною кнопкою. Світлодіоди вказують на активні режими роботи під час виконання програми. Цифровий індикатор відображає залишковий час до завершення циклу та параметри, які задаються під час програмування.

Функції кнопок керування такі:

Кнопка «Живлення» – увімкнення або вимкнення пральної машини.

Кнопка «Пуск/Пауза» – запуск програми після її вибору або короткочасна зупинка процесу.

Кнопка «Обертання» – вибір швидкості обертання барабана відповідно до типу тканини.

Кнопка «Температура» – встановлення бажаної температури води для прання.

Кнопка «Час прання» – регулювання тривалості прання залежно від ступеня забруднення та виду білизни.

Кнопка «Обробка парюю» – активація режиму обробки білизни парюю.

Такий інтерфейс забезпечує зручне і гнучке управління всіма основними параметрами роботи пральної машини.

Режими роботи

Після подачі електроживлення процесор переходить у режим очікування. Після завантаження білизни та закриття люка система подає напругу на мікропроцесор, який за допомогою тестового сигналу перевіряє стан замикання

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		37

кришки люка завантаження. До моменту отримання підтвердження про надійне закриття люка мікропроцесор блокує подачу керуючих сигналів на виконавчі вузли та ланцюги машини.

Коли всі перевірки завершені успішно, мікропроцесор переходить до виконання обраної користувачем програми. Вибір програми (тобто певного режиму прання з визначеною тривалістю) здійснюється через один із портів мікропроцесора шляхом послідовного опитування заданих режимів.

Залежно від обраної програми мікропроцесор подає команду на реле EV1, відкриваючи подачу води з водопровідної мережі у бак пральної машини. Рівень води контролюється спеціальними датчиками, що запобігають перевищенню допустимого рівня.

Як тільки об'єм води стає достатнім для роботи нагрівального елемента (ТЕН), мікропроцесор через логічний елемент «I–HI» дає дозвіл на увімкнення нагрівача. Важливо, що вода повинна повністю покривати ТЕН, щоб уникнути його перегріву та виходу з ладу. Необхідна температура виставляється змінним резистором у ланцюзі компаратора DA4 у схемі контролю температури. Після досягнення заданої температури нагрів припиняється автоматично, а прання продовжується. Якщо під час доливання температура падає нижче встановленого значення, нагрівальний елемент знову вмикається.

Після завершення циклу прання мікропроцесор подає команду через логічний елемент і підсилювач потужності на електродвигун насоса M2, що забезпечує злив відпрацьованого миючого розчину у каналізацію. Коли рівень води знову перевірений і підтверджено відсутність рідини у баку, мікропроцесор запускає програму віджимання білизни.

Завершення циклу віджимання та полоскання

Після того як віджимання білизни завершується, барабан продовжує обертатися ще деякий час за інерцією при вимкненому двигуні. Цей етап плавно переходить у наступну фазу – подачу води у бак для виконання полоскання. Далі відбувається цикл полоскання та остаточне полоскання, яке завершує основну

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		38

програму. Якщо користувач обирає режим «Затримка полоскання», то після останнього полоскання злив води не відбувається автоматично – машина утримує воду у баку до отримання відповідної команди від користувача.

Робота основних вузлів машини

Блок живлення: складається з понижуючого трансформатора Т1, випрямляча та стабілізатора, які перетворюють вхідну напругу 220 В змінного струму на стабілізовану напругу +12 В постійного струму для живлення електронних схем.

Блок програмного введення: забезпечує програмування мікропроцесора за допомогою кнопок управління, що винесені на передню панель пральної машини.

Індикаційний блок: відповідає за відображення залишкового часу прання у хвилину, а також за повідомлення про помилки та нестандартні ситуації під час роботи (наприклад, відсутність водопостачання або несправність окремих вузлів машини).

Підсилювачі потужності: підвищують рівень керуючих сигналів до необхідних значень (сотні міліампер), що дозволяє надійно управляти ключовими виконавчими елементами: насосом генератора пари (М2), електронагрівачем (Rн2) та насосом зливу води (М3).

Мікропроцесор відповідає за збереження всіх програм і режимів прання у своїй пам'яті, збір та обробку сигналів від датчиків, а також формування керуючих сигналів для ключових елементів системи.

Для забезпечення безпеки роботи передбачено захист, який запобігає включенню нагрівача (ТЕН) за відсутності води. Для цього на дні прального барабана встановлений датчик рівня води, який представляє собою механічний контакт, замкнений через воду. Сигнал від цього датчика підключений безпосередньо до одного з портів мікропроцесора.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		39

2.6 Розрахунки конструктивних і технологічних параметрів модернізованих елементів пральної машини

2.6.1 Визначення надлишкового тиску в генератор пари для утворення перегрітої водяної пари

В таблиці 2.1. представлені властивості води і водяної пари в залежності від тиску при кипінні [5] .

Таблиця 2.1 – Властивості води і водяної пари в залежності від тиску при кипінні

Тиск пари, МПа	Температура кипіння води, °С	Питома теплота пароутворення, Дж/кг,	Питомий об'єм пари м³/кг	Густина води, кг/м³
0,1013	100	$2,26 \cdot 10^6$	1,674	958,4
0,294	132,9	$2,168 \cdot 10^6$	0,617	917
0,392	142,9	$2,137 \cdot 10^6$	0,471	917
0,490	151,1	$2,111 \cdot 10^6$	0,382	917
1,57	200,4	$1,93 \cdot 10^6$	0,1261	869

Нами було виконано обробку даних таблиці 2.1 методом найменших квадратів (в середовищі Microsoft Excel) і отримано відповідні функціональні залежності властивостей води від тиску.

Функція залежності температури кипіння води від тиску (рис. 2.6):

$$T = 180,2 \cdot P^{0,2534}, \quad (2.1)$$

де T – температура, °С;

P – тиск, МПа.

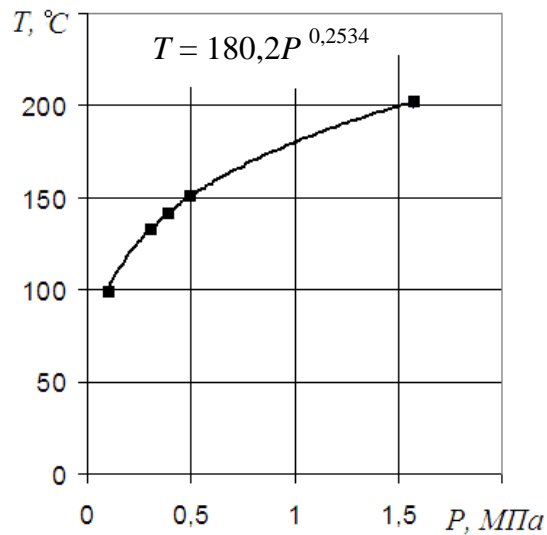


Рисунок 2.6 Графік залежності температури кипіння води від тиску

Функція залежності питомої теплоти пароутворення води від тиску (рис. 2.7):

$$\lambda = 2,0527 \cdot 10^6 \cdot P^{-0,0424}, \quad (2.2)$$

де λ – питома теплота, Дж/кг; P – тиск, МПа.

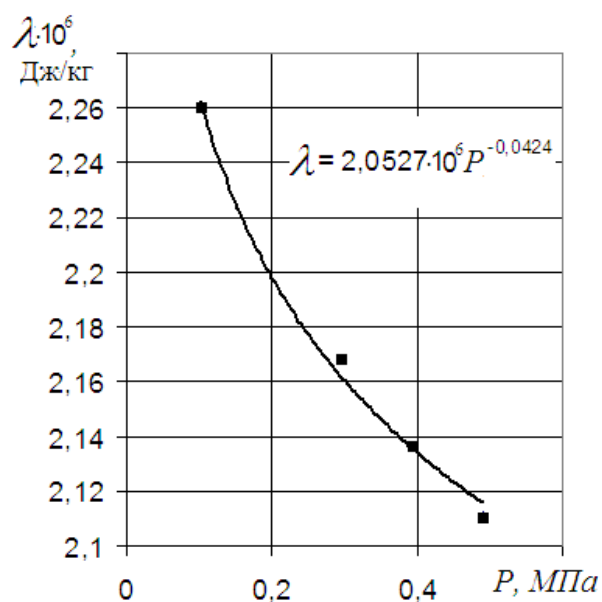


Рисунок 2.7 Графічна інтерпретація залежності питомої теплоти пароутворення води від тиску

Функція залежності питомого об'єму водяної пари від тиску (рис. 2.8):

$$V_{\text{пит}} = 0,194 \cdot P^{-0,9434}, \quad (2.3)$$

де $V_{\text{пит}}$ – питомий об'єм, м³/кг;

P – тиск, МПа.

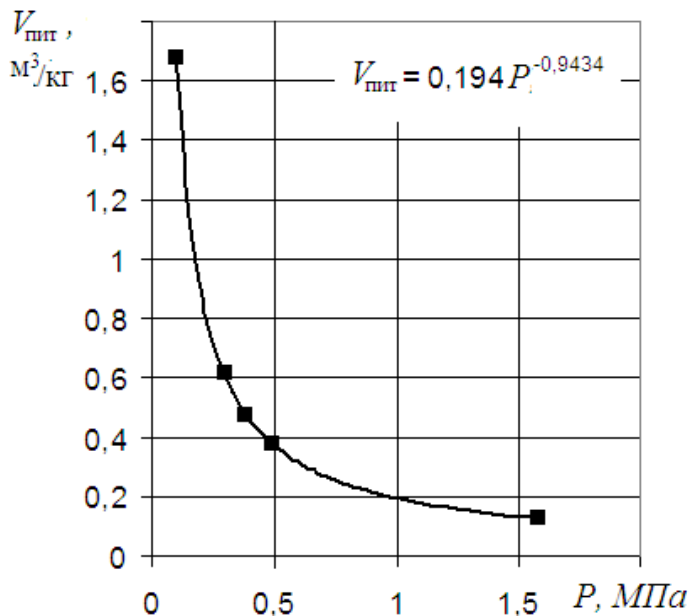


Рисунок 2.8 Залежність питомого об'єму пари води від тиску, при відповідній йому температурі кипіння

Встановлено, що похибка значень параметрів води і водяної пари, визначених за допомогою функцій (2.1 – 2.3) від експериментальних, не перевищує 0,5 %.

За формулою (2.1) визначаємо температуру кипіння води у бойлері за різної величини тиску.

Якщо $P = 0,3$ МПа

$$T = 180,2 \cdot 0,3^{0,2534} = 133 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При $P = 0,35$ МПа:

$$T = 180,2 \cdot 0,35^{0,2534} = 138 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

За умови, що $P = 0,4$ МПа:

$$T = 180,2 \cdot 0,4^{0,2534} = 143 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата

Коли $P = 0,45$ МПа:

$$T = 180,16 \cdot 0,45^{0,2534} = 147,2 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

При $P = P_{\max} = 0,5$ МПа:

$$T = 180,16 \cdot 0,5^{0,2534} = 151,1 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

2.6.2 Визначення потужності нагрівача генератора пари

Розрахунок потужності нагрівача проведемо для усталеного режиму роботи генератора пари.

Електрична потужність нагрівача витрачається на нагрів води, утворення пари і втрати теплоти в навколишнє середовище:

$$W = W_{\text{нагр}} + W_{\text{випар}} + W_{\text{втр}}. \quad (2.4)$$

де $W_{\text{нагр}}$ – потужність, яка споживається для нагріву води до температури кипіння, Вт;

$W_{\text{випар}}$ – потужність, яка споживається для процесу пароутворення, Вт;

$W_{\text{втр}}$ – втрати теплоти, яка виділяється у навколишнє середовище, Вт.

Розглянемо окремо кожен вид витрат потужності при умові, що температура води і пари в бойлері постійна, а також насос працює з постійною продуктивністю.

Визначення потужності, яка споживається для нагріву води до температури кипіння

Вода за температури навколишнього середовища безперервно подається під тиском у місткість генератора пари за допомогою спеціального насоса. У парогенераторі відбувається нагрів води до температури кипіння.

Витрати енергії на нагрівання води визначимо за формулою:

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		43

$$W_{нагр} = Q_m \cdot C_m \cdot (T_{кип} - T_0), \quad (2.5)$$

де C_m – питома теплоємність води ($C_m = 4100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$).

Температура води на початку нагріву $T_0 = 20^\circ\text{C}$.

Тоді:

$$W_{нагр} = 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot 4100 \cdot (147 - 20) = 432 \text{ Вт.}$$

Визначення потужності пароутворення

Масу води Δm , що випаровується за час Δt , визначається рівнянням:

$$\Delta m = \frac{W_{нагр} \cdot \Delta t}{\lambda}, \quad (2.6)$$

де λ – питома теплота утворення водяної пари, Дж/кг.

З формули (2.6) отримаємо формулу для визначення потужності кипіння води в усталеному режимі:

$$W_{нагр} = \frac{\lambda \cdot \Delta m}{\Delta t} = \lambda \cdot Q_m, \quad (2.7)$$

де Q_m – продуктивність насоса парогенератора (кг/с).

Питому теплоту утворення пари при значенні тиску $P = 0,45$ МПа і за температури $T = 147,2^\circ\text{C}$ знайдемо з (2.2):

$$\lambda = 2,053 \cdot 10^6 \cdot 0,45^{-0,0424} = 2 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг.}$$

Приймаємо продуктивність генератора пари 50 г/хв ($8,3 \cdot 10^{-4}$ кг/с).

Тоді потужність, необхідна для кипіння води:

$$W_{випар} = 2 \cdot 10^6 \cdot 8,3 \cdot 10^{-4} = 1741 \text{ Вт.}$$

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		44

Потужність, що витрачається на нагрівання і кипіння води:

$$W_{нагр} + W_{випар} = 432 + 1741 = 2173 \text{ Вт.}$$

Для розрахунку втрат потужності $W_{втр}$ на нагрівання повітря навколишнього середовища через теплоізоляцію потрібно визначити геометричні розміри корпусу генератора пари, тип і розміри нагрівача, а також товщину теплоізоляції.

Для генератора пари доцільно застосувати смуговий гнучкий нагрівальний елемент типу «Hot-Microcoil», що добре зарекомендував себе у каналних системах з проточним підігрівом рідин. Такі нагрівачі можна безпосередньо намотувати на трубопровід, забезпечуючи компактність і рівномірний розподіл тепла. Їх використовують у багатьох технологічних процесах, зокрема для підігріву гарячечанальних форсунок, а також форсунок для подачі клеїв гарячого затвердіння. Нагрівальний елемент «Hot-Microcoil» може поставлятися як у вигляді прямого дроту, так і вже сформованим у спіраль. За потреби конструкція передбачає інтеграцію вбудованої термопари для контролю температури безпосередньо у зоні нагріву. Зовнішній вигляд такого нагрівача наведено на рисунку 2.9.

Нагрівальний елемент типу «Hot-Microcoil» складається з корпусу, що виконує захисну та теплоізоляційну функцію, та провідників підключення, які забезпечують надійне електричне з'єднання нагрівача з живильною мережею або керуючим модулем.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		45

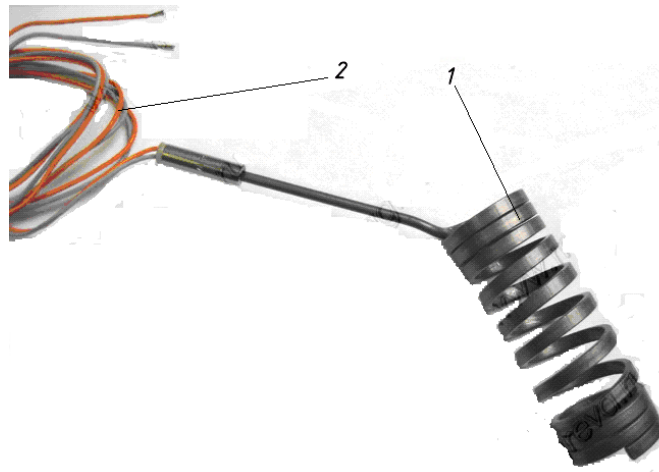


Рисунок 2.9 Зовнішній вигляд нагрівального елемента «Hot-Microcoil»: 1 – корпус; 2 – провідники підключення

Нагрівальний елемент типу «Hot-Microcoil» має такі основні технічні параметри: робоча напруга становить 250 В, опір ізоляції не менше 5 МОм, максимальна температура поверхні досягає 750 °С. Довжина нагрівального провідника може сягати 3000 мм з допустимим відхиленням у межах 5%. Провід для підключення має ізоляцію з матеріалу «PTFE», який витримує температуру до 260 °С. Відхилення потужності у холодному стані не перевищує 5%. Корпус нагрівального елемента виготовлений з нержавіючої сталі, що забезпечує довговічність і стійкість до корозії.

Для реалізації парогенератора у даному проєкті обрано нагрівальний елемент «Hot-Microcoil» потужністю 2200 Вт, перерізом 4,0 × 6,0 мм і загальною довжиною 2500 мм. Довжину спіралі, що навивається на циліндричну поверхню корпусу генератора пари, визначають за відповідною розрахунковою формулою:

$$l = \frac{L}{\pi \left(D_6 + \frac{\delta_{\text{ел}}}{2} \right)} \cdot (b + \Delta), \quad (2.8)$$

де L – довжина смуги елемента, мм;

D_6 – діаметр корпусу, мм;

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		46

$\delta_{\text{ел}}$ – товщина смуги елемента, мм;

b – ширина смуги елемента, мм;

Δ – проміжок між витками елемента при намотуванні, мм.

Прийmemo діаметр корпусу $D_{\text{с}} = 30$ мм, а зазор між витками елемента при намотуванні на корпус $\Delta = 0,5$ мм.

Довжина навивки елемента на корпус генератора пари:

$$l = \frac{2500}{3,14 \cdot \left(30 + \frac{4,0}{2}\right)} \cdot (6,0 + 0,5) = 162 \text{ мм.}$$

Розрахунок товщини шару теплоізоляції генератора пари необхідний для мінімізації тепловтрат і зниження споживання електроенергії під час роботи установки.

Важливо забезпечити таку товщину ізоляційного матеріалу, щоб температура зовнішньої поверхні не перевищувала 50 °С. При цьому допускається, що для плоских поверхонь максимальна товщина теплоізоляції не повинна перевищувати 160 мм. Залежно від робочої температури поверхні генератора встановлюються допустимі втрати тепла на 1 м^2 : при 100 °С не більше 116 Вт/м^2 , при 150 °С – не більше 150 Вт/м^2 , а при 200 °С – до 174 Вт/м^2 .

Ключовим параметром теплоізоляційного матеріалу є його коефіцієнт теплопровідності, який має знаходитись у межах від $0,035$ до $0,12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Для визначення необхідної товщини теплоізоляції за заданої температури зовнішньої поверхні користуються такою розрахунковою формулою:

$$\delta_{\text{із}} = \frac{\lambda \cdot (T_1 - T_0)}{a_2 \cdot (T_0 - T_{\text{с}})}, \quad (2.9)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності ізоляційного матеріалу;

a_2 – коефіцієнт тепловіддачі від поверхні ізоляції у навколишнє середовище;

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		47

T_1 – температура під ізоляцією, °С;

T_δ – температура на поверхні теплоізоляції;

T_0 – температура навколишнього повітря, °С.

Для теплоізоляції генератора пари найкраще підходить мінеральна вата з базальтового волокна. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати

$\lambda = 0,032 - 0,035 \frac{Вт}{м \cdot К}$, максимально припустима температура $t_{max} = 900^\circ C$.

Мінеральна вата виготовляється у вигляді листів, або смуг для теплової ізоляції технологічного обладнання.

Для розрахунку приймаємо наступні значення параметрів:

– температура під ізоляцією $T_1 = 150^\circ C$;

– температура на поверхні теплоізоляції: $T_\delta = 50^\circ C$;

– температура навколишнього повітря $T_0 = 20^\circ C$;

Коефіцієнт тепловіддачі, при температурі поверхні до $200^\circ C$ визначається за формулою:

$$a_2 = 9,76 + 0,07 \cdot \Delta T, \quad (2.10)$$

де ΔT – різниця температур поверхні стінки і навколишнього повітря, °С.

$$\Delta T = T_\delta - T_0 = 50 - 20 = 30^\circ C;$$

$$a_2 = 9,76 + 0,07 \cdot 30 = 11,9 \frac{Вт}{м^2 \cdot К}.$$

Тоді товщина шару теплоізоляції:

$$\delta_{из} = \frac{0,032 \cdot (150 - 50)}{11,9 \cdot (50 - 20)} = 0,009 \text{ м.}$$

Отже, приймаємо $\delta = 9$ мм.

Розрахунок втрат на нагрівання навколишнього повітря

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		48

Витрати потужності на нагрів повітря навколишнього середовища визначимо з виразу:

$$W_{втр} = a_2 \cdot S_{\delta} \cdot (T_{\delta} - T_0), \quad (2.11)$$

де S_{δ} – площа поверхні корпусу парогенератора, мм².

$$S_{\delta} = S_{цил} + 2S_{кр}, \quad (2.12)$$

де $S_{цил}$ – сумарна площа бокових поверхонь корпусу, мм²;

$S_{кр}$ – сумарна площа кришок, мм².

$$S_{цил} = \pi \cdot D_{цил} \cdot L_{цил}, \quad (2.13)$$

де $D_{цил}$ – діаметр кожуху парогенератора;

$L_{цил}$ – довжина кожуха парогенератора.

$$S_{кр} = \frac{\pi \cdot D_{цил}^2}{4}. \quad (2.14)$$

З урахуванням виразів (2.13) і (2.14), формула (2.11) матиме вигляд:

$$W_{втр} = a_2 \cdot \pi \left(D_{цил} \cdot L_{цил} + \frac{2 \cdot D_{цил}^2}{4} \right) \cdot (T_{\delta} - T_0), \quad (2.15)$$

Діаметр циліндра $D_{цил}$ визначаємо з урахуванням товщини профілю електронагрівального елемента $\delta_{ел}$, товщини ізоляції $\delta_{із}$ і кожуха $\delta_{кож}$:

$$D_{цил} = D_{\delta} + 2\delta_{ел} + 2\delta_{із} + 2\delta_{кож}.$$

$$D_{цил} = 0,03 + 2 \cdot 0,004 + 2 \cdot 0,009 + 2 \cdot 0,0005 = 0,06 \text{ мм.}$$

Підставимо отримані дані в (2.15):

$$W_{\text{втр}} = 11,9 \cdot 3,14 \cdot \left(0,058 \cdot 0,18 + \frac{0,06^2}{2} \right) (50 - 20) = 13,3 \text{ Вт.}$$

Повна потужність за формулою (3.4) становитиме:

$$W = 432,2 + 1743 + 13,3 = 2188,5 \text{ Вт.}$$

Запас потужності вибраного нагрівача становить 11,6 Вт, або 0,5%.

2.6.3 Розробка конструкції клапану для створення надлишкового тиску в генератор пари

Визначення сили, необхідної для притискання кульки до сидла клапана

На рисунку 2.10 виконано розрахункову схему клапана тиску.

Умова відкриття клапана записується у вигляді рівняння рівноваги:

$$F_{\text{пр}} = F_{\text{тиск}} \cdot \quad (2.16)$$

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		50

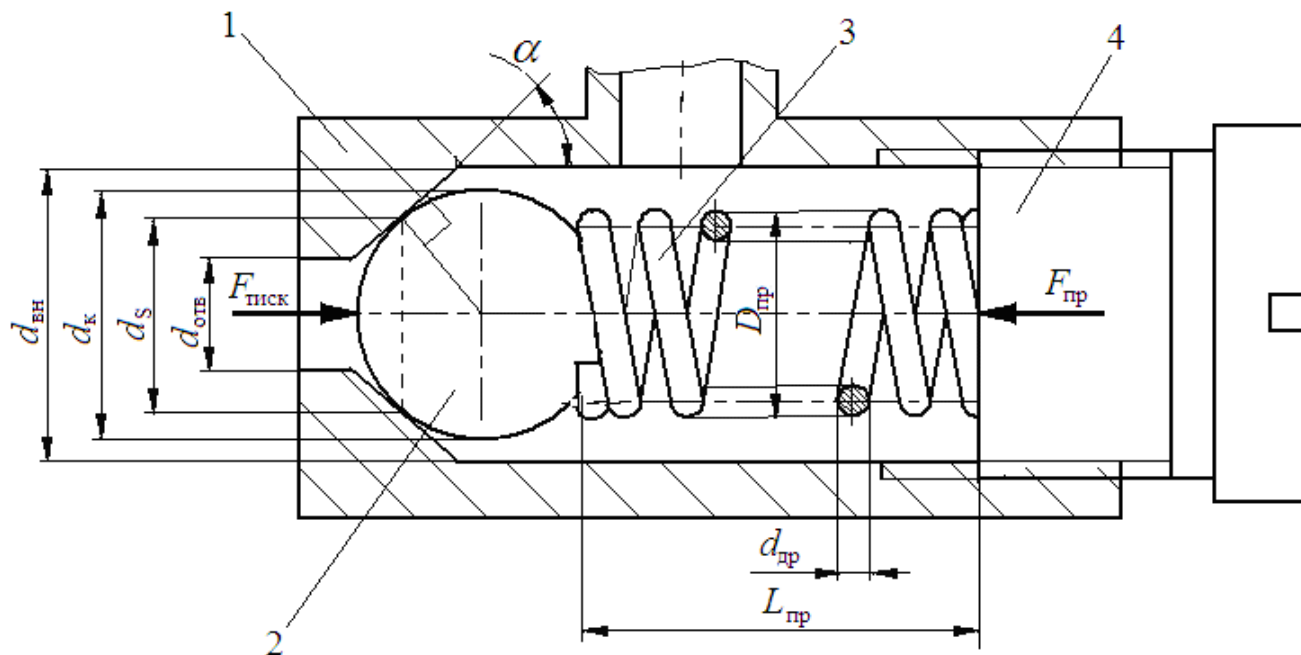


Рисунок 2.10 Схема для розрахунку клапана тиску:

1 – корпус; 2 – куля; 3 – пружина; 4 – регулювальний гвинт; $D_{пр}$ – діаметр пружини зовнішній; $d_{вн}$ – внутрішній діаметр корпусу; $d_к$ – діаметр кульки; $d_с$ – діаметр поверхні контакту кульки з сідлом клапана; $d_{отв}$ – діаметр вхідного отвору клапана; $d_{др}$ – діаметр дроту пружини; $L_{пр}$ – довжина пружини у робочому стані; $F_{тиск}$ – сила дії тиску на кульку клапана; $F_{пр}$ – сила попереднього стиску пружини; α – кут лунки сідла клапана

Силу $F_{тиск}$, яка діє на кульку за наявності тиску $P_{пар}$ в генератор пари визначимо з виразу:

$$F_{тиск} = P_{пар} \cdot \frac{\pi \cdot d_s^2}{4}. \quad (2.17)$$

Діаметр перерізу контакту кульки з гніздом клапана визначимо з рис. 2.10:

$$d_s = d_к \cdot \cos(90 - \alpha). \quad (2.18)$$

Підставляємо (2.19) в (2.17) і отримуємо вираз для розрахунку сили від тиску, що діє на кульку:

Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

$$F_{\text{тиск}} = P_{\text{пар}} \cdot \frac{\pi \cdot (d_{\text{к}} \cdot \cos(90 - \alpha))^2}{4}. \quad (2.19)$$

Тиск пари в генератор парі повинен становити $P_{\text{пар}} = 0,45$ МПа.
Приймаємо діаметр кульки $d_{\text{к}} = 5$ мм, кут $\alpha = 45^\circ$, тоді

$$F_{\text{тиск}} = 0,45 \cdot \frac{3,14 \cdot (5 \cdot \cos(90 - 45))^2}{4} = 1,4 \text{ Н.}$$

Визначення розмірів пружини клапана генератора пари

За конструкцією клапана тиску пружина повинна працювати на стиск.

Зусилля P , яке виникає при стисканні пружини, залежить від якості дроту, матеріалу, та геометричних параметрів [13]:

$$F_{\text{пр}} = \frac{\Delta L \cdot G \cdot d_{\text{др}}^4}{8D^3 \cdot n}, \quad (2.20)$$

де G – модуль зсуву сталі дроту;

D – середній діаметр навивки пружини, мм.

За умови рівноваги (3.16), вираз (3.20) матиме вигляд:

$$F_{\text{тиск}} = \frac{\Delta L \cdot G \cdot d_{\text{др}}^4}{8D^3 \cdot n}. \quad (2.21)$$

Індекс пружин діаметром навивки $D = 3 \dots 5$ мм становить $c = \frac{D}{d_{\text{др}}} = 4 \dots 10$.

Приймаємо попередньо $c = 9$.

Тоді рівняння (2.21) матиме вигляд:

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		52

$$F_{\text{тиск}} = \frac{\Delta L \cdot G \cdot D}{52488 \cdot n} \quad (2.21)$$

Діаметр пружини приймаємо $D=4,5$ мм, тоді $d_{\text{др}} = \frac{4,5}{0,9} = 0,5$ мм.

Жорсткість пружини з рівняння (2.21):

$$C = \frac{G \cdot D}{52488 \cdot n} \quad (2.22)$$

Приймаємо число витків $n=10$, матеріал пружини – сталь 70С2ХА, крок пружини 1,4 мм.

Довжина пружини у початковому стані:

$$L_{\text{пр}} = n \cdot t = 10 \cdot 1,4 = 14 \text{ мм.}$$

Жорсткість пружини:

$$C = \frac{78000 \cdot 4,5}{52488 \cdot 10} = 0,67 \text{ Н/мм.}$$

Стиснення пружини для забезпечення тиску 0,45 МПа повинно становити:

$$\Delta L = \frac{1,4}{0,67} = 2,1 \text{ мм.}$$

Повна кількість витків пружини стиску має бути на 1,5-2 витки більшою, ніж кількість робочих витків, оскільки крайні витки, дотичні до опорних поверхонь, фактично не беруть участі у деформації пружини. Тоді повна довжина пружини:

$$L_{\text{пр}} = 14 + 2 \cdot 0,5 = 15 \text{ мм.}$$

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		53

2.6.4 Визначення швидкості подачі струменя пари з сопла

Швидкість потоку пари крізь отвір клапана:

$$v_{нар} = \frac{Q \cdot V}{S_{отв}}, \quad (2.23)$$

де Q_V – об'ємна продуктивність генератора пари, м³/с;

$S_{отв}$ – площа перетину отвору клапана, мм².

$$Q_V = Q_m \cdot V_{пит}. \quad (2.24)$$

де $V_{пит}$ – питомий об'єм пари, м³/кг.

$$S_{отв} = \frac{\pi \cdot d_{отв}^2}{4}, \quad (2.25)$$

Питомий об'єм водяної пари при тиску 0,45МПа, і за температури 142,7°C знайдемо з отриманої залежності (3.3) :

$$V_{пит} = 0,194 \cdot 0,45^{-0,9434} = 0,412 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Тоді отримуємо:

$$Q_V = 8,3 \cdot 10^{-4} \cdot 0,412 = 3,42 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с};$$

$$S_{отв} = \frac{3,14 \cdot 0,003^2}{4} = 7,1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2;$$

$$v_{нар} = \frac{3,42 \cdot 10^{-4}}{7,1 \cdot 10^{-6}} = 48,2 \text{ м/с}.$$

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		54

Режим витікання пари крізь сопло залежить від числа Рейнольдса, яке визначається:

$$\text{Re} = \frac{v_{\text{пар}} \cdot d_{\text{отв}} \cdot \rho}{\mu}, \quad (2.26)$$

де ρ – густина пари за температури 147°C;

μ – динамічна в'язкість пари за температури 147°C.

Величини ρ і μ [13] за температури 147°C: $\rho_{147} = 2,123 \text{ кг/м}^3$;
 $\mu_{147} = 13,73 \cdot 10^{-6} \text{ Нс/м}^2$.

Тоді отримуємо:

$$\text{Re} = \frac{48,2 \cdot 0,003 \cdot 2,123}{13,73 \cdot 10^{-6}} = 22359.$$

$\text{Re} = 22359 > 2300$, – отже, пара буде мати турбулентний режим руху.

2.6.5 Визначення товщини стінки корпусу генератора пари

Одне з основних конструктивних обмежень полягає у визначенні мінімальної товщини стінки елементів оболонки, яка повинна забезпечувати їхню міцність і стійкість при роботі під дією внутрішнього надлишкового тиску. Це обмеження визначають, виходячи з допустимого рівня напружень, що виникають у матеріалі оболонки, і розраховують за формулами, що базуються на теорії тонкостінних оболонок і умовах міцності за третьою гіпотезою (гіпотеза Губера-Мізеса). Також враховують конструктивні та технологічні вимоги, що регламентують мінімальні значення товщини стінки для зварних і литих елементів, а також запас на корозію та знос під час експлуатації. Одне з основних обмежень знаходимо з формули:

$$\frac{\delta}{D} \leq 0,1 \quad (2.27)$$

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		55

де δ – товщина стінки оболонки, мм;

D – розрахунковий діаметр (внутрішній діаметр апарата), мм.

Для даної конструкції корпусу апарату умова (2.27) виконується, що дозволяє напружений стан в оболонці вважати плоским, тобто напруження в оболонці корпусу визначають за рівняннями:

$$\sigma_1 = \sigma_\tau; \quad (2.28)$$

$$\sigma_2 = \sigma_m; \quad (2.29)$$

$$\sigma_3 = \sigma_p \approx 0, \quad (2.30)$$

де $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ напруження в оболонках корпусу, МПа;

σ_τ – тангенціальне напруження, МПа;

σ_m – меридіональне напруження, МПа;

σ_p – нормальне (радіальне) напруження, МПа.

Оскільки для циліндричних оболонок $\sigma_\tau \leq \sigma_m$, то умова міцності має вид:

$$\sigma_{екв(3)} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_\tau \leq \psi [\sigma], \quad (2.31)$$

де $\sigma_{екв(3)}$ – еквівалентне напруження, МПа;

ψ – коефіцієнт міцності зварного подовжнього шва.

Товщину стінки циліндричного корпусу генератора пари визначимо з виразу:

$$\delta = \frac{P \cdot D_{вн}}{2\psi \cdot [\sigma] - P}, \quad (2.32)$$

де P – внутрішній тиск, МПа.

Коефіцієнт міцності зварного шва ψ приймається в залежності від виду зварювання. При роликовому контактному зварюванні $\psi = 0,7$.

Формула (2.32) буде справджуватись за дотримання умови (2.27).

Корпус генератора пари виготовлений з неіржавіючої сталі 12X18H10T.

Сталь 12X18H10T містить: залізо, вуглець (до 0,12%), хром (17...19%), марганець (2%), нікель (9...11%), титан (0,8%), сірку (0,02%), кремній (0,08%). Сталь даної марки знаходить широке застосування в самих різних областях. Так, з цього матеріалу виготовляють апарати, які контактують з азотною кислотою та іншими агресивними середовищами, які окислюють поверхню. Також дану сталь використовують для виробництва теплообмінників та іншого подібного устаткування.

Сталь 12X18H10T відмінно чинить опір та витримує вплив корозії за температури до 900⁰С.

Таблиця 2.2 Властивості сталі 12X18H10T

Межа пропорційності (межа текучості), МПа	144
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·град)	16
Питома теплоємність матеріалу (діапазон 20...200 ⁰ С), Дж/(кг·град)	462 ...496
Густина, кг/м ³	7920

Товщина стінки корпусу парогенератора:

$$\delta = \frac{0,45 \cdot 30}{2 \cdot 0,7 \cdot 144 - 0,45} = 0,07 \text{ мм.}$$

Оскільки за умовою міцності стінка може бути дуже тонкою, для забезпечення жорсткості приймаємо $\delta = 0,5$ мм.

За умовою (2.27) $\frac{\delta}{D} = \frac{0,5}{30} = 0,017 \leq 0,1$.

Отже, проведений розрахунок підтверджує працездатність конструкції та відповідність її заданим експлуатаційним і безпековим вимогам.

2.6.6 Вибір насоса генератора пари

Для генератора пари вибираємо насос НТ-1 соленоїдного типу. Характеристики насоса наведена у таблиці 3.3, а його габаритні і приєднувальні розміри на рис. 2.11.

Таблиця 2.2 – Характеристики насоса НТ-1

Продуктивність, г/хв.○	40...60○
Максимальний тиск, МПа○	0,48○
Напруга живлення, В○	220...240○
Потужність, Вт○	12...14○
Максимальна температура води, °С○	90○

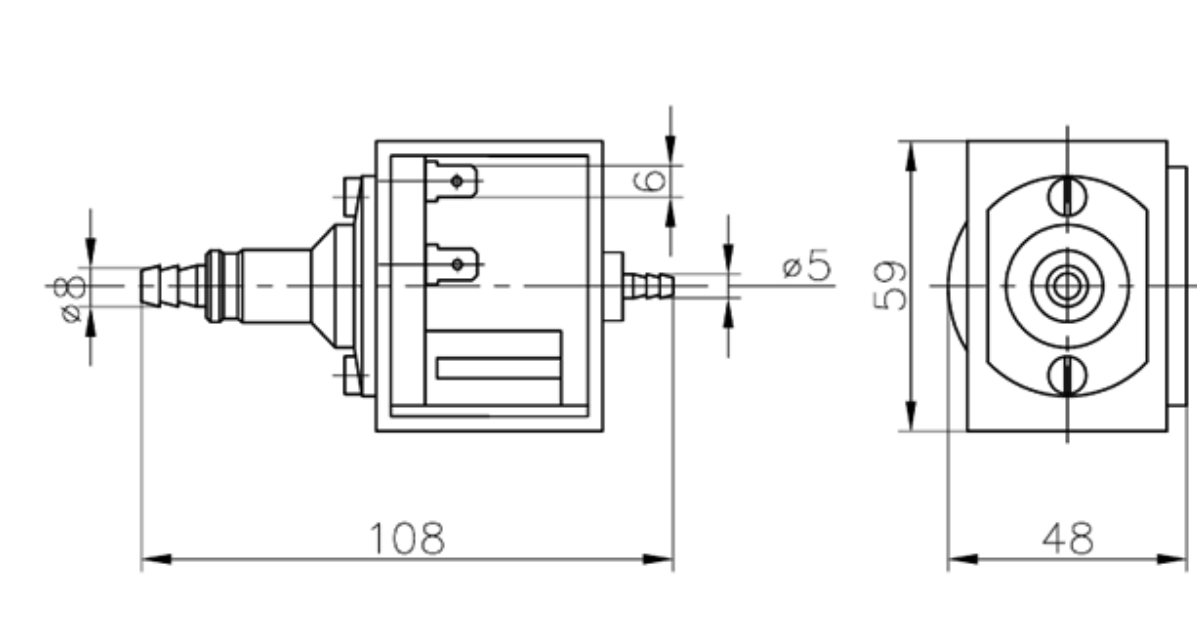


Рисунок 2.11 – Габаритні і приєднувальні геометричні параметри насоса НТ-1

2.6.7 Розрахунок запобіжної мембрани парогенератора пари

Мембрана запобіжна призначена для аварійного захисту апаратів, які у роботі знаходять під високим тиском. Вона містить розривну мембрану і вузол її кріплення.

Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата

КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ

Арк.

58

Тиск, при досягненні якого повинна руйнуватись мембрана, визначаємо з формули [10]:

$$P_n = K \cdot [\sigma_p] \frac{h_m}{D_m}$$

де P_n – тис, за якого відбувається руйнування, ($P_n = 1,25 P$);

K – коефіцієнт, який залежить від матеріалу мембрани. Для міді $K=3,2$; для сталі $K = 4,2$ [10];

$[\sigma_p]$ – межа міцності при розтягуванні матеріалу мембрани (для міді

$[\sigma_p] = 0,7$ МПа [10];

h – товщина мембрани, мм;

D – діаметр мембрани.

$$D_m = \frac{K \cdot [\sigma_p] \cdot h_m}{P_n}$$

Розрахунковий тиск, за якого має руйнуватись мембрана:

$$P_n = 1,25 \cdot 0,45 = 0,57 \text{ МПа.}$$

Приймаємо мембрану з міді марки М1, товщиною листа $h_m = 1$ мм.

Тоді діаметр мембрани:

$$D_m = \frac{3,2 \cdot 0,7 \cdot 1,0}{0,57} = 3,9 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр $D_m = 4$ мм.

Тиск, за якого відбуватиметься аварійне руйнування мембрани:

$$P_n = 3,2 \cdot 0,7 \frac{1}{4} = 0,56 \text{ МПа.}$$

3 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ЕКСПЛУАТАЦІЇ РОЗРОБЛЕНОЇ МАШИНИ

3.1 Правила безпечної експлуатації пральної машини

Під час використання пральної машини, оснащеної генератором пари, слід враховувати низку потенційних небезпек. Зокрема, існує ризик термічних уражень, оскільки пара під тиском може нагріватись до 130 °С, що призводить до значного підвищення температури поверхонь корпусу та може стати причиною опіків при випадковому контакті.

Не виключені також гідравлічні ризики, пов'язані з можливими пошкодженнями трубопроводів подачі води, що може спричинити протікання чи затоплення приміщення. Додаткову небезпеку становить високовольне живлення: робоча напруга 220 В створює загрозу ураження електричним струмом або виникнення короткого замикання і пожежі при пошкодженні ізоляції.

Під час роботи машини спостерігаються шум і вібрації. Якщо виникає резонанс або надмірні коливання конструкції, це може призвести до перевищення допустимих навантажень або небезпечних переміщень окремих вузлів машини.

Для забезпечення безпеки під час користування пральною машиною, обладнаною генератором пари, необхідно дотримуватись таких вимог:

– перед увімкненням машини переконайтесь у герметичності всіх водопровідних підключень та відсутності видимих пошкоджень електричних кабелів.

– не торкайтесь до металевих частин корпусу під час роботи машини без потреби, оскільки їх температура може бути підвищеною через циркуляцію гарячої пари.

– під час роботи генератора пари забороняється відкривати люк пральної машини, оскільки це може призвести до раптового виходу пари під тиском і опіків.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		60

– використовуйте пральну машину лише при справному стані заземлення. Забороняється підключати машину до розеток без захисного заземлення.

– не допускайте дітей до пральної машини під час її роботи або коли машина ще гаряча після завершення циклу прання.

– для запобігання гідравлічним аваріям регулярно перевіряйте стан шлангів подачі води та їх кріплення. Замініть зношені шланги відповідно до рекомендацій виробника.

– у разі виявлення стороннього шуму або підозрілих вібрацій негайно зупиніть машину і перевірте правильність установки та балансування.

– проводьте технічне обслуговування генератора пари тільки після повного його охолодження та від'єднання машини від електромережі.

– не намагайтеся ремонтувати електричні компоненти або генератор пару самостійно. У разі несправності зверніться до авторизованого сервісного центру.

– слідкуйте за тим, щоб місце встановлення пральної машини було сухим, добре провітрюваним і мало стійку основу, що виключає небезпечне зміщення машини під час роботи.

3.2 Особливості експлуатації пральних машин з функцією обробки білизни парою

Перед тим як підключати пральну машину до мережі, слід обов'язково демонтувати всі транспортувальні фіксатори. Гідравлічну систему агрегата потрібно під'єднати до водогону через вентиль подачі води, а зливний шланг приєднати так, щоб його кінець знаходився на висоті від 70 до 90 см над рівнем підлоги. Живлення машини слід організувати через розетку із заземленням, розраховану на струм не менше 10 А; потужність електричної мережі повинна бути не нижче 3 кВт.

Перед початком циклу прання обов'язково відкрийте вентиль подачі води та вставте штекер у розетку. Білизну потрібно попередньо відсортувати за типом тканини й видалити з кишень сторонні предмети. Завантажувати речі потрібно

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		61

через люк, переконавшись, що нічого не виступає за межі барабана, після чого дверцята слід щільно зачинити. Миючі засоби та пральний порошок засипають у відсік для порошку відповідно до обраного режиму прання. Перед встановленням програми впевніться, що кнопка живлення вимкнена. Оберіть потрібний режим, обертаючи перемикач за годинниковою стрілкою, або налаштуйте програму за допомогою кнопок, якщо машина має електронну систему керування. За необхідності відрегулюйте температуру води термостатом і встановіть додаткові параметри, наприклад, режим «половинне завантаження» чи швидкість віджиму. Для запуску машини натисніть кнопку увімкнення живлення.

Після завершення роботи машини потрібно зачекати близько двох хвилин, щоб розблокувався механізм фіксації люка, і лише після цього відчиняти його.

3.3 Усунення типових несправностей пральних машин-автоматів з парогенератором

У процесі експлуатації автоматичних пральних машин із функцією обробки білизни парою можуть виникати різноманітні несправності, пов'язані як із загальною конструкцією, так і зі специфічними елементами парогенератора. Розглянемо найпоширеніші з них та способи їх усунення.

1. Машина не вмикається або не реагує на натискання кнопок. Можлива причина – відсутність електроживлення, несправність блоку керування або пошкодження кнопок.

Рекомендовано перевірити підключення до електромережі, цілісність кабелю живлення та запобіжника. Якщо зовні все справне – необхідна діагностика мікроконтролера та елементів індикації.

2. Не подається вода або вода не зливається. Причини можуть полягати у засміченні фільтрів, несправності електромагнітних клапанів або поломці насоса зливу.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		62

Усунення передбачає перевірку фільтрів, клапанів подачі та зливного тракту, а також працездатності реле керування насосом.

3. Не нагрівається вода або пара. Ця проблема може бути пов'язана з поломкою ТЕНу, обривом в електричних колах нагрівача або несправністю температурного датчика.

Необхідно перевірити нагрівальний елемент генератора пари, електричні з'єднання, а також термореле або термопару.

4. Генератор пари не подає пару в барабан. Причиною може бути недостатній рівень води, несправність насоса, засмічення трубопроводу або пошкодження клапану подачі пари.

Для усунення потрібно перевірити роботу насоса, стан зворотного клапану, гнучких з'єднань і тискорегулювального клапану.

5. Витік води або пари. Можливий знос ущільнень, ослаблення з'єднань або пошкодження корпусу бойлера.

Потрібно провести візуальний огляд місць підключення шлангів, ущільнювачів люка, елементів гідросистеми та парових трубопроводів.

6. Виникнення помилок на дисплеї (кодів несправностей). Сучасні пральні машини можуть виводити коди помилок (наприклад, E03 – проблеми з насосом, E06 – несправність датчика температури, тощо).

Усунення полягає в ідентифікації коду за інструкцією та перевірці відповідного вузла.

7. Низька ефективність обробки парою. Це може бути викликано недостатньою температурою пари, засміченням форсунки або надмірним осадом у бойлері.

Слід перевірити стан нагрівача, очистити паропроводи та при необхідності провести декальцинацію бойлера.

8. Надмірна вібрація або шум при роботі. Причиною можуть бути порушення балансування барабана, знос амортизаторів або неправильне встановлення машини.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		63

Потрібно перевірити стан підвісок, стабільність установки на підлозі та рівномірність завантаження білизни.

3.4 Забезпечення теплоізоляції корпусу генератора пари

Теплоізоляція є ключовим елементом у зниженні тепловтрат і підвищенні енергоефективності системи. У контексті охорони праці та безпеки експлуатації вона також виконує важливу функцію – захищає персонал від опіків гарячими поверхнями.

Відповідно до розрахунків, наведених у розділі 2, товщина ізоляційного шару повинна забезпечувати температуру зовнішньої поверхні не вище 50 °С. Для нашого випадку необхідна товщина становить $\delta = 9$ мм.

За таких параметрів ізоляції корпус генератора пари залишається безпечним на дотик навіть під час проведення профілактичного обслуговування або ремонту, що значно знижує ризик виникнення виробничих травм.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

У результаті виконаного огляду сучасних пральних машин із паровою обробкою встановлено, що впровадження парових технологій значно підвищує ефективність видалення забруднень і алергенів, дозволяє економити воду та енергію, а також забезпечує делікатний догляд за тканинами. Системи «розмиті логіки», дистанційного керування та вбудовані парогенератори вже сьогодні сертифіковані провідними міжнародними організаціями, що свідчить про їхню безпеку та високий рівень гігієнічності.

Аналіз патентних рішень виявив ключові технічні проблеми – переважно це складнощі з розміщенням об'ємних генераторів пари у обмеженому просторі корпусу, підвищене енергоспоживання при нагріванні всього об'єму води та необхідність забезпечити надійний захист від надлишкового тиску. Запропоновані у патентах способи інтеграції компактних бойлерів, багаторівневого контролю температури і захисних клапанів створили основу для подальшої оптимізації конструкції.

У проектній частині реалізовано перехід від теоретичних схем до конкретного технічного рішення. Розроблено конструкцію пральної машини з інтегрованим генератором пари, складено гідравлічну та структурну схеми керування, обрано й розраховано компоненти: клапани прямої дії з кульковим затвором, інверторний двигун з прямим приводом, смуговий нагрівальний елемент «Hot-Microcoil», а також електричну схему на базі AT89C51 з урахуванням всіх блоків живлення, індикації та безпеки.

У ході технічних розрахунків визначено оптимальний надлишковий тиск у парогенераторі для утворення перегрітої пари, потужність ТЕНу (2200 Вт), параметри пружини та мембрани для захисту від надлишкового тиску, швидкість струменя пари із сопла, а також мінімальну товщину стінки корпусу бойлера й необхідний тип насоса. Усі ці розрахунки забезпечують не лише працездатність, а й тривалу надійну експлуатацію машини.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Нодокум.	Підпис	Дата		65

Розділ 3 містить рекомендації з безпечної експлуатації та технічного обслуговування. Розроблено заходи охорони праці під час ремонту та профілактики, наведено правила підключення до водопровідної та електромережі, а також складено інструкцію з усунення типових несправностей. Особливу увагу приділено теплоізоляції корпусу генератора пари, що забезпечує температуру зовнішньої поверхні не вище 50 °С та запобігає опікам.

За підсумком, запропонована автоматизована система прання з вбудованою паровою обробкою поєднує в собі інноваційні технології керування, економічність і безпеку. Втілене технічне рішення дозволяє суттєво підвищити якість прання, знизити витрати ресурсів і забезпечити комфортне та безпечне обслуговування, що робить його перспективним для промислового впровадження та масового виробництва.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		66

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Випускна робота бакалавра [Текст]: Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалавра для студентів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» денної та заочної форм навчання / уклад. В.С. Пуць, М.М. Толстушко. Луцьк: Луцький НТУ, 2024. 48 с.
2. Кваліфікаційна робота: методичні вказівки до оформлення кваліфікаційних робіт для здобувачів першого (бакалаврського) та другого (магістерського) рівнів вищої освіти всіх освітніх програм денної та заочної форм навчання / уклад. Н.В. Ковальчук, Ю.Г. Фесіна, І.Л.Заблоцька Луцьк : ЛНТУ, 2023. 46 с.
3. Патент Південна Корея № 10-0435241, 27.09.1997.
4. Машина пральні побутові. Загальні технічні умови: ДСТУ 2721-94 (ГОСТ 8051-93). – К.: Держстандарт України, 1994. - 53 с.
5. Бабок І. В., Ковальчук С. О. (2010). Парогенератори і парові установки. Київ: Вища школа, 2010. 284 с.
6. Герасимчук П. М. (2015). Теплові електричні установки та парові котли. Харків: ХНАДУ, 2015. 196 с.
7. Іваненко О. М. (2018). Сучасні технології прання: автоматизація та енергоефективність. Львів: Видавництво ЛНАУ, 2018. 122 с.
8. ДСТУ EN 12952-15:2011. (2011). Парові котли. Частина 15: Автоматичне керування, безпека. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
9. The Babcock & Wilcox Company. (2004). Steam: Its Generation and Use (41st ed.). Barberton, OH: The Babcock & Wilcox Company.
10. Moody, K. (2011). Industrial Steam Boilers: Design, Specification, and Operator Training. Oxford: Newnes.
11. Rumelo, L. (2019). “Steam Technology in Modern Laundry: Energy Savings and Performance.” Journal of Textile Science, 12(3), 145–158.
12. Smith, A., & Jones, B. (2020). “Steam Injection in Washing Machines: A Review.” International Journal of Home Appliances, 8(2), 75–90.

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	Недокум.	Підпис	Дата		67

13. <https://www.lg.com/ua/machines/steam-wash>
14. <https://www.electrolux.ua/washing-machines/steam/>
15. <https://www.energy.gov/eere/amo/steam-system-efficiency>).
16. https://www.engineeringtoolbox.com/steam-properties-d_420.html
17. <https://www.asme.org/codes-standards>
18. <https://www.longdom.org/textile-science-engineering.html>
19. IEC 60335-1:2020 – Household and similar electrical appliances — Safety — Part 1: General requirements

					<i>КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	Надокум.	Підпис	Дата		68

ДОДАТКИ

					КРБ 0029.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		69