

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УЖГОРОДСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

ДО ЗАХИСТУ ДОПУЩЕНО

Завідувач кафедри

к.ф.-м.н., Ігор ЧИЧУРА

« _____ » _____ 2025 р.

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної бакалаврської роботи на тему:

БАГАТОКАНАЛЬНИЙ АВТОМАТИЧНИЙ ТЕРМОРЕГУЛЯТОР

Виконав:

Василиха Олександр Романович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник:

к.ф.-м.н., Чичура І.І., ст.викл.
(вчене звання, ПІБ, посада)

_____ (підпис)

Ужгород – 2025

Ужгородський національний університет

Інженерно-технічний факультет
Кафедра приладобудування
Освітньо-кваліфікаційний рівень "Бакалавр"
Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

"__" _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ РОБОТУ
СТУДЕНТУ Василісі Олександрі Романовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)**

- Тема КБР «Багатоканальний автоматичний терморегулятор» та керівник роботи, Чичура Ігор Іванович, ст. викладач, (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання) затвержені Розпорядженням по ІТФ від "___" _____ 20__ року №__.
- Строк подання студенткою роботи на кафедру: "12" червня 2025 року.
- Вихідні дані до роботи: зробити короткий аналіз інформації про готові технічні рішення, пристрої, яві входять до складу сучасних терморегуляторів.
Умови експлуатації пристрою: стандартні метеорологічні умови використання терморегуляторів.
Характеристики пристрою: основні параметри та характеристики встановлюються студентом у процесі виконання роботи.
- Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, огляд літератури по темі КБР, розробка схеми електричної принципової та програмного забезпечення для терморегулятора
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): схема електрична принципова, схема структурна принципова.
- Консультації розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання: "_____" лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання БКР	Строк виконання етапів проєкту	Примітка
1	Огляд літератури	До 3/03/25	
2	Пошук на аналіз об'єктів дослідження	До 17/03/25	
3	Вибір елементів терморегулятора	До 12/04/25	
4	Розробка структурної та принципової схеми	До 30/04/25	
5	Розробка алгоритму та програмного забезпечення	До 12/05/25	
6	Оформлення текстової частини	До 10/06/25	

Студент _____ Олександр Василюха

(підпис)

Ім'я ПРИЗВИЩЕ

Керівник КБР _____ Ігор Чичура

(підпис)

Ім'я ПРИЗВИЩЕ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційної бакалаврської роботи: 44 с, 4 табл., 3 рис., 17 джерел.

АВТОМАТИЧНИЙ, ТЕМПЕРАТУРА, ТЕРМОРЕГУЛЯТОР.

Об'єкт дослідження – автоматичний терморегулятор.

Мета роботи – розробка автоматичного терморегулятора

В даній КБР розглянуто теорію терморегулювання, датчики температури.

Розроблено схему електричну принципову та структурну принципову, алгоритм та код програмного забезпечення.

ABSTRACT

Explanatory note of the qualifying bachelor's thesis: 44 p., 4 tables, 3 figures, 17 sources.

AUTOMATIC, TEMPERATURE, THERMOREGULATOR.

The object of the study is an automatic thermostat.

The purpose of the work is to develop an automatic temperature regulator

In this work, considers the theory of temperature regulation, temperature sensors.

An electrical schematic and structural schematic, algorithm and software code have been developed.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ.....	8
1.1 Фізичні принципи вимірювання та регулювання температури.....	8
1.2 Класифікація терморегуляторів: одноканальні та багатоканальні.....	10
1.3 Основи автоматичного керування температурними процесами.....	12
2 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА.....	16
2.1 Функціональні елементи системи багатоканального терморегулятора.....	16
2.2 Принципи побудови багатоканальних систем терморегулювання.....	18
2.3 Взаємодія каналів в системі терморегулювання: методи координації та узгодження.....	21
3 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА.....	25
3.1 Типи датчиків температури, що застосовуються у багатоканальних терморегуляторах.....	25
3.2 Апаратна та програмна реалізація систем керування температурою.....	27
3.3 Надійність і точність терморегулювання: фактори впливу та методи підвищення ефективності.....	30
4 РОЗРОБКА ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА.....	34
4.1 Схема структурна терморегулятора.....	34
4.2 Схема електрична принципова.....	35
4.3 Розробка алгоритму та коду програми.....	35
ВИСНОВКИ.....	38
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39
Додаток А.....	42

						КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Василиха О.Р.			Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірив		Чичура І.І.			У	6	44	
Г. контр.					УжНУ, ІТФ, 4 курс, денна форма			
Контр.		Рябошук М.М.						
Затвердив		Чичура І.І.						
					<i>Багатоканальний автоматичний терморегулятор</i>			

ВСТУП

У сучасному світі контроль і регулювання температури відіграють критично важливу роль у багатьох галузях промисловості, сільського господарства, наукових досліджень та побутових умовах. Розвиток автоматизованих систем керування дозволив значно підвищити ефективність виробничих процесів, знизити втрати енергії та забезпечити стабільні умови функціонування обладнання. Саме тому системи терморегулювання, зокрема багатоканальні, мають стратегічне значення для сучасного технологічного середовища.

Складність сучасних технологічних процесів часто потребує одночасного контролю температури у декількох зонах або компонентах. У таких випадках звичайні одноканальні терморегулятори виявляються недостатньо ефективними. Багатоканальні терморегулятори забезпечують можливість одночасного керування температурними параметрами у декількох точках, що дозволяє досягати більш точного, координованого і стабільного керування процесами.

Із розвитком мікроелектроніки, сенсорних технологій та алгоритмів керування з'явилася можливість створення доступних і високоефективних багатоканальних терморегуляторів. Сучасні мікроконтролери дозволяють реалізовувати складні логічні зв'язки між каналами, забезпечуючи гнучке реагування на зміни умов. Це відкриває нові перспективи для оптимізації технологічних процесів, зменшення витрат та підвищення якості продукції.

В умовах глобального зростання вимог до енергоефективності і сталого розвитку автоматичні терморегулятори є не лише інструментом точного керування, а й засобом зниження споживання енергоресурсів. Багатоканальні системи дозволяють рівномірно розподіляти навантаження, керувати тепловими потоками і своєчасно реагувати на відхилення від заданих параметрів, тим самим сприяючи зменшенню енергетичних втрат.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АВТОМАТИЧНОГО ТЕРМОРЕГУЛЮВАННЯ

1.1 Фізичні принципи вимірювання та регулювання температури

Температура є однією з основних фізичних величин, що характеризує тепловий стан тіла або середовища. Вимірювання температури базується на використанні властивостей речовин, які змінюються в залежності від теплового впливу. Найпоширенішими фізичними ефектами для температурного контролю є термоелектричний, терморезистивний, напівпровідниковий та інші ефекти.

Одним з найбільш давніх та надійних методів вимірювання температури є використання термопар. Принцип дії термопари базується на термоелектричному ефекті Зеєбека — виникненні електрорушійної сили в замкненому колі, утвореному з двох різнорідних металів, між якими існує різниця температур.

Іншим поширеним принципом є використання терморезисторів або термосопротивлень, які змінюють свій електричний опір залежно від температури. Ці елементи виготовляють з металів або напівпровідників. Для металів характерне лінійне зростання опору зі збільшенням температури, що робить їх зручними для точних вимірювань. [1, с. 104]

Напівпровідникові терморезистори, зокрема термістори, мають набагато більший температурний коефіцієнт опору, що дозволяє отримувати високу чутливість, проте вони менш стабільні в порівнянні з металевими аналогами. Терморегулятори на основі термісторів часто використовуються в побутових приладах, де надвисока точність не є критичною. Крім електричних методів, існують також оптичні способи вимірювання температури, зокрема пірометри. Вони базуються на вимірюванні інтенсивності теплового випромінювання, що випускається тілом. Цей метод особливо корисний при вимірюваннях температури об'єктів, до яких неможливо доторкнутися безпосередньо.

Основним завданням терморегулятора є не лише вимірювання, але й підтримання заданої температури. Це досягається шляхом порівняння реальної температури із заданою та коригуванням теплового впливу за допомогою

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

виконавчих пристроїв. Найпростішим прикладом такого впливу є включення або виключення нагрівача.

Регулювання температури може здійснюватися за різними законами керування: пропорційним, інтегральним, диференціальним або їх комбінацією. Найчастіше використовується ПІД-регулювання, яке дозволяє забезпечити як точність, так і стабільність температурного режиму.

У реальних системах важливо враховувати інерційність об'єкта регулювання, тобто часову затримку між подачею сигналу керування і фактичною зміною температури. Цей фактор ускладнює процес стабілізації і вимагає точного налаштування параметрів регулятора.

Також слід брати до уваги теплові втрати, які можуть виникати через недосконале теплоізолювання, коливання навколишнього середовища або зміни навантаження. Для їх компенсації система терморегулювання повинна мати адаптивні або самоналаштовувальні властивості.

Важливу роль відіграє і вибір датчиків температури. Для багатоканальних систем необхідно забезпечити їхню взаємну сумісність, точність та стабільність характеристик у широкому діапазоні температур. Часто застосовуються цифрові датчики, які мають вбудовану систему обробки сигналу та компенсації похибок.

Процес вимірювання температури може бути ускладнений наявністю шумів та перешкод, особливо в умовах промислових середовищ. Тому важливо передбачити фільтрацію сигналів, як апаратну, так і програмну, для забезпечення достовірності інформації.

Регулювання може бути двопозиційним або багатоступеневим. У простих системах досить двопозиційного принципу (вкл/викл), однак у більш складних – зокрема в багатоканальних регуляторах – використовуються плавні або ступінчасті режими керування, що забезпечують економію енергії та зменшення зносу обладнання. [2, с. 18]

У сучасних терморегуляторах все частіше використовуються мікропроцесорні або мікроконтролерні засоби управління, які дозволяють реалізувати складні алгоритми регулювання, зберігання історії вимірювань, а також віддалений моніторинг і керування через мережі.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Особливість багатоканальних систем полягає в необхідності одночасного контролю кількох температурних точок. Це вимагає синхронізації вимірювань, збалансованого розподілу ресурсів регулятора, а також алгоритмів виявлення та компенсації відхилень у кожному окремому каналі.

Застосування автоматичних терморегуляторів охоплює широкий спектр галузей – від побутової техніки до промислових технологічних процесів. Ключовими вимогами є точність, швидкодія, надійність та гнучкість у налаштуванні режимів роботи, що забезпечується за рахунок використання сучасних елементів і алгоритмів.

1.2 Класифікація терморегуляторів: одноканальні та багатоканальні

Терморегулятори відіграють ключову роль у забезпеченні стабільного температурного режиму в різних технологічних процесах. Вони класифікуються за багатьма ознаками, серед яких однією з основних є кількість каналів керування. Залежно від цього, терморегулятори поділяються на одноканальні та багатоканальні системи.

Одноканальні терморегулятори є найпростішими пристроями, які призначені для контролю температури в одній конкретній точці. Вони широко використовуються в побутовій техніці, лабораторних установках, невеликих технологічних процесах, де необхідно підтримувати стабільну температуру в одному об'єкті. Принцип роботи одноканального терморегулятора полягає у зчитуванні температури з одного датчика, порівнянні її із заданим значенням та формуванні керуючого сигналу для виконавчого пристрою (нагрівача або охолоджувача). Як правило, такі пристрої мають просту конструкцію та не потребують складного налаштування. [3, с. 56]

Системи з одним каналом регулювання можуть працювати в режимі двопозиційного або аналогового керування. У випадку двопозиційного керування терморегулятор вмикає або вимикає нагрівач при досягненні заданого порогу температури. Аналогове керування дозволяє більш точно дозувати потужність нагріву, забезпечуючи плавну зміну температури.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Багатоканальні терморегулятори, на відміну від одноканальних, здатні одночасно контролювати декілька температурних точок. Це робить їх незамінними у складних технологічних системах, де важливо дотримуватись різних температурних режимів для кількох об'єктів або зон. Конструктивно багатоканальний терморегулятор містить декілька входів для датчиків температури та відповідну кількість каналів керування виконавчими пристроями. Такі системи часто реалізуються на базі мікроконтролерів або промислових ПЛК, що дозволяє реалізувати гнучке налаштування логіки регулювання для кожного каналу окремо.

Однією з переваг багатоканальних систем є економія ресурсів за рахунок централізованого керування. Наприклад, у багатокамерних печах або термокамерах використання одного контролера з декількома каналами є більш ефективним, ніж встановлення декількох окремих регуляторів. Ще однією важливою функцією багатоканальних терморегуляторів є можливість реалізації взаємозв'язків між каналами. Це дозволяє координувати нагрівання різних зон об'єкта, щоб уникнути температурних перекосів або досягти рівномірного розподілу тепла.

Незважаючи на очевидні переваги, багатоканальні системи є більш складними в реалізації та потребують високої точності в налаштуваннях, а також складнішого програмного забезпечення. Вони також потребують більшої кількості елементів, що збільшує загальну вартість обладнання. Одноканальні терморегулятори, у свою чергу, мають перевагу в простоті експлуатації. Вони не потребують складного налаштування, зручні в обслуговуванні, ідеальні для невеликих об'єктів, де не потрібне багатоточкове регулювання.

Вибір між одноканальною та багатоканальною системою залежить від конкретних вимог технологічного процесу. Якщо необхідний контроль лише однієї температурної зони, доцільніше обрати простий і надійний одноканальний регулятор. Якщо ж завдання передбачає контроль кількох зон — ефективніше використовувати багатоканальний пристрій.

Також важливо враховувати тип середовища, яке контролюється. Наприклад, у харчовій промисловості, де одночасно обробляються декілька

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

продуктів у різних умовах, застосування багатоканального терморегулятора дозволяє забезпечити високу якість та точність технології.

Сучасні багатоканальні регулятори оснащуються інтерфейсами зв'язку, які дозволяють обмінюватися даними з комп'ютером або WEB-сервером. Це відкриває можливості для автоматизованого збору даних, аналізу, архівації та віддаленого керування технологічним процесом. [4, с. 92]

У таблиці нижче представлено порівняння основних характеристик одноканальних і багатоканальних терморегуляторів.

Таблиця 1.1 — Порівняння одноканальних і багатоканальних терморегуляторів

Характеристика	Одноканальні терморегулятори	Багатоканальні терморегулятори
Кількість зон регулювання	1	Від 2 і більше
Складність конструкції	Низька	Висока
Гнучкість налаштувань	Обмежена	Широка
Вартість	Низька	Вища
Споживання ресурсів	Вища при множинному використанні	Економна централізація
Призначення	Побутові і прості техпроцеси	Складні технологічні системи
Можливість взаємозв'язку каналів	Відсутня	Присутня
Підключення до мереж	Обмежене	Часто з мережевими інтерфейсами

Отже, розуміння класифікації терморегуляторів за кількістю каналів дозволяє обрати оптимальне рішення для конкретної задачі. Правильний вибір забезпечує ефективність, енергозбереження та високу якість технологічного процесу.

1.3 Основи автоматичного керування температурними процесами

Автоматичне керування температурними процесами ґрунтується на використанні технічних засобів, які дозволяють без участі людини підтримувати температуру в межах заданого значення. Такий підхід значно підвищує точність,

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

стабільність і ефективність технологічних процесів, зменшує енергоспоживання та людський фактор.

Основою будь-якої системи автоматичного регулювання температури є замкнене коло керування, яке включає вимірювальний пристрій (датчик температури), регулятор і виконавчий механізм. Сигнал з датчика передається на регулятор, де порівнюється з заданим значенням. На основі цієї різниці (похибки) формується керуючий сигнал, що змінює стан нагрівача або охолоджувача. Найпростішим методом регулювання температури є двопозиційне керування, коли виконавчий механізм може перебувати лише в двох станах – ввімкнено або вимкнено. Такий метод часто використовується в побутових приладах, де не потрібна висока точність. Однак він не дозволяє уникнути коливань температури навколо заданої точки.

Більш точним методом є пропорційне керування, при якому керуючий вплив змінюється пропорційно до величини відхилення температури від заданого значення. Це дозволяє забезпечити більш плавне керування, зменшуючи коливання та запобігаючи перегріву чи переохолодженню. [5, с. 33]

Інтегральне керування враховує не лише поточне відхилення, але й його тривалість. Якщо температура відхиляється від заданої протягом тривалого часу, то інтегральна складова накопичується і посилює керуючий вплив, що дозволяє ефективно усунути систематичні похибки.

Диференціальне керування реагує на швидкість зміни температури. Якщо температура починає змінюватися занадто швидко, регулятор завчасно вносить корективи, запобігаючи перерегулюванню. Цей тип керування особливо ефективний у динамічних системах, де важлива швидкодія.

Найчастіше в системах автоматичного регулювання температури використовується комбінований ПІД-регулятор, що об'єднує пропорційну, інтегральну та диференціальну складові. Такий підхід дозволяє забезпечити як точність, так і швидкість реакції системи на зовнішні зміни. Алгоритми ПІД-регулювання можуть бути реалізовані як в аналоговому, так і в цифровому вигляді. У сучасних системах переважає цифрова реалізація, яка дозволяє точно

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

налаштовувати параметри регулятора, зберігати історію вимірювань, виконувати додаткову логіку керування.

Для ефективної роботи ПІД-регулятора важливо правильно налаштувати його параметри: коефіцієнти пропорційності, інтегрування та диференціювання. Існують різні методи налаштування, як експериментальні (метод Зіглера-Ніколса), так і автоматизовані, що базуються на адаптивних алгоритмах.

У складних багатоканальних системах регулювання може здійснюватися за допомогою децентралізованих або централізованих схем. У першому випадку кожен канал має власний регулятор, а в другому – один регулятор обробляє інформацію з усіх каналів. Централізований підхід дозволяє реалізувати оптимальні стратегії керування, але вимагає потужнішого обчислювального обладнання. У випадках, коли система має нелінійні характеристики або змінюється в часі, застосовуються адаптивні алгоритми регулювання. Такі алгоритми автоматично підлаштовують свої параметри відповідно до змін стану об'єкта, що дозволяє забезпечити стабільну роботу навіть в умовах нестабільних процесів.

Крім класичних методів, у сучасних системах автоматичного регулювання все частіше застосовуються інтелектуальні алгоритми на основі нечіткої логіки, нейронних мереж або генетичних алгоритмів. Вони дозволяють досягати високої ефективності в умовах складних та слабо формалізованих процесів.

Автоматичні системи регулювання температури можуть працювати як в режимі зворотного зв'язку, так і у відкритому циклі. У першому випадку регулятор постійно порівнює реальну температуру із заданою, у другому – керування здійснюється без урахування результату, що знижує точність, але спрощує систему. [6, с. 10]

При розробці алгоритмів керування важливо враховувати інерційність об'єкта, тобто часову затримку між подачею сигналу і фактичним змінням температури. Неврахування цього фактора може призвести до коливань, нестабільної роботи або навіть до збоїв у системі.

Загалом, вибір методу та алгоритму регулювання залежить від характеру об'єкта керування, точності вимог, динаміки процесу, кількості контрольованих

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

точок та технічних можливостей системи. У правильно налаштованій автоматичній системі температура підтримується з мінімальним відхиленням, забезпечуючи стабільність технологічного процесу та економію ресурсів.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

2 СТРУКТУРА ТА ПРИНЦИП ДІЇ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА

2.1 Функціональні елементи системи багатоканального терморегулятора

Багатоканальний терморегулятор є складною автоматизованою системою, яка призначена для одночасного контролю та регулювання температури у кількох незалежних точках або зонах. Для ефективної роботи такої системи необхідно забезпечити чітку взаємодію між її функціональними елементами, кожен з яких виконує певну роль у загальному циклі керування.

Основою системи є датчики температури, які забезпечують первинний збір інформації про стан об'єкта. У багатоканальних терморегуляторах використовуються одночасно кілька таких датчиків – по одному на кожен контрольований канал. Це можуть бути термопари, терморезистори або цифрові температурні сенсори, вибір яких залежить від умов експлуатації та необхідної точності. Зчитана датчиком інформація передається до обчислювального модуля – мікроконтролера або мікропроцесора, який виконує функції аналізу та обробки даних. У цьому модулі реалізується алгоритм регулювання температури, який може бути реалізований як простий (наприклад, двопозиційний), так і складний (ПІД, адаптивний, нечіткий логічний тощо). [7, с. 23]

Одним із важливих елементів є інтерфейс аналого-цифрового перетворення (АЦП), особливо у випадках, коли використовуються аналогові датчики температури. АЦП забезпечує перетворення аналогового сигналу датчика у цифрову форму, яка далі обробляється мікроконтролером.

Ще одним ключовим елементом системи є модуль виконавчих пристроїв. До нього підключаються пристрої, що безпосередньо впливають на температурний режим: нагрівачі, охолоджувачі, вентилятори, тенти тощо. Вихідні сигнали формуються згідно з розрахованими значеннями, отриманими з регулюючого алгоритму. Для керування виконавчими пристроями система оснащується модулями ключового керування – транзисторами, симісторами або

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

реле. Вони відповідають за комутацію електричної енергії до нагрівальних чи охолоджувальних елементів у кожному з каналів.

Живлення системи терморегуляції також є важливим функціональним компонентом. Воно повинне забезпечувати стабільну роботу мікроконтролера, датчиків та виконавчих модулів. У деяких випадках застосовуються окремі стабілізовані джерела живлення для різних частин системи, щоб уникнути перешкод.

Управління системою здійснюється через модуль інтерфейсу користувача – це можуть бути кнопки, сенсорна панель, рідкокристалічний або OLED-дисплей. Користувач має змогу задавати потрібні параметри температури для кожного каналу, виводити поточні значення та отримувати повідомлення про помилки. Щоб забезпечити взаємодію з зовнішніми пристроями або системами, сучасні багатоканальні терморегулятори оснащуються комунікаційними модулями. Це можуть бути UART, I2C, SPI, RS-485, Ethernet або Wi-Fi інтерфейси, які дозволяють організувати передачу даних на інші пристрої або сервери.

Для безпеки системи та збереження працездатності в аварійних ситуаціях передбачаються модулі захисту – від перенапруги, перегріву, короткого замикання. Додатково можуть бути реалізовані функції аварійного відключення або сигналізації.

Окреме значення має програмне забезпечення, яке реалізує алгоритми регулювання, логіку перемикання між каналами, обробку помилок, а також зберігання історії змін температури та параметрів. Це забезпечує не тільки автоматичне функціонування, а й гнучкість налаштування системи.

З метою зменшення енергоспоживання й покращення ефективності, система може мати функцію пріоритетного керування каналами, при якій у разі дефіциту ресурсів живлення або перевантаження пріоритет мають критично важливі зони. Налаштування та тестування багатоканальної системи відбувається за допомогою відповідного програмного забезпечення, яке може працювати на комп'ютері, смартфоні або безпосередньо на вбудованому інтерфейсі. Через це важливим елементом є наявність прошивки, що підтримує різні функціональні режими.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Також важливою складовою є конструктивне виконання системи – вона повинна бути розміщена у корпусі, що забезпечує захист від пилу, вологи та механічних пошкоджень. Надійне механічне виконання гарантує довговічність та безпеку експлуатації. [8, с. 78]

У таблиці нижче наведено основні функціональні елементи системи багатоканального терморегулятора та їх призначення.

Таблиця 2.1 — Основні функціональні елементи багатоканального терморегулятора

Елемент системи	Призначення
Датчики температури	Вимірювання температури у кожному контрольованому каналі
Мікроконтролер	Обробка даних, виконання алгоритмів регулювання
АЦП	Перетворення аналогових сигналів у цифрову форму
Виконавчі пристрої	Фізичне нагрівання або охолодження об'єкта
Ключі керування	Комутація живлення до виконавчих елементів
Блок живлення	Забезпечення електроенергією усіх компонентів системи
Інтерфейс користувача	Взаємодія користувача з системою, налаштування параметрів
Комунікаційні інтерфейси	Передача даних на інші пристрої або у зовнішні системи
Захисні модулі	Захист системи від аварійних режимів
Програмне забезпечення	Логіка регулювання, обробка помилок, збереження даних

Таким чином, багатоканальний терморегулятор є комплексною системою, в якій кожен функціональний елемент відіграє важливу роль у забезпеченні стабільного та ефективного керування температурними процесами. Надійність і точність роботи всієї системи значною мірою залежить від правильної взаємодії між цими компонентами.

2.2. Принципи побудови багатоканальних систем терморегулювання

Багатоканальні системи терморегулювання створюються з метою забезпечення одночасного та незалежного контролю температури у кількох зонах або технологічних вузлах. Такі системи особливо актуальні у складних виробничих процесах, лабораторному обладнанні, розумних будинках та приладах, що потребують точного дотримання температурних параметрів.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Основним принципом побудови є поділ системи на окремі функціональні модулі, що забезпечують модульність, масштабованість і зручність обслуговування.

На етапі проектування багатоканальної системи терморегулювання перш за все визначається кількість каналів — тобто точок, у яких необхідно здійснювати вимірювання та регулювання температури. Кожен канал зазвичай проектується як автономна одиниця, яка має власний температурний сенсор, вхід для обробки даних і вихід на виконавчий елемент. Це забезпечує незалежність регулювання в кожній точці. Для координації роботи кількох каналів застосовується центральний керуючий блок, найчастіше у вигляді мікроконтролера з достатньою кількістю аналогових або цифрових входів/виходів. У разі, якщо необхідна висока масштабованість, система будується з урахуванням можливості каскадного підключення додаткових модулів. Такий підхід дозволяє розширювати систему без необхідності повної її перебудови. [9, с. 15]

Принцип паралельної обробки каналів є ключовим для багатоканальних систем. Це означає, що кожен канал може отримувати й обробляти свої дані незалежно від інших. Такий принцип забезпечується або багатоядерною обробкою на рівні мікропроцесора, або оптимізацією програмного забезпечення з використанням мультипотоківих алгоритмів.

У більш простих реалізаціях система може мати мультиплексований вхід, коли кілька аналогових датчиків підключаються до одного АЦП через мультиплексор. У такому випадку мікроконтролер по черзі опитує кожен канал, що трохи знижує швидкість, але значно зменшує кількість необхідного обладнання.

Принцип адресності також широко застосовується в цифрових термосенсорах, які підключаються до однієї шини зв'язку, наприклад, I2C або 1-Wire. Кожен датчик має унікальну адресу, що дозволяє контролеру зчитувати температуру з кожного сенсора без окремих ліній зв'язку для кожного каналу.

Багатоканальні системи терморегулювання, як правило, побудовані за принципом замкненого зворотного зв'язку. Це означає, що кожен канал не лише вимірює температуру, а й коригує її відповідно до заданого значення. Такий принцип дозволяє підтримувати стабільну температуру навіть у випадку зміни

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

зовнішніх умов або внутрішніх процесів. У складних системах також реалізується логіка пріоритетності каналів. У разі перевантаження системи або обмеження ресурсів (наприклад, за нестачі потужності) регулятор може обмежити або тимчасово вимкнути канали з менш критичним призначенням. Це дозволяє зберегти працездатність системи загалом і захистити відповідальні вузли. [10, с. 47]

Принцип модульності дозволяє будувати багатоканальні системи у вигляді окремих плат або модулів, які об'єднуються між собою. Це спрощує не лише проектування, а й обслуговування, діагностику та модернізацію. У разі виходу з ладу одного з каналів система може продовжувати працювати в обмеженому режимі без повного зупинення.

Особлива увага приділяється синхронізації каналів. У деяких системах, наприклад, у термоаналізаторах, важливо, щоб вимірювання у різних точках відбувались одночасно. Це досягається завдяки точному тактуванню або використанню зовнішніх таймерів, синхронізованих із головним процесором.

Принцип програмної конфігурованості забезпечує можливість адаптації системи до конкретного об'єкта. Це означає, що кожен канал може мати свої власні параметри: тип регулювання, межі температур, швидкість реакції, час інтегрування тощо. Такий підхід значно підвищує універсальність системи.

Енергоефективність — ще один важливий принцип побудови. Оскільки в системі можуть бути десятки або сотні каналів, важливо забезпечити мінімальне споживання енергії при збереженні точності та швидкодії. Для цього використовуються енергозберігаючі мікросхеми, оптимізовані алгоритми опитування та режим «сну» для невикористовуваних каналів.

У деяких системах впроваджено принцип резервування. Це означає, що один із каналів може автоматично підключатися замість несправного, або що система має резервні датчики, які вмикаються у разі виходу основного з ладу. Така побудова актуальна для критичних застосувань, де неприпустимий повний відказ регулювання. [11, с. 61]

Завершальним принципом є взаємодія з іншими автоматизованими системами. Сучасні багатоканальні терморегулятори можуть бути частиною

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

більших систем автоматизації, таких як SCADA, і передавати свої дані в центральний диспетчерський пункт або у хмарні сервіси. Це досягається завдяки стандартним протоколам обміну даними, наприклад Modbus, MQTT, TCP/IP.

Побудова багатоканальних систем терморегулювання базується на поєднанні технічних, програмних та логічних рішень, які забезпечують точність, надійність, масштабованість та адаптивність до змінних умов. Раціональне поєднання усіх принципів дозволяє створювати ефективні та зручні в експлуатації системи, здатні задовольнити вимоги як промислових, так і побутових застосувань.

2.3. Взаємодія каналів в системі терморегулювання: методи координації та узгодження

У багатоканальних системах терморегулювання важливо забезпечити не лише незалежну роботу кожного каналу, але й належну координацію між ними. Це пов'язано з тим, що в багатьох випадках температурні зони не є повністю ізольованими, і зміни в одному каналі можуть впливати на сусідні. Таким чином, ключовим завданням є реалізація методів узгодження, які дозволяють оптимізувати спільну роботу каналів для досягнення заданих температурних режимів.

Одним із фундаментальних аспектів координації є контроль перехресного впливу між зонами. Наприклад, якщо один канал регулює температуру нагрівального елемента, розташованого близько до іншого, то нагрів одного з них неминуче позначається на температурі в іншому. У такому випадку алгоритми мають враховувати зв'язок між каналами для компенсації небажаних ефектів. У реальних багатоканальних системах часто використовується матрична модель взаємозв'язків, де кожному каналу присвоюються коефіцієнти впливу на інші. На основі цієї матриці система коригує керуючі сигнали не лише на основі локального зворотного зв'язку, але й з урахуванням змін у сусідніх зонах. Такий підхід забезпечує точніше та стабільніше керування. [11, с. 61]

Координація каналів також проявляється у використанні глобального контролера, який виконує аналіз усіх температурних параметрів у системі

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

загалом. У такому випадку мікроконтролер виступає не лише як пристрій для обробки окремих каналів, а як центральний регулятор, що оптимізує роботу всіх елементів на основі комплексних алгоритмів.

У деяких системах реалізується принцип «головного» і «підлеглих» каналів. При цьому один з каналів визначає основний температурний режим, а решта підлаштовуються під нього. Така стратегія дозволяє уникнути конфліктів у керуванні та забезпечити більш гармонійне функціонування всієї системи.

Ще одним ефективним методом є застосування прогностичного регулювання, яке ґрунтується на математичних моделях динаміки об'єкта. Прогнозування дозволяє заздалегідь врахувати майбутні зміни температур і адаптувати керуючі дії так, щоб уникнути перегріву або переохолодження у взаємозалежних каналах. Координація також досягається шляхом синхронізації керуючих дій. Якщо декілька каналів мають регулювати однакову або подібну температуру, система може одночасно змінювати параметри в усіх зонах. Такий підхід ефективний у технологіях, де необхідно забезпечити рівномірний нагрів у великому об'ємі.

У системах з обмеженими ресурсами живлення або тепловідведенням важливим є принцип узгодження навантаження між каналами. Наприклад, якщо одночасна активація кількох нагрівачів перевищить допустиму потужність, система автоматично розподіляє навантаження в часі, вмикаючи канали послідовно або чергуючи їх.

Важливим аспектом є моніторинг температурної стабільності. Якщо один з каналів демонструє часті коливання, це може свідчити про його вплив на інші або неправильне налаштування. Система повинна фіксувати подібні ситуації й автоматично вносити корективи у параметри регулювання.

У багатьох реалізаціях застосовується метод адаптивної координації, коли параметри взаємодії між каналами змінюються в процесі експлуатації залежно від фактичної поведінки системи. Це дозволяє покращити точність і зменшити енергоспоживання за рахунок гнучкого реагування на зовнішні умови. Для організації ефективної взаємодії каналів важливо мати потужну систему зворотного зв'язку. Вона забезпечується як апаратними засобами (датчики, модулі

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

передачі даних), так і програмними – завдяки постійному аналізу тенденцій зміни температур і відповідних коригуючих дій.

У системах, де канали мають різні цільові значення температур, важливо не лише уникати взаємного впливу, але й забезпечити виконання пріоритетів. Це досягається шляхом введення вагових коефіцієнтів, які вказують на важливість дотримання того чи іншого температурного режиму у загальній стратегії керування. [12, с. 38]

Принцип узгодженості також полягає у спільному використанні логіки захисту та аварійного відключення. Якщо один з каналів виявляє критичну ситуацію, система може автоматично зупинити роботу інших, щоби уникнути подальшого пошкодження об'єкта або виходу з ладу обладнання. Методи координації можуть бути як централізованими, коли всі рішення приймає головний контролер, так і децентралізованими – коли канали обмінюються інформацією між собою та колективно приймають рішення про коригування. Обидва підходи мають свої переваги й застосовуються залежно від складності системи та вимог до її гнучкості.

У таблиці нижче наведено порівняльну характеристику основних методів координації каналів у багатоканальних терморегуляторах.

Таблиця 2.2 — Основні методи координації каналів у системах терморегулювання

Метод координації	Опис	Переваги	Недоліки
Централізоване керування	Рішення приймає головний контролер	Висока узгодженість дій, контроль усього процесу	Обмежена гнучкість, залежність від одного пристрою
Децентралізоване керування	Кожен канал самостійно взаємодіє з іншими	Гнучкість, відмовостійкість	Складність реалізації, потреба в швидкому обміні даними
Прогнозне керування	Розрахунок майбутніх змін і адаптація керуючих дій	Зниження коливань, енергоефективність	Високі вимоги до обчислювальних ресурсів
Адаптивне регулювання	Автоматична зміна параметрів взаємодії	Гнучкість, самонавчання системи	Необхідність складного ПЗ,

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

	на основі поточних даних		можлива нестабільність
Синхронізоване регулювання	Одночасне керування кількома каналами з однаковими параметрами	Рівномірність, простота реалізації	Обмежена індивідуальність каналів

Взаємодія каналів у системі терморегулювання є критично важливим аспектом, що визначає ефективність, точність та надійність усієї системи. Правильний вибір і реалізація методів координації дозволяє досягти високої стабільності процесів, мінімізувати енергоспоживання та забезпечити безпечну експлуатацію обладнання в різноманітних умовах.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

3 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ І КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БАГАТОКАНАЛЬНОГО ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА

3.1. Типи датчиків температури, що застосовуються у багатоканальних терморегуляторах

У багатоканальних терморегуляторах ключову роль відіграють температурні датчики, які забезпечують точне і стабільне вимірювання температури в кожному окремому каналі. Їхня надійність, точність та швидкодія безпосередньо впливають на ефективність роботи всієї системи. Залежно від умов експлуатації, технічних вимог і вартості, використовуються різні типи датчиків температури. [13, с. 29]

Одним із найпоширеніших типів температурних сенсорів є терморезистори. Вони змінюють свій опір залежно від температури, що дозволяє точно вимірювати теплові зміни. Терморезистори бувають двох основних типів — NTC (з негативним температурним коефіцієнтом) та PTC (з позитивним температурним коефіцієнтом). NTC найчастіше використовуються у точних системах керування завдяки їхній високій чутливості до змін температури. Ще одним популярним типом є термопари, які генерують електрорушійну силу при зміні температури в місці контакту двох різнорідних металів. Вони мають широкий діапазон вимірювання, здатні працювати при дуже високих температурах, що робить їх особливо корисними у промислових багатоканальних системах терморегулювання. Однак термопари мають нижчу точність порівняно з іншими типами сенсорів.

Напівпровідникові температурні сенсори також знайшли широке застосування. Вони мають малі розміри, високу чутливість і низьке енергоспоживання. Часто використовуються у побутовій електроніці, розумних пристроях і мікроконтролерних системах. Найвідомішими є цифрові датчики, такі як DS18B20 або TMP36, які можуть бути легко інтегровані у багатоканальні системи через цифровий інтерфейс.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Платинові термометри опору (RTD), зокрема типу Pt100 і Pt1000, вирізняються надзвичайно високою точністю та стабільністю. Їх використовують у критично важливих системах, де потрібен прецизійний контроль температури. Незважаючи на їх високу вартість, вони виправдовують себе у складних промислових або лабораторних умовах.

У багатоканальних терморегуляторах важливо забезпечити уніфікацію типів датчиків, щоби контролер міг обробляти дані однаково для всіх каналів. Це спрощує схему керування та дозволяє зменшити похибки, пов'язані з некоректним перетворенням сигналу. Проте в деяких системах можливе комбінування різних типів сенсорів, якщо окремі канали мають специфічні вимоги. Цифрові датчики температури стають дедалі популярнішими завдяки простоті інтеграції в мікропроцесорні системи. Вони передають інформацію у вигляді цифрового сигналу, часто за протоколами I²C або 1-Wire. Такий підхід дозволяє значно зменшити вплив електромагнітних завад, що особливо важливо у багатоканальних системах, де одночасно працюють десятки сенсорів.

Аналогові датчики температури залишаються актуальними через свою простоту, дешевизну та можливість роботи в екстремальних умовах. Вони потребують підсилення і фільтрації сигналу, проте в поєднанні з АЦП контролера забезпечують високу точність вимірювання. Такі датчики часто використовуються в системах з обмеженим бюджетом. [14, с. 55]

Особливу увагу слід приділяти калібруванню температурних сенсорів. У багатоканальних системах навіть невеликі розбіжності між каналами можуть призвести до значних похибок у регулюванні. Використання каліброваних сенсорів або програмне коригування значень — обов'язкова умова для забезпечення високої точності.

При виборі типу датчика необхідно враховувати діапазон температур, у якому працюватиме система. Наприклад, у холодильному обладнанні актуальні датчики з нижнім температурним порогом, а в системах нагріву — ті, що витримують високі температури без втрати точності. Також варто враховувати інерційність сенсора, тобто час, за який він реагує на зміну температури. У швидкодіючих системах, де температура може змінюватися за лічені секунди,

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

необхідні сенсори з мінімальним тепловим запізненням. У стабільних середовищах цей фактор менш критичний.

Матеріали, з яких виготовлені сенсори, повинні бути стійкими до впливу агресивних середовищ. У хімічних лабораторіях або виробництвах із підвищеною вологістю вибір датчика повинен враховувати можливість корозії або пошкодження ізоляції. Захисні оболонки з нержавіючої сталі або тефлону допомагають продовжити термін служби сенсора.

Залежно від застосування, датчики можуть мати вбудовану або зовнішню термокомпенсацію. Це дозволяє уникати впливу температури навколишнього середовища на точність вимірювання. Особливо це актуально в системах, що працюють поза приміщеннями або в нестабільних умовах. У деяких випадках використовуються безконтактні датчики температури, наприклад, інфрачервоні термометри. Вони дозволяють вимірювати температуру поверхонь без фізичного контакту. Такі сенсори ефективні там, де контакт із поверхнею є неможливим або небажаним, хоча їх точність залежить від умов навколишнього середовища.

Загалом, вибір типу температурного датчика у багатоканальному терморегуляторі повинен базуватися на балансі між точністю, надійністю, швидкодією та вартістю. Правильна інтеграція сенсорів у систему — запорука стабільної роботи всього терморегулятора, особливо в умовах складного або змінного температурного середовища.

3.2. Апаратна та програмна реалізація систем керування температурою

Реалізація систем керування температурою в багатоканальних терморегуляторах вимагає гармонійного поєднання апаратної частини з відповідним програмним забезпеченням. Обидві складові є однаково важливими для забезпечення точного, стабільного і надійного контролю температури в кожному каналі. Апаратна частина відповідає за збір та обробку фізичних сигналів, а програмна – за логіку керування, алгоритми регулювання та інтерфейси взаємодії.

Основу апаратної частини становить мікроконтролер або вбудована комп'ютерна система, яка керує всіма елементами терморегулятора.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Мікроконтролери середнього рівня, такі як STM32, ESP32 або AVR-серія, досить популярні завдяки своїй гнучкості, невеликому споживанню енергії та розвиненому набору периферії. Вони здатні обробляти сигнали з великої кількості каналів одночасно. [15, с. 85]

До апаратної реалізації також входять інтерфейси підключення температурних датчиків, аналого-цифрові перетворювачі (АЦП), модулі живлення, захисту, а також елементи керування виконавчими пристроями. Для підключення цифрових датчиків часто використовують шини I²C, SPI або 1-Wire. В разі використання аналогових сенсорів, необхідні точні та стабільні АЦП, здатні розрізнати малі зміни напруги. Живлення системи повинно бути стабільним і ізольованим, особливо якщо в ній використовуються високочутливі сенсори або мікропроцесори. Для цього застосовують стабілізатори напруги, перетворювачі постійної напруги та елементи фільтрації. У разі необхідності автономної роботи, передбачають акумулятори або резервне живлення.

Окремо варто відзначити виконавчі елементи — реле, симістори, транзистори, які безпосередньо керують джерелами тепла або охолодження. Апаратне забезпечення має забезпечувати гальванічну розв'язку між керуючою частиною та виконавчими механізмами для уникнення завад та пошкоджень. Часто для цього застосовують оптрони або твердотільні реле.

Програмна реалізація базується на мові програмування, яка підтримується обраним мікроконтролером. Найчастіше використовуються мови C, C++ або Python у разі використання високорівневих платформ. Програмне забезпечення включає в себе драйвери для сенсорів, алгоритми регулювання температури, протоколи зв'язку, а також логіку взаємодії між каналами.

Алгоритми регулювання, закладені у програму, можуть бути простими (наприклад, двопозиційне керування) або складними (ПІД-регулятори, адаптивне чи нечітке керування). Обираючи метод керування, розробник повинен враховувати характер динаміки об'єкта та вимоги до точності регулювання. Для кожного каналу програмно задаються параметри, порогові значення, гістерезис тощо.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Програмна частина також забезпечує комунікацію з користувачем. Це може бути реалізовано через дисплей, сенсорну панель, кнопки або віддалений веб-інтерфейс. Інтерфейс дає змогу налаштовувати параметри регулювання, переглядати поточні значення температур, вести журнал подій або аварій.

У багатоканальних системах важливо реалізувати ефективну архітектуру програмного забезпечення. Зазвичай використовуються багатозадачні середовища або операційні системи реального часу (RTOS), які дозволяють одночасно обслуговувати всі канали та інтерфейси без затримок. Це критично для систем із високими вимогами до швидкодії та надійності.

Важливою функцією програмної частини є система захисту та діагностики. Програмно реалізуються механізми перевірки справності сенсорів, виявлення перегрівів або відмов, автоматичне вимкнення каналів у разі аварій. Ці функції підвищують безпеку експлуатації багатоканального терморегулятора.

Під час розробки програмного забезпечення необхідно забезпечити модульність коду, що дає змогу легко масштабувати систему, змінювати конфігурацію каналів, додавати нові функції або інтегрувати з іншими системами. Програмні бібліотеки для роботи з сенсорами, дисплеями, мережею значно прискорюють процес розробки.

У сучасних рішеннях все частіше реалізується можливість підключення терморегулятора до мережі через Wi-Fi або Ethernet. Це дозволяє здійснювати віддалений моніторинг, налаштування, оновлення прошивки, а також інтеграцію в систему «розумного будинку» або промислову мережу (наприклад, Modbus TCP).

Для зберігання параметрів користувача, налаштувань і логів використовується енергонезалежна пам'ять. Це може бути EEPROM, flash або SD-карта. Дані залишаються збереженими навіть після вимкнення живлення, що важливо для довготривалої роботи системи без постійного втручання оператора. Тестування системи включає як апаратні, так і програмні перевірки. На етапі прототипування здійснюється налагодження кожного модуля, калібрування сенсорів, перевірка алгоритмів керування та системи аварійного реагування. Це дозволяє забезпечити надійність і стабільність роботи багатоканального терморегулятора.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

В цілому, ефективна реалізація системи керування температурою передбачає глибоку інтеграцію апаратної і програмної частини. Від правильності побудови обох залежить точність терморегуляції, енергоефективність системи та комфорт користувача.

Таблиця 3.1 — Порівняння типових мікроконтролерів для багатоканальних терморегуляторів

Модель мікроконтролера	Кількість каналів АЦП	Інтерфейси зв'язку	Підтримка RTOS	Діапазон напруги живлення	Особливості
STM32F103	10	I ² C, SPI, UART	Так	2.0–3.6 В	Висока швидкодія
ESP32	18	Wi-Fi, I ² C, SPI	Так	2.2–3.6 В	Вбудований Wi-Fi
ATmega328P	6	I ² C, UART	Ні	1.8–5.5 В	Простота, низьке споживання
Raspberry Pi Pico	3	I ² C, SPI, UART	Так	1.8–3.3 В	Двоядерний процесор
PIC16F877A	8	I ² C, SPI, UART	Ні	4.0–5.5 В	Сумісність з промисловими системами

3.3. Надійність і точність терморегулювання: фактори впливу та методи підвищення ефективності

Надійність і точність терморегулювання є ключовими характеристиками, які визначають ефективність будь-якої системи автоматичного контролю температури. Ці показники особливо важливі для багатоканальних терморегуляторів, що функціонують в умовах складних температурних процесів. Вони залежать від сукупності факторів, серед яких – характеристики сенсорів, точність обчислень, якість керувальних сигналів, стабільність зовнішніх умов і алгоритмічне забезпечення. [16, с. 67]

Одним із перших факторів, що впливають на точність, є тип і якість температурного датчика. Низькоякісні сенсори можуть мати значні похибки,

велику нестабільність та низьку чутливість. Для забезпечення високої точності необхідно використовувати датчики з мінімальним температурним дрейфом, стабільними характеристиками та високою роздільною здатністю. Найчастіше це платинові термометри опору, термопари типу К або цифрові датчики з вбудованою калібровкою. Ключовим аспектом є правильне розміщення датчиків у системі. Неправильне положення або недостатній тепловий контакт можуть призвести до помилок у вимірюванні. Крім того, вплив зовнішніх факторів, таких як вологість, вібрації або електромагнітні завади, також погіршують точність. Тому важливо забезпечити екранування, стабілізацію температурного середовища і захист сенсорів від зовнішнього впливу.

На точність регулювання також впливає якість аналогово-цифрового перетворення. Вибір АЦП із достатньою роздільною здатністю, стабільним опорним джерелом напруги та низьким рівнем шумів є критично важливим. Використання програмних фільтрів, таких як середньозважене згладжування або цифрові фільтри Калмана, дозволяє зменшити вплив випадкових коливань сигналу.

Висока надійність терморегуляції досягається через реалізацію механізмів діагностики та резервування. Наприклад, використання дублюючих сенсорів дозволяє порівнювати показання і виявляти несправності. При виявленні розбіжностей система може автоматично переходити до резервного каналу або повідомити оператора про помилку. Стабільність роботи електроніки відіграє суттєву роль. Зміни напруги живлення, електромагнітні імпульси або температурні коливання можуть впливати на роботу мікроконтролера та виконавчих пристроїв. Тому застосування стабілізованих джерел живлення, фільтрації, гальванічного розділення та захисних схем значно підвищує надійність системи.

Алгоритми керування мають велике значення в досягненні точного терморегулювання. Застосування ПІД-регуляторів з правильно налаштованими параметрами дозволяє зменшити помилки, уникнути перерегулювання та забезпечити стабільну роботу без коливань. У складних випадках використовуються адаптивні або нечіткі алгоритми, які змінюють поведінку

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

залежно від зовнішніх умов. Програмна реалізація повинна включати механізми виявлення та обробки помилок. Пристрій має реагувати на втрату сигналу від сенсора, відхилення від нормального діапазону температур або збої у виконанні програми. Вчасне виявлення таких ситуацій та переходи в безпечні стани забезпечують високу експлуатаційну надійність.

Для забезпечення стабільності роботи в умовах багатоканального керування важливо синхронізувати роботу всіх каналів. Асиметрія в алгоритмах, затримки або конфлікти між каналами можуть призводити до порушення терморегуляції. Ефективна програмна координація та управління пріоритетами запобігають таким проблемам. [17, с. 102]

Регулярне технічне обслуговування системи також є невід'ємною складовою забезпечення її надійності. Періодична перевірка роботи сенсорів, очищення, калібрування та оновлення програмного забезпечення дозволяють уникнути деградації точності з часом. Система повинна мати можливість для автоматичного тестування або самодіагностики. Користувацький інтерфейс повинен сприяти швидкому реагуванню на помилки. Відображення поточних значень, графіків, журналів подій, а також інформування про аварії дає змогу оператору своєчасно втрутитись у процес та запобігти негативним наслідкам. Також важливо передбачити можливість дистанційного моніторингу та керування.

Фактором, що впливає на ефективність системи, є час відгуку. Затримки в обробці сигналів або інерційність виконавчих механізмів знижують точність регулювання. Використання швидкодіючих компонентів, оптимізація програмного коду та зменшення кількості проміжних етапів покращують динаміку регулювання.

Ключовим аспектом підвищення точності є калібрування. На практиці навіть високоточні сенсори потребують індивідуального калібрування у реальних умовах експлуатації. Програмне забезпечення має підтримувати введення калібрувальних коефіцієнтів, компенсацію температурного дрейфу та самокорекцію.

Енергонезалежність також впливає на надійність. При відключенні живлення система повинна зберігати налаштування, поточний стан і лог подій. Це

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

досягається за допомогою EEPROM, SD-карт або інших типів енергонезалежної пам'яті. Додатково бажано мати резервне живлення для критичних елементів системи. Надійність і точність терморегулятора – це результат комплексного підходу, що поєднує якісну апаратну реалізацію, грамотне програмне забезпечення, точні алгоритми регулювання та захист від зовнішніх впливів. Підвищення ефективності досягається лише при врахуванні всіх вказаних факторів у процесі проєктування, впровадження та експлуатації системи.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

4 РОЗРОБКА ТЕРМОРЕГУЛЯТОРА

4.1 Схема структурна терморегулятора

На схемі нижче зображена схема структурна терморегулятора

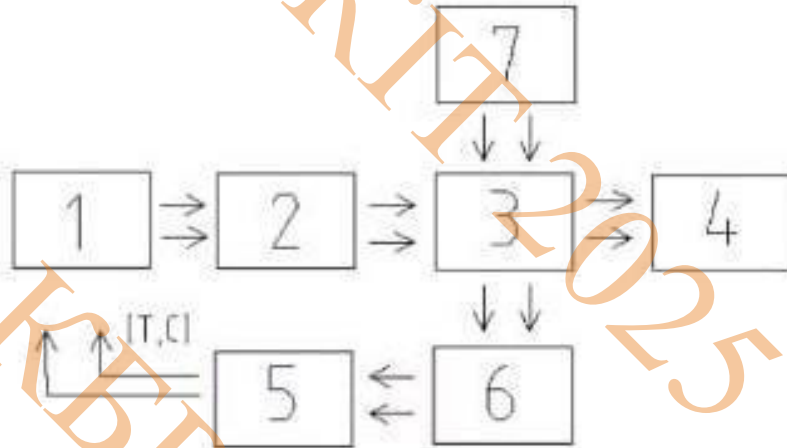


Рисунок 4.1 — Схема структурна терморегулятора

Ось компоненти схеми:

1. Термодатчик
2. Підсилювач
3. Мікроконтролер
4. Дисплей
5. Тен
6. ШІМ регулятор
7. Блок живлення

Термодатчик використовується для вимірювання температури, яку ми будемо регулювати. Підсилювач потрібен для підсилення сигналу з термопари, так як напруга з термопари настільки мала, що мікроконтролер не може оперувати з напругою, що знімається з термопари. Мікроконтролер дає команди для дисплею, ШІМ регуляторів, обробляє покази термопари. Тен потрібен для нагрівання системи за заданим значенням. ШІМ регулятор потрібен для легкого керування потужністю, яка подається на тен. Блок живлення потрібен для функціонування мікроконтролера та дисплею.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

4.2 Схема електрична принципова

На рисунку 4.2 показана схема електрична принципова.

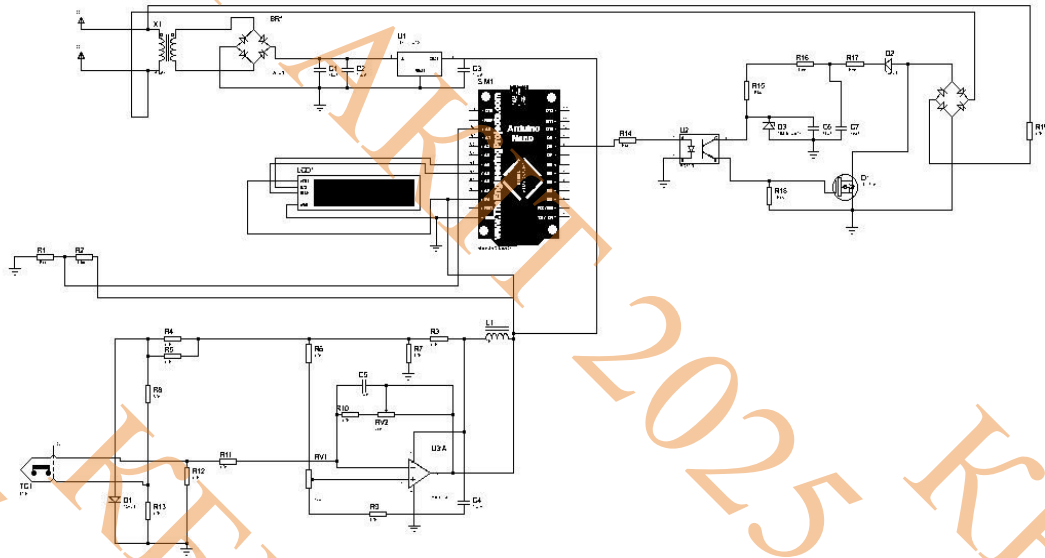


Рисунок 4.2 — Схема електрична принципова терморегулятора

На схемі, яка створена в програмному забезпеченні Protheus показано найголовніші модулі. Це модуль перетворення напруги з 220 вольт змінного струму на 5 вольт постійного струму для живлення мікроконтролери та дисплею та модуль підсилення сигналу терморпарі.

4.3 Розробка алгоритму та коду програми.

На рисунку 4.3 ми маємо алгоритм, де при температурі менше 30 градусів цельсія ми поступово збільшуємо температуру до 60 градусів цельсія, потім витримка 10 секунд, далі поступове зменшення температури до 30 градусів цельсія.

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);  
const int buttonPin = 4;  
const int tempPin = A0;  
const int heaterPin = 9;
```

В цьому фрагменті ми описуємо підключення до мікроконтролера основних елементів

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

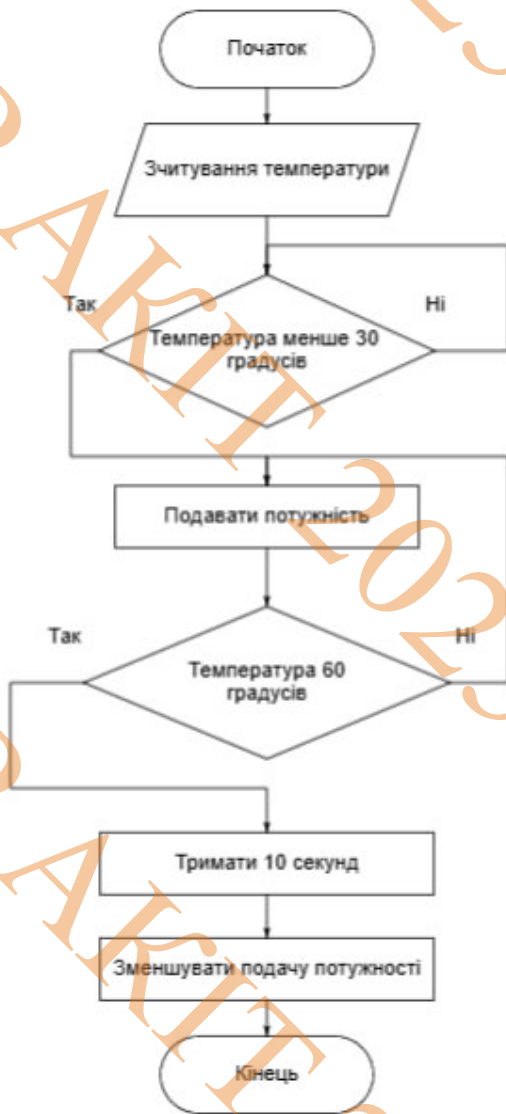


Рисунок 4.3 — Алгоритм програми для терморегулятора

```

float temp = readTemperature();
lcd.setCursor(0, 1);
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temp);
lcd.print((char)223); // символ °
lcd.print("C ");
delay(300);
  
```

В цьому фрагменті ми програмуємо постійне виведення температури на дисплей.

```

while ((temp = readTemperature()) < 60.0 && pwmValue <= 200) {
    analogWrite(heaterPin, pwmValue);
  }
  
```

```
pwmValue += 5;
```

```
delay(200);
```

В цьому фрагменті коду описано плавне збільшення елементів. Повний код описано в додатку А.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було розглянуто широкий спектр аспектів, що стосуються побудови та функціонування багатоканальних терморегуляторів. Особливу увагу приділено фізичним основам температурного регулювання, видам термодатчиків, а також принципам побудови системи, яка здатна керувати кількома каналами одночасно. Це дозволило визначити ключові особливості, переваги та недоліки різних варіантів реалізації.

Аналіз класифікацій терморегуляторів показав, що багатоканальні системи мають значно ширші можливості для реалізації точного і стабільного регулювання у складних середовищах. Вони дозволяють гнучко керувати процесами, оптимізувати енергоспоживання та підвищити загальну ефективність систем. Розгляд принципів взаємодії каналів у багатоканальних системах виявив важливість координації, що дозволяє уникати конфліктів між сигналами керування і забезпечувати гармонійне функціонування всієї системи. Використання відповідних алгоритмів регулювання, включаючи ПІД та адаптивні методи, дозволяє досягати високої точності навіть за змінних умов.

Важливим елементом дослідження стало вивчення технічних і програмних засобів реалізації терморегуляторів. Була показана роль мікроконтролерів, цифрових інтерфейсів та спеціалізованих програм у забезпеченні гнучкого керування та підвищення надійності системи. Впровадження функцій діагностики та резервування підвищує стійкість до відмов.

Також було досліджено вплив різних факторів на точність і надійність терморегулювання. До таких факторів відносяться якість сенсорів, стабільність електроживлення, захист від завад, правильне програмування і налаштування системи. Пропонуються шляхи підвищення ефективності за рахунок калібрування, цифрової фільтрації, резервування та використання якісних елементів.

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ткаченко, В. Д. Проект автоматизації шахтної печі для обпалення вапняку. Система автоматичного регулювання температури печі. (2023).

URL:

<https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/12611/3/%d0%a2%d0%ba%d0%bd%d1%87%d0%b5%d0%bd%d0%ba%d0%be%20%d0%92.%d0%94.%d0%b4%d1%80df.pdf>

2. Невлюдов, І. Ш., et al. Технічні засоби автоматизації. (2019). URL:

[file:///C:/Users/User/Downloads/%D0%A0%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%91%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D0%BA%20%D0%92.%D0%92.%20\(1\)%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/%D0%A0%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B7%D0%B8%D1%82%D0%B0%D1%80%D1%96%D0%B9%20%D0%91%D0%BE%D1%80%D1%82%D0%BD%D1%96%D0%BA%20%D0%92.%D0%92.%20(1)%20(1).pdf)

3. Протасов, А. Г., Лисенко, Ю. Ю. Технології теплового неруйнівного контролю. (2021). URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/5dc25f9c-ac5d-4d3d-96da-473563b48324/content>

4. Сарняк, Б. В. Спосіб реалізації методу адаптивного ПД-регулювання на основі технологій штучного інтелекту. MS thesis. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2022. URL:

https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/40088/2/%d0%a1%d0%b0%d1%80%d0%bd%d1%8f%d0%ba_%d0%91_%d0%92_%d0%a0%d0%a0%d0%bc-61_%d0%b4%d0%b8%d0%bf%d0%bb%d0%be%d0%bc.pdf

5. Горєв, О. В. Особливості сучасного апаратного забезпечення безпроводових систем безпеки. (2022). URL:

<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d271869a-f720-40f6-a1ae-392c1c19aaea/content>

6. Ларичева, Л. П., Волошин, М. Д., Луценко, О. П. Контроль та автоматичне регулювання хіміко-технологічних процесів. ЛП Ларичева, МД

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Волошин, ОП Луценко – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. URL: <https://www.dstu.dp.ua/Portal/Data/5/8/2-7-b5.pdf>

7. Рибалка, В. І. Уніфікована система для інтернету речей. (2018). URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/7903adca-06e6-4c7c-8be2-002acab66d67/content>

8. Ковалюк, А. Ю. Розробка терморегулятора з Wi-Fi доступом. (2020). URL: <http://repository.ukd.edu.ua/bitstream/handle/123456789/182/%D0%9A%D0%B E%D0%B2%D0%B0%D0%BB%D1%8E%D0%BA.pdf?sequence=1&isAllowed=1>

9. Пасічник, О. М. Сенсор низьких температур. (2019). URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/7f2413d4-33bc-4117-bc79-4551d0025da1/content>

10. Летінський, Є. О. Малогабаритне температурне джерело електромагнітного шуму міліметрового діапазону. (2021). URL: <http://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/95c192c8-73ea-4c45-999c-59c68c8327e7/content>

11. Кучеренко, Ю. Автоматизована система контролю параметрів теплопостачання. (2021). URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/3e63e260-b2c3-44d7-b284-6b7b5d72b877/content>

12. Кулічок, А. М., Ярошенко, Л. В. Обґрунтування системи керування «Розумний дім» з розробкою електроприводу механізму підйому штор. URL: <http://socrates.vsau.org/b04213/html/cards/getfile.php/29853.pdf>

13. Поліщук, М. Л. Двоканальна кіберфізична система широкодіапазонного контролю температур промислового застосування на базі мікроконтролера aduc841. (2024). URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/052cf966-7ba4-4154-a83f-a4f13107faee/content>

14. Гладун, А. І. Система вимірювання та контролю параметрів мікроклімату у інкубаторі для новонароджених. (2021). URL:

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/098400ce-99a6-48b9-af2d-efefebfe65e4/content>

15. Чаплинська, Дар. Підвищення точності контролю стану приладів орієнтації і навігації. (2018). URL:

<https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/0e259897-2bff-4dfe-b00f-4bc7476483bc/content>

16. Глега, С. А. Розробка стенду для перевірки терморегуляторів побутових холодильників. (2023). URL:

<https://elar.khmnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/c990c8fd-4417-4f28-b333-4125dd0db527/content>

17. Гостіщев, С. В., Гостіщев, С. В. Дослідження необхідності термомодернізації житлових будинків в Україні. (2016). URL:

<https://dspace.znu.edu.ua/jspui/bitstream/12345/142/1/%D0%90%D0%92%D0%A2%D0%9E%D0%A0%D0%95%D0%A4%D0%95%D0%A0%D0%90%D0%A2%D0%93%D0%9E%D0%A1%D0%A2%D0%98%D0%A9%D0%95%D0%92%D0%A1%2C%D0%92%2C.pdf>

					КБР.АКІТ.9469672.01.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41