

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

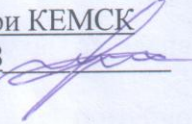
Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

«ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПОБУТОВОГО ПІДГРІВУ ВОДИ»

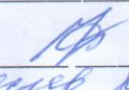
Виконав: студент 3 курсу, групи ЕМСА-23мс
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Денис ВЛАСЕНКО 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

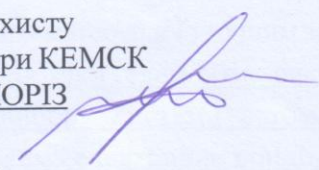
«10» 05 2025 р.

Керівник: к.т.н., доц. кафедри КЕМСК
Микола МОШНОРИЗ 
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«10» 06 2025 р.

Рецензент: 
Володимир КОМАР
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

«10» 06 2025 р.

Допущено до захисту
Завідувач кафедри КЕМСК
Микола МОШНОРИЗ 
(прізвище та ініціали)

«3» червня 2025 р.

Вінниця ВНТУ - 2025 рік

Державний національний технічний університет
Факультет Електроенергетики та електромеханіки
Кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Спеціальність 14 – Електрична інженерія
Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КЕМСК

К.Т.Н., доц. Микола МОШНОРІЗ

“18” лютого 2025 року

ЗАВДАННЯ **НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Власенку Денису Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Лабораторний стенд для дослідження автоматичних електромеханічних систем побутового підігріву води

керівник роботи Мошноріз Микола Миколайович, к.т.н., доц.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року №97

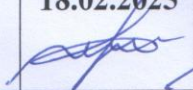
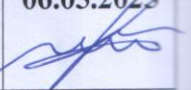
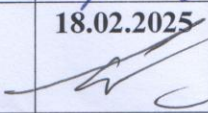
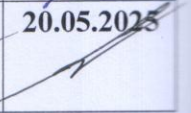
2. Строк подання студентом роботи 03.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: продуктивність колонки – 10л/хв; загальна потужність споживання – 18 кВт.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальні відомості про об'єкт дослідження. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи автоматизації. Функціональна схема системи автоматизації. Розрахунок і вибір системи автоматизації. Розробка лабораторного стенду. Схема електрична принципова системи автоматизації. Охорона праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):
Функціональні зв'язки елементів системи автоматизації. Техніко-економічне обґрунтування вибору системи автоматизації. Функціональна схема системи автоматизації. Схема електрична принципова системи автоматизації.

6. Консультанти розділів роботи

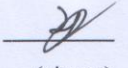
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Мошноріз М. М., к.т.н., доц. каф КЕМСК	18.02.2025 	06.05.2025 
Охорона праці	Кобилянський О.В., д. пед. н., зав. каф. БЖДПБ	18.02.2025 	20.05.2025 

7. Дата видачі завдання 18.02.2025р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської кваліфікаційної роботи (БКР)	18.02.2025	вик
2	Виконання спеціальної частини БКР. Перший рубіжний контроль виконання БКР	06.05.2025	вик
3	Виконання спеціальної частини БКР. Другий рубіжний контроль виконання БКР	20.05.2025	вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.2025	вик
5	Попередній захист БКР	03.06.2025	вик
6	Нормоконтроль БКР	03.06.2025	вик
7	Рецензування БКР	10.06.2025	вик
8	Захист БКР	23.06.2025	вик.

Здобувач освіти

 Д. О. Власенко
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

 М. М. Мошноріз
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з 74 сторінок формату А4, містить 35 рисунків, 14 таблиць. Список використаних джерел налічує 11 найменувань.

Розроблено лабораторний стенд для дослідження автоматизованих систем побутового підігріву води. Наведено опис конструкції стенду, принцип його дії, здійснено розрахунок потужності водонагрівача. Здійснено підбір мікроконтролера на заміну основної плати керування; Розроблено код для дослідження роботи системи, створено принципову електричну схему автоматизації лабораторного стенду; Розроблено розділ безпеки праці під час роботи на лабораторному стенді.

У результаті виконаної роботи створено функціональний макет, що дозволяє моделювати та аналізувати роботу автоматизованої системи підігріву води.

Ключові слова: лабораторний стенд, автоматизована система, підігрів води, мікроконтролер, STM32, ARISTON, принципова схема, безпека праці, моделювання, потужність водонагрівача, автоматизація.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 52 pages of A4 format, contains 35 figures and 14 tables. The list of references includes 11 items.

A laboratory stand for the study of automated domestic water heating systems has been developed. The description of the stand design, the principle of its operation, and the calculation of the water heater power are given. The selection of a microcontroller to replace the main control board was carried out; the code for simulating the system operation was developed, a basic electrical circuit for automation of the laboratory stand was created; a section on labor safety during work on the laboratory stand was developed.

As a result of the work performed, a functional layout was created that allows modeling and analyzing the operation of an automated water heating system.

Keywords: laboratory stand, automated system, water heating, ARISTON, microcontroller, STM32, schematic diagram, occupational safety, modeling, heater power, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Загальні відомості про напівтурбований протічний водонагрівач ARISTON Marco Polo M2 10L FF	9
1.2 Будова водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF.....	11
1.3 Принцип роботи водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF.	13
2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	16
3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	25
4 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	31
6 РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ	35
6.1 Конструкція лабораторного стенду.....	35
6.2 Програмна реалізація пристрою керування	37
7 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВОДОНАГРІВАЧА	44
8 ОХОРОНА ПРАЦІ	46
8.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта.....	46
8.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	46
8.1.2 Електробезпека.....	48
8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	48
8.2.1 Мікроклімат	48
8.2.2 Склад повітря робочої зони	49
8.2.3 Виробниче освітлення	50
8.2.4 Виробничий шум.....	50
8.3 Технічні рішення з пожежної безпеки	51
ВИСНОВКИ.....	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
Додаток А Технічне завдання	54
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	61
Додаток В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	74

ВСТУП

Автоматизація технологічних процесів передбачає мінімізацію участі людини в керуванні обладнанням шляхом впровадження електронних та програмних засобів. Вона дозволяє підвищити продуктивність, зменшити брак і знизити витрати за рахунок автоматичного контролю, а також підвищити безпеку роботи в небезпечних умовах. Сучасні системи автоматизації інтегрують комп'ютерні контролери, датчики та механізми, що легко адаптуються до змін попиту та технологічних вимог.

Лабораторний стенд – це ефективний інструмент для практичного навчання і промислового тестування. Він допомагає студентам та інженерам отримувати теоретичні знання, моделювати складні процеси та оцінювати нові рішення без ризику для реального обладнання. У промисловості лабораторні стенди використовують для перевірки обладнання та навчання персоналу, а в навчальних закладах – для формування практичних навичок роботи з автоматизованими системами.

Розробка лабораторного стенда для автоматизації побутового підігріву води на основі газової колонки Ariston є актуальною. Замість реального газового обладнання використовується електронна модель, що дозволяє безпечно відпрацьовувати алгоритми керування, аналізувати роботу датчиків і виконавчих механізмів, а також оцінювати різні стратегії регулювання температури.

Метою роботи є створення та реалізація лабораторного стенду для дослідження автоматичних системи підігріву води на базі газової колонки Ariston та розробити алгоритм керування для навчальних цілей.

Об'єктом дослідження є процес розробки лабораторного стенда для дисциплін «Електромеханічні системи автоматизації», а також для проведення профорієнтаційної підготовки студентів кафедри комп'ютеризованих електромеханічних систем.

Предметом дослідження є лабораторний стенд, побудований на основі напівтурбованої газової колонки Ariston, разом із системою датчиків, виконавчих механізмів і контролером, що забезпечує імітацію роботи автоматизованої системи підігріву води.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: розрахувати та обрати обладнання для автоматизації; визначити економічно-доцільну систему керування; розробити структурну схему автоматизації; розробити спрощену принципову електричну схему; дослідити вимоги щодо безпечних умов праці під час робіт з лабораторним стендом.

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про напівтурбований протічний водонагрівач ARISTON Marco Polo M2 10L FF

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається напівтурбований проточний газовий водонагрівач ARISTON Marco Polo M2 10L FF. Пристрій призначений для роботи на природному газі та забезпечує нагрівання десяти літрів води за одну хвилину. Напівтурбована конструкція передбачає примусове виведення продуктів згоряння за допомогою вентилятора, тоді як забір повітря здійснюється із внутрішнього простору приміщення.[5]

Зовнішній вигляд проточного нагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF зображено на рис. 1.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд проточного нагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF

Проточний водонагрівач Ariston Marco Polo M2 10L FF забезпечує до десяти літрів гарячої води за хвилину, підігрівуючи її миттєво при відкритті крана. Закрита камера згоряння і вентилятор роблять експлуатацію безпечною, а п'єзоелектричне запалювання дозволяє запускатися без відкритого полум'я. У разі відсутності полум'я спрацьовує автоматичне відключення, є захист від перегріву та контроль тяги. ККД пристрою високий, що знижує витрати газу, а рівень викидів шкідливих речовин – низький. Номінальна теплова потужність становить 17,4 кВт, максимальна температура нагріву води – 65 °С, газовий тиск – 13 мбар (для природного газу), споживання газу – 2 м³/год. Живлення від мережі 220 В/50 Гц. [5]

Основні технічні характеристики Ariston Marco Polo M2 10L FF описані в табл. 1.1. [5]

Таблиця 1.1 – Характеристики Ariston Marco Polo M2 10L FF

Характеристики газової колонки	Ariston Marco Polo M2 10L FF напівтурбо
Продуктивність, л/хв	10
Потужність, кВт	18
Тип запалювання	Електророзпал
Регулятор потужності	3 модуляцією полум'я
За типом відведення газів	Напівтурбо
Тип камери згоряння	Закрита
Тип димоходу	Коаксіальний / Однопотоковий
Робота газової колонки	Напіваавтоматична
Регулювання температури	Автоматичне регулювання
Країна виробник	Китай
Потужність вентилятора/турбіни, Вт	7
Ширина, мм	320

Продовження таблиці 1.1.

Характеристики газової колонки	Ariston Marco Polo M2 10L FF напівтурбо
Висота, мм	520
Глибина, мм	130
Вага, кг	11.5
Колір	Білий

1.2 Будова водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF

Газовий водонагрівач Ariston Marco Polo M2 10L FF складається з кількох основних компонентів, які забезпечують його ефективну та безпечну роботу.

Будова водонагрівача зображена на рисунку 1.2.

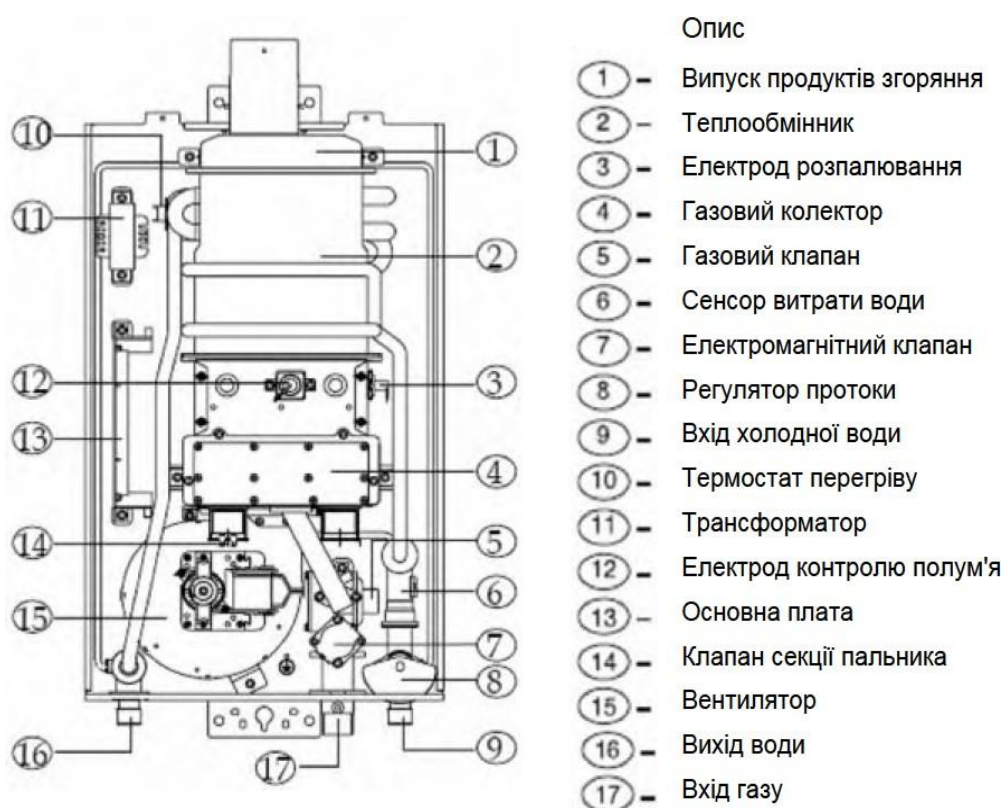


Рисунок 1.2 – Будова водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF

Основними компонентами водонагрівача є: корпус; газовий пальник; теплообмінник; камера згоряння; вентилятор з системою електронного керування; система безпеки; панель керування; водяний клапан; датчик потоку води.

Корпус виготовлено з корозійно-стійких матеріалів і забезпечує фізичний захист усіх внутрішніх вузлів, водночас надаючи пристрою охайного й сучасного вигляду. Газовий пальник із форсунками відповідає за рівномірну подачу й згоряння газу для нагріву теплообмінника, виготовленого з високотеплопровідного сплаву; вода під час проходження крізь його канали швидко нагрівається від тепла горіння.

Камера згоряння з коаксіальною трубою відводить продукти згоряння назовні, забираючи свіжий повітряний потік із приміщення та запобігаючи безпосередньому контакту з полум'ям. Примусовий вентилятор створює стабільну тягу в корпусі, а вбудована система керування відповідає за запалювання, регулювання температури та моніторинг усіх режимів роботи.

Система безпеки об'єднує декілька датчиків: датчик перегріву запобігає роботі за надмірної температури, датчик тяги слідує за правильним відведенням газів, а датчик полум'я миттєво перекриває подачу газу у разі його згасання. Панель керування на передній частині приладу містить індикатори стану й регулятори температури, що дозволяє швидко налаштувати необхідні параметри.

Водяний клапан автоматично відкривається при подачі холодної води й забезпечує її дозовану пропускну здатність через теплообмінник, тоді як датчик потоку води фіксує наявність руху рідини і активує нагрівальний цикл лише за умови достатнього водопостачання.

Панель керування водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF зображена на рисунку 1.3

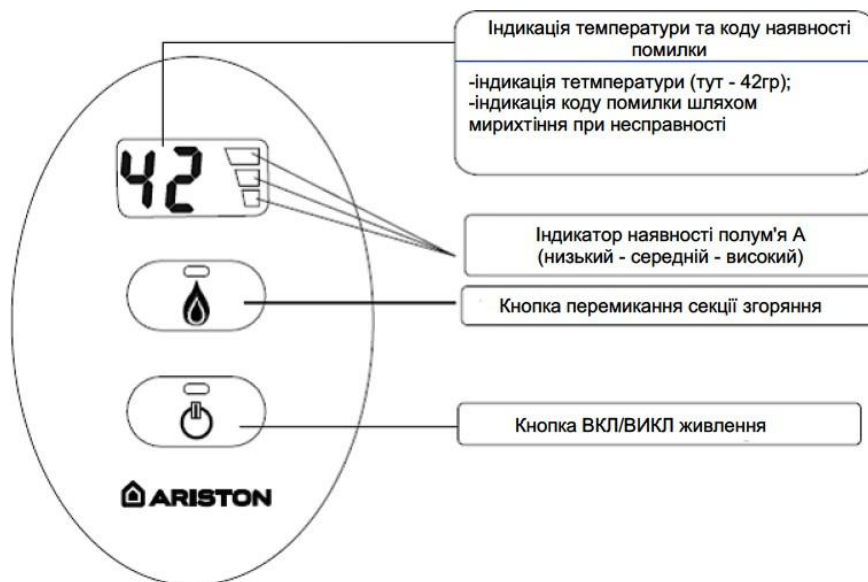


Рисунок 1.3 – Панель керування водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF

Панель керування оснащена індикатором секцій горіння: кожен запалений сегмент показує рівень подачі газу та температуру води. Користувачу доступні дві кнопки: «Вмк/Вимк» забезпечує живлення на платі керування та запуск або зупинку водонагрівача, а кнопка перемикання секцій дозволяє встановити потрібну температуру, обираючи ступінь потужності нагріву.

1.3 Принцип роботи водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF

Після відкриття крана гарячої води вона надходить у водяний клапан, де потік приводить у рух внутрішню турбіну – це генерує імпульси для датчика потоку. Плата керування отримує сигнал про рух води та починає процес запалювання пальника, яке виконується за допомогою п'єзоелектричного елемента. Утворене в результаті горіння тепло передається воді в теплообміннику, після чого нагріта вода надходить до крана. Водночас продукти згоряння відводяться назовні через димохід за допомогою вентилятора.

Схема підключення плати та її вхідні контакти описані та зображені на рисунку 1.4.

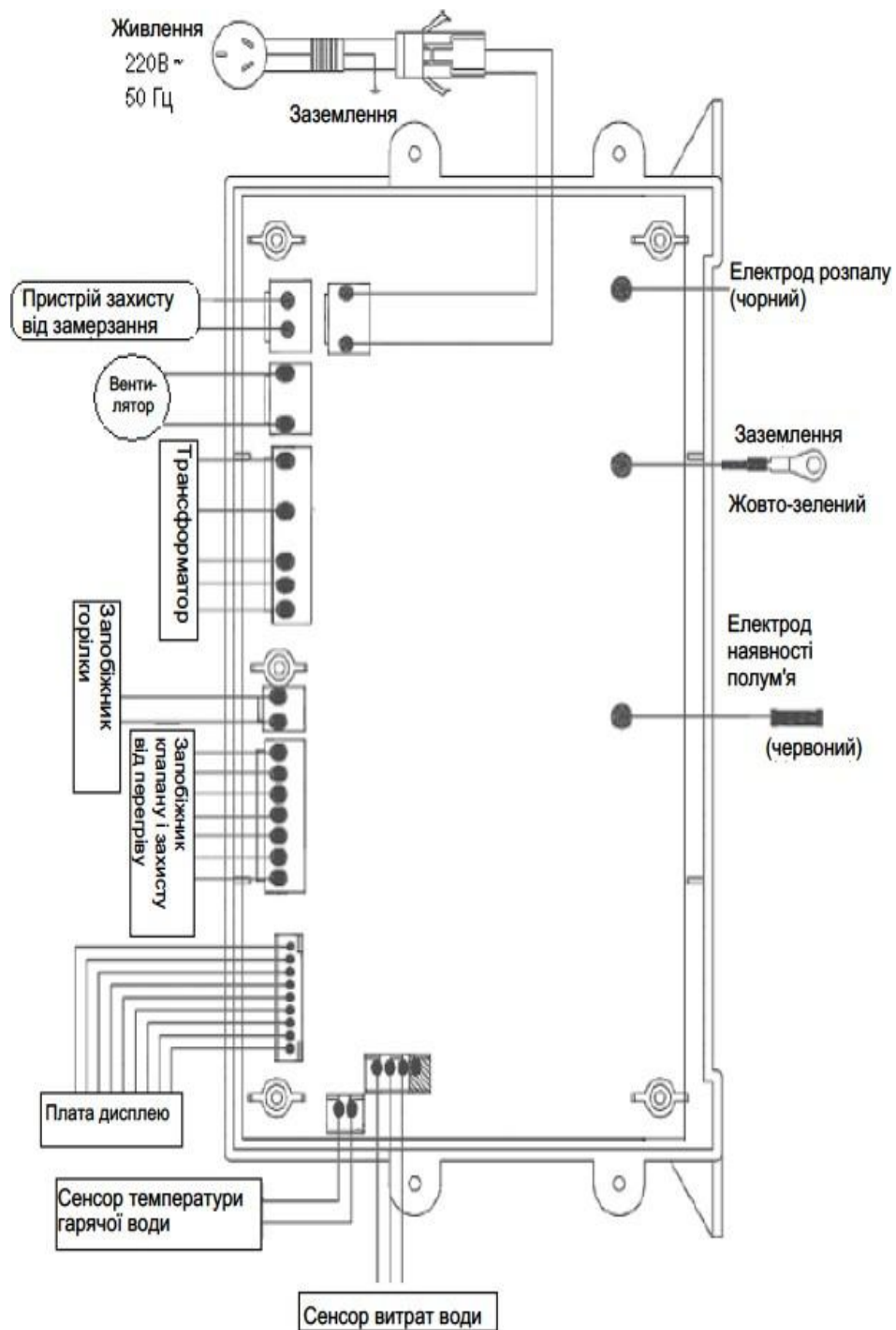


Рисунок 1.4 – Схема підключення плати керування та вхідних контактів водонагрівача

Плата керування під'єднана безпосередньо до мережі 220 В, 50 Гц.

Всі виконавчі елементи водонагрівача, окрім вентилятора працюють від постійної напруги 24 В, тому поруч із контролером розміщено понижувальний трансформатор 220/24 В.

До плати підключаються дисплей з органами керування, вентилятор і всі датчики водонагрівача.

Усі елементи водонагрівача та їх характеристики описані в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Вхідні та вихідні сигнали плати керування водонагрівача Ariston Marco Polo M2 10L FF

№	Елемент водонагрівача	Кількість роз'ємів	Характеристика сигналу
1	Живлення		3x2,5мм ² , 220В, 50Гц
2	Вказівник температури		(шлейф до панелі керування)
3	Датчик витрат води	3	DC24V
4	Датчик температури гарячої води на виході з теплообмінника	2	DCV
5	Датчик наявності полум'я	2	DC220V
6	Датчик температури води в теплообміннику	2	DC5V
7	Датчик перегріву пальника (наявності тяги)	2	DC3V
8	Датчик охолодження (замерзання) води в різних місцях трубопроводу (5шт, що з'єднані послідовно)	2	DC220V
1	Вентилятор нагнітання повітря і примусового димовидалення		3x1,5мм ² , 220В, 50Гц
2	Електромагнітний газовий клапан	2	DC24V
3	Газовий клапан	2	DC24V
4	Газовий клапан секції пальника	2	DC24V
5	Електрод розпалювання	2	DC24V

2 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Розрахунок параметрів об'єкта полягає у визначенні параметрів проточного водонагрівача. Головну увагу приділено характеристикам, зокрема:

- загальній споживаній потужності та струму пристрою,
- потужності та струму споживачів електроенергії,
- потужності та струму датчиків і керуючих елементів.

Зовнішній вигляд вентилятора представлено на рисунку 2.1.

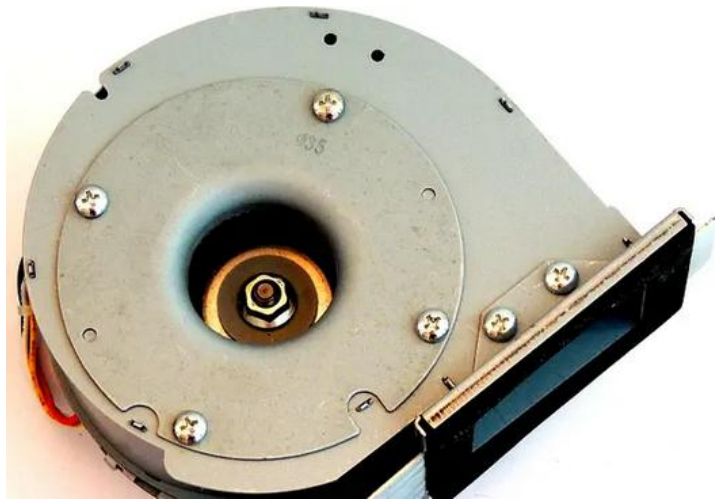


Рисунок 2.1 – Вентилятор водонагрівача

При відомому струмі двигуна вентилятора можна знайти його потужність за формулою:

$$P_t = U_t * I_t * \cos\varphi_t , \quad (2.1)$$

де P_t – номінальна активна потужність двигуна

U_t – фазна напруга двигуна

I_t – струм двигуна

$\cos\varphi_t$ – коефіцієнт потужності турбіни

$$P_t = 220 * 0.5 * 0.64 = 70,4 \text{ (Вт)}.$$

Значення повної потужності буде дорівнювати:

$$S = \frac{P_t}{\cos\varphi_t}, \quad (2.2)$$

$$S = \frac{70,4}{0,64} = 110 \text{ (ВА)}.$$

Для симуляції роботи двигуна були виконані розрахунки в середовищі Mathcad та проведено симуляцію в Scilab

$$P_n := 220 \cdot 0.5 = 110 \quad R_a := 0.6 \quad R_d := 0.35 \quad n := 0.715 \quad n_n := 2750$$

$$L_a := 0.012 \quad U_n := 220$$

$$R_{sum} := R_a + R_d$$

$$\omega_n := \frac{2 \cdot \pi}{60} \cdot n_n = 287.979$$

$$I_n := \frac{P_n}{U_n \cdot n} = 0.699$$

$$K_{Fn} := \frac{U_n - I_n \cdot R_{sum}}{\omega_n} = 0.762$$

$$M_n := K_{Fn} \cdot I_n = 0.533$$

$$I_{dop} := 2.5 \cdot I_n = 1.748$$

$$R_p := \frac{U_n}{I_{dop}} = 125.84$$

$$T_e := \frac{L_a}{R_{sum}} = 0.013$$

Рисунок 2.2 – Розрахунки для симуляції двигуна

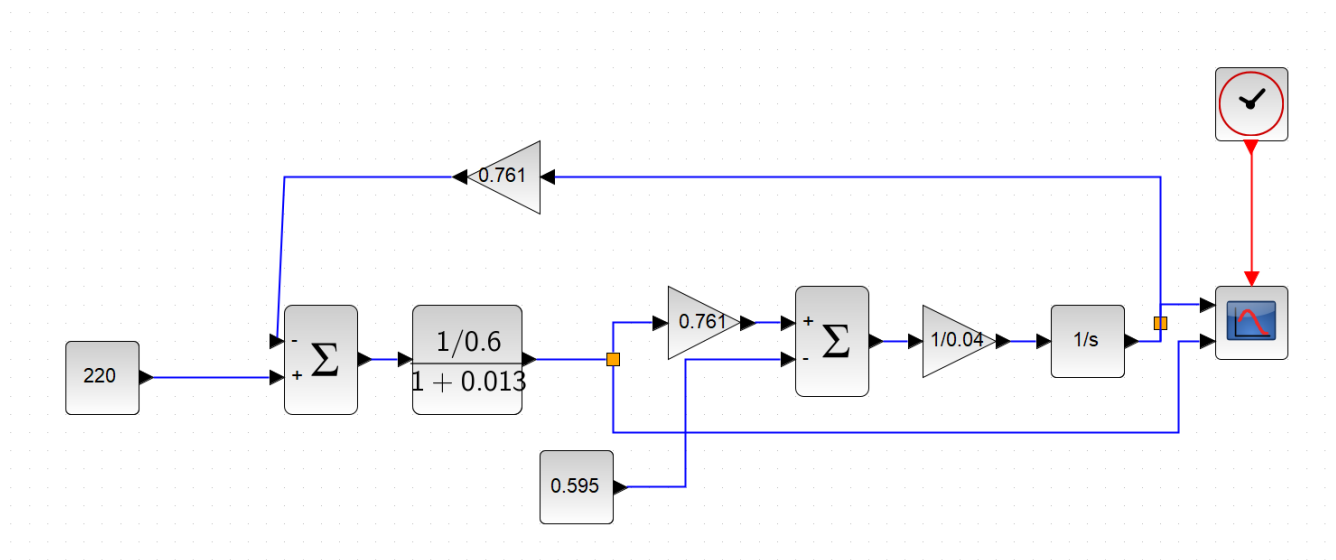


Рисунок 2.3 – Модель для симуляції двигуна

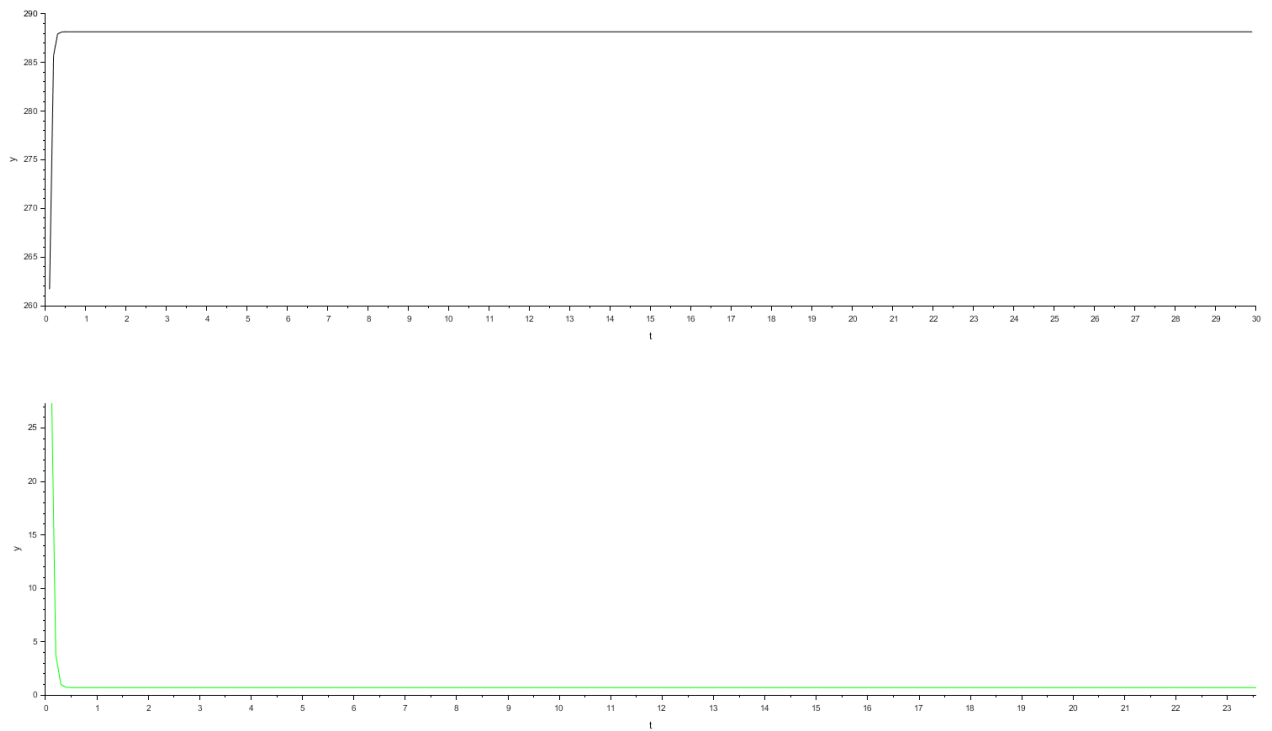


Рисунок 2.4 – Графік симуляції

По графіку бачимо, що двигун обертається приблизно 288 рад/с.

Розраховані паспортні дані двигуна записані в таблицю 2.1

Таблиця 2.1 – Паспортні дані двигуна

Параметр	Значення
Потужність, Вт	70
Напруга живлення, В	220
Струм, А	0,5
Коефіцієнт потужності	0,64
Частота обертання, об/хв	2750

Зовнішній вигляд трансформатора напруги зображено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Понижуючий трансформатор напруги

За формулами знаходимо потужність трансформатора:

$$S_{tr} = U_{tr} * I_{tr} , \quad (2.3)$$

де S_{tr} - повна потужність понижуючого трансформатора напруги

U_{tr} – фазна напруга трансформатора

I_t – струм трансформатора

$$S_{tr} = 220 * 0.9 = 198 \text{ (ВА)}.$$

Паспортні дані трансформатора наведено у таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Паспортні дані понижуючого трансформатора напруги

Параметр	Значення
Потужність, ВА	200
Напруга живлення, В	220
Струм, А	0,9
Напруга вторинної обмотки, В	24

Зовнішній вигляд електромагнітного клапану газу зображено на рисунку 2.6



Рисунок 2.6 – Електромагнітний клапан газу

Паспортні дані електромагнітного клапану газу TEVDC24070 описані у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Паспортні дані електромагнітного клапану газу

Параметр	Значення
Рід струму живлення клапану	DC
Напруга живлення, В	24

Зовнішній вигляд датчика потоку води зображено на рисунку 2.7



Рисунок 2.7– Датчик потоку води

Зовнішній вигляд плати керування водонагрівачем зображено на рисунку 2.8

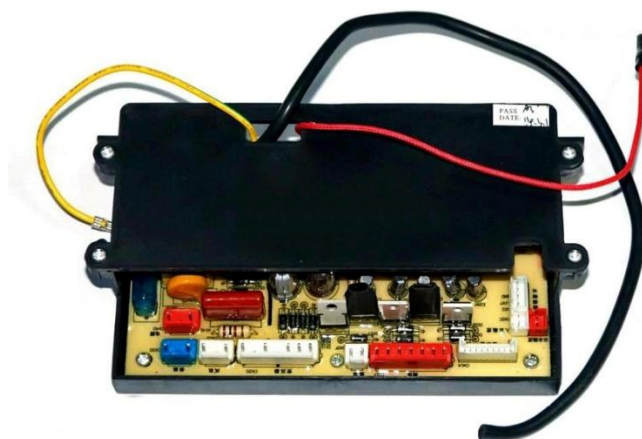


Рисунок 2.8 – Плата керування водонагрівачем

Зовнішній вигляд панелі керування водонагрівачем зображено на рисунку 2.9



Рисунок 2.9 – Панель керування водонагрівачем

Зовнішній вигляд датчика температури водонагрівачем зображено на
рисунку 2.10



Рисунок 2.10 – Датчик температури води

Зовнішній вигляд електроду запалювання зображено на рисунку 2.11



Рисунок 2.11 – Електрод запалювання

Зовнішній вигляд термозапобіжника зображено на рисунку 2.12

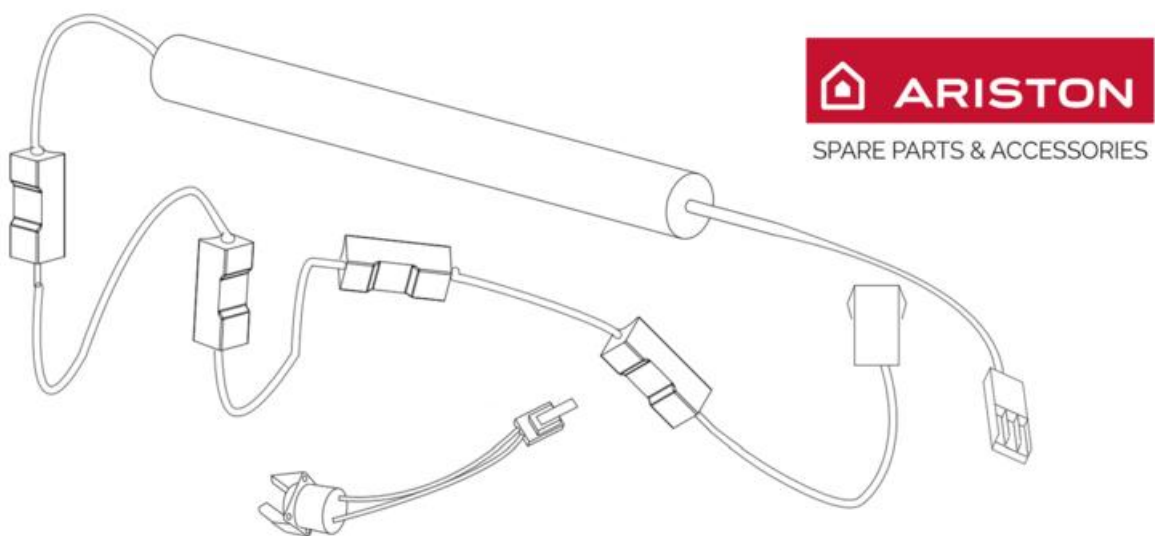


Рисунок 2.12 – Термозапобіжник

Загальна споживана потужність водонагрівача складається з енерговитрат турбіни, яка отримує живлення від мережі та електронної плати керування, що живиться від трансформатора 220/24 В.

За формулою обчислюємо загальну потужність:

$$S_{\text{сум}} = S_t + S_{tr} , \quad (2.4)$$
$$S_{\text{сум}} = 110 + 198 = 308 \text{ (ВА)}.$$

Протічний водонагрівач має загальну потужність 308 ВА. Припустимо, що коефіцієнт потужності дорівнює 1, і застосувавши запасний коефіцієнт 1,1, отримаємо розрахункову активну потужність.

$$P = k_z * S * \cos\varphi , \quad (2.5)$$

де k_z - коефіцієнт запасу потужності системи ($k_z = 1,1$);

U_{tr} – розрахункове значення коефіцієнта потужності системи

$$P = 1,1 * 308 * 1 = 338,8 \text{ (Вт)}.$$

Надалі будемо використовувати потужність $P = 0,34 \text{ кВт}$

3 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Для реалізації системи керування можна обрати різні контролери.

Для порівняння буде розглянуто такі варіанти автоматизації:

1. Вбудована плата керування проточного водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF (існуюча система).

2. Контролер STM32 NUCLEO C031C6

Економічне обґрунтування вибору системи автоматизації буде виконано за методом приведених витрат. З інтернет-джерел визначаємо вартість контролерів, виконавчих механізмів та датчиків, після чого узагальнюємо отримані дані в таблиці 3.1.

Рисунки цін:

- проточного водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF (рис. 3.1);
- плати керування цього водонагрівача (рис. 3.2);
- плати STM32 Nucleo (рис. 3.3);
- плати Arduino Mega



Газова колонка Ariston Marco Polo M2 10L FF напівтурбо

Висота 520
Ширина 320
Глибина 130

Подарунок

Під замовлення
Код: ТБГК-0001457
Відправка з 01 липня 2025
9 999 ₴

КУПИТИ

купити з **prom**

Що таке купити з Пром?

☒ Замовлення під захистом **prom**

+380 (67) 530-73-44
киевстар

Умови оплати та доставки
Графік роботи
Адреса та контакти
Умови повернення: повернення товару протягом 14 днів за домовленістю [Детальніше](#)

Рисунок 3.1 – Вікно інтернет-оглядача з ціною на проточний водонагрівач Ariston Marco Polo M2



65158301 Плата управління колонки Marco Polo M1, M2 10 L FF Ariston

2 180 ₴

В наявності | Код: 65158301

Купити

Купити з  prom

Рисунок 3.2 – Вікно інтернет-оглядача з ціною на плату керування проточним водонагрівачем

NUCLEO-C031C6

Артикул: 119963 Написати відгук



707 грн з ПДВ

В наявності

Зайдіть, щоб відобразити знижку

В бажання

Купити

Характеристики

Бренд	STMicroelectronics
Наявність	В наявності
Назва	NUCLEO-C031C6
Серія	STM32 Nucleo Boards
Країна виробника	Made in China

Файли

Рисунок 3.3 – Вікно інтернет-оглядача з ціною на плату керування STM32 Nucleo

Arduino Mega 2560 R3 (CH340)

код: APC157



ДОСТАВКА ПО УКРАЇНІ

6 МІСЯЦЕВ ГАРАНТІЇ

ПРОКОНСУЛЬТУЄМО ДО І ПОСЛЕ ПРОДАЖІ.

699 грн с НДС

в наявності

- 1 + **КУПИТИ**

[Купити в один клік](#)

★ ★ ★ ★ ★ 12 голосувати

[Нашли дешевле?](#)



Описание

Отзывы (27)

Задать вопрос

Рисунок 3.4 – Вікно інтернет-оглядача з ціною на плату керування Arduino Mega

В даному прикладі буде виконано розрахунок системи STM32 Nucleo.

Капітальні затрати:

$$K=D+C, \quad (3.1)$$

де D – вартість додаткового обладнання (вартість всього обладнання водонагрівача без плати керування);

C – вартість системи керування. Вартість додаткового обладнання можна знайти як різницю вартості водонагрівача і вартості нової плати керування:

$$D=9999-2180=7819 \text{ (грн)}.$$

Вартість системи керування для обладнання STM32 Nucleo становить:

$$C=707 \text{ (грн)}.$$

Таким чином, отримаємо:

$$K=7819+707=8526 \text{ (грн)}.$$

Річні капітальні затрати

$$K_p=0,17 \cdot K, \quad (3.2)$$

$$K_p=0,17=0,17 \cdot 8526=1449 \text{ (грн./рік)}.$$

Час роботи механізму за рік

$$t_{\text{рік}} = d \cdot t \cdot T_B, \quad (3.3)$$

де d – кількість робочих днів ($d = 365$);

t – кількість робочих годин в день ($t = 24 \text{ год.}$);

T_B – тривалість увімкнення механізму ($T_B = 10\% = 0,1 \text{ в. о.}$).

За рік отримаємо час роботи:

$$t_{\text{рік}} = 365 \cdot 24 \cdot 0,1 = 876 \text{ (год./рік)}.$$

Знайдемо затрати електричної енергії на виконання роботи електричним обладнанням при роботі зі встановленою потужністю протягом року

$$Z_{\text{вст}} = c \cdot P_{\text{вст}} \cdot t_{\text{рік}}, \quad (3.4)$$

де $P_{\text{вст}}$ – встановлена потужність з врахуванням того, що в роботі знаходиться постійно лише один насос ($P_{\text{вст}} = 0,34 \text{ кВт}$);

c – вартість електроенергії ($c = 4,32 \text{ грн./кВт}\cdot\text{год}$).

Отримаємо:

$$Z_{\text{вст}} = 4,32 \cdot 0,34 \cdot 876 = 1191,36 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на електроенергію електроприводом відрізняються від встановлених затрат на величину втрат енергії. Введемо показник економічної ефективності роботи системи. Найкращу ефективність роботи має оригінальна плата керування її ефективність приймемо 99%.

Найгіршу ефективність роботу буде мати комплект ARDUINO, оскільки він призначений для навчальних цілей ознайомлення і не є обладнанням промислової автоматизації. Приймемо ефективність роботи ARDUINO – 80%.

Затрати на електроенергію STM32 Nucleo будуть дорівнювати:

$$Z_{\text{ел}} = \frac{Z_{\text{вст}}}{k_e}, \quad (3.5)$$

де k_e – коефіцієнт ефективності роботи ($k_e = 0,9$).

Отримаємо такі затрати на електроенергію:

$$З_{\text{ел}} = \frac{1191,36}{0,9} = 1324(\text{грн/рік}).$$

Затрати на амортизацію системи системи автоматизації:

$$З_a = 0,1K, \quad (3.6)$$

$$З_a = 0,1 * 8526 = 852,6 (\text{грн/рік}).$$

Затрати на ремонт обладнання можна наближено знайти за виразом

$$З_p = 0,02K, \quad (3.7)$$

$$З_p = 0,02 * 8526 = 170,52(\text{грн/рік}).$$

Затрати на обслуговування можна наближено знайти за виразом

$$З_o = 0,05(З_{\text{ел}} + З_a + З_p), \quad (3.8)$$

$$З_o = 0,05(1324 + 852,6 + 170,52) = 117,35 (\text{грн/рік}).$$

Приведені затрати на спорудження системи автоматизації

$$З = K_p + З_{\text{ел}} + З_a + З_p + З_o, \quad (3.9)$$

$$З = 1449 + 1324 + 852 + 170,52 + 117,35 = 3912,87 \left(\frac{\text{грн}}{\text{рік}} \right).$$

Результати розрахунку інших систем системи автоматизації зведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Техніко-економічне співставлення систем автоматизації

Назва обладнання	ARISTON Marco Polo M2 10L FF	STM 32 NUCLEO	ARDUINO MEGA
Вартість додаткового обладнання водонагрівача, грн	7819	7819	7819
Вартість системи керування, грн.	1910	707	699
Капітальні затрати, грн.	9999	8526	8518
Річні кап. затрати, грн./рік	1700	1449	1448
Ефективність роботи системи, %	0,99	0,9	0,8
Затрати на електроен. грн./рік	1228	1324	1489
Затрати на амортиз., грн./рік	1000	852	851
Затрати на ремонт, грн./рік	200	170	170
Затрати на обслугов., грн./рік	121	117	170
Приведені річні затрати, грн./рік	4249	3912	4084

За результатами розрахунку запропонованих систем автоматизації, найкращою буде система STM32 NUCLEO

4 ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

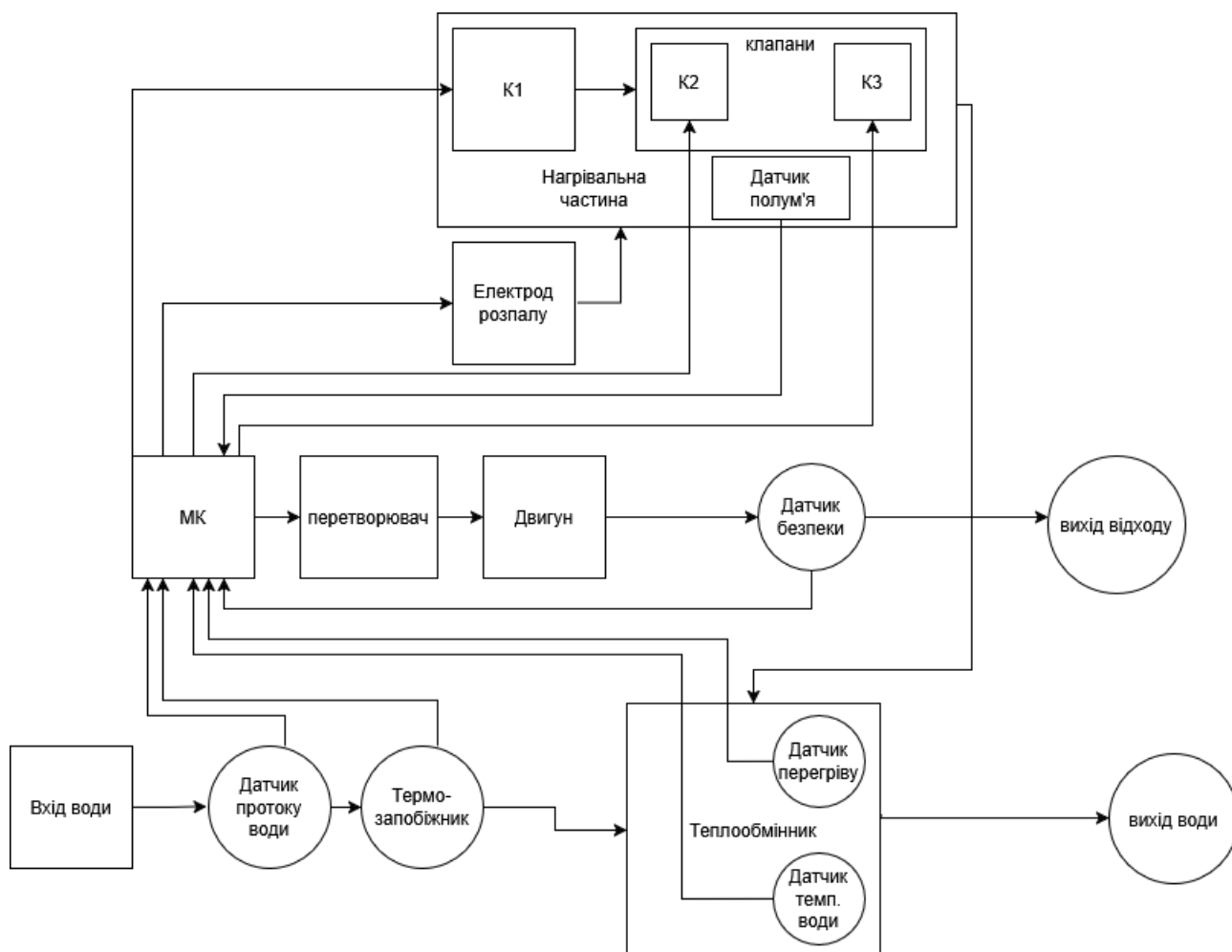


Рисунок 4.1 – Функціональна схема системи автоматичної роботи протічного водонагрівача

На рисунку 4.1 позначено: МК - мікроконтролер; K1 - клапан подачі газу; K2, K3 - клапан подачі газу в горілку.

Система починає роботу після отримання сигналу «START». Спочатку відбувається перевірка всіх датчиків та самодіагностика плати керування. Якщо несправностей не виявлено, контролер переходить у режим очікування та на дисплеї відображається поточна температура води на виході з теплообмінника. У цей момент вентилятор не обертається, а подача газу не відбувається.

В теплообмінник встановлена турбіна з магнітом, а зовні – датчик Холла, що рахує кількість обертів цієї турбіни під тиском потоку води. Як тільки датчик фіксує достатню швидкість потоку, система керування надсилає команду на запуск вентилятора, відкриття газового клапана й увімкнення п'єзоелектричного запальника. Початковим режимом нагріву води є мінімальний, тому нагрів триватиме доти, доки вода надходить, а покази всіх датчиків залишаються в межах норми. У разі вибору середнього рівня до поданих сигналів додається ще один клапан, а при виборі максимального активується ще один додатковий клапан.

Система може вимкнутись внаслідок одного або одночасно кількох факторів: користувач дає команду «STOP» або припиняється потік води, датчик полум'я перестає реєструвати полум'я; спрацьовує датчик перегріву теплообмінника. Якщо хоча б одна з цих умов виконується, система відключає нагрів і припиняє подачу газу та живлення вентилятора.

5 ВИБІР СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛАБОРАТОРНИМ СТЕНДОМ

У лабораторному стенді буде використовуватися лише плата керування. Решта обладнання (датчики та виконавчі механізми) не змінюються. Єдиною заміною є основна плата керування на контролер STM32 Nucleo. Зовнішній вигляд цієї плати показано на рисунку 5.1.



Рисунок 5.1 – Плата керування STM32 Nucleo C031C6

На платі NUCLEO-C031C6 для зв'язку з комп'ютером використовується вбудований програматор ST-LINK/V2-1.

Центральним елементом плати є 32-бітний мікроконтролер STM32C031C6. Він працює на 3,3 В і має вбудовані модулі для різних інтерфейсів: UART, SPI, I²C, таймери, АЦП та ін. Також контакти виведені на роз'єми формату Arduino, і на роз'єми STMicroelectronics.

На платі є контакти на вихід для опорної напруги АЦП і на вихід, з якої можна взяти напругу живлення на іншу периферію в межах до 3.3В.

Для налаштування мікроконтролера використовується середовище STM32CubeIDE та STM32CubeMX: у ньому можна графічно вибрати, які порти і модулі потрібні для використання (частота, піни, АЦП, таймери), після чого програма автоматично згенерує початковий код проєкту для STM32CubeIDE.

Програмування на цій платі можна виконується мовою C++. Для завантаження програми на плату достатньо USB-кабелю.

Живлення плати надходить через USB або можна через зовнішнє джерело 5–7 В. Плата перетворює вхідну напругу на 3,3 В для мікроконтролера та периферії.

Паспортні дані мікроконтролера наведені в таблиці 5.1

Таблиця 5.1 – Паспортні дані STM32 NUCLEO

Параметр	Значення
Мікроконтролер	STM32C031C6
Робоча напруга	Вхід: 5 В Вихід: 3.3 В
Цифрові входи/виходи	6
Флеш-пам'ять програм	32 КБ
Оперативна пам'ять	12 КБ
Тактова частота	48 МГц
Аналогові входи	14
Розмір	68,6 × 53,4 × 12 мм

6 РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДУ

6.1 Будова лабораторного стенду

Для будови лабораторного стенда було використано всі компоненти протічного водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF. Кожен з елементів було демонтовано а потім розміщено на спеціальній монтажній панелі. Встановлення виконано так, щоб до кожної деталі був доступ та можна було під'єднати необхідні компоненти. Загальний вигляд змонтованого обладнання зображено на рисунках 6.1 і 6.2.

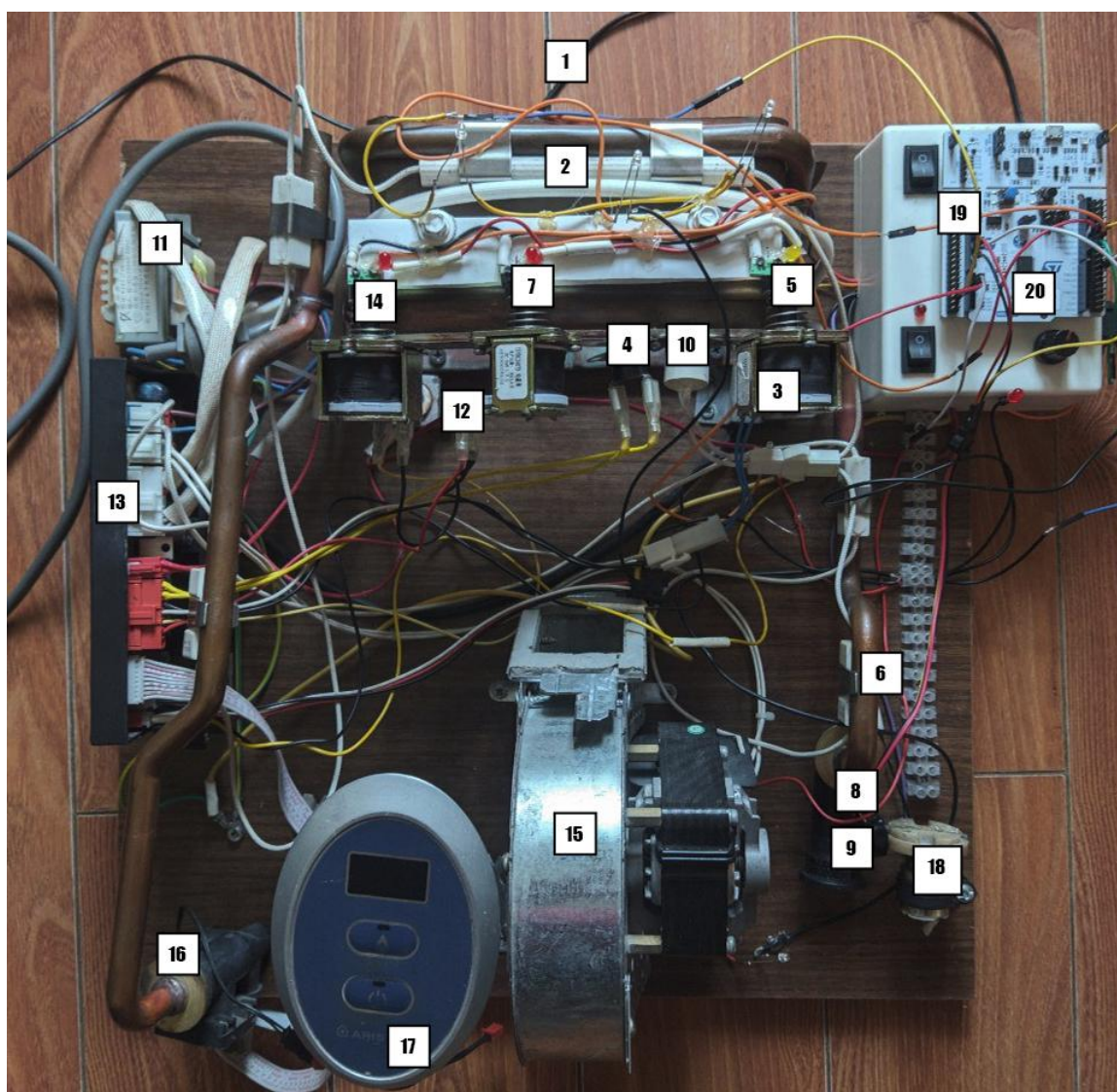


Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд лабораторного стенда для дослідження автоматичної системи підігріву води

На рисунку зображено:

1 - Випуск продуктів згоряння; 2 – Теплообмінник; 3- Електрод розпалювання; 4 – Газовий колектор; 5 – Газовий клапан; 6 – Датчик витрати води; 7- Електромагнітний клапан; 8– Регулятор протоки; 9 – Вхід холодної води; 10 – Термостат перегріву; 11 – Трансформатор; 12 – Електрод контролю полум'я; 13 – Плата керування; 14 – Клапан секції пальника; 15 – Вентилятор; 16 – Вихід води; 17 – Панель керування; 18 – Двигун імітації проходження води; 19 – Коробка імітації роботи; 20 – Плата керування STM NUCLEO.

За імітацію роботи водонагрівача відповідає коробка імітації роботи, на якій встановлено плату керування STM NUCLEO.

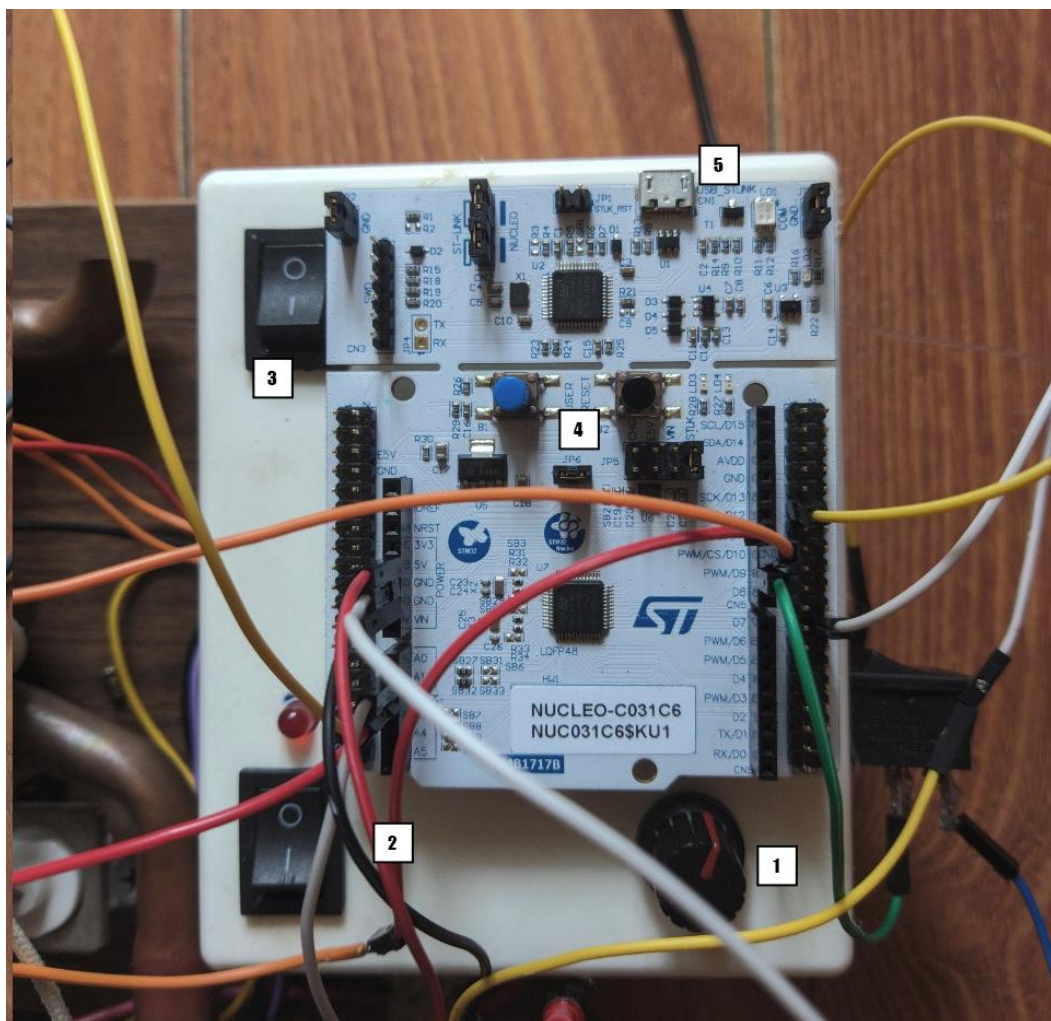


Рисунок 6.2 – Вигляд коробки імітації роботи водонагрівача

На рисунку зображено:

1 – Регулятор температури; 2 – кнопка вимкнення/вмикання двигуна; 3-
кнопка вимкнення/вмикання датчика іонізації; 4 – Плата керування STM NUCLEO;
5 – Вхід живлення для плати керування;

Кнопка датчика іонізації та регулятор температури працюють лише з оригінальною платою, плата керування STM NUCLEO не має підтримки цих пристроїв.

6.2 Програмна реалізація пристрою керування

Для того щоб запрограмувати контролер STM32 Nucleo необхідно скористатися середовищем «STM32cubeIDE». Середовище складається з двох вікон, перше вікно є налаштування контактів мікропроцесора мікроконтролера, другим є вікно програмування мікроконтролера.

Зовнішній вигляд вікон програми зображено на рисунку 6.3 та 6.4

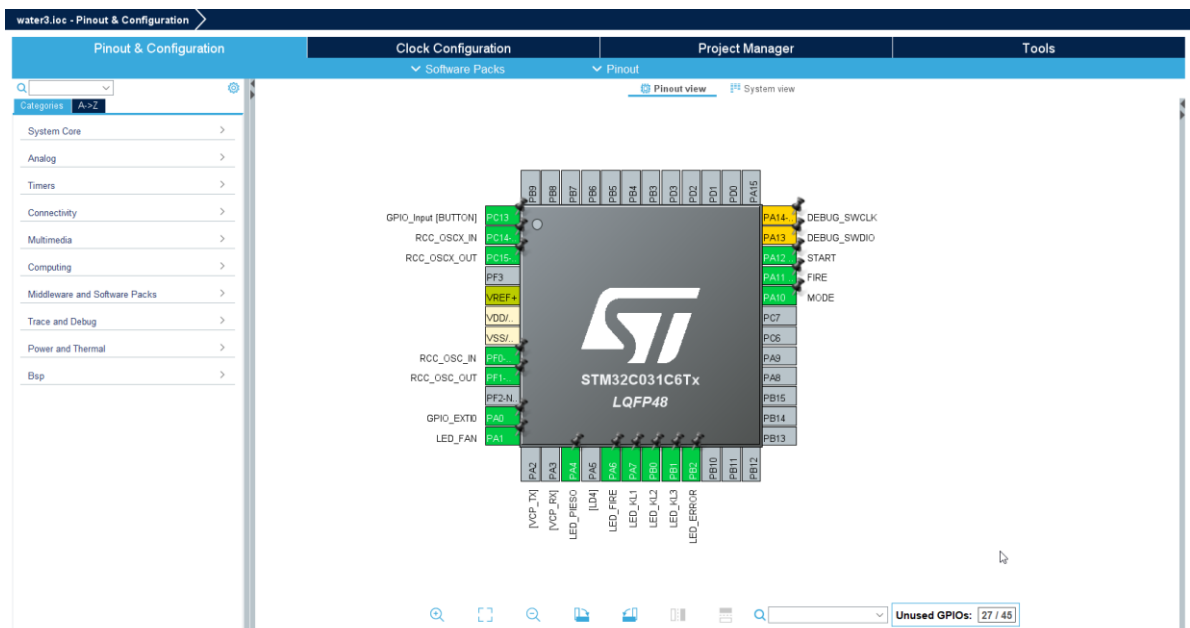


Рисунок 6.3 – Вікно налаштування контактів мікропроцесора

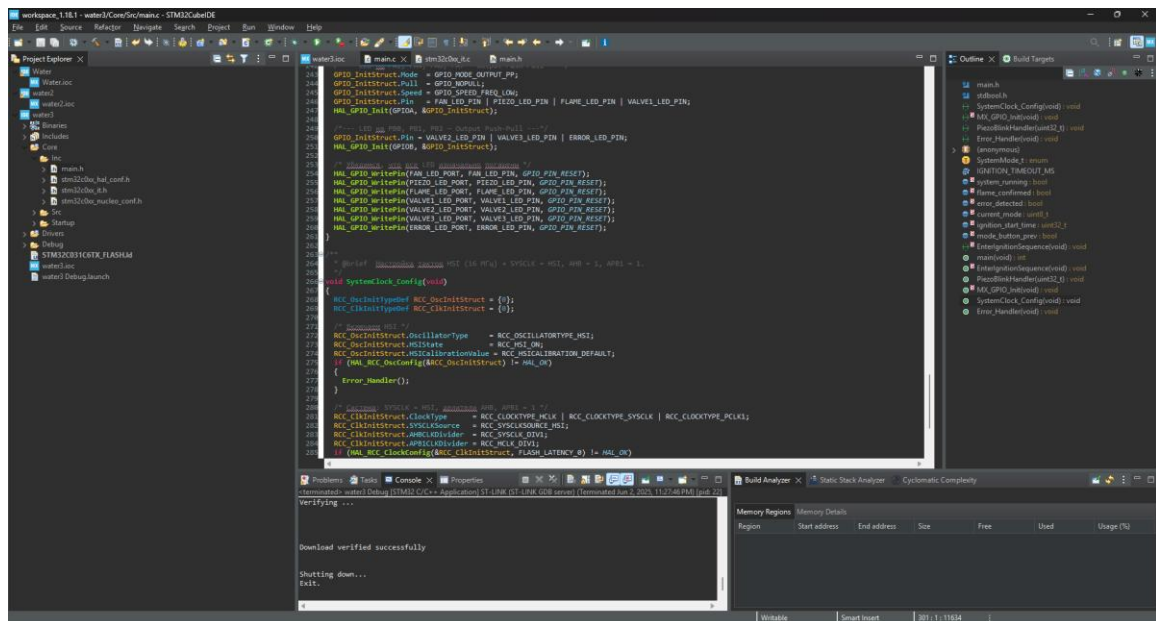


Рисунок 6.4 – Вікно програмування мікроконтролера

Перед початком роботи було створено новий проект та вибрано відповідний мікроконтролер

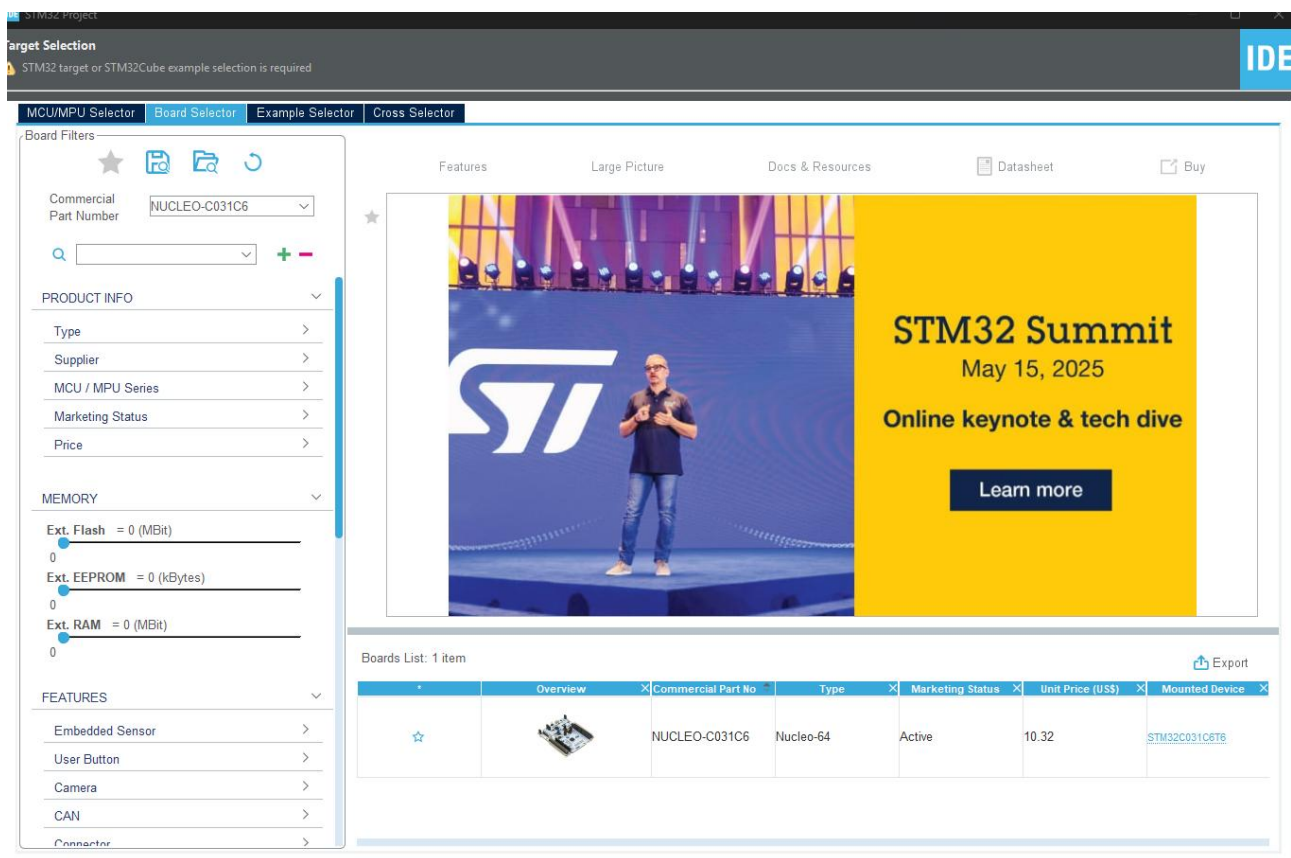


Рисунок 6.5 – Вікно вибору мікроконтролера

Програма роботи системи автоматизації складається з кількох логічних блоків, які відповідають за окремі функції зчитування кнопок, керування світлодіодами таймінги моргання, обробку помилок тощо. Нижче розглянуто основні фрагменти коду, що реалізують ці функції.

```
sstatic void MX_GPIO_Init(void)
{
    GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};

    // Увімкнення портів A та B
    __HAL_RCC_GPIOA_CLK_ENABLE();
    __HAL_RCC_GPIOB_CLK_ENABLE();

    // Кнопки: PA10 („РЕЖИМ“), PA11 („ПОЛУМ’Я“), PA12 („ПУСК“)
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_INPUT;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_PULLUP;
    // Кнопка «РЕЖИМ» (PA10)
    GPIO_InitStruct.Pin = BUTTON_MODE_PIN;
    HAL_GPIO_Init(BUTTON_MODE_PORT, &GPIO_InitStruct);
    // Кнопка «ПОЛУМ’Я» (PA11)
    GPIO_InitStruct.Pin = BUTTON_FLAME_PIN;
    HAL_GPIO_Init(BUTTON_FLAME_PORT, &GPIO_InitStruct);
    // Кнопка «ПУСК» (PA12)
    GPIO_InitStruct.Pin = BUTTON_START_PIN;
    HAL_GPIO_Init(BUTTON_START_PORT, &GPIO_InitStruct);

    // LED-и: PA1 (вентилятор), PA4 (п’єзо), PA6 (полум’я), PA7 (клапан1) Налаштовані як вихід(Output)
    GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
    GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
    GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
    GPIO_InitStruct.Pin = FAN_LED_PIN | PIEZO_LED_PIN | FLAME_LED_PIN | VALVE1_LED_PIN;
    HAL_GPIO_Init(GPIOA, &GPIO_InitStruct);

    // LED-и: PB0 (клапан2), PB1 (клапан3), PB2 (ERROR LED) також налаштовані як виходи
    GPIO_InitStruct.Pin = VALVE2_LED_PIN | VALVE3_LED_PIN | ERROR_LED_PIN;
    HAL_GPIO_Init(GPIOB, &GPIO_InitStruct);

    //Спочатку виключені всі LED-и
    HAL_GPIO_WritePin(FAN_LED_PORT, FAN_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE1_LED_PORT, VALVE1_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE2_LED_PORT, VALVE2_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE3_LED_PORT, VALVE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
}
```

Рисунок 6.6 – Фрагмент коду програми, який відповідає за налаштування контактів під вибрані задачі

На початку коду вмикаються порти A і B, після чого налаштовуються кнопки, які під’єднані до виводів PA10, PA11 і PA12.

Після налаштування кнопок починається конфігурація світлодіодів. Світлодіоди підключені до піна PA1 (вентилятор), PA4 (імітація «п’єзо»), PA6 (імітація «полум’я»), PA7 (клапан 1) і до PB0, PB1 та PB2 (клапани 2, 3 та індикатор помилки).

```
static void EnterIgnitionSequence(void)
{
    // Вимкнення LED «полум'я»
    HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);

    // Скидання флагу підтвердження полум'я
    flame_confirmed = false;

    // Увімкнення п'єзо-LED, для того щоб була симуляція підпалу (моргання LED)
    HAL_GPIO_WritePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);

    // Вимкнення усіх клапанів
    HAL_GPIO_WritePin(VA1VE1_LED_PORT, VA1VE1_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VA1VE2_LED_PORT, VA1VE2_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VA1VE3_LED_PORT, VA1VE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
}
```

Рисунок 6.7 – Фрагмент коду, який відповідає за імітацію початку роботи системи підпалу газу

Початок «запалювання» викликається функцією EnterIgnitionSequence(). На початку в цій функції виконується вимкнення LED-індикатора «полум'я» PA6. Далі відбувається скидання прапорця, який подає сигнал про наявність полум'я, щоб почати новий цикл очікування. Після цього активується світлодіод «п'єзо» PA4, від чого починається моргання PiezoBlinkHandler(). Наприкінці відбувається вимкнення всіх трьох клапанів PA7, PB0, PB1, оскільки відкриття клапанів допускається лише після підтвердження полум'я.

```
void PiezoBlinkHandler(uint32_t current_time)
{
    static uint32_t last_toggle = 0;
    const uint32_t BLINK_PERIOD = 100U; // мс

    if (current_time - last_toggle >= BLINK_PERIOD)
    {
        HAL_GPIO_TogglePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN);
        last_toggle = current_time;
    }
}
```

Рисунок 6.8 – Фрагмент коду, який відповідає за моргання світлодіоду «п'єзо» підпалу

Функція імітація «полум'я», яка викликає моргання світлодіода «п'єзо» на виводі PA4 спершу отримує поточний час у мілісекундах від старту системи. У середині цієї функції є змінна last_toggle, яка зберігає час останнього

переключення світлодіода. Щоразу, коли поточний час мінус `last_toggle` стає рівним або більшим за 100 мілісекунд, відбувається переключення стану світлодіода: якщо він був увімкнений, то вимикається, і навпаки. Після перемикання `last_toggle` оновлюється до поточного часу.

```
while (1)
{
    uint32_t now = HAL_GetTick(); /

    /*-----Зчитування стану кнопок -----*/
    bool start_pressed = (HAL_GPIO_ReadPin(BUTTON_START_PORT, BUTTON_START_PIN) == GPIO_PIN_RESET);
    bool flame_pressed = (HAL_GPIO_ReadPin(BUTTON_FLAME_PORT, BUTTON_FLAME_PIN) == GPIO_PIN_RESET);
    bool mode_pressed = (HAL_GPIO_ReadPin(BUTTON_MODE_PORT, BUTTON_MODE_PIN) == GPIO_PIN_RESET);

    /*----- Обробка кнопки «ПУСК» -----*/
    if (!system_running && start_pressed && !error_detected)
    {
        system_running      = true;    // Встановлюємо флаг запуску
        flame_confirmed      = false;   // Скидаємо флаг «полум'я підтверджено»
        ignition_start_time  = now;     // Запам'ятовуємо час початку моргання пьезо
        error_detected       = false;   // Скидаємо флаг помилки

        // Загасити «червоний» LED-помилки
        HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);

        // вмикання LED вентилятора
        HAL_GPIO_WritePin(FAN_LED_PORT, FAN_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);

        // Запуск «запалювання» (п'єзо)
        EnterIgnitionSequence();
    }
}
```

Рисунок 6.9 – Фрагмент коду, який відповідає за початок запуску системи

У циклі програми кожний прохід починається з того, що викликається `HAL_GetTick()`, щоб отримати поточний час у мілісекундах. Далі читаються три кнопки:

- стан «ПУСК» (PA12) зберігається у змінній `start_pressed`, «ПОЛУМ'я»
- (PA11) – у `flame_pressed`, «РЕЖИМ»
- (PA10) зчитується в `mode_pressed`.

Після перевіряється умова запуску: якщо система ще не працює, кнопка «ПУСК» натиснута й відсутня помилка, то. вмикається прапорець, що сигналізує про старт роботи, скидається будь-яке підтвердження полум'я й попередні помилки, а також запам'ятовується мітка часу початку моргання «п'єзо». Одразу виключається світлодіод помилки, та вмикається світлодіод вентилятора. Після цього викликається `EnterIgnitionSequence()`, щоб включити світлодіод «п'єзо» і закрити клапани, розпочинаючи 5-секундне очікування.

```

/*----- 3) Обробка кнопки «РЕЖИМ» під час роботи системи -----*/
if (system_running && !error_detected)
{
    // Якщо кнопку «РЕЖИМ» відпустили
    if (!mode_pressed && !mode_button_prev)
    {
        mode_button_prev = true;
    }
    // Якщо вперше натиснули «РЕЖИМ»
    else if (mode_pressed && mode_button_prev)
    {
        mode_button_prev = false;
        // Перемикаємо режим по колу: Easy - Medium - Max
        current_mode = (current_mode + 1) % 3;

        // Після зміни режиму повторно викликати «запалювання»
        flame_confirmed = false; // Скидання підтвердження полум'я
        ignition_start_time = now; // Мітка початку нового моргання

        // Загасити всі клапани
        HAL_GPIO_WritePin(VALUE1_LED_PORT, VALUE1_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(VALUE2_LED_PORT, VALUE2_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
        HAL_GPIO_WritePin(VALUE3_LED_PORT, VALUE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);

        // Загасити LED «полум'я» (PA6)
        HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);

        // Загасити «червоний» LED-помилки (PB2)
        HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);

        // Запустити «запалювання»
        EnterIgnitionSequence();
    }
}

/*----- 4) Якщо система запущена та нема помилок – перевірка «запалювання» -----*/
if (system_running && !error_detected)
{
    uint32_t elapsed = now - ignition_start_time;

    // 4.1) Перші 5 с: п'єзо моргає
    if (elapsed < IGNITION_TIMEOUT_MS)
    {
        PiezoBlinkHandler(now); // Моргання п'єзо-LED

        if (flame_pressed)
        {
            // Якщо кнопку «ПОЛУМ'Я» натиснули в межах 5 с
            flame_confirmed = true;
            // Загасити п'єзо-LED і ввімкнути LED «полум'я»
            HAL_GPIO_WritePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
            HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);

            // Відкрити клапани згідно з поточним режимом
            switch (current_mode)
            {
                case MODE_EASY:
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE1_LED_PORT, VALUE1_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE2_LED_PORT, VALUE2_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE3_LED_PORT, VALUE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                    break;
                case MODE_MEDIUM:
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE1_LED_PORT, VALUE1_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE2_LED_PORT, VALUE2_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE3_LED_PORT, VALUE3_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    break;
                case MODE_MAX:
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE1_LED_PORT, VALUE1_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE2_LED_PORT, VALUE2_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    HAL_GPIO_WritePin(VALUE3_LED_PORT, VALUE3_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
                    break;
            }
        }
        else
        {
            // 4.2) Якщо пройшло 5 с, але «полум'я» не натиснули – помилка
            if (!flame_confirmed)
            {
                error_detected = true;
                // Виведемо все: вентилятор, п'єзо, LED «полум'я», клапани
                HAL_GPIO_WritePin(FAN_LED_PORT, FAN_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(VALUE1_LED_PORT, VALUE1_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(VALUE2_LED_PORT, VALUE2_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                HAL_GPIO_WritePin(VALUE3_LED_PORT, VALUE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
                // Виведемо «червоний» LED-помилку
                HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
            }
        }
    }
}

```

Рисунок 6.10 – Фрагмент коду, який відповідає за перевірку справності та роботи системи

Якщо система вже увімкнена та помилок немає, повторно перевіряється кнопка «РЕЖИМ».

У момент натискання вибір режиму змінюється по колу (Easy - Medium - Max - Easy).

Після вибору режиму виникає потреба заново пройти фазу «запалювання»: скидається попереднє підтвердження полум'я, знову фіксується новий початок моргання, виключаються LED «полум'я» та клапани, а також гасне індикатор помилки. Потім викликається `EnterIgnitionSequence()`, яка запускає повторне моргання «п'єзо» й очікування підтвердження полум'я.

Якщо від моменту старту моргання пройшло менше 5 секунд, то викликається `PiezoBlinkHandler()`, щоб світлодіод «п'єзо» продовжував мерехтіти. Як тільки користувач натисне «полум'я», «п'єзо» гасне, загоряється світлодіод «полум'я», і відкриваються відповідні клапани залежно від вибраного режиму: у режимі Easy – клапани 1 і 2, у режимі Medium – клапани 1 і 3, у режимі Max – усі три клапани.

```
/* 4.3) Якщо «полум'я» підтверджено, але потім кнопку «ПОЛУМ'Я» відпустили – помилка */
if (flame_confirmed && !flame_pressed)
{
    error_detected = true;
    HAL_GPIO_WritePin(FAN_LED_PORT, FAN_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(PIEZO_LED_PORT, PIEZO_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(FLAME_LED_PORT, FLAME_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE1_LED_PORT, VALVE1_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE2_LED_PORT, VALVE2_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(VALVE3_LED_PORT, VALVE3_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_SET);
}

/* 5) Якщо сталася помилка – чекаємо, поки відпустять «ПУСК», щоб скинути */
if (error_detected)
{
    if (!start_pressed)
    {
        error_detected = false;
        system_running = false;
        flame_confirmed = false;
        // Загасити LED-помилки
        HAL_GPIO_WritePin(ERROR_LED_PORT, ERROR_LED_PIN, GPIO_PIN_RESET);
    }
}
```

Рисунок 6.11 – Фрагмент коду, який відповідає за відображення помилок

Коли підтвердження полум'я вже було, але під час нормальної роботи кнопку «полум'я» відпустили, спрацьовує помилка: знову вимикаються всі індикатори та клапани, а загорається червоний світлодіод «помилка».

Коли флаг помилки отримав значення «true», робота переходить до очікування скидання. Доки кнопка «ПУСК» залишається натиснутою, стан не змінюється. Щойно кнопку відпускають, усі прапорці скидаються у значення «false», червоний індикатор гасне й система повертається в очікування.

7 СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ВОДОНАГРІВАЧА

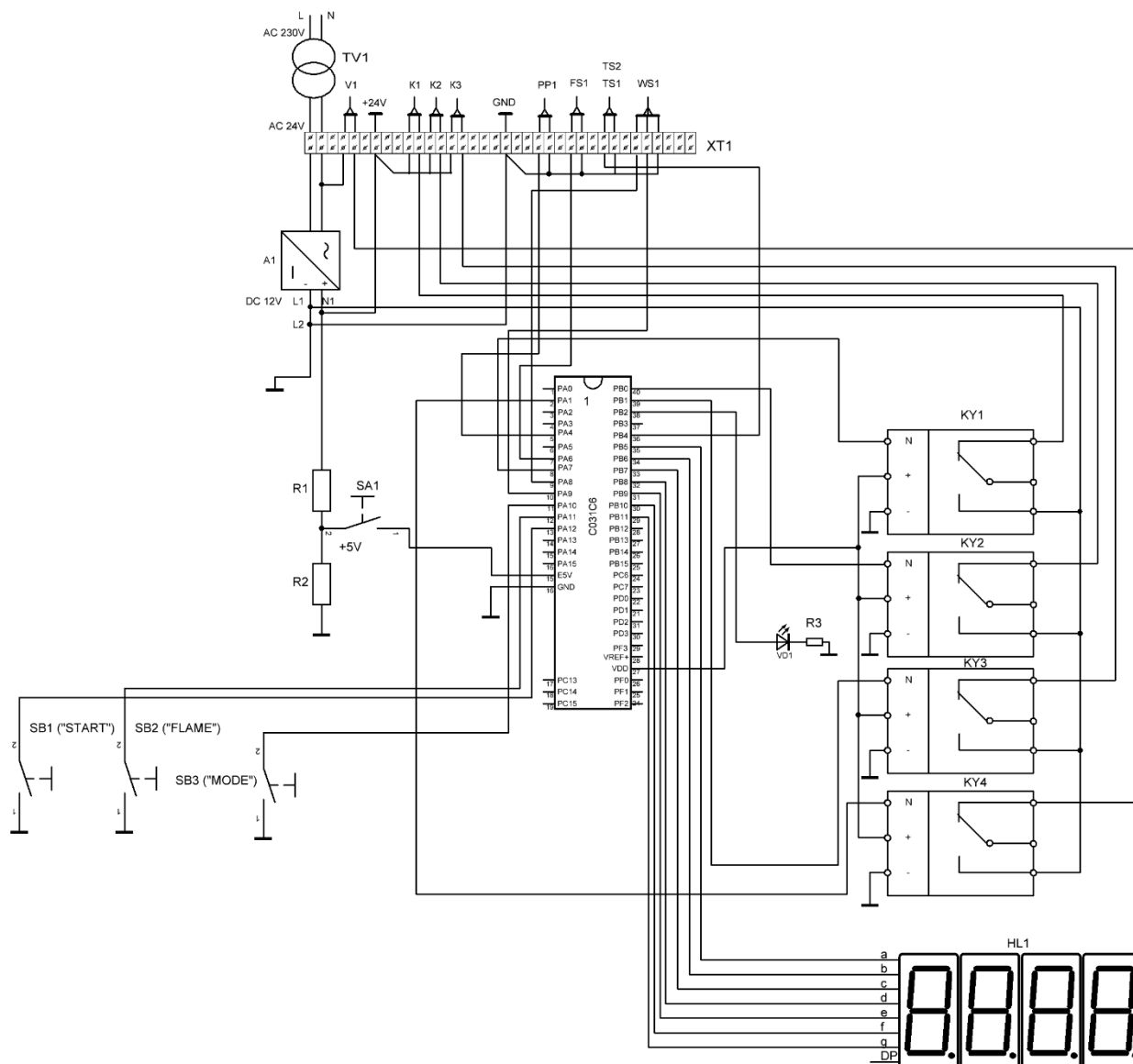


Рисунок 7.1 – Електрична принципова схема системи керування лабораторним стендом проточного водонагрівача Ariston Marco Polo M2

На принциповій схемі позначено:

TV1 – понижуючий трансформатор, який забезпечує живлення для електронної частини системи;

A1 – випрямляч, який перетворює змінну напругу в постійну;

R1-R2 – подільник напруги;

VD1 – чотирицифровий світлодіодний індикатор, на якому відображається дані про температуру та код помилки.

KY1 – реле, яке вмикає перший клапан.

KY2 – реле, яке вмикає другий клапан.

KY3 – реле, яке вмикає третій клапан.

KY4 – реле, яке вмикає вентилятор.

Всі інші елементи схеми відповідають тим, що були вказані на функціональній діаграмі.

При натисканні перемикача SA1 система отримує команду «START». В цей момент виконується перевірка всіх датчиків та самодіагностика плати керування. У випадку якщо перевірка проходить успішно, система переходить у режим очікування. На дисплеї з'являється поточна температура теплообмінника. Вентилятор при цьому не обертається, і подача газу до пальника не відбувається.

Коли датчик потоку води WS1 фіксує рух, чи натиснута кнопка SB1 для імітації потоку води, система запускає вентилятор V1 та подається сигнал на відкриття клапана K1 та активацію п'єзорозпалювача PP1.

Залежно від обраної температури:

- при мінімальному рівні температури – працює тільки K1;
- при середньому рівні – додатково вмикається K2;
- при максимальному рівні – вмикаються K1, K2 та K3.

Система припиняє роботу, якщо спрацьовує одна з наступних умов:

- було подано команду зупинки, або вода перестала протікати через WS1.
- не надходить сигнал з датчика полум'я FS1;
- перегрілись труби теплообмінника – спрацював датчик потоку води TS1
- перегрів корпусу теплообмінника – спрацював датчик TS2

8 ОХОРОНА ПРАЦІ

У цьому розділі описано заходи та засоби з охорони праці й цивільного захисту під час виконання досліджень на лабораторному стенді для вивчення автоматичних систем побутового підігріву води. Визначено небезпечні та шкідливі виробничі фактори за Гігієнічною класифікацією.

Фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна й загальна); освітлення: природне (недостатнє) та штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск).

Хімічні фактори: речовини хімічного походження, переважно аерозолі фіброгенної дії (пил).

Психофізіологічні небезпечні та шкідливі фактори:

- Нервово-психічні навантаження (від оператора стенда вимагається постійна концентрація уваги до органів керування: чітко підтримувати час увімкнень і вимкнень, дотримуватися правильної послідовності пускових операцій та контролювати режими роботи автоматичної системи, що призводить до розумового перенавантаження)

- фізичні навантаження (статичні, незначні – виникають за рахунок транспортування обладнання).

8.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

8.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Електропривод асинхронного двигуна потребує регулярного обслуговування кваліфікованим оперативно-ремонтним персоналом. Перш ніж торкатися оголених струмопровідних частин або рухомих елементів двигуна й механізму, який ним приводиться в дію, необхідно вимкнути живлення та вивісити на панелі керування плакат «Не вмикати! Працюють люди».

Заземлення під час робіт на двигуні виконується на кабельній лінії – як із від'єднанням, так і без від'єднання її від машини, або безпосередньо на клемах розподільного пристрою згідно з чинними нормативами. При роботі з напругою до 1000 В відключення і заземлення всіх струмопровідних жил кабелю повинні відбуватися у строгій відповідності до встановлених вимог.

Забороняється знімати захисні екрани з обертових частин під час роботи. Обслуговувати щітковий апарат можна лише одному оперативному працівникові або спеціально навчений працівник групи III за умови:

- роботи в захисному головному уборі й спецодязі;
- використання діелектричного взуття або гумових підкладок;
- недоторкання одночасно до двох різних потенціалів або до струмопровідної та заземленої деталей.

Шліфування роторних кілець на працюючому двигуні дозволяється виконувати тільки із застосуванням ізоляційних шліфувальних колодок та захисних окулярів. Заземлення може встановлюватися на будь-якому відрізку кабельної лінії між двигуном і розподільним пристроєм. Якщо ж роботи не передбачають контакту з рухомими частинами й кабельну лінію роз'єднано, заземлення знімати не потрібно.

Якщо вимкнений двигун простоює більше доби, його кабельна лінія обов'язково заземлюється з боку двигуна. Якщо перетин жил не дозволяє застосувати переносні заземлення, для двигунів до 1000 В можна використовувати мідний провідник з площею поперечного перерізу не менше, ніж жила кабелю, або з'єднати між собою жили кабелю та ізолювати їх. Такі заходи фіксуються в оперативному журналі нарівні з переносними заземленнями.

Увімкнення двигуна для перевірки до завершення всіх робіт можливе тільки після виходу бригади з робочого місця, а повторний допуск оформлюється новим нарядом.

8.1.2 Електробезпека

Живлення лабораторного стенда здійснюється від чотирипровідної трифазної мережі 380/220 В (фаза-нуль 220 В, фаза-фаза 380 В).

Для запобігання ураженню електричним струмом всі металеві частини та огороження системи досліджень підключають до захисного заземлення згідно з ДСТУ Б А.3.2-13:2011. Додатково застосовуються захисні кожухи, понижувальні трансформатори для ланцюгів керування низькою напругою та пристрої контролю напруги й струму.

Захисне заземлення й занулення струмопровідних частин слід виконувати у відповідності до ДСТУ EN 61140:2019.

Під час нормальної експлуатації додатково використовуються ізоляційні кожухи на струмоведучих елементах, малонебезпечні напруги керування та захисні пристрої. Обслуговуючий персонал зобов'язаний працювати в діелектричному взутті й рукавицях та регулярно перевіряти цілісність цих засобів захисту, захищаючи їх від механічного пошкодження й старіння матеріалів. В мережах напругою до 1 кВ огороження струмоведучих частин виконуються суцільними, а мінімальна відстань від відкритих металевих поверхонь до захисних огорожень має складати не менше 5 см згідно з ПУЕ. Регулярний контроль стану ізоляції сприяє своєчасному виявленню дефектів і попередженню пробою під час дотику до проводки.

8.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

8.2.1 Мікроклімат

Роботи з оперативно-ремонтного обслуговування асинхронного двигуна належать до II б категорії за ступенем важкості праці, із енергоспоживанням у межах 140–174 Вт. Норми допустимої температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 8.1 – Допустимі норми параметрів повітря

Період року	Категорія робіт	Температура, °С Допустима		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °С	0,1-0,3

8.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря в робочій зоні контролюється гранично допустимими концентраціями. Під час монтажних робіт утворюється нетоксичний пил. При провітрюванні або роботі системи вентиляції через відкриті вікна й двері в приміщення можуть потрапляти пилові та хімічні забруднювачі, що містяться в атмосферному повітрі. Відповідні гранично допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі наведені в таблиці 1.2.

Таблиця 8.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери, в робочій зоні для обслуговуючого персоналу

Назва речовини	ГДК, мг/м ³		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для підтримання якісного складу повітря в робочій зоні відповідно до ДСН проектом передбачено встановлення пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами безпосередньо біля обладнання, що забезпечує подачу очищеного повітря в приміщення, а також регулярний контроль гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин у повітрі.

8.2.3 Виробниче освітлення

Для створення оптимальних умов зорової праці на робочому місці оператора стенда побутового підігріву води регламентується рівень освітленості. Роботи за приладами належать до середньої точності (розряд IV, підрозряд «в» за ДБН В.2.5-28-2018)[13]. Нормативні значення при природному, штучному та комбінованому світлі наведено в таблиці 1.3.

Щоб підтримувати необхідні показники освітленості, не рідше ніж двічі на рік очищають вікна та світильники від пилу і регулюють проникнення денного світла за допомогою жалюзі. У разі недостатнього природного світла застосовують загальне штучне освітлення за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 “SG”. Висота підвісу світильників над робочою поверхнею становить 2,5 м.

Таблиця 8.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак-ка зорової роботи	Найменший або еквівалентний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під-розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характеристика фону	Штучне при системі комбінованого освітлення		Природне $E_{н пр}$	Суміщене $E_{н сум}$
						всього	у т. ч. від загального		
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0 включно	IV	в	малий середній великий	світлий середній темний	400	200	4	2,4

8.2.4 Виробничий шум

Під час виконання монтажних робіт утворюється виробничий шум широкопasmового характеру з безперервним спектром, що охоплює більше однієї октави. Допустимі рівні звукового тиску, середні та еквівалентні рівні шуму на робочих місцях визначені в ДСН 3.3.6.037-99[17] і наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 8.4 – Допустимі рівні звукового тиску

Вид трудової діяльності, робоче місце	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Постійні робочі місця в промислових приміщеннях	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Для зменшення шуму до допустимого рівня двигуни будівельних машин і механізмів поміщають у герметичні металеві кожухи, регулярно змащують рухомі частини та використовують пластикові деталі для часткового поглинання вібрацій. Персонал забезпечують протишумними навушниками, які щільно охоплюють вушну раковину і знижують вплив інтенсивних тонів. Додатково між рухомими елементами встановлюють звукопоглинаючі прокладки та застосовують спеціальні мастила для мінімізації тертя й шуму.

8.3 Технічні рішення з пожежної безпеки

Пожежну безпеку промислових та інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні». Вибухонебезпечність і пожежна небезпека речовин і матеріалів класифікується відповідно до ДСТУ 8829:2019[21], який встановлює категорії приміщень за характером займистості та вибухонебезпечності. Приміщення, де розміщено приводний асинхронний двигун, належать до категорії Д (речовини й матеріали груп В, але без горючих газів, пилу та волокон, а також негорючі речовини в холодному стані), за умови що в сусідніх зонах не зберігаються речовини категорій А–В; усі зони П–ІІ у приміщенні відповідають місцям зберігання твердих горючих матеріалів.

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, має ІІІ ступінь вогнестійкості, тобто її несучі та огорожувальні конструкції виготовлені з каменю, бетону чи залізобетону.

Перекриття можуть бути дерев'яними за умови вогнезахисного шару штукатурки або обшивки негорючими листовими або плитними матеріалами, а також матеріалами груп Г1–Г2. Елементи покриття не обов'язково мають вимоги до меж вогнестійкості чи поширення полум'я, але дерев'яні конструкції на горищі повинні бути оброблені вогнезахисною сумішшю.

Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинах) та максимальні межі поширення вогню по них визначені в ДБН В.1.1.7-2016[16] та наведені в таблиці 1.5, а вимоги до протипожежних перешкод – у таблиці 1.6. Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими та виробничими спорудами встановлюються згідно з таблицею 1.7.

Таблиця 8.5 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості будинків	Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвилинали) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
	стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхів (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
	несучі та сходових кліток	само-несучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, настили, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються	

Таблиця 8.6 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи проти-пожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбур-шлюзу, не нижче
Стіни	3	REI 45	2	2
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	3	REI 45	2	1

Таблиця 8.7 – Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами, а також до виробничих будинків і споруд

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

В приміщенні, де знаходиться обладнання приводного двигуна змінного струму, встановлено 1 вогнегасник ВП-5 [22].

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі було розроблено лабораторний стенд для дослідження автоматичних електромеханічних систем побутового підігріву води на базі газової колонки ARISTON.

Для існуючої газової колонки Ariston Marco Polo M2 10L FF проведено розрахунок споживаної електричної потужності.

На основі аналізу обладнання водонагрівача визначено характеристики ключових вузлів та запропоновано три варіанти систем керування:

1. Система на базі штатної плати керування водонагрівача ARISTON Marco Polo M2 10L FF.
2. Система з використанням мікроконтролера STM32 NUCLEO.
3. Система з використанням мікроконтролера ARDUINO MEGA.

У результаті техніко-економічного порівняння обрано керування на базі STM32 NUCLEO, річні витрати на утримання якого становлять 3912 грн/рік. Для порівняння, система на контролері ARDUINO MEGA виявилась дорожчою – 4084 грн/рік.

Розроблено функціональну схему системи керування стендом та підібрано необхідні елементи.

Макет лабораторного стенда було змонтовано, проведено з'єднання всіх елементів згідно з розробленою електричною схемою. Фото лабораторного зразка наведені в дипломній роботі.

Для обраного контролера створено програмне забезпечення в середовищі STM32CubeIDE, яке забезпечує логіку роботи автоматизованої системи підігріву води.

Окремий розділ присвячено питанням безпечного обслуговування електротехнічного обладнання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Проць Я. І., Данилюк О. А., Лобур Т. Б. *Автоматизація неперервних технологічних процесів: навч. посібник для технічних спеціальностей вищих навч. закладів* / Я. І. Проць, О. А. Данилюк, Т. Б. Лобур. – Тернопіль : ТДТУ ім. І. Пулюя, 2008. – 239 с.
2. Левицький С. М., Розводюк М. П. *Елементи систем автоматизації та електроприводу: навч. посібник із практикумом* / С. М. Левицький, М. П. Розводюк. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 152 с.
3. Головчук А. Ф. *Автоматика теплових процесів: навч. посібник* / А. Ф. Головчук. – Дніпропетровськ : ДНУЗТ, 2015. – 54 с.
4. Левченко О. І., Сідлецький В. М. *Основи автоматизації теплоенергетичних процесів та установок: навч. посібник* / О. І. Левченко, В. М. Сідлецький. – Київ : НУХТ, 2014. – 227 с.
5. Ariston Thermo Group. *Інструкція з експлуатації Marco Polo M2 10 L FF NG (UA/RU)*. – Milano : Ariston Thermo Group, 2022. – 8 с.
6. ДонНТУ. *Програмування та застосування мікроконтролерів: опис мови C для STM32, підключення плати, робота з периферією та налаштування відладчика ST Link* / Донецький нац. техн. ун-т. – ДонНТУ, б. р. – б. р.
7. Цирульник С. М., Азаров О. Д., Крупельницький Л. В., Трояновська Т. І. *Програмування мікроконтролерів AVR: навч. посібник* / С. М. Цирульник та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с.
8. Толюпа С. В., Сайко В. Г., Наконечний В. С., Браїловський М. М. *Мікропроцесорні системи на мікроконтролерах: навч. посібник* / С. В. Толюпа та ін. – Київ : КНУ ім. Т. Шевченка, 2022. – 295 с.
9. Mazidi M. A., Chen S., Ghaemi E. *STM32 Arm Programming for Embedded Systems: Using C Language with STM32 Nucleo* / Microdigitaled, 2018. – 380 с.
10. Ariston Thermo Group *Документація на котли і водонагрівачі Ariston: посібник з технічного обслуговування* – 173 с.
11. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=48644

12. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=1972>
13. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885
14. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 109 с.
15. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. URL: https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759
16. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. URL: http://www.poliplast.ua/doc/dbn_v.1.1-7-2002.pdf
17. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. URL: <http://document.ua/sanitarni-normi-virobnichogo-shumu-ultrazvuku-ta-infrazvuku-nor4878.html>
18. ДСН 3.3.6.039-99. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99>
19. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок (ПУЕ). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>
20. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. – К.: МВС України, 2014. – 47 с.
21. ДСТУ 8829:2019. Пожежовибухонебезпечність речовин і матеріалів. Номенклатура показників і методи їхнього визначення. Класифікація. URL: <https://www.alutal.com.ua/wp-content/uploads/2021/02/dstu-8829-2019-1.pdf>
22. Наказ МВС України «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0225-18#Text>
23. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних

матеріалів і виробів та їх використання в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва. URL: <https://profidom.com.ua/a-3/a-3-2/824-dstu-n-b-a-3-2-12007-nastanova-shhodo-viznachenna-nebezpechnih-i-shkidlivih-faktoriv>

24. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. — К.: Мінрегіонбуд України, 2013. — 149 с.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет Факультет
електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖЕНО

Завідувач кафедри КЕМСК

к.т.н., доц. Микола МОШНОРІЗ

“4” березня 2025р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську кваліфікаційну роботу

**ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ
ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПОБУТОВОГО ПІДГРІВУ ВОДИ**

08-24.БКР.027.00.000 ТЗ

Керівник роботи

Доцент

Микола МОШНОРІЗ

“4” березня 2025 р.

Виконавець: ст. гр. ЕМСА-23мс

Денис ВЛАСЕНКО

“4” березня 2025 р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Лабораторний стенд для дослідження автоматичних електромеханічних систем побутового підігріву води».

Скорочене найменування розробки – «Лабораторний стенд».

Замовник – кафедра Комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів Вінницького національного технічного університету.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем кваліфікаційного проектування.

3 Призначення розробки і галузь використання

Лабораторний стенд призначений для вивчення основ програмування та технології роботи автоматичних систем підігріву води.

4 Вимоги до розробки

Лабораторний стенд призначений для експлуатації всередині приміщень. Всі підключення і перемикання необхідно виконувати після зняття напруги і зупинки турбіни пристрою.

5 Комплектація розробки

Лабораторний стенд складається з системи керування на основі контролера STM32, турбіни, клапанів, датчиків температури та потоку води, які змонтовані на монтажній платформі. Розробка є унікальною.

6 Технічні характеристики

Продуктивність роботи системи – 10 літрів гарячої води за 1 хвилину часу. Повна потужність водонагрівача - 18кВт.

7 Джерела розробки

1. Інструкція до використання протічного напівтурбованого водонагрівача ARISTON марки Ariston Marco Polo M2 10L FF.

8 Елементна база

Обладнання водонагрівача ARISTON марки Ariston Marco Polo M2 10L FF та пристрій керування STM32 Nucleo.

9 Конструктивне виконання

Лабораторний стенд виконано на монтажній платформі розміром 500х500мм. Обладнання розміщено відкрито. Система керування стендом ззовні через гвинтові затискачі.

10 Показники технологічності

Обладнання виконується на існуючій елементній базі водонагрівача ARISTON марки Ariston Marco Polo M2 10L FF та контролері STM32 Nucleo.

11 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	06.05.2025р
Графічна частина	20.05.2025р

12 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється інженерами та лаборантами кафедри. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум два рази на рік на початку семестрів.

13 Живлення системи автоматизації

Живлення системи автоматизації повинно бути виконане однофазною напругою 0,23 кВ 50Гц.

Додаток А
Ілюстративна частина

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

Програмна реалізація лабораторного стенда для дослідження системи керування водонагрівача

Розробив
Керівник БДР

ст. гр. ЕМСА-23мс Денис ВЛАСЕНКО
к.т.н. доц. Микола МОШНОРІЗ

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

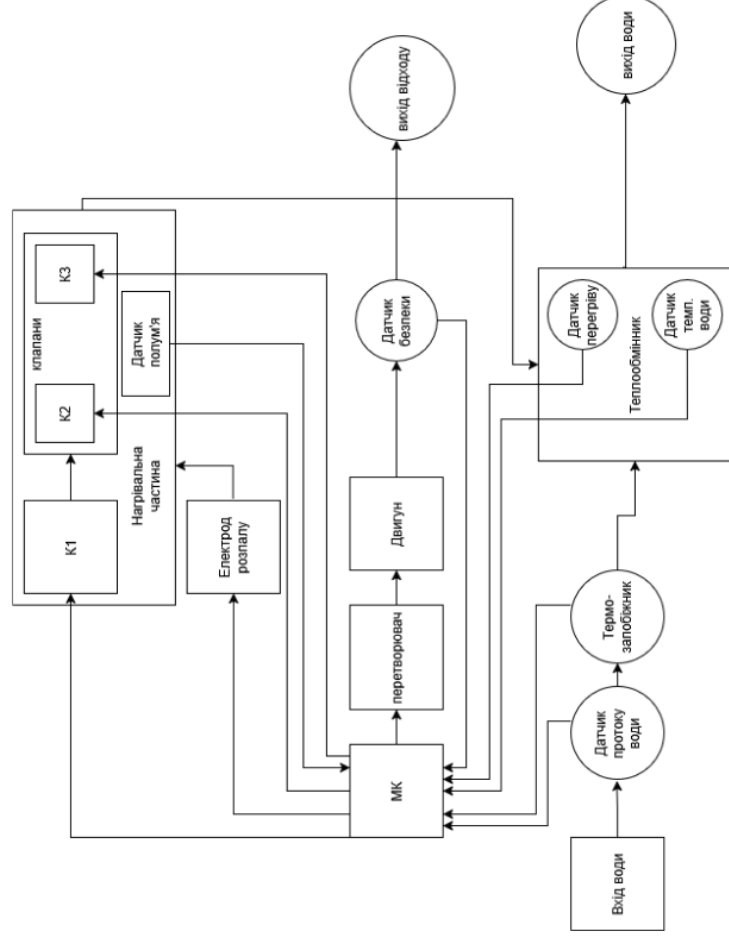
Загальні відомості про стенд

Головними компонентами водонагрівача є сенсори, клапани, вентилятор і п'єзорозпалювач. Сенсори контролюють температуру, тиск і потік води, вентилятор забезпечує циркуляцію повітря, а п'єзорозпалювач здійснює запалювання газу. Плата керування координує роботу системи, а клапани регулюють подачу газу для стабільного нагріву.



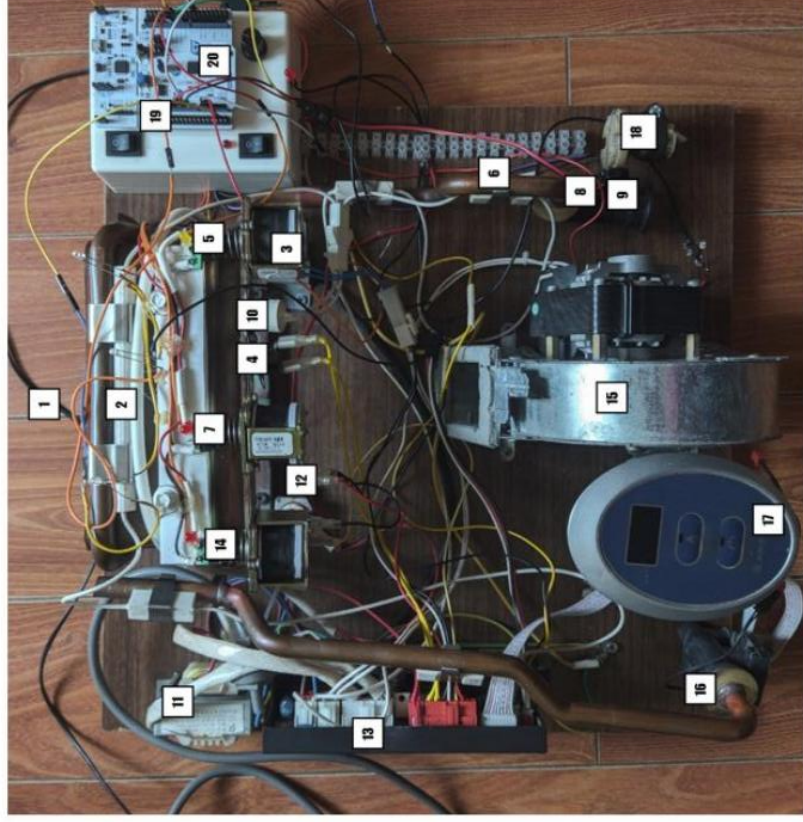
Рисунок 1 – Зовнішній вигляд проточного водонагрівача

Функціональна схема системи автоматизації



- МК – мікроконтролер;
- К1 – ввідний клапан подачі газу;
- К12 –клапан подачі газу в горілку;
- К13 –клапан подачі газу третьої секції розпалювання горілки;

Будова лабораторного стенда



На рисунку зображено:

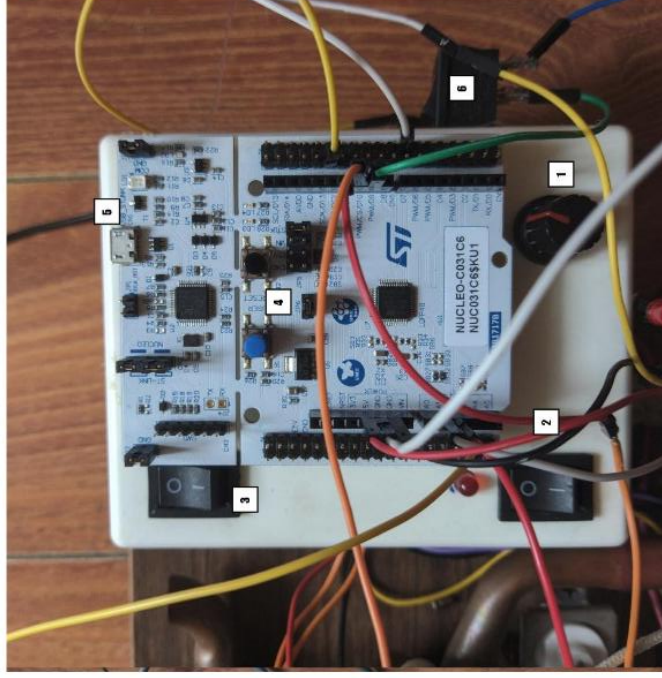
1 - Впуск продуктів згорання; 2 - Теплообмінник; 3- Електрод розпалювання; 4 - Газовий колектор; 5 - Газовий клапан; 6 - Датчик витрати води; 7- Електромагнітний клапан; 8- Регулятор протоки; 9 - Вхід холодної води; 10 - Термостат перегріву; 11 - Трансформатор; 12 - Електрод контролю полум'я; 13 - Плата керування; 14 - Клапан секції пальника; 15 - Вентилятор; 16 - Вихід води; 17 - Панель керування; 18 - Двигун імітації проходження води; 19 - Коробка імітації роботи; 20 - Плата керування STMNUCLEO.

Апаратна частина для імітації

Для імітації використовується мікроконтролер STM32 (STM Nucleo C031C6) для швидкого оброблення сигналів та управління пристроями у режимі реального часу



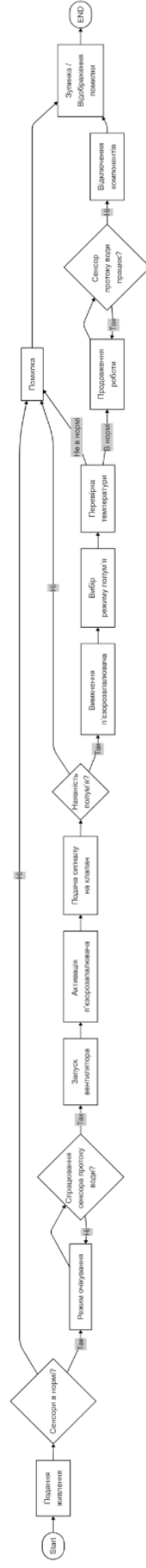
Будова коробки імітації



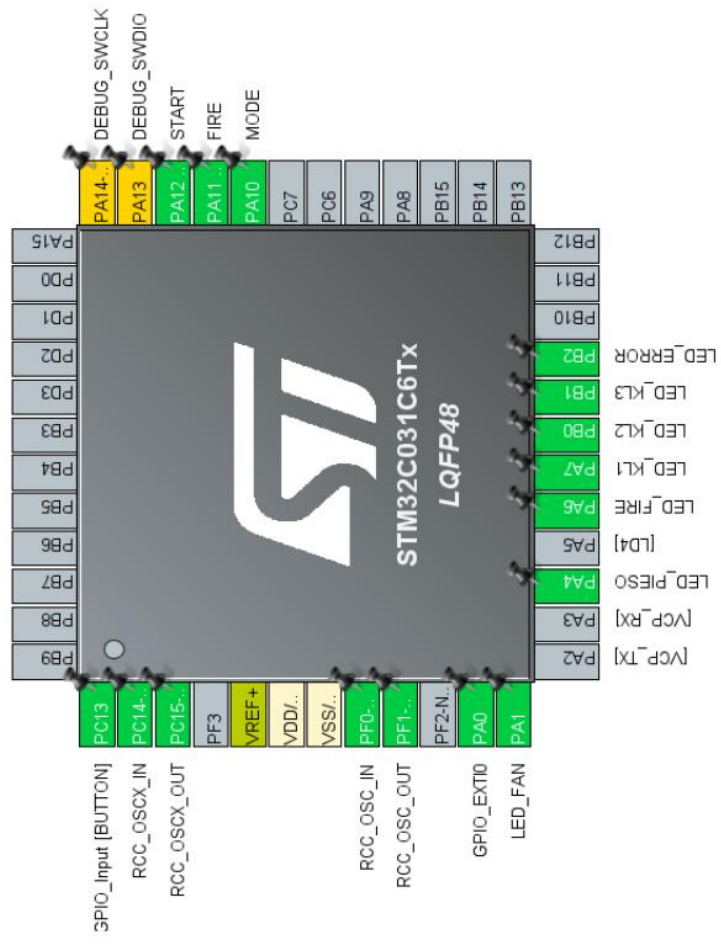
На рисунку зображено:

- 1 – Регулятор температури;
- 2 – кнопка вимкнення/вмикання двигуна;
- 3 – кнопка вимкнення/вмикання датчика іонізації;
- 4 – Плата керування STM NUCLEO;
- 5 – Вхід живлення для плати керування;
- 6 – Перемикач датчика іонізації.

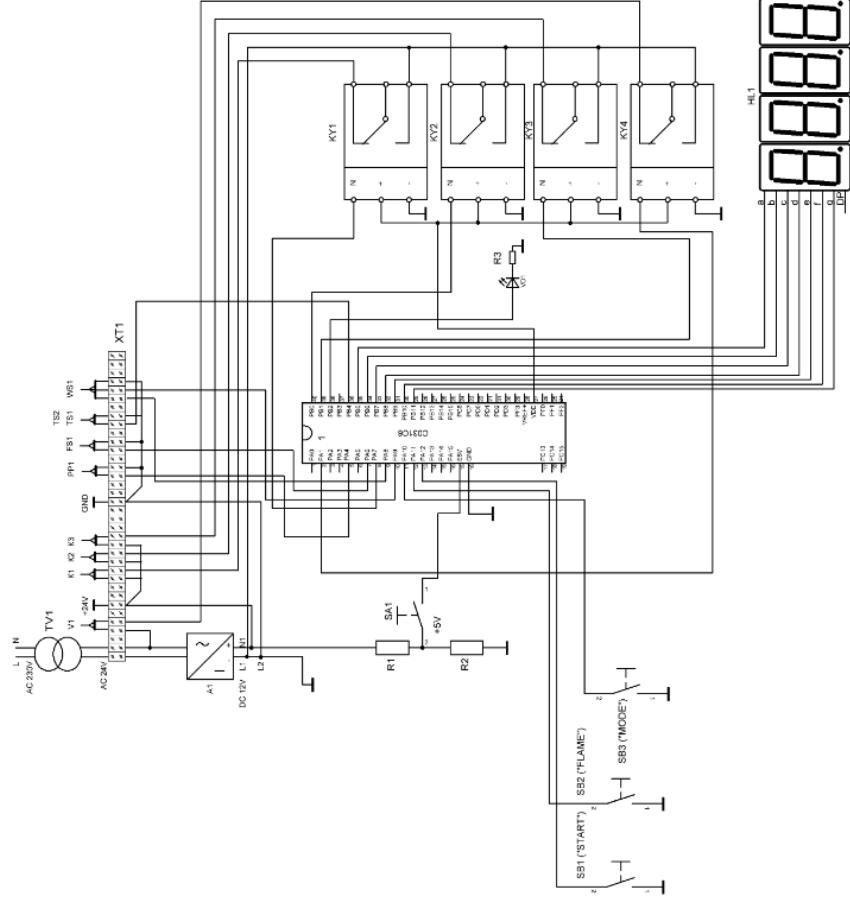
Блок схема роботи



Налаштування виходів мікроконтролера



Електрична принципова схема



Додаток В

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПОБУТОВОГО ПІДГРІВУ ВОДИ

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-23мс

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 0,21 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☐ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Гарант ОП Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку

(підпис)

Паянок О.А.

(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник

(підпис)

Мошноріз М.М.

(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач

(підпис)

Власенко Д.О.

(прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.027.00.000				
					ЛАБОРАТОРНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНИХ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ ПОБУТОВОГО ПІДГРІВУ ВОДИ	Літера		Маса	Масштаб
						У			
						Аркуш		Аркушів	
						ВНТУ, ЕМСА-23мс			
м.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата					
зробив		Власенко Д.		20.05					
перевірив		Мошноріз М.		20.05					
контр.									
сцензент				10.06					
контр.		Жуков О.		03.06					
ств.		Мошноріз М.		03.06					