

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

(повна назва кафедри)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: *Комп'ютеризована система контролю температури та товщини  
нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері*

Виконала: студентка IV курсу, групи СІ-42

спеціальності 123 Комп'ютерна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Огоновська Х.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Баран І.О.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Тиш Є.В.

Завідувач кафедри

(підпис)

Осухівська Г.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Фриз М.Є.

(прізвище та ініціали)

Тернопіль  
2026

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.  
(прізвище та ініціали)

« 25 » 04 2026 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 Комп'ютерна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

Студентці Огоновській Христині Андріївні  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері

Керівник роботи Баран Ігор Олегович., к.т.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 24 » 04 2026 року № 4/9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 17.06. 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Технічне завдання

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ.

1. Аналіз технічного завдання.

2. Проектна частина.

3. Практична частина.

4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

1. Функціональна системи керування пристроєм

2. Під'єднання навантаження до МК через МОС3021 та Схема джерела живлення

3. Налаштування конфігурації МК в IDE

4. Схема під'єднання ПІД-регулятора до об'єкта управління у Simulink

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>			

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 25.04.2026 р. \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	<i>Виконано</i>
2.	<i>Підбір джерел про системи контролю температури</i>	<i>03.02 – 06.04</i>	<i>Виконано</i>
3.	<i>Опрацювання літературних джерел</i>	<i>07.04 – 10.05</i>	<i>Виконано</i>
4.	<i>Виконання дослідження щодо моделювання системи контролю температури нанесення гальванічного покриття</i>	<i>11.05 – 13.05</i>	<i>Виконано</i>
5.	<i>Написання програмного коду</i>	<i>14.05 – 18.05</i>	<i>Виконано</i>
6.	<i>Оформлення розділу «Аналіз технічного завдання»</i>	<i>19.05 – 22.05</i>	<i>Виконано</i>
7.	<i>Оформлення розділу «Проектна частина»</i>	<i>23.05 – 26.05</i>	<i>Виконано</i>
8.	<i>Оформлення розділу «Практична частина»</i>	<i>27.05 – 28.05</i>	<i>Виконано</i>
9.	<i>Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>26.05 – 30.05</i>	<i>Виконано</i>
10.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>01.06 – 03.06</i>	<i>Виконано</i>
11.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>04.06 – 09.06</i>	<i>Виконано</i>
12.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>11.06 – 17.06</i>	<i>Виконано</i>
13.	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>24.06</i>	

Студентка

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Огоновська Х.А.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

*Баран І.О.*

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Огоновська Х. А. Комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня бакалавра: спец. 123 — комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2026

Ключові слова: зразок-свідок, контроль температури, мікроконтролер, ПД-регулятор, Simulink

Після аналізу технічного завдання було вивчено наявні аналоги пристроїв контролерів температури. Розроблено функціональну схему системи управління пристроєм контролю температури для вакуумної установки УВН 71П-3. Обрано елементну базу розробки, розраховано характеристики джерела живлення усього пристрою. Проведено аналіз та здійснено вибір способу реалізації контролера температури зі зразком-свідком. Визначено динамічні характеристики об'єкту керування. Розроблено електричну принципову схему та підібрано елементи. Виконано моделювання розробки в застосунку Simulink середовища Matlab. Створено програмне забезпечення для мікроконтролера та мобільного застосунку.

Даний пристрій дозволить задавати та відстежувати температуру у вакуумній камері при нанесенні гальванічних покриттів та знімати покази зі зразка для контролю товщини нанесення покриття.

## ANNOTATION

Ohonovska Khrystyna. Computerized System for Temperature and Electroplating Thickness Control in a Vacuum Chamber: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026

Keywords: control sample, temperature control, microcontroller, PID controller, Simulink

After analyzing the technical specifications, existing analogues of temperature controller devices were studied. A functional diagram of the temperature control device control system for the UVN 71P-3 vacuum installation was developed. The element base of the development was selected, the characteristics of the power source of the entire device were calculated. An analysis was carried out and a method of implementing a temperature controller with a reference sample was selected. The dynamic characteristics of the control object were determined. An electrical schematic diagram was developed and elements were selected. The development was simulated in the Simulink application of the Matlab environment. Software for a microcontroller and a mobile application was created.

This device will allow you to set and monitor the temperature in the vacuum chamber when applying galvanic coatings and take readings from the sample to control the thickness of the coating.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	10
1.1 Огляд ПІД-регуляторів .....	10
1.1.1 Термоконтролер ПІД регулятор з релейним виходом REX-C100FK02 - MAN.....	10
1.1.2 Температурний контролер із ПІД-регулятором TC4S-14R.....	11
1.1.3 Терморегулятор ОВЕН ТРМ10.....	13
1.1.4 Багатоканальний реєстратор ЕНІ-702 .....	15
1.2 Висновки до першого розділу.....	16
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА .....	17
2.1 Функціональна схема системи керування .....	17
2.2 Вибір елементної бази .....	19
2.2.1 Вибір мікроконтролера .....	19
2.2.2 Вибір пристроїв введення та виведення .....	22
2.3 Схема електрична принципова .....	34
2.3.1 Побудова схеми електричної принципової .....	34
2.3.2 Опис принципу роботи схеми електричної принципової .....	35
2.4 Висновки до другого розділу .....	36
РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА .....	37
3.1 Вибір середовища розробки .....	37
3.2 Розрахунок ПІД-регулятора .....	38
3.3 Розробка ПЗ.....	42
3.3.1 Алгоритм роботи МК.....	42

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Огоновська Х.А.				Літ.	Арк.	Аркушів		
Керівник.	Баран І.О.								
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42				
Н. Контр.	Тиш Є.В.								
Затверд.	Осухівська Г.М								

3.3.2 Розробка програми МК та мобільного застосунку .....	42
3.4 Висновки до третього розділу.....	44
РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ .....	45
4.1 Працездатність людини – оператора.....	45
4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.....	48
4.3 Висновки до четвертого розділу.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	54
Додаток А Технічне завдання	
Додаток Б. Лістинг програми МК	
Додаток В. Лістинг програми мобільного застосунку	

					<i>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		7

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ СКОРОЧЕНЬ І  
ТЕРМІНІВ

Зразок-свідок – зразок об'єкта експертизи, який отримав позитивний експертний висновок та призначений для проведення верифікації інших зразків об'єкта.

МК – мікроконтролер.

ПІД-регулятор (пропорційно-інтегрально-диференціюючий) - це пристрій або алгоритм автоматичного керування зі зворотним зв'язком, який використовується для підтримки заданого параметра (температури, тиску, швидкості) шляхом безперервного коригування потужності впливу.

ПЗ – програмне забезпечення.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Управління технологічними процесами за допомогою регуляторів, що працюють за ПД- законом (ПД-регуляторів), дозволяє підтримувати необхідну технологічну величину з досить високою точністю і прийнятною завадостійкістю до зовнішніх впливів, що збурюють [1].

ПД регулятори мають значний попит в сучасних системах точного контролю, як то керування термосистемами і комплексами позиціонування [2]. Застосування ПД регуляторів сприяє зниженню енергетичних втрат на налагодження системи, на додачу вони гарантують швидший вихід на потрібні параметри [3].

За допомогою МК можна знімати показники зі зразка- свідка для контролю товщини нанесеного покриття і передачі цих даних на мобільний застосунок в реальному часі, що б не було потреби перебувати у вакуумній установці на час відпрацювання технологічного процесу.

Під час створення контролера температури із зразком-свідком та синхронізацією з мобільним застосунком буде використано готовий модуль плати розробки системи STM32F103C8T6.

Мета роботи – модернізація вакуумної установки УВН 71П-3 за допомогою МК, який буде контролювати температуру та товщину у вакуумній камері для якісного нанесення вакуумного покриття.

Завдання, необхідні для досягнення даної мети:

- дослідити аналоги існуючих на ринку пристроїв;
- створити функціональну схему системи керування;
- здійснити вибір елементної бази (МК та пристроїв введення/виведення);
- розробити схему електричну принципову;
- виконати розрахунок ПД-регулятора;
- виконати моделювання розробки в пакеті Simulink / Matlab;
- розробити ПЗ МК та мобільного застосунку.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1 Огляд ПІД-регуляторів

#### 1.1.1 Термоконтролер ПІД регулятор з релейним виходом REX-C100FK02-MAN

Термоконтролер ПІД регулятор REX-C100FK02-MAN призначений для керування процесом нагрівання та забезпечує точне і швидке регулювання температури [4]. До комплекту постачання входить також і термопара. REX-C100FK02-MAN є одноканальним ПІД-регулятором із функцією автоматичного налаштування. Загальний вигляд приладу наведений на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Термоконтролер ПІД регулятор з релейним виходом REX - C100FK02-MAN

Основні характеристики C100EK02-MAN представлені у таблиці 1.1.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Огоновська Х.А.</i>				<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Керівник.</i>		<i>Баран І.О.</i>					<i>Аркушів</i>
<i>Реценз.</i>							
<i>Н. Контр.</i>		<i>Тиш Є.В.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42</i>	
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М</i>					

Таблиця 1.1 – Основні характеристики приладу С100ЕК02-МАЛХ [4]

Найменування	Опис
Вхідний сигнал	Термопара типу К (ХА)
Діапазон вимірювання температури	0 – 400 °С
Відносна похибка вимірювання температури	0,5%
Виведення інформації	2 світлодіодні чотиризначні індикатори
Кількість керуючих виходів	1
Вихідний пристрій (на керування)	реле 250В, 3А
Тип управління	ПД з ручним та автоматичним налаштуванням (на вибір) або двопозиційний
Живлення приладу	~85 -265 в 50 Гц
Потужність	Не більше 10 В·А
Опір ізоляції	Більше 500 МОм (при тестовій напрузі = 500 В)
Умови довкілля	Атмосферний тиск 86-106 кПа, температура 0-50 ° С, відносна вологість 30-85 %, відсутність в повітрі агресивних газів і парів
Габаритні розміри	48 x 48 x 100 мм

### 1.1.2 Температурний контролер із ПД-регулятором ТС4S-14R

Забезпечує оптимальне регулювання температури за рахунок використання нового алгоритму ПД-регулювання, а також короткого інтервалу вимірювання (100 мс). Наявний один дисплей із можливістю зазначенням суперечливості між поточним значенням і установкою.

Основні його параметри наступні [5]:

- живлення: 100...240 В~ 50/60 Гц;

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

- тип дисплея: 7-сегментний;
- висота знаків до 22 мм (залежить від моделі);
- тип входу: ТС (К та J типу), DIN Pt 100 Ом;
- термопара К(СА), J(ІС);
- керуючий вихід: релейний 250 змінного струму, 3А; SSR (ТТР) 12 В пост. струму, 2В, 20 мА макс;
- межі індикації: 0.1 ~ 999.9 ° С TC4SP під'єднюється в круглу 11-ти контактну колодку;
- тип термодавача К, J, Pt100.

Загальний вигляд приладу TC4S-14R наведено на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Температурний контролер із ПД-регулятором  
TC4S-14R

Основні характеристики TC4S-14R представлені у таблиці 1.2.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Таблиця 1.2 - Основні характеристики TC4S-14R

Найменування	Опис
Дисплей	7-сегментний, світлодіодний
Тип регулювання	ввімкн./вимкн., P, PI, PID, PD
Спосіб налаштування	сенсорний перемикач
Вихід управління	релейний + вихід ТТРФУ (вихід твердотільного реле з функцією фазового та циклічного управління)
Вихід сигналізації	вихід сигналізації 1
Період виміру	100 мс
Джерело живлення	100-240 VAC, 50/60 Гц
Габаритні розміри	48x48x70,5 мм (з блоком затискачів)
Робоча температура	-10 ° C ... +50 ° C

### 1.1.3 Терморегулятор ОВЕН ТРМ10

Пристрій використовується з метою вимірювання або температури або якоїсь іншої фізичної величини (як то ваги, тиску, вологості тощо). ОВЕН ТРМ10 забезпечує імпульсне чи аналогове регулювання за ПІД законом, а також формує додатковий сигнал, котрий здатен бути використаним для сигналізації щодо виходу показника за визначені межі чи для властиво двопозиційного регулювання [6].

На рис. 1.3 зображено вигляд ОВЕН ТРМ10.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд терморегулятора ОВЕН ТРМ10

Основні можливості ПІД-регулятора ОВЕН ТРМ10:

- універсальний вхід для під'єднання широкого спектру датчиків температури, тиску, вологості, витрати, рівня тощо;
- ПІД-регулювання вимірюваної величини з використанням «нагрівача» або «холодильника»;
- автоналаштування ПІД-регулятора за сучасним ефективним алгоритмом;
- додатковий вихід для сигналізації про вихід регульованої величини за встановлені межі (або для двопозиційного регулювання);
- регулювання потужності (наприклад, для керування інфрачервоною лампою) у модифікації з аналоговим виходом 4...20 мА, спільно з приладом ОВЕН БУСТ;
- можливість керування трифазним навантаженням;
- можливість керування трифазним навантаженням (модиф. за типом виходу С3);
- імпульсне джерело живлення 90...245 В 47...63 Гц;
- вбудоване джерело живлення 24 для активних датчиків, вихідних аналогових пристроїв (ЦАП) та ін.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

#### 1.1.4 Багатоканальний реєстратор ЕНІ-702

Відеографічний екранний самописець - реєстратор ЕНІ-702 багатоканальний призначений для [7]:

- вимірювання аналогових сигналів з датчиків витрати, тиску, температури, рівня тощо;
- відтворення вимірянних величин як графіків, гістограм та таблиць на рідкокристалічному екрані;
- ведення архіву вимірянних параметрів;

#### Особливості та переваги реєстратора ЕНІ-702

- компактний корпус індикації;
- модульна архітектура побудови;
- до 24 гальванічно розв'язаних універсальних каналів вимірювання з індивідуальним налаштуванням;

Зовнішній вигляд багатоканального реєстратора ЕНІ-702 продемонстровано на рис. 1.4.



Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд реєстратора ЕНІ-702

Технічні характеристики ЕНІ-702 наведені в таблиці 1.3.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

Таблиця 1.3 - Технічні характеристики ЕНІ-702 [7]

Параметри	Значення
Діапазон напруги живлення змінного струму, В	110...265
Частота напруги живлення змінного струму, Гц	49...51
Потужність, В·А	не більше 5
Періодичність запису даних до архіву, с	1...60
Інтервал часу зберігання архіву у вбудованій пам'яті (при періодичності запису даних до архіву 1 с), доба	не менше 30
Інтерфейси обміну даними	USB-Host, RS485
Конструктивне виконання	пластмасовий корпус для монтажу у щит
Ступінь захисту	IP30
Середній термін служби, років	12
Маса, кг	не більше 0,7

## 1.2 Висновки до першого розділу

Розглянуті регулятори є високотехнологічними багатофункціональними модулями здатними виконувати контроль температури заданих у технічному заданні параметрів. ПІД - регулятори температури, що здатні контролювати температуру нагрівання у вакуумній камері, значно підвищують безпеку та надійність роботи з установкою та проходження технологічного процесу [9].

Однак для вирішення задачі в технічному завданні ці системи підходять тільки за одним параметром - контроль температури, а так як є необхідність зняття даних опору зразка-свідка і передачі цих даних на мобільний застосунок, всі дані пристрої, на жаль, не задовольняють задані цілі.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

### 2.1 Функціональна схема системи керування

Спроектована функціональна схема наведена на рис. 2.1.

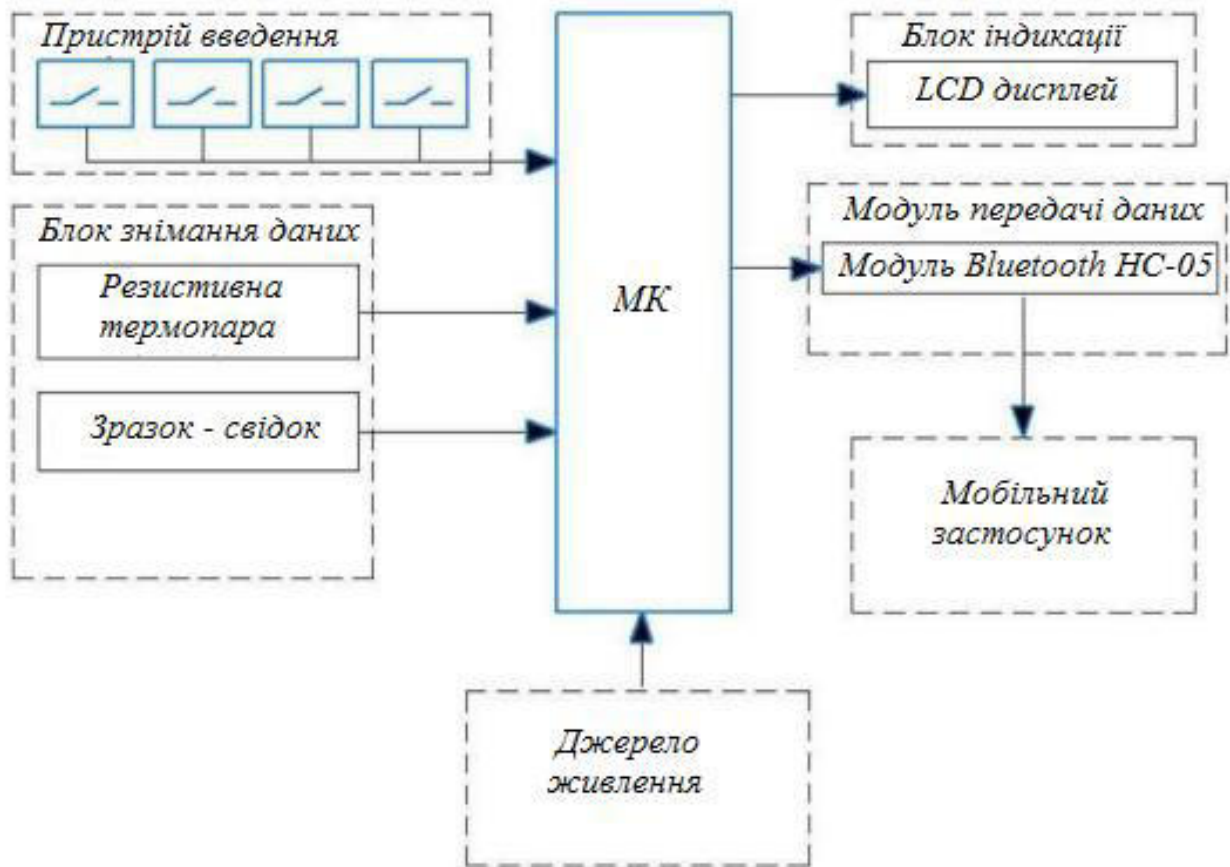


Рисунок 2.1 – Схема функціональна системи керування пристроєм

Пристрій введення складається з 4-х тактових кнопок, під'єднаних до входу МК і призначений для задання температурного режиму:

- перша кнопка відповідає за задання входу в налаштування режиму, при повторному натисканні відбувається повернення до показу реальних даних, знятих з пристрою;

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Огоновська Х.А.			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Баран І.О.					
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М					

– друга кнопка для того, щоб задати виставлену температуру, після її натискання встановлюється режим на потрібну температуру і повертає нас на дисплей з фактичними параметрами;

– третя кнопка виконує роль задання температури у додатну сторону з кроком 1 градус, при затисканні кнопки відбувається зміна температури з кроком 10 градусів;

– четверта кнопка також виконує роль задання температури тільки в від'ємну сторону з кроком 1 градус, при затисканні кнопки відбувається зміна температури з кроком 10 градусів.

Блок зняття температури складається із двох давачів [10]:

– давач температури, заснований на термісторі РТС (з додатнім температурним коефіцієнтом). Опір РТС термістора зі зростанням температури збільшується;

– зразок -свідок, що є маленькою пластинкою з полікорової підкладки розмірами 48 мм на 79 мм та товщиною 1 або 2 мм. За зростанням товщини напилення танталу його поверхневий опір зростає. Таким чином, товщина нанесеного активного покриття контролюється.

Блок індикації є монохромним графічним дисплеєм. На ньому в 2 рядки виводиться інформація про поточну температуру та опір.

Блок передавання даних використовується для передачі даних з МК на мобільний застосунок за допомогою блютуз модуля.

Мобільний застосунок призначений для відображення отриманих даних з МК, що дозволяє відстежувати температуру у вакуумній камері та контролювати процес нанесення покриття з танталу за допомогою контролю поверхневого опору, не підходячи до установки.

Блок живлення забезпечує живленням 5В та 3,3В функціональні елементи схеми.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						18
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## 2.2 Вибір елементної бази

### 2.2.1 Вибір мікроконтролера

МК - це мікросхема, призначена керувати периферійними пристроями, елементами.

В даний час пропозиція від виробників мікроконтролерів представлена широкою номенклатурою виробів, призначених для вирішення завдань різного роду.

У виборі контролера було віддано перевагу STM32, через дешевші налагоджувальні плати на ринку. Також малоспоживаючі контролери сімейств STM32 компанії STMicroelectronics зарекомендували себе з найкращого боку при створенні високоефективних пристроїв з малим споживанням. STM32F мають рекордно низькі ціни та, зберігаючи переваги базових сімейств, дозволяють значно скоротити вартість кінцевого виробу [11].

Основні характеристики STM32f103C8T6 наведено у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики STM32F103C8T6

Характеристика	Значення
Ядро	ARM Cortex-M3
Тактова частота:	72 МГц
Розмір програмної пам'яті (Flash):	64 кБ
Пам'ять ОЗП (SRAM) (RAM):	20 кБ
Кількість 16-біт таймерів (IC/OC/PWM) (16-біт таймер)	4
Додаткові функції таймера	2 x WDG, RTC, 24-bit down counter
Роздільна здатність та кількість каналів АЦП	10x12-bit
Кількість ліній введення-виведення (I/O):	36

Характеристика	Значення
Типи послідовних інтерфейсів і кількість каналів (Послідовні інтерфейси):	2xSPI;2xI2C;3xUSART(IrDA, ISC 7816);USB;CAN
Напруга живлення (min) ( $U_{живл} (min)$ ):	2 В
Напруга живлення (max) ( $U_{живл} (max)$ ):	3.6 В
Струм споживання в режимі зниженого енергоспоживання ( $I_{сс} (h)$ ):	1.7 мкА
Струм споживання у робочому режимі (на МГц) ( $I_{сс}(run)$ ):	373 мкА
Діапазон робочої температури	-40 °C до 85 °C

Схема розташування виводів МК STM32f103C8T6 представлена на рис. 2.2 [12].

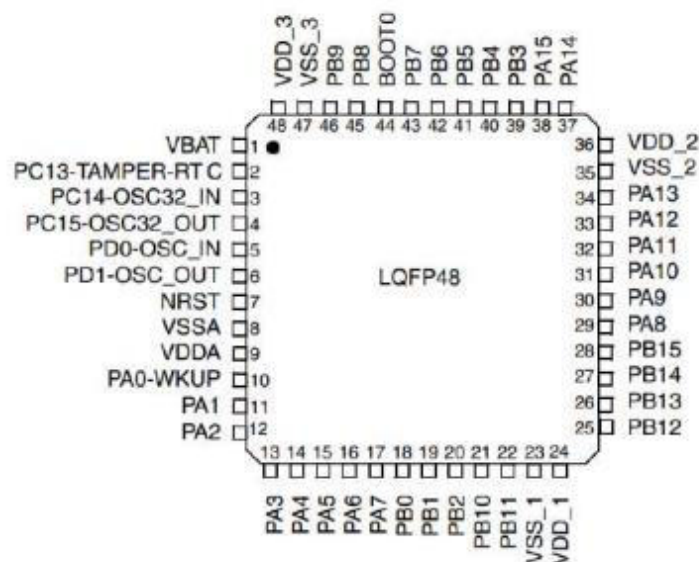


Рисунок 2.2 – Схема розташування виводів STM32f103C8T6

Для більш наочного і зрозумілого проектування схеми електричної на рис. 2.3 зображена налагоджувальна плата з докладним описом кожного виводу [13].

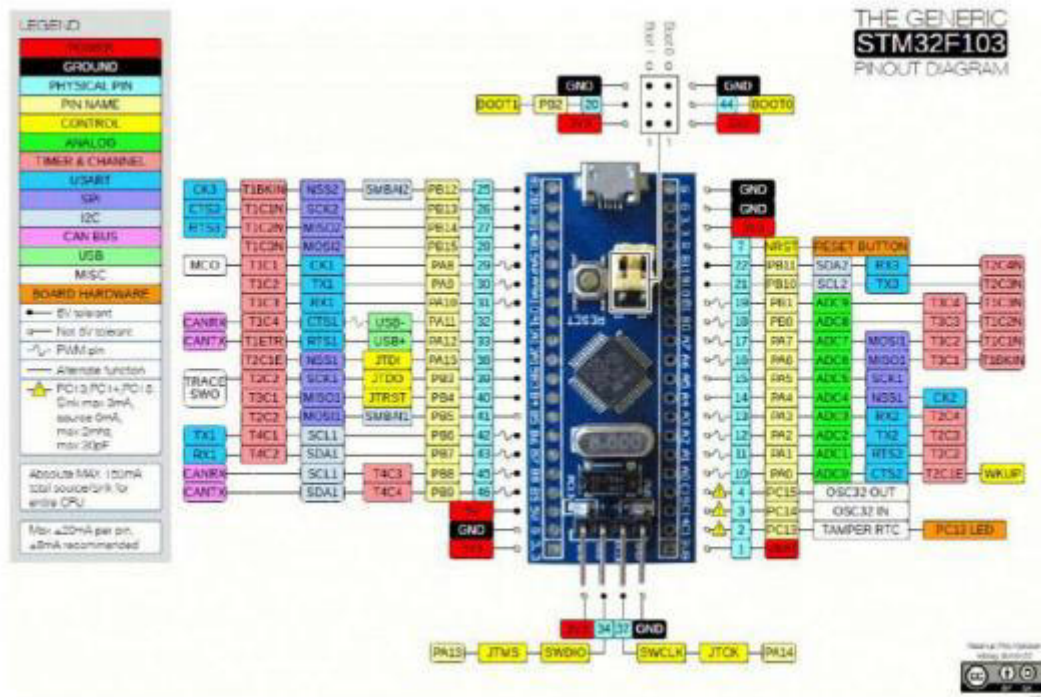


Рисунок 2.3 – Діаграма виходів STM32F106C8T6

Загальний вид налагоджувальної плати подано на рис 2.4.

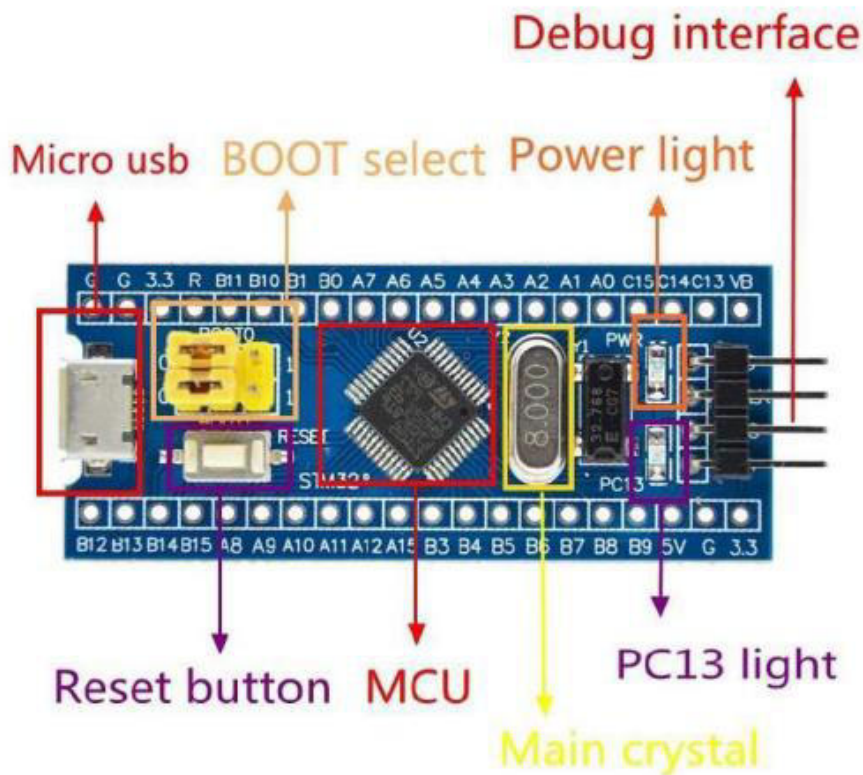


Рисунок 2.4 – Загальний вид налагоджувальної плати STM32F103C6T8

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

### 2.2.2 Вибір пристроїв введення та виведення

Пристрій введення. Призначений для керування режимами кінцевого пристрою, початком та кінцем режиму роботи пристрою, що реалізується за допомогою тактових кнопок. Розглянемо кілька видів тактових кнопок і виберемо відповідне.

Тактовий перемикач KLS7-TS1202-4.3-180. Вигляд тактової кнопки представлений на рис. 2.5 [14].

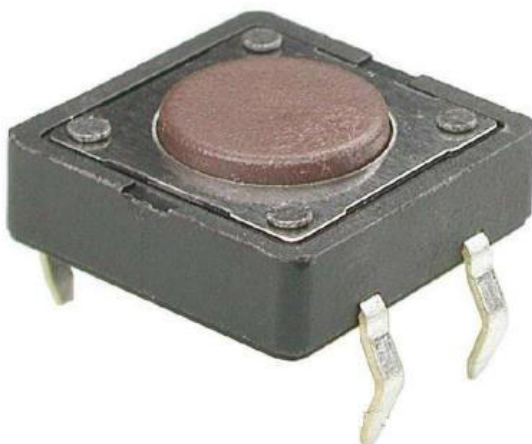


Рисунок 2.5 – Вигляд тактової кнопки KLS7-TS1202-4.3-180

Основні характеристики KLS7-TS1202-4.3-180 наведені у табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Основні характеристики KLS7-TS1202-4.3-180 [14]

Виробництво	KLS
Тип	пряма
Спосіб монтажу:	в отвори на плату
Робоча напруга, В	12
Робочий струм, А	0.05
Висота, мм	4.3
Типорозмір	12x12

Кнопка тактова із заземленням ТС-0119. Її зовнішній вигляд Вид тактової кнопки представлених малюнку показано на рнс. 2.6



Рисунок 2.6 – Вигляд тактової кнопки ТС-0119

Основні характеристики кнопки ТС-0119 наведені у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 - Основні характеристики кнопки ТС-0119 [14]

Виробництво	Wealth Metal
Тип	пряма
Спосіб монтажу	в отвори на плату
Робоча напруга, В	12
Довжина виконавчого механізму, мм	9
Робочий струм, А	0.05
Висота, мм	13
Типорозмір:	6x6

Кнопка тактова В3F-1070. Її вигляд продемонстровано на рис. 2.7.



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд тактової кнопки V3F-1070

Технічні характеристики V3F-1070 подані у табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики V3F-1070 [14]

Тип виконавчого механізму	Плунжер
Виробник	Omron
Номінальний струм контактів	50 мА при 24 пост. струму
Довжина виконавчого механізму	6.1мм
Розміри	6 x 6 x 9.5мм
Конфігурація контактів	SPST-NO
Сила, що впливає	0.98

З усіх описаних вище тактових кнопок для цього пристрою підходить кнопка з великим розміром виконавчого механізму, такою кнопкою є ТС-0119.

Перейдемо до вибору дисплею. Розглянемо символний РК-дисплей WH1602. Вигляд РК-дисплею WH1602 показаний на рис. 2.8.



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд дисплея WH1602

Основні характеристики дисплея WH1602 наведені у табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики дисплея WH1602

Розміри модуля, мм	80,0x36,0x13,5
Активна область, мм	56,20x11,5
Напруга живлення, В	5
Струм живлення, мА	1,5

LCD дисплей Nokia 5110. Його зовнішній вигляд LCD показано на рис. 2.9.



Рисунок 2.9 – Загальний вигляд дисплея Nokia 5110

Основні характеристики LCD дисплея Nokia 5110 представлені у табл. 2.6.

Таблиця 2.6 – Основні характеристики LCD дисплея Nokia 5110

Розміри модуля, мм	43,6 x 43,1
Роздільна здатність екрану	48x48
Напруга живлення, В	3,3
Струм живлення, мА	1,5

Для даного пристрою мною був обраний LCD дисплей Nokia 5110. Розглянемо докладніше LCD дисплей Nokia 5110. Він є монохромним графічним дисплеєм з роздільною здатністю 48\*84 пікселів, його можна використовувати для відображення різної інформації в МК - пристроях [15].

Виводи під'єднання модуля описані у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Виводи під'єднання LCD дисплея Nokia 5110

Вивід	Значення
RST	скидання контролера дисплея
CE	дозвіл передачі даних
DC	вибір режиму передачі, команда чи дані
DIN	вхід передачі даних інтерфейсу SPI
CLK	тактування інтерфейсу SPI
VCC	живлення дисплея
LIGHT	управління підсвічуванням, для ввімкнення необхідно подати низький логічний рівень
GND	загальний провід (негативний полюс джерела живлення)

Передача даних здійснюється за допомогою стандартного SPI інтерфейсу, частота тактування до 4 МГц. Під час сеансу передачі на лінії CE потрібно виставити низький логічний рівень, таким чином дозволяючи передачу. Коли на дисплей передається команда, лінію DC необхідно "притягнути" до загального проводу (лог. 0), за високого логічного рівня на лінії DC, можна передавати дані, які безпосередньо відображатимуться на дисплеї.

При ввімкненні дисплея необхідно обов'язково виконати процедуру скидання, протягом 30 мс після подачі живлення, видати на лінію RST негативний імпульс, мінімальна тривалість імпульсу (низького логічного рівня) становить 100 нс. Лог. 0 на лінії RST може бути наявним до подачі живлення.

Матриця дисплея умовно поділена на стовпці, котрі містять 8 пікселів, тобто коли ми відправляємо 1 байт даних на дисплей, він відображається в цьому стовпці. По ширині (горизонталі) дисплея розташовано 84 стовпці, по висоті (вертикалі) розташовано 6 стовпців (тобто всього 6 рядків). Адреса необхідного стовпця (адресний покажчик) визначається командами X address, Y address. Нижче на рис. 2.10 представлена структура матриці [16].

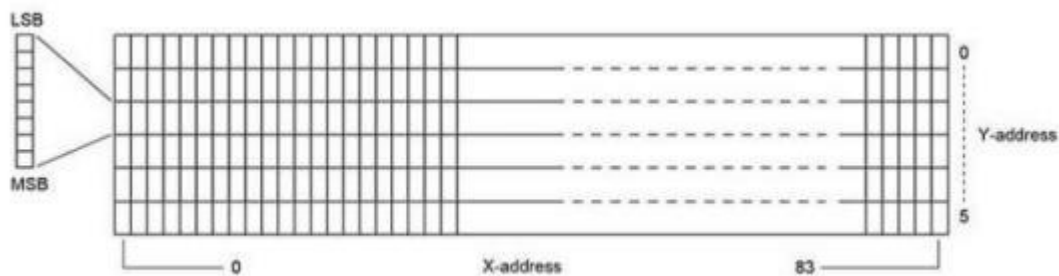


Рисунок 2.10 – Структура матриці контролера PCD8544

На рис. 2.11 показано схему під'єднання дисплея Nokia 5110 до МК.

Як світлові індикатори будуть застосовані світлодіод АЛ307В зеленого спектру випромінювання і світлодіод АЛ307Л червоного спектра випромінювання, котрі є в наявності.

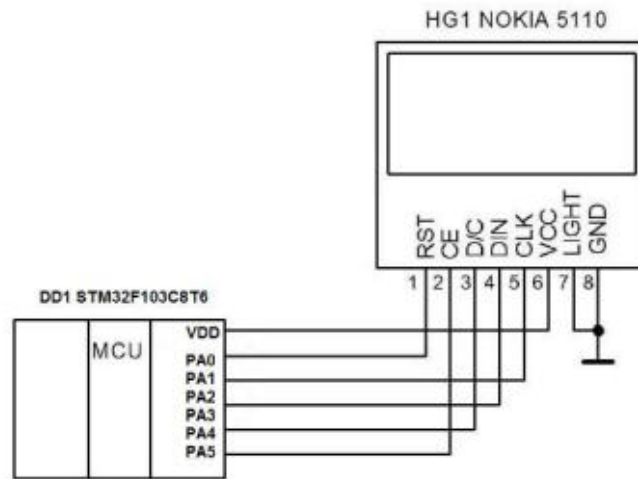


Рисунок 2.11 – Схема під'єднання дисплея до МК

Характеристики світлодіодів представлені у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики світлодіодів [17]

Найменування	Спектр випромінювань	Довжина хвилі	Сила світла	Струм	Пряме падіння напруги
АЛ307В	зелений	567 нм	0,4 мкд	20 мА	2,8 В
АЛ307Л	червоний	655нм	6 мкд	10 мА	2 В

Світлодіоди повинні під'єднуватися в ланцюги послідовно з резисторами для обмеження струму, що протікає через діод. Розрахуємо величину номіналів струмообмежувальних резисторів згідно з формулою (2.1):

$$R = \frac{(U_0 - U_1)}{I}, \quad (2.1)$$

де  $U_0$  - напруга живлення;  $U_1$  - пряме падіння напруги;  $I$  - струм світлодіода.

$$\text{АЛ307В} = (5\text{В} - 2,8\text{В}) / 20\text{мА} = 110 \text{ Ом.}$$

$$\text{АЛ307Л} = (5\text{В} - 2\text{В}) / 10\text{мА} = 300 \text{ Ом.}$$

Вибираємо резистори С2-33Н-0,5-300 Ом  $\pm 2\%$  А-В-В ОЖО.476.093 ТУ (1

шт.) та С2-33Н-0,5-110 Ом  $\pm 2\%$  А-В-В ОЖО.476.093 ТУ (1 шт.)

Вибір модуля передачі даних на мобільний застосунок. Для передачі даних з МК був обраний bluetooth модуль HC-05, він відрізняється від аналогів недорогою вартістю та обширністю інформації про його під'єднання до МК. Він необхідний для передачі даних на мобільний застосунок під управлінням ОС Android. Загальний вигляд bluetooth HC-05 представлений на рис. 2.12 [18].

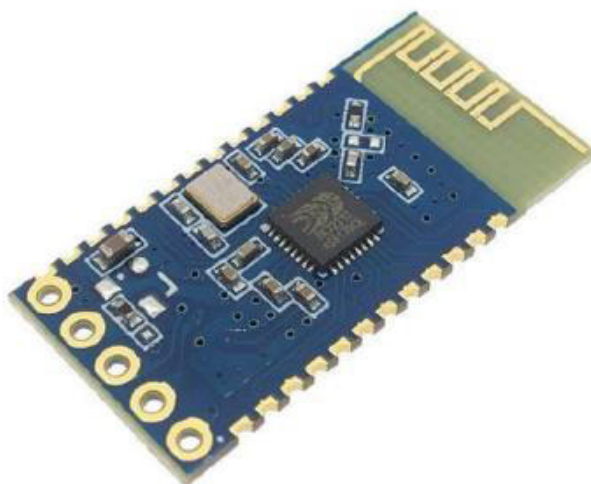


Рисунок 2.12 – Модуль bluetooth HC-05

Значення виводів HC-05 подані у табл. 2.9.

Таблиця 2.9 - Значення виводів HC-05 [13]

Вивід	Значення
EN	ввімкнення/вимкнення модуля
VCC	живлення +5В
GND	земля
TXD, RXD	UART інтерфейс для спілкування з контролером
STATE	індикатор стану
KEY	нога для входу в режим AT-команд

### Характеристики bluetooth модуля HC -05:

- активні частоти радіозв'язку перебувають у діапазоні 2.4-2.48 ГГц;
- канал пристосований до адаптивного перемикання;
- умовна дальність зв'язку - 10 метрів, але в цій цифрі не враховуються перешкоди та перешкоди;
- максимальна швидкість при обміні інформацією – 115300 бод (1 бод = 0.8 біт/сек.);
- зберігати чіп можна в температурному діапазоні від - 40 до +85 градусів, а ось використовувати - від -20 до +70;
- для роботи необхідно буде напруга 3.3 В, що ми розглянемо трохи нижче.

Вибір елементів, що входять до блоку управління навантаженням.

Під'єднання навантаження безпосередньо до МК неможливе, необхідно використовувати додатковий елемент із гальванічною розв'язкою. Такий елемент під наявне джерело живлення навантаження і є гальванічною розв'язкою між навантаженням і МК – це оптопара з симісторним виходом МОС3021. Технічні характеристики наведено у табл. 2.10

Таблиця 2.10 – Характеристики оптопари МОС3021

Тип виходу	Симістор
Детектор переходу через нуль	ні
Кількість каналів	1
Напруга ізоляції (RMS), В	4170
Максимальна напруга в закритому стані, В	400
Відмикаючий постійний струм управління, мА	15
Струм утримання, мА	0.1
Робоча температура, °С	від -40 до +80

Використовуючи цю схему, можна керувати ввімкненням і вимкненням навантаження.

Принцип під'єднання навантаження до МК через МОС3021 показано на рис. 2.13.

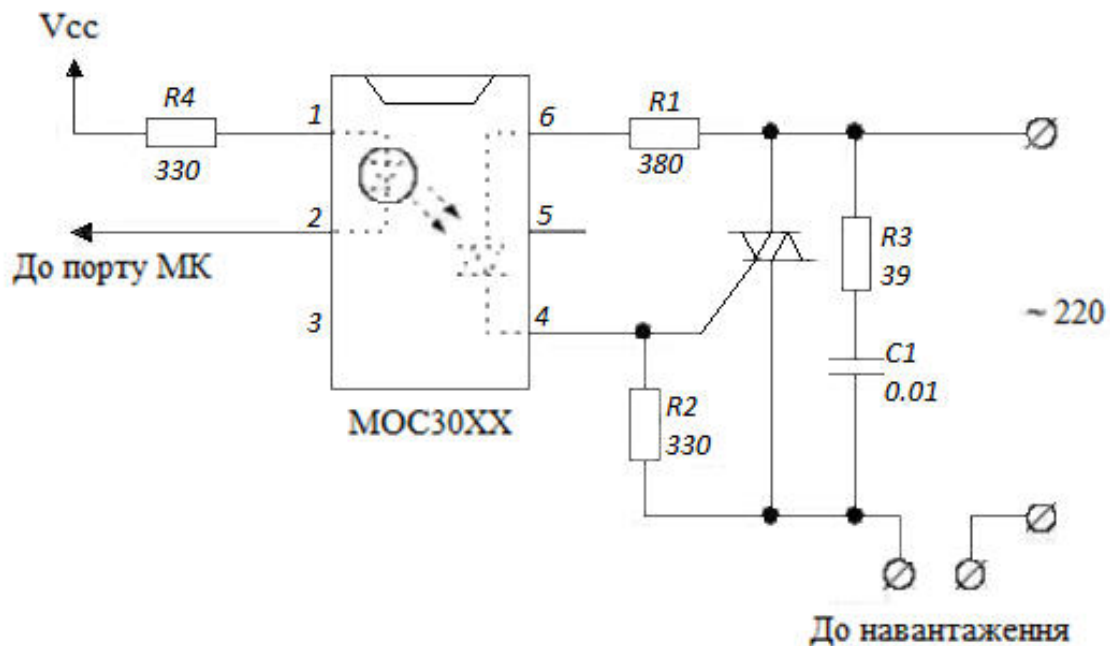


Рисунок 2.13 – Під'єднання навантаження до МК через МОС3021

Розрахунок джерела живлення. Джерело живлення має перетворювати змінну напругу 220 В на напругу 5 В для живлення елементів схеми контролера температури із зразком- свідком.

Оцінимо максимальний струм споживаний елементами схеми:

$$I_{\text{заг}} = I_1 + I_2 + \dots + I_n \quad (2.2)$$

Максимальний струм споживаний елементами, що використовують живлення 5 В складе

$$I_{\text{заг}} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0,5 \text{ А,}$$

де  $I_1$  - струм споживаний МК;  $I_2$  - струм споживаний екраном;  $I_3$  - струм споживаний світлодіодом;  $I_4$  - струм споживаний МОС3021;  $I_5$  - струм

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

споживаний Bluetooth модулем HC-05.

Використовуючи значення споживаного струму та значення вихідної напруги підберемо трансформатор. Трансформатор вибираємо з лінійки уніфікованих трансформаторів серії ТПП для живлення пристроїв на напівпровідникових приладах за умови:

- для напруги живлення 5 В:
- струм первинної обмотки, А:  $>0,5$ ;
- напруга на вторинній обмотці, В: 7,5.

Електрична принципова схема трансформатора представлена на рис. 2.14.

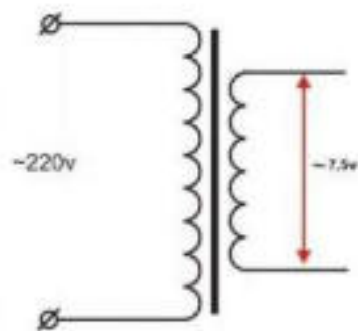


Рисунок 2.14 - Електрична принципова схема трансформаторів ТПП на 50 Гц, 220 В на броньових сердечниках ШЛ та ШЛМ

Вибираємо трансформатор ТПП 253.

Змінну напругу необхідно випрямити, використовуємо мостову схему для вирішення цього завдання.

За струмом навантаження визначимо максимальний струм, що протікає через кожен діод випрямного моста [11]

$$I_{\text{пр}} = 0,5 \times 1,9 \times I_{\text{н}} \quad (2.3)$$

$$I_{\text{пр}} = 0,475 \text{ А.}$$

Підрахуємо зворотну напругу, котра буде додаватися до всякого діода випрямляча:

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{ЗВ} = 1,5 \times U_H \quad (2.4)$$

$U_{ЗВ} = 7,5$  В для живлення 5 В.

Вибираємо діодні мости у яких  $I_{пр} > 0,475$  А,  $U_{ЗВ} > 7,5$  В. Вибираємо діодний міст КЦ412В.

Технічні характеристики КЦ412В:

- $U_{ЗВ} = 200$  В;
- $I_{пр} = 1000$  мА;
- $f_d = 5$  кГц;
- $U_{пр} < 1,2$  В при  $I_{пр} = 500$  мА;
- $I_{ЗВ} = 50$  мкА

Розрахуємо ємність конденсатора, що використовується як згладжувальний фільтр:

$$R_H = U_{вих} / I_{вих} , \quad (2.5)$$

$R_H = 10$  Ом для живлення 5 В.

$$C_{min} = 10^6 / f \cdot R_H, \quad (2.6)$$

$C_{min} = 2000$  мкФ для живлення 5 В.

Вибираємо конденсатор К50-35-16В-2200мкФ  $\pm 10\%$  ОЖО.464.156 ТУ

Для забезпечення стабільної вихідної величини напруги 5 В встановимо після випрямляча стабілізатор напруги. Знаючи значення  $U_{вх} = 7,63$  В,  $U_{вих} = 5$  В,  $I_{вих} < 0,5$  А вибираємо стабілізатор 142ЕН5А.

Технічні характеристики 142ЕН5А:

- $U_{вх} = 7,5 - 15$  В;
- $U_{вих} = 4,9 - 5,1$  В;
- $K_U = 0,05\%/В$ ;

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- $K_I = 1\%/A$ ;
- діапазон робочих температур від  $-45\text{ }^\circ\text{C}$  до  $+70\text{ }^\circ\text{C}$ ;
- тип корпусу КТ-28-2.

Розробимо електричну принципову схему джерела живлення, використовуючи вибрані елементи.

Електрична принципова схема джерела живлення контролера температури із зразком свідка представлена на рис. 2.15.

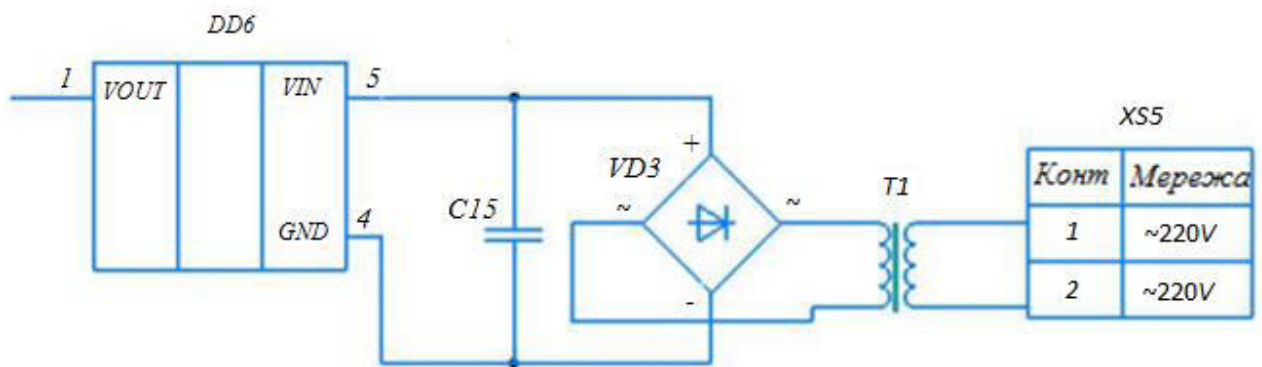


Рисунок 2.15 - Електрична принципова схема джерела живлення контролера температури із зразком- свідком

## 2.3 Схема електрична принципова

### 2.3.1 Побудова схеми електричної принципової

Схема електрична принципова створена з урахуванням усіх умовних значень графічних елементів, наведена на рис. 2.16.

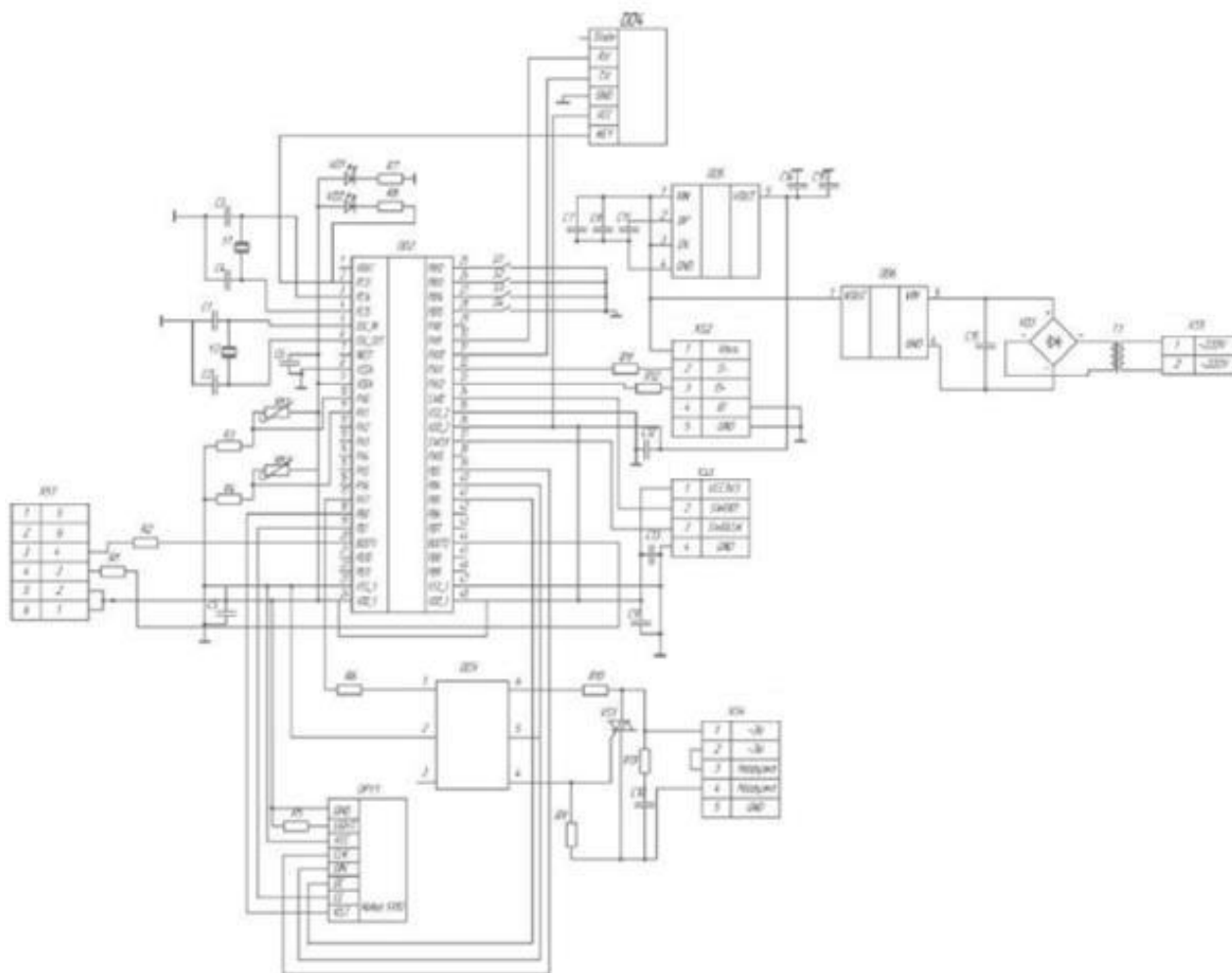


Рисунок 2.16 - Схема електрична принципова контролера температури із зразком-свідком та синхронізацією з мобільним застосунком

### 2.3.2 Опис принципу роботи схеми електричної принципової

У схемі, зображеній на рис. 2.16, до портів МК STM32F103C8T6 (DD1) до портів PB12, PB13, PB14, PB15 під'єднані чотири тактові кнопки, які слугують для керування пристроєм нагрівання.

Схема стабілізації напруги для МК реалізована на мікросхемі RT9193-33 (DD4), вона перетворює і стабілізує вхідну напругу 5 В у 3.3 В.

На схема також передбачені світлодіоди для індикації роботи плати, це світлодіоди VD1 та VD2, так само на них стоять струмообмежувальні резистори R7 та R8 на 510 Ом.

Контроль опору та температури вакуумної установки УВН71П-3 відбувається за допомогою терморезисторів виражених на схемі елементами

RK1 та RK2. Перші виводи під'єднані до живлення 3,3, другі виводи - до АЦП МК, що виходить із середньої точки подільника напруги, треті виводи від резисторів R3 і R4 йдуть на заземлення [19].

Так само схема МК має два вбудовані кварцові резонатори Y1 і Y2, вони призначені для задання тактування МК. Чим більша тактова частота МК, тим більше операцій він може виконати за 1 секунду.

На роз'ємі XS2 зображено роз'єм живлення плати. Він є micro-usb роз'ємом.

На службовому роз'ємі XS3 зображені виводи для програмування МК.

Для виведення отриманих даних із терморезисторів передбачено LCD-Display Nokia 5110 (DPY1).

Також на схемі відображений bluetooth-модуль HC-05 (DD3) він необхідний для синхронізації МК з мобільним застосунком, написаним під операційну систему Android.

Для під'єднання високоточного навантаження на схемі передбачена гальванічна розв'язка, що базується на MOC3021 (DD2).

## 2.4 Висновки до другого розділу

У цьому розділі два було обрано елементну базу розроблюваного пристрою, розраховано параметри джерела живлення всього пристрою та складено електричну схему принципову з урахуванням обраних елементів і розроблено перелік елементів для даної схеми.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 3 ПРАКТИЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Вибір середовища розробки

Для розробки ПЗ МК була використана офіційна безкоштовна програма STM32Cube IDE, від аналогів вона відрізняється відмінним візуальним інтерфейсом та зручним підключенням периферії, на відміну від аналогів середовищ розробки там не треба прописувати вручну активацію АЦП, таймерів тощо.

На рис 3.1 наочно показано як можна налаштувати даний МК за допомогою програми STM32Cube IDE.

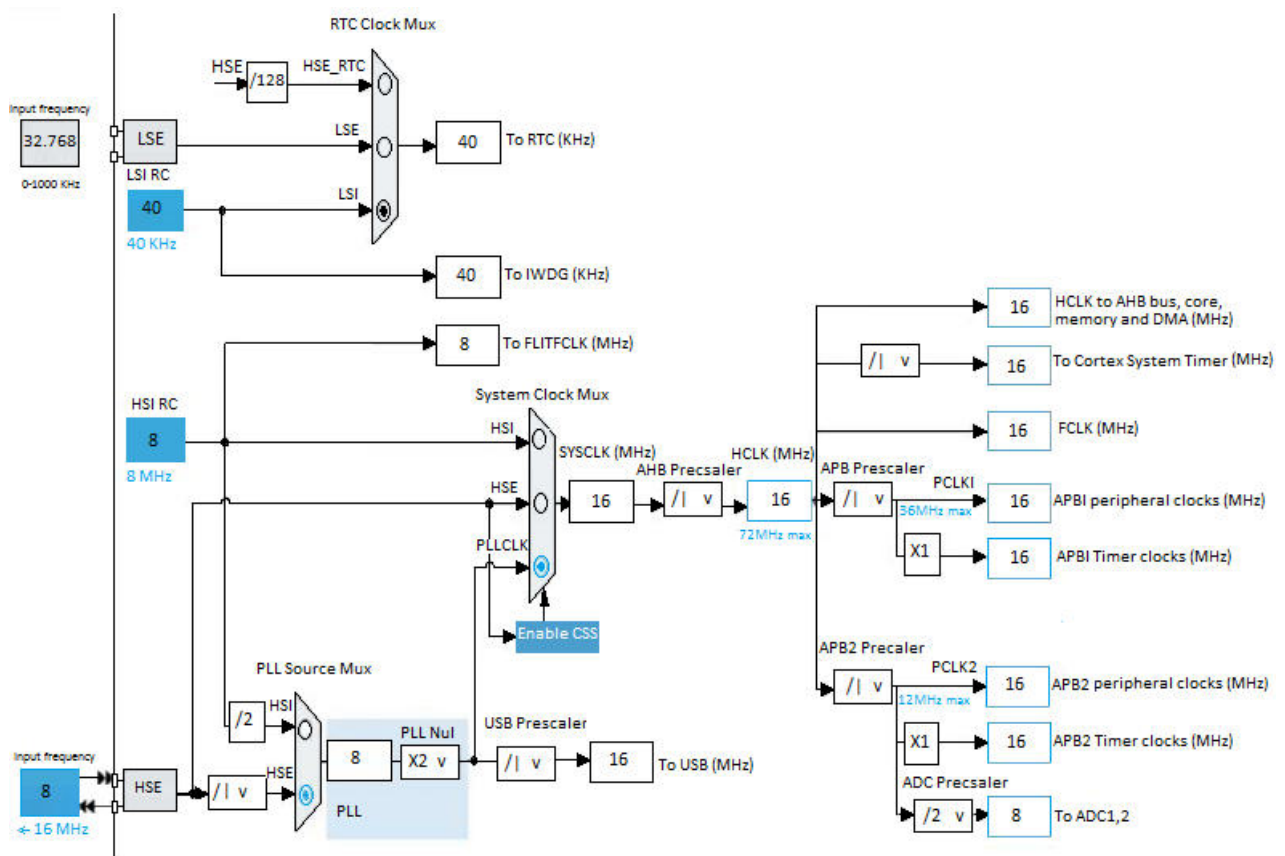


Рисунок 3.1 – Налаштування конфігурації МК

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Огоновська Х.А.				Лім.	Арк.	Аркушів
Керівник.	Баран І.О.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Реценз.							
Н. Контр.	Тиш Є.В.						
Затверд.	Осухівська Г.М						

На рис. 3.2 наведено відображення конфігурації виводів МК.

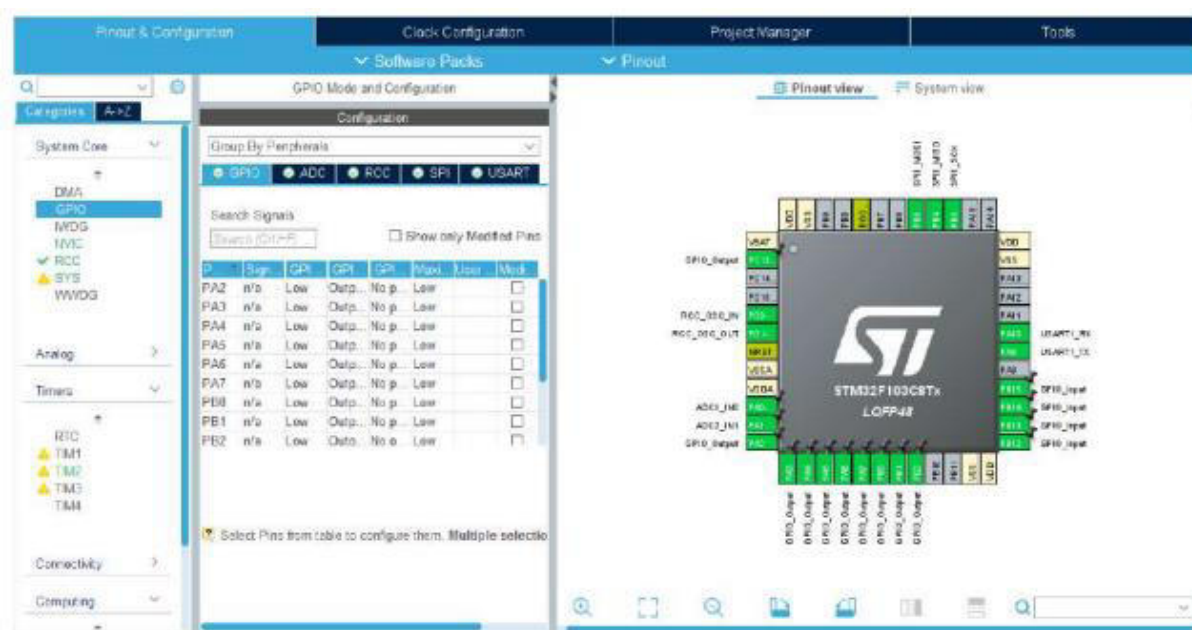


Рисунок 3.2 – Конфігурації виводів МК

### 3.2 Розрахунок ПІД-регулятора

Для регулювання контролера температури перш за все необхідно визначити динамічні характеристики об'єкта, яким ми керуватимемо шляхом визначення передавальної функції [20].

Визначимо передавальну функції експериментальним методом. Експериментальний метод для системи полягає в тому, що на вхід об'єкта управління подається управляючий вплив з боку схеми управління, і йде відстеження даних. У моєму випадку об'єктом управління є нагрівальний елемент, що знаходиться у вакуумній установці УВН-71П-3.

Для того щоб визначити значення передавальної функції за допомогою цифрового вольтметра знімемо показання з термопари, і побудуємо залежність температури від часу. Зчитування даних відбувалося з інтервалом у 30 секунд.

Для подальших розрахунків із паспорта на нагрівач було визначено, що він має потужність 500 Вт.

Експериментальне збурення візьмемо  $x_{0\%} = 6\%$  від максимальної

потужності  $P_n$  нагрівача.

$$P_{нм} = 500 * 0,06 = 30 \text{ Вт} \quad (3.1)$$

Обчислимо вхідну напругу джерела живлення для 6% від потужності нагрівача

$$U_{6\%} = \sqrt{3 \cdot 30} = 9,5 \text{ В} \quad (3.2)$$

Як наслідок виконаного експерименту, було одержано графік перехідної характеристики об'єкта, котрий продемонстровано на рис. 3.3.

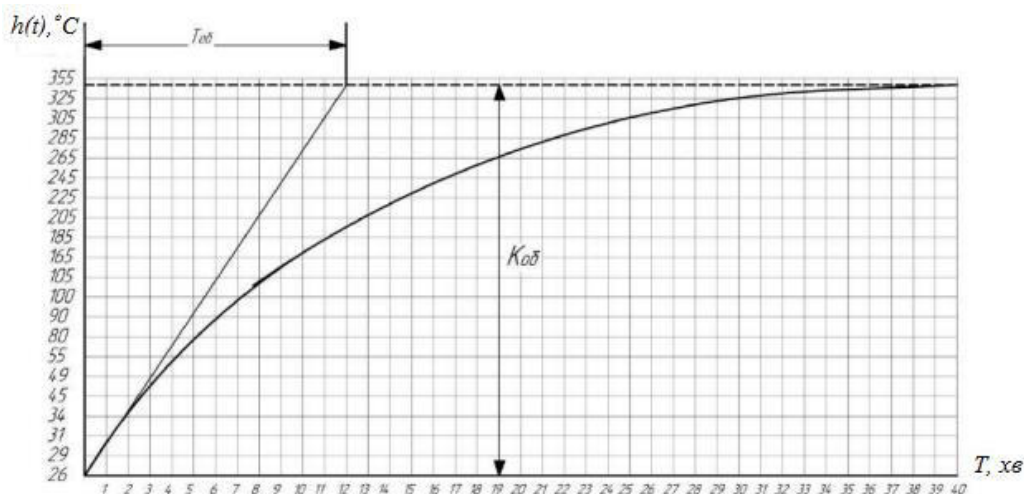


Рисунок 3.3 – Графік залежності температури від часу

Так як давач близько розташований до нагрівача, то часом запізнення можна знехтувати, через досить малий час перехідного процесу.

Виходячи із залежності температури від часу (рис. 3.3), можна обчислити дані необхідні для побудови аперіодичної ланки 1-го порядку, передавальна функція ланки наведена у формулі (3.3).

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{T_{об}p + 1} \quad (3.3)$$

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Початкова температура у вакуумній камері становила  $t_0 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$

Значення температури, що встановилося після закінчення процесу  $t_{\text{уст}} = 353 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Час перехідного процесу 30 хвилин.

Значення постійної часу  $T_{об}$  та коефіцієнта передачі  $K_{об}$  визначені з графіка залежності температури від часу, рис. 3.3:

$$K_{об} = 350 - 26 = 324 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{об} = 720 \text{ с}$$

Таким чином, шукана передавальна функція виглядатиме так:

$$W_{об}(p) = \frac{324}{720p + 1}$$

Подальша побудова та налаштування ПД-регулятора реалізовані в симуляційному середовищі моделювання та аналізу динамічних систем Simulink, на основі MATLAB [21]. Моделювання об'єкта, описаного аперіодичною ланкою першого порядку, наведено на рис. 3.4



Рисунок 3.4 – Схема під'єднання об'єкта керування

Під'єднання блоку ПД-регулятора наведено на рис. 3.5.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

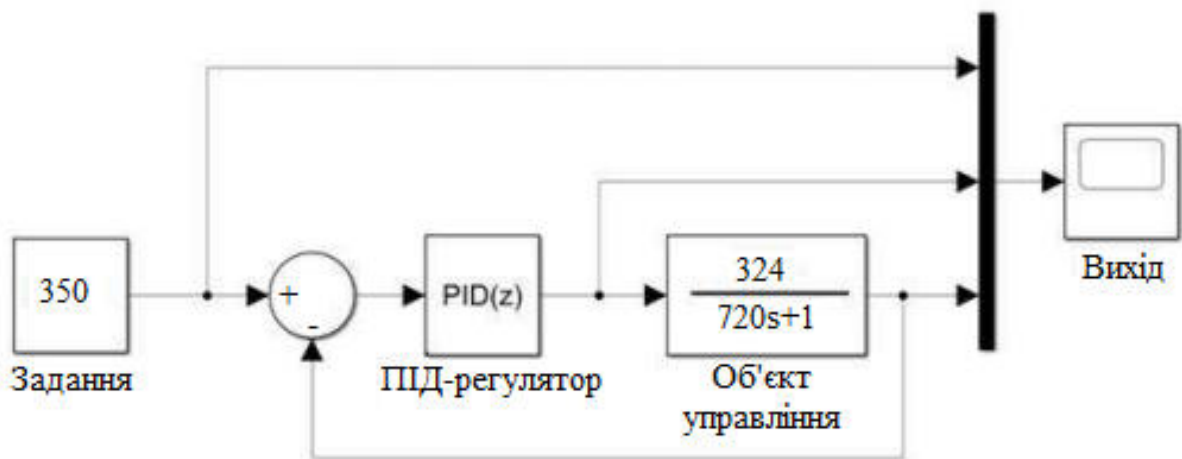


Рисунок 3.5 – Схема під'єднання ПІД-регулятора до об'єкта управління у Simulink

Далі переходимо до налаштування ПІД-регулятора за допомогою програми Matlab та вбудованого інструменту PID Tuner. Даний інструмент дозволяє лінеаризувати систему та автоматично обчислити коефіцієнти для забезпечення якісного перехідного процесу керування. Результати роботи показані на рис. 3.6.

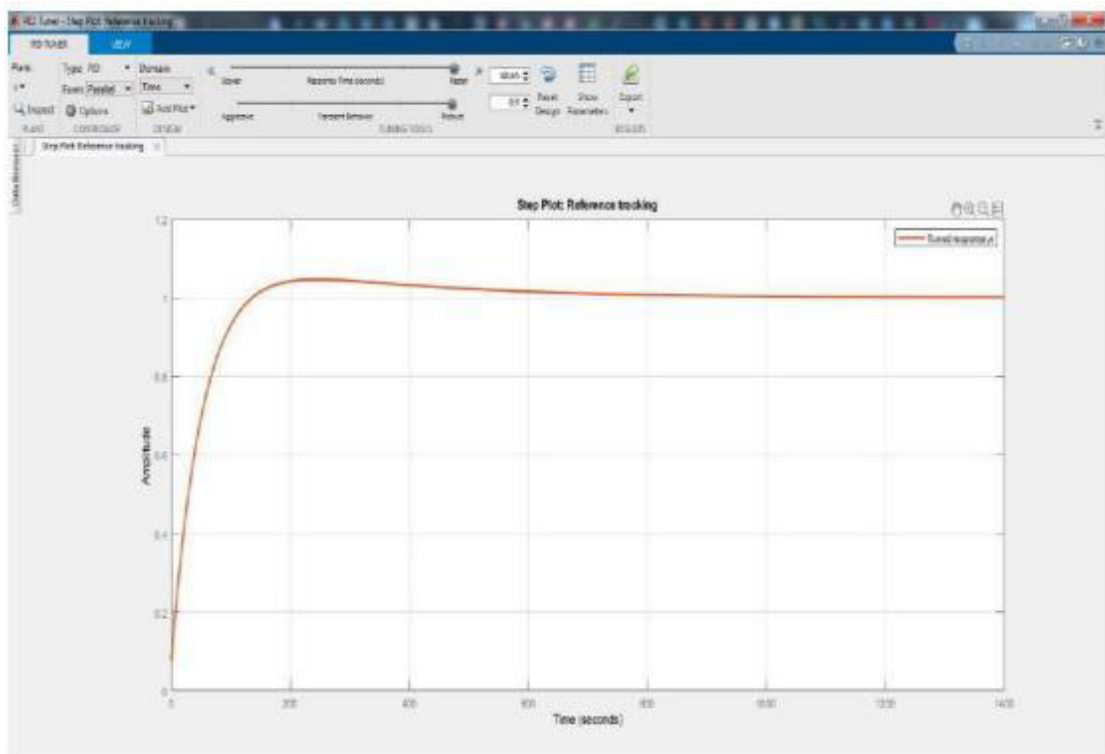


Рисунок 3.6 – Графік налаштування ПІД-регулятора за допомогою інструменту PID Tuner

Параметри налаштування ПІД-регулятора отримані з PID Tuner :

- час перехідного процесу 87,3 с;
- перерегулювання 4.7% до 353 °С;
- $K_p = 43,32$ ;
- $K_i = 23,13$ ;
- $K_d = 20$ ;

### 3.3 Розробка ПЗ

#### 3.3.1 Алгоритм роботи МК

Принцип роботи системи управління пристроєм лудіння виробів полягає в наступному:

- ініціалізація налаштувань МК;
- задаємо за допомогою тактових кнопок режим роботи нагрівачів;
- скануємо натиснуті клавіші;
- виводимо на LCD екран параметри датчиків;
- перевірка натискання кнопки ПУСК;
- вмикаємо МОС3021 (запуск нагрівачів);
- перевірка натискання кнопки СТОП;
- вимикаємо МОС3021 (відключення нагрівачів);
- надсилаємо дані на мобільний застосунок.

Відповідно до принципу роботи контролера температури із зразком свідка та синхронізацією з мобільним застосунком складено алгоритм програми мікроконтролера.

#### 3.3.2 Розробка програми МК та мобільного застосунку

Згідно з алгоритмом, описаним у п. 3.3.1, напишемо програму для МК. Фрагмент її програмного коду наведено на рис. 3.7. Програма написана мовою С, повністю код програми для МК представлений у додатку Б.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

```

****                               Main.c
*****
/*
  Last committed:  $Revision: 00 $
  Last changed by:  $Author: $
  Last changed date: $Date: $
  ID:              $Id: $
*****

#include "stm32f0xx_conf.h"
#define HSE_VALUE ((uint32_t)8000000)
#include "pcd8544.h"
#include "eeprom.h"
#include "stdio.h"
#include "string.h"
#include "k_therm.h"

```

Рисунок 3.7 – Лістинг фрагменту коду програми для МК

На рис. 3.8 наведено фрагмент програмного коду для мобільного застосунку. Повністю код представлено у додатку В.

```

privateclass ConnectThreadextends Thread {
private final BluetoothSocket mmSocket;
private final BluetoothDevice mmDevice;
public ConnectThread(BluetoothDevice device) {
// використовуємо допоміжну змінну
BluetoothSocket tmp=null; mmDevice = device;
// отримуємо BluetoothSocket щоб з'єднатися з BluetoothDevice
try{
// MY_UUID це UUID, який використовується і на сервері
tmp= device.createRfcommSocketToServiceRecord(MY_UUID);
} catch (IOException e) {} mmSocket = tmp; }

```

Рисунок 3.7 – Лістинг фрагменту коду програми для мобільного застосунку

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

### 3.4 Висновки до третього розділу

В третьому розділі проаналізовано та обрано способи реалізації контролера температури із зразком свідка та синхронізацією з мобільним застосунком відповідно до технічного завдання.

Розроблені програмні коди для МК та мобільного застосунку представлені у додатках Б та В відповідно.

					<i>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Працездатність людини – оператора

Під працездатністю людини розуміють можливість її виконувати роботу з необхідною якістю та в установлений час.

Працездатність людини залежить як від зовнішніх чинників, так і від внутрішнього стану (внутрішні чинники). До зовнішніх чинників належать: кількість та форма отриманої інформації, зручність робочого місця, характер взаємовідносин в колективі, вплив чинників середовища існування. До внутрішніх чинників належать: рівень підготовки, тренуваність людини та її емоційна стійкість [28].

У процесі роботи людина переживає різні функціональні стани, які зумовлюють різні рівні її працездатності.

На рисунку 4.1 наведено зміни функціонального стану та якості роботи людини у процесі одного трудового циклу (зміни). Виділяють 4 фази працездатності: пристосування до праці, стійкої працездатності, субкомпенсації, втоми. Тривалість усіх фаз та усього циклу роботи залежить від рівня підготовки людини до роботи [28].

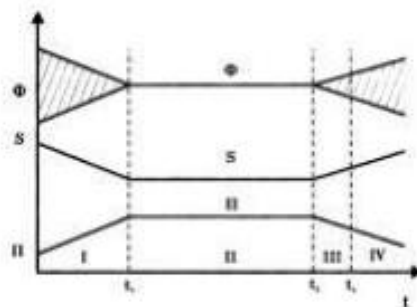


Рисунок 4.1 – Фази працездатності

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Огоновська Х.А.			Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник.		Баран І.О.					
Реценз.					ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-42		
Н. Контр.		Тиш Є.В.					
Затверд.		Осухівська Г.М.					

Тут  $\Phi$  – показник функціонального стану;

Б – помилки роботи;

П – продуктивність праці.

Фаза пристосування до праці (0 – 1) – це час, протягом якого людина адаптується до майбутніх умов праці. Основний показник поступово досягає свого встановленого значення. Тривалість періоду пристосування організму до умов праці залежить від багатьох чинників, серед яких основними є інтенсивність роботи (чим інтенсивніша робота, тим цей період коротший) та рівень готовності людини до майбутньої роботи.

Значного скорочення фази пристосування до праці можна досягти за рахунок попередньої підготовки людини до роботи (виконання фізичних вправ, адаптації зору, слуху та ін.) та шляхом посиленого навчального навантаження. Суть останнього полягає в тому, що оператор перед початком роботи проводить короткочасне тренування щодо розв'язання однієї чи кількох задач підвищеної складності.

Фаза стійкої працездатності ( $t_1 - t_2$ ) характеризується найвищою якістю праці при оптимальних рівнях функціонування фізіологічних систем організму. Тривалість цього періоду залежить від інтенсивності роботи. Чим інтенсивніша праця, тим коротший цей період. Найоптимальніша динамічна робота, коли цей період може бути в десятки разів довшим, ніж при статичній діяльності.

На процес стійкої працездатності великий вплив справляють емоції. Негативні (страх, невпевненість, поганий настрій) знижують працездатність. Позитивні (впевненість, спокій, бадьорий настрій) значно продовжують період стійкої працездатності.

Продовження періоду стійкої працездатності можна забезпечити [28]:

- оптимальним рівнем напруги психофізіологічних функцій;
- комфортними умовами праці;
- правильним поєднанням режимів праці та відпочинку;
- емоційним розвантаженням;

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

– використанням тонізуючих напоїв (кава, чай), фармакологічних засобів, зокрема препаратів рослинного походження (вітаміни, препарати, які впливають на енергетичні та метаболічні процеси);

– інформуванням людини про наслідки її діяльності, наглядом та контролем її роботи.

Практичний досвід свідчить, що вживання легких стимуляторів допомагає знизити сонливість, сприяє підвищенню працездатності на короткий період [26]. Однак активні стимулятори на відповідальних видах робіт здатні викликати негативний ефект – погіршується самопочуття, знижується рухливість та швидкість реакцій. Поширене серед населення вживання транквілізаторів, викликаючи заспокоєння та запобігаючи розвитку неврозів, може знизити психічну активність, сповільнити реакції, спричинити апатію та сонливість.

Фаза субкомпенсації ( $t_2 - t_3$ ) розглядається як початок розвитку втоми. В цей період якість праці ще зберігається на високому рівні, але тільки за рахунок перенапруги відповідних функцій організму.

Фаза втоми (з моменту у характеризується чітко вираженим зниженням якості роботи при подальшому погіршенні функціонального стану людини. Об'єктивними показниками втоми є зміна частоти пульсу, дихання, зорової та слухової чутливості.

Наступною фазою життєдіяльності людини повинна бути фаза відновлення працездатності (відпочинку), яка може тривати від 3 до 5 хвилин; 60 — 90 хв. і навіть декілька діб.

Раціональний режим праці та відпочинку передбачає дотримання певної тривалості безперервної роботи на персональному комп'ютері і перерв, регламентованих з урахуванням тривалості робочої зміни, виду трудової діяльності. Для попередження передчасної стомлюваності операторів ПК рекомендується організувати робочу зміну шляхом чергування робіт з використанням персонального комп'ютера і без нього [29].

При виникненні у працюючих з ПК зорового дискомфорту та інших несприятливих суб'єктивних відчуттів, незважаючи на дотримання

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

санітарногігієнічних і ергономічних вимог, рекомендується застосовувати індивідуальний підхід з обмеженням часу роботи з ПК.

У випадках, коли характер роботи вимагає постійної взаємодії з ВДТ (набір текстів або введення даних тощо) з напругою уваги та зосередженості, при виключенні можливості періодичного перемикання на інші види трудової діяльності, не пов'язані з ПК, рекомендується організація перерв на 10 -15 хвилин через кожні 45-60 хвилин роботи. Тривалість безперервної роботи з ВДТ без регламентованого перерви не повинна перевищувати однієї години.

Сумарний час регламентованих перерв залежить від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з використанням ПК (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Сумарний час регламентованих перерв залежно від тривалості роботи, виду та категорії трудової діяльності з ПК

Категорія роботи з ПК	Сумарний час регламентованих перерв, хв	
	при 8-годинній зміні	при 12-годинній зміні
I	50	80
II	70	110
III	90	140

Під час регламентованих перерв з метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, усунення впливу гіподинамії та гіпокінезії, запобігання розвитку позотонічної (статичного) втоми доцільно виконувати спеціально розроблені комплекси вправ.

#### 4.2 Вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК

Для збереження працездатності й попередження розвитку захворювань опорно-рухового апарату операторів ПК необхідно організувати для них робочі місця, що відповідають вимогам ДСТУ. Виконання цих вимог показані на рис.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.2 і приведено конструктивні особливості встановлюваних робочих столів і стільців, що забезпечують можливість індивідуального регулювання відповідно росту працюючих і створення для них зручної пози [29].

При правильній організації робочого місця продуктивність праці оператора зростає на 8 – 20%. Відповідно до ДСТУ конструкція робочого місця й розташування всіх його елементів повинна відповідати антропометричним, фізичним і психологічним вимогам. Велике значення має також характер роботи. Зокрема, при організації робочого місця оператора ПК повинні бути дотримані наступні основні умови:

- оптимальне розміщення устаткування, що входить до складу робочого місця;
- достатній робочий простір, що дозволяє здійснювати всі необхідні рухи й переміщення;
- необхідно природне й штучне освітлення для виконання поставлених завдань;
- рівень акустичного шуму не повинен перевищувати допустимого значення.

Головними елементами робочого місця оператора є письмовий стіл і крісло. Основним робочим положенням є положення сидячи. Робоча поза сидячи викликає мінімальне стомлення оператора ПК. Раціональне планування робочого місця передбачає чіткий порядок і сталість розміщення предметів, засобів праці й документації. Те, що потрібно для виконання робіт частіше, розташовано в зоні легкої досяжності робочого простору.

Моторне поле – простір робочого місця, у якому можуть здійснюватися рухові дії людини [29].

Максимальна зона досяжності рук – це частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними максимально витягнутими руками при русі їх у плечовому суглобі. Оптимальна зона – частина моторного поля робочого місця, обмеженого дугами, описуваними передпліччями при русі в

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ліктьових суглобах з опорою в точці ліктя й з відносно нерухомим плечем. Зони досяжності рук у горизонтальній площині зображено на рис. 4.2.

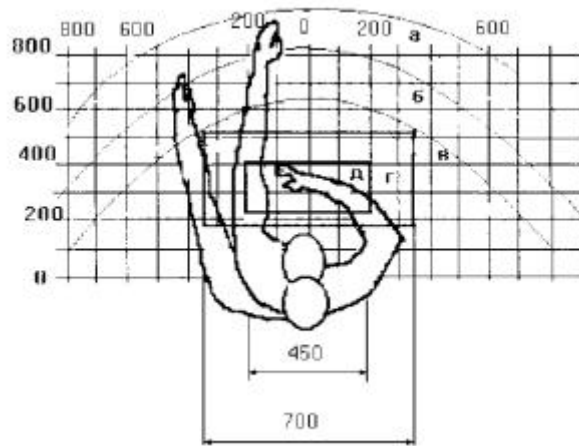


Рисунок 4.2 – Зони досяжності рук у горизонтальній площині

а - зона максимальної досяжності; б - зона досяжності пальців при витягнутій руці; в - зона легкої досяжності долоні; г - оптимальний простір для грубої ручної роботи; д - оптимальний простір для тонкої ручної роботи.

Розглянемо оптимальне розміщення предметів праці й документації в зонах досяжності рук [29]:

- монітор розміщується в зоні а (у центрі);
- клавіатура - у зоні г/д;
- системний блок розміщується в зоні б (ліворуч);
- принтер перебуває в зоні а (праворуч);
- документація - у зоні легкої досяжності долоні - в (ліворуч) - література й документація, необхідна при роботі;
- висота стола повинна бути обрана з урахуванням можливості сидіти вільно, у зручній позі, при необхідності опираючись на підлокітники;
- нижня частина стола повинна бути сконструйована так, щоб користувач ПК міг зручно сидіти, не був змушений підтискати ноги;

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

– поверхня стола повинна мати властивості, що виключають появу відблисків у полі зору користувача;

– конструкція стола повинна передбачати наявність висувних ящиків (не менш 3 для зберігання документації, літератури, особистих речей).

Параметри робочого місця вибираються відповідно до антропометричних характеристик. При використанні цих даних у розрахунках варто виходити з максимальних антропометричних характеристик.

При роботі в положенні сидячи рекомендуються наступні параметри робочого простору: ширина - не менш 700мм; глибина - не менш 400мм; висота робочої поверхні стола над підлогою 700-750мм. Оптимальними розмірами стола є: висота 710мм; довжина стола 1300мм; ширина стола 650мм.

Під робочою поверхнею має бути передбачений простір для ніг: висота - не менш 600мм; ширина - не менш 500мм; глибина - не менш 400мм.

Важливим елементом робочого місця оператора ПК є крісло. При проектуванні крісла виходять із того, що при будь-якому робочому положенні оператора його поза повинна бути фізіологічно правильною, тобто положення частин тіла повинне бути оптимальним.

Для задоволення вимог фізіології, що впливають із аналізу положення тіла людини в положенні сидячи, конструкція робочого сидіння повинна задовольняти наступним основним вимогам:

– допускати можливість зміни положення тіла, тобто забезпечувати вільне переміщення корпусу й кінцівок тіла;

– допускати регулювання висоти залежно від росту працюючої людини ( у межах від 400 до 550мм );

– радіус кривизни в горизонтальній площині 400мм;

– кут нахилу спинки повинен змінюватися в межах 90-110° до площини сидіння.

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3 Висновки до четвертого розділу

В цьому розділі проаналізовано важливі питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях, висвітлено питання працездатність людини – оператора та вимоги ергономіки до організації робочого місця оператора ПК.

					<i>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		52

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи були вивчені аналоги подібних пристроїв, розроблено технічне завдання на контролер температури із зразком-свідком та синхронізацією з мобільним застосунком, розроблена схема електрична принципова та написана програма для МК та мобільного застосунку під ОС Android.

Використання контролера температури із зразком-свідком та синхронізацією з мобільним застосунком для вакуумної установки УВН71П-3 дозволить знизити перебування оператора за установкою, що дасть змогу збільшити середню продуктивність праці.

Технічне завдання до кваліфікаційної роботи виконано у повному обсязі.

У процесі виконання роботи були використані знання, отримані під час навчання в університеті, за такими курсами:

- програмування та основи алгоритмізації;
- алгоритми та методи обчислень;
- комп'ютерна електроніка та схемотехніка;
- теорія електричних та магнітних кіл;
- моделювання комп'ютерних систем.

При виконанні роботи були відпрацьовані навички роботи з технічною літературою, діючими стандартами ЄСКД, отримано навички роботи з середовищами розробки та роботою в програмах систем автоматичного проектування.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Налагодження засобів автоматизації та автоматичних систем регулювання. URL: <https://kntiis.od.ua/sites/default/files/files/samostoyatelni%20roboty%20TZAS.pdf> (дата звертання: 29.04.2026).
2. ПІД-регулятор: Глибоке занурення в теорію та практику налаштування. URL: <https://chastotnik.ua/a-pid-controller-a-deep-dive-into-the-theory-and-practice-of-tuning?srsltid=AfmBOor4qmlITDvEYt38ebx2HLqdTDGFtoqh3m61JJhF1WAXccVV6e1M> (дата звертання: 29.04.2026)
3. Теорія автоматичного керування : навчальний посібник / П. В. Леонтьєв та ін.. Суми : Сумський державний університет, 2024. 296 с.
4. Технічні характеристики регулятора температури REX-C100FK02-MAN. URL: <https://radiostore.com.ua/ua/p535103112-tsifrovoj-pid-regulyator.html> (дата звертання: 29.04.2026).
5. Терморегулятор TC4S-14R. URL: <http://www.kosmodrom.com.ua/el.php?name=TC4S-14R> (дата звертання: 29.04.2026).
6. Технічні характеристики контролера температури ОБЕН ТРМ. URL: <https://ukrpromcentr.com.ua/ua/p251295401-izmeritel-pid-regulyator.html> (дата звертання: 29.04.2026).
7. Multi-channel recorder ENI-702. URL: <https://bizkim.uz/en/catalog/izmeriteli-motshnosti/4-multi-channel-recorder-eni-702> (дата звертання: 29.04.2026).
8. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» усіх форм навчання. Тернопіль: ТНТУ, 2024. 39 с.
9. Давачі: Будова та застосування. URL: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/201143/mod\\_resource/content/1/%D0%9B-3-%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%9C.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/201143/mod_resource/content/1/%D0%9B-3-%D0%86%D0%A1%D0%A2%D0%9C.pdf) (дата звертання: 29.04.2026).

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Давачі / М.В. Бурштинський, М.В. Хай, Харчишин Б.М. Львів: ТЗОВ „Простір М”, 2014. 202 с.

11. Характеристика налагоджувальних плат сімейства stm32f. URL: <https://kit-e.ru/bez-rubriki/nizkoe-energopotreblenie-nizkaya-czenamikrokontrollery-stmicroelectronics-dlya-ustrojstv-s-batarejnym-pitanjem-2> (дата звертання: 29.04.2026).

12. Опис налагоджувальної плати stm32f103C. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103tb>. <https://www.mini-tech.com.ua/ua/stm32f103c8t6-board-pdf> (дата звертання: 29.04.2026).

13. Взаємодія HC-05 Bluetooth з STM32F103C8T6. URL: <http://uk.fmuser.net/wap/content/?15131.html> (дата звертання: 29.04.2026).

14. Що таке тактовий перемикач і як він працює? URL: <http://uk.wellnowus.com/news/what-are-the-types-of-tact-switches/> (дата звертання: 29.04.2026).

15. Технічні характеристики LCD Display Nokia 5110. URL: <https://www.mini-tech.com.ua/ua/nokia-5110-graficheskij-displej> (дата звертання: 29.04.2026).

16. Методи підключення LCD екрану Nokia 5110. URL: <https://imod.tertana.cx.ua/articles/pidkljuchennja-nokia-ekran.html> (дата звертання: 29.04.2026).

17. Технічні характеристики світлодіодів. URL: [https://pkf-elektroplast.com.ua/ua/a399159-kakie-byvayut-svetodiody.html?srsltid=AfmBOoo11ay9oqASbTVY0lCW65S7nFeOxf2t5YL3xkTgTEZm\\_MZhuHtM](https://pkf-elektroplast.com.ua/ua/a399159-kakie-byvayut-svetodiody.html?srsltid=AfmBOoo11ay9oqASbTVY0lCW65S7nFeOxf2t5YL3xkTgTEZm_MZhuHtM) (дата звертання: 29.04.2026).

18. Технічні характеристики Bluetooth- модуля HC-05. URL: <https://vevor.net.ua/ua/p2993695848-modul-bluetooth.html/> (дата звертання: 29.04.2026).

19. Сучасні давачі. URL: [https://beegreen.com.ua/vidladchiki-i-programatori/davachi/?srslti=AfmBOor6gZvDcy71v0m8cB0yWR1tefKQ\\_](https://beegreen.com.ua/vidladchiki-i-programatori/davachi/?srslti=AfmBOor6gZvDcy71v0m8cB0yWR1tefKQ_)

					<b>КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок ПІД-регулятора. URL: [https://tpza.kpi.ua/wp-content/uploads/manuals/tsapar\\_v/АТТР\\_LR\\_2.pdf](https://tpza.kpi.ua/wp-content/uploads/manuals/tsapar_v/АТТР_LR_2.pdf) (дата звертання: 29.04.2026).

20. Simulink // MATLAB: офіційний сайт. URL: <https://www.mathworks.com/products/simulink.html> (дата звертання: 29.04.2026).

21. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.

22. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.

23. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том другий. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 333 с.

24. Паламар М.І., Стрембіцький М.О., Паламар А.М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Навчальний посібник. Тернопіль: ТНТУ. 2019. 150 с.

25. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. Advances in Science and Technology Research Journal, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.

26. Voloshchuk A., Velychko D., Osukhivska H., Palamar A. Computer system for energy distribution in conditions of electricity shortage using artificial intelligence. CEUR Workshop Proceedings, 2nd International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2024), Ternopil, Ukraine, June 12-14, 2024. Vol. 3742 P. 66-75.

27. Толок А.О., Крюковська О.А. Безпека життєдіяльності: Навч. посібник. 2011. 215 с.

28. Основи УхGfKMDIUuICEG1DNbbRlFg (дата звертання: 29.04.2026).

29. охорони праці: Підручник.; 3-те видання, доповнене та перероблене / За ред. К. Н Ткачука. К.: Основа, 2011. 480 с.

					КС КРБ 123.191.00.00 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А.  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**“Затверджую”**

Завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2026 р

**КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТЕМПЕРАТУРИ ТА  
ТОВЩИНИ НАНЕСЕННЯ ГАЛЬВАНІЧНОГО ПОКРИТТЯ У ВАКУУМНІЙ  
КАМЕРІ**

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на  8  листках

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

**На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»**

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

**«УЗГОДЖЕНО»**

Керівник кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Баран І.О.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**«ВИКОНАВЕЦЬ»**

Студентка групи СІ-42

\_\_\_\_\_ Огоновська Х.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

**Тернопіль 2026**

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.191.00.00

### 1.2 Виконавець

Студентка групи СІ-42, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерної інженерії, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Огоновська Христина Андріївна.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№ 4/9-188 від 24.04.2026 р.)

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 27.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 17.06.2026 р.

### 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ІСО, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері призначена для контролювання температурного режиму та товщини у вакуумній камері для якісного нанесення вакуумного покриття.

До складу системи повинні входити як апаратна складова, так і програмна.

Доцільність створення системи зумовлена тим, що за допомогою мікроконтролера (МК) можна знімати показники зі зразка-свідка для контролю товщини нанесеного покриття і передачі цих даних на мобільний застосунок в реальному часі, що б не було потреби перебувати у вакуумній установці на час відпрацювання технологічного процесу.

### 2.2 Мета створення системи

Основна мета розробки комп'ютеризованої системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері полягає у модернізації вакуумної установки УВН 71П-3 за допомогою МК, який буде контролювати температуру та товщину у вакуумній камері для якісного нанесення вакуумного покриття.

Для того, щоб досягти поставленої мети роботи, необхідно розв'язати наступні задачі:

- дослідити аналоги існуючих на ринку пристроїв;
- створити функціональну схему системи керування;

- здійснити вибір елементної бази (МК та пристроїв введення/виведення);
- розробити схему електричну принципову;
- виконати розрахунок ПІД-регулятора;
- виконати моделювання розробки в пакеті Simulink / Matlab;
- розробити ПЗ МК та мобільного застосунку

## 2.3 Характеристика об'єкту

### 2.3.1 Основні задачі та функції об'єкту

Передбачається розробити прототип системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері, Основні функції, що вимагають реалізації в комп'ютеризованій системі, що розробляється:

- встановлення температурного режиму;
- зняття даних температури та товщини покриття (поверхневого опору);
- виведення отриманих даних на екран;
- передавання даних з МК на мобільний застосунок.

## 3 Вимоги до системи

### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Система повинна бути спроектована так, щоб до її складу без особливих зусиль можна інтегрувати різні елементи управління, а також нові пристрої, не порушуючи при цьому структуру системи.

У проєктованій системі повинні бути забезпечені:

- надійність роботи апаратної частини;
- інтеграція з іншими виробниками пристроїв;
- продуктивність роботи програмного забезпечення;
- повністю реконфігурований інтерфейс;
- часова ефективність.

### 3.1.1 Вимоги до структури та функціонування системи

До структури та функціонування комп'ютеризованої системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері входять набір тактових кнопок, пов'язаних з портами МК; блок зняття температури, пов'язаний з вихідними портами контролера; рідкокристалічний дисплей для відображення інформації; blue-tooth модуль для передачі даних від МК до застосунку.

В цілому, концептуальна модель комп'ютеризованої системи повинна описувати предметну область.

Для прийому та обробки даних використовується мікроконтролер.

### 3.1.2 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

Пропоноване рішення застосовує SPI; I2C; USART (IrDA, ISC 7816); USB; CAN для передачі даних.

### 3.1.3 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностика комп'ютеризованої системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері відбувається у відповідності до затвердженого розкладу профілактичних заходів.

### 3.1.4 Перспективи розвитку, модернізація системи

Перспективами розвитку та модернізації комп'ютеризованої системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері є можливість подальшого розширення функціоналу контролера за допомогою під'єднання додаткових пристроїв системи керування та забезпечення повноекранного інтерфейсу користувача.

Існуюча апаратна складова системи при цьому не повинна зазнавати значних змін, а програмне забезпечення системи повинно передбачати гнучкість та здатність до масштабування.

### 3.1.5 Вимоги до надійності системи

Комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері повинна бути захищена на як на фізичному,

так і на програмному рівнях. Фізичний рівень захисту повинен забезпечувати надійність щодо доступу до апаратного забезпечення, зокрема мікроконтролера та під'єднаних до нього компонентів.

Програмний рівень захисту повинен передбачати захист від сторонніх втручань і впливів.

### 3.1.6 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Функціональні вимоги та задачі, які повинна реалізовувати комп'ютеризована система контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері полягають в наступному:

- можливість якісного визначення температури;
- можливість якісного визначення товщини покриття шляхом вимірювання опору;
- передача даних від МК;
- припинення роботи у разі виявлення несправностей;
- надання точних та адекватних результатів на запит користувачів;
- забезпечення часової ефективності роботи системи;
- забезпечення зручності використання програмної частини.

### 3.1.7 Вимоги до апаратного забезпечення

- плата STM32f103C8T6;
- тактовий перемикач ТС-0119;
- LCD дисплей Nokia 5110;
- bluetooth модуль HC-05.

### 3.1.8 Вимоги до програмного забезпечення

- мова програмування C;
- STM32Cube IDE;
- Matlab / Simulink.

## 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:

- 1 Функціональна системи керування пристроєм.
- 2 Під'єднання навантаження до МК через МОС3021 та Схема джерела живлення.
- 3 Налаштування конфігурації МК в IDE.
- 4 Схема під'єднання ПІД-регулятора до об'єкта управління у Simulink

\*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

- 5 Техніко-економічні показники

Планована собівартість комп'ютеризованої системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері повинна становити не більше 3 000 грн.

\*Примітка: собівартість системи може змінюватись під час розрахунку в процесі розробки.

- 6 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1.	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2.	Підбір джерел про системи контролю температури	03.02 – 06.04
3.	Опрацювання літературних джерел	07.04 – 10.05
4.	Виконання дослідження щодо розробки системи контролю температури та товщини нанесення гальванічного покриття у вакуумній камері	14.05 – 18.05
5.	Написання програмного коду	19.05 – 22.05
6.	Оформлення розділу «Аналіз предметної області»	23.05 – 26.05
7.	Оформлення розділу «Проектна частина»	27.05 – 28.05
8.	Оформлення розділу «Практична частина»	26.05 – 30.05
9.	Виконання завдання до підрозділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»	01.06 – 03.06
10.		

11.	Оформлення кваліфікаційної роботи	04.06 – 09.06
-----	-----------------------------------	---------------

7      Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.

## Додаток Б

### Лістинг фрагменту програми МК

```

//          Main.c
/*
  Last committed: $Revision:
    00 $ Last changed by:
    $Author: $
  Last changed date: $Date: $
  ID:          $Id: $ */

#include "stm32f0xx_conf.h"
#define HSE_VALUE ((uint32_t)8000000)
#include "pcd8544.h"
#include "eeprom.h"
#include "stdio.h"
#include "string.h"
#include "k_therm.h"
#include "pid.h"

typedef
  struct {
    void (* exec) ();
    void (* on_key) (int key_count,
    int rotation); }
  activity_t;

typedef enum {TARGET_ACTIVITY, TARGET_UINT, TARGET_PROC} e_target;

typedef struct {
  char      *caption;
  e_target  target;
  void      *pTarget;
  uint32_t  divider;
} menuitem_t;

// Змінні та структури
volatile unsigned int delay_val; // лічильник для delay_ms()
volatile unsigned int counter_frame; // лічильник інтервалів (такт 100мкс)
__IO uint16_t VAR_ADC[4];
uint32_t VAR_ADC_int[4] = {0,0,0,0};

```

```

uint16_t VAR_ADC_mid[4]= {0,0,0,0};
uint32_t adc_count=1;

/* Лічильник часу утримання кнопки */
int button_hold_count;
unsigned char temp_str[16]; //Рядок для printf unsigned char
pid_str [16]; ////Рядок для параметрів P,I,D
void main_onkey(int key_count, int rotation); void
main_exec();
void graph_onkey (int key_count, int rotation);

void graph_exec(); void reset_pid();
void menu_onkey(menuitem_t *menu,int key_count, int rotation);
void menu_exec(menuitem_t *menu);
void pid_menu_onkey(int key_count, int rotation);
void pid_menu_exec();
void calib_menu_exec(menuitem_t *menu);
void calib_menu_onkey(int key_count, int rotation);
void calib_save();

const activity_t main_activity= {&main_exec,&main_onkey};
const activity_t graph_activity= {&graph_exec,&graph_onkey};
const activity_t pid_menu_activity=
    {&pid_menu_exec,&pid_menu_onkey};
const activity_t calib_menu_activity=
    {&calib_menu_exec,&calib_menu_onkey};
const activity_t *current_activity=&main_activity;
/* PID */
pidData_t pid;
int32_t pid_data;
uint32_t P,I,D;
uint32_t pid_enabled;

//uint32_t Uint=1227000;
volatile int adc5mv=1736;
volatile int adc10mv=3164;
volatile int adc_base_temp=1729;
volatile int base_temp=277;

```

```

volatile int32_t adc_start_temp;
volatile int32_t
    avg_slope=4468; const
    menuitem_t pid_menu[]=
{
    ">ДАЛИ<",TARGET_ACTIVITY, &calib_menu_activity,0,
    "P-',TARGET_UINT, &P,1000,
    "I-',TARGET_UINT, &I,1000,
    "D-',TARGET_UINT, &D,1000,
    " СКИДАННЯ " ,TARGET_PROC, &reset_pid,0,
    0,0,0,0
};

const menuitem_t cali_menu[]=
{
    ">ДАЛИ< " ,TARGET_ACTIVITY, &main_activity,0,
    " ОКР= ",TARGET_UINT, &base_temp,10,
    " SLOPE= " ,TARGET_UINT, &avg_slope, 1000,
    " ADC5= " ,TARGET_UINT, &adc5mv,1,
    " ADC10= " ,TARGET_UINT, &adc10mv,1,3
    " ЗБЕРЕГТИ " ,TARGET_PROC, &calib_save,0,
    0,0,0,0
};

uint32_t menu_pos=0;
uint32_t menu_selected=0;

char pid_divider = 0;
int target_temp=50;
int32_t
    amb_tempA,amb_temp,heat_temp;
int32_t mVolt;
/* History */
#define HIST_DELAY 10
signed char temp_history[512];
short hist_x=sizeof(temp_history)-
86; int hist_count = 0;

```

```
// переривання SysTick - відлік 100 мкс інтервалів
void SysTick_Handler(void)
{
    if (delay_val>0)
        delay_val--;
        counter_frame++;
}

```

```
// реалізація затримки на delay_value мілісекунд
void delay_ms(unsigned int delay_value)
{
    delay_val = delay_value * 10;
    while (delay_val != 0) _WFI
        ();
}

```

Реалізація затримки, вирівнювання кадром

```
void delay_frame_ms(unsigned int delay_value)
{
    delay_val = delay_value * 10;
    while (counter_frame % delay_val) _WFI();
}

```

// Реалізація затримки на delay\_value \* 10 мкс

```
void delay_10us (unsigned int delay_value)
{
    delay_val=delay_value;
    while (delay_val != 0);
}

```

```
static void DMA_Config(void)
{

```

```
DMA_InitTypeDef DMA_InitStructure;
```

```
/* DMA1 clock enable */
```

```
RCC_AHBPeriphClockCmd(RCC_AHBPeriph_DMA1, ENABLE);
```

```
/* DMA1 Channell Config */
```

```
.....
```

## Додаток В

### Лістинг програми мобільного застосунку

```

privateclass ConnectThreadextends Thread {
private final BluetoothSocket mmSocket;
private final BluetoothDevice mmDevice;

public ConnectThread(BluetoothDevice device) {

// використовуємо допоміжну змінну
BluetoothSocket tmp=null;
mmDevice = device;

// отримуємо BluetoothSocket щоб з'єднатися з BluetoothDevice
try{
// MY_UUID це UUID, який використовується і d сервері
tmp= device.createRfcommSocketToServiceRecord(MY_UUID);
} catch (IOException e)
{} mmSocket = tmp;
}

public void run()
{
// Скасуємо сканування (це потрібно, щоб не гальмувати процес, можна
// прибрати за бажання)
mBluetoothAdapter.cancelDiscovery();
try {
// З'єднуємося із пристроєм через сокет.
// Метод блокує виконання програми до встановлення з'єднання чи
//виникнення помилки
mmSocket.connect();
} catch (IOException connectException) {
// Неможливо з'єднатися. Закриваємо сокет та виходимо.
try {
mmSocket.close();
} catch (IOException closeException) {} return;
}

// керуємо з'єднанням (в окремому потоці)
manageConnectedSocket(mmSocket);
}

```

```
/** скасування очікування сокету */
public void cancel(){ try {
mmSocket.close();
} catch (IOException e) {}
}

// приймаємо дані
try{
tmpIn= socket.getInputStream();
tmpOut= socket.getOutputStream();
} catch (IOException e)
{} public void REC () {
byte[] buffer=new byte[32];// буферний масив int
bytes;// bytes returned from read()

// Прослуховуємо InputStream поки не станеться виняток

while (true) {try {
// Читаємо з InputStream bytes =
tmpIn.read (buffer);
//прочитані байти
mHandler.obtainMessage(MESSAGE_READ,bytes,buffer).paring(«.» ,buffer[
15], buffer[31]);
} catch (IOException e) {break;
}
}

// Відображаємо на екрані Label1.ValueStr = Func1(buffer, 0, 15);
Label2.ValueStr = Func2(buffer, 16, 31);
}
```