

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій

(повна назва кафедри)

«Допущений до захисту»

Завідувач кафедри



В. М. Рябенський

д.т.н., професор

« 16 » червня 2025 р.

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Розробка автоматизованої системи клімат-контролю із
використанням інтелектуального реле Zelio Logic**

Виконав: студент

4321

групи



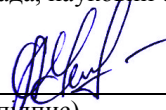
(підпис)

К.Є. Делягін

Керівник роботи:

д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь, вчене звання)



(підпис)

О.О. Ушкаренко

м. Миколаїв – 2025 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра	програмованої електроніки, електротехніки і телекомунікацій
Спеціальність	171 «Електроніка»
Освітня програма	Електронні системи

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Гарант освітньої програми

 О. С. Дьяконов
(підпис)

« 14 » квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр» (освітньо-кваліфікаційний рівень)

Студенту Делягіну Костянтину Євгенійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи клімат-контролю із використанням інтелектуального реле Zelio Logic
керівник роботи Ушкаренко Олександр Олегович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ректора № УЧ-343 від «23» квітня 2025 року.

2. Термін подання роботи 10.06.2025 р.

3. Вихідні дані по роботі Об'єкт керування – приміщення у будинку, побудованому з різних будівельних матеріалів; тип регулятора – адаптивний; контролер – Zelio Logic; SCADA система Advantech Genie; мова програмування контролера – FBD або Ladder.

4. Перелік питань, що належать до розробки (найменування розділів)

1. Аналіз типів регуляторів та фізичної моделі об'єкту керування

2. Розробка апаратного забезпечення системи клімат-контролю

3. Програмне забезпечення автоматизованого керування клімат-контролем

4. Охорона праці

5. Перелік презентаційних матеріалів

1. Графіки і формули, що пояснюють принцип роботи адаптивного регулятора.

2. Структурна схема адаптивної системи підтримки клімату.

3. Структурна схема демонстраційної версії адаптивної системи підтримки клімату.

4. Блок-схема алгоритму програми для контролера.

5. Інтерфейс програми для автоматизованої системи клімат-контролю.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Тубальцев А.М.		

7. Дата видачі завдання « 24 » квітня 2025 р.

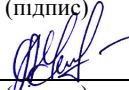
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Огляд різних типів регуляторів, що використовуються в системах автоматичного управління.	14.03.2025 р.	виконано
2.	Розробка та аналіз фізичної моделі об'єкту керування.	27.03.2025 р.	виконано
3.	Проектування апаратної частини робочої версії адаптивної системи підтримки клімату	11.04.2025 р.	виконано
4.	Розробка перетворювача температури. 10-35,5оС в 0-10В для сполучення датчика з контролером Zelio Logic.	18.04.2025 р.	виконано
5.	Розробка блоку сполучення пристрою з персональним комп'ютером	04.05.2025 р.	виконано
6.	Розробка блок-схем алгоритмів програми адаптивного керування кліматом в приміщенні	21.05.2025 р.	виконано
7.	Розробка інтерфейсу автоматизованого робочого місця оператора у SCADA системі	06.06.2025 р.	виконано
8.	Підготовка розділу з охорони праці та оформлення кваліфікаційної роботи	20.06.2025 р.	виконано

Студент


(підпис)

Керівник роботи


(підпис)

К.Є. Делягін

(прізвище та ініціали)

О. О. Ушкаренко

(прізвище та ініціали)

Анотація

У бакалаврській кваліфікаційній роботі, що представлена на 71 сторінці, розроблено адаптивну систему підтримки клімату. Проведено аналіз існуючих типів автоматичних регуляторів, обґрунтовано вибір структурної схеми та визначено основні вимоги до пристрою. Виконано розробку та вибір елементів системи, описано принципи роботи основних блоків, проведено необхідні розрахунки, розроблено друковані плати та програмне забезпечення.

Для демонстрації роботи системи створено її демонстраційну версію, що функціонує у взаємодії з персональним комп'ютером, який генерує необхідні сигнали за допомогою програмного імітатора. Крім того, у роботі також розглянуто питання охорони праці.

Ключові слова: адаптивна система, підтримка клімату, автоматичні регулятори, програмне забезпечення.

Abstract

The bachelor's qualification work, which contains 71 pages, focuses on the development of an adaptive climate control system. An analysis of existing types of automatic regulators has been conducted, the structural scheme has been selected, and the main device requirements have been defined. The design and selection of system components have been carried out, the principles of operation of key blocks have been described, necessary calculations have been performed, and printed circuit boards and software have been developed.

To demonstrate the system's operation, a demo version has been created, functioning in interaction with a personal computer that generates the required signals using a software simulator. Additionally, the work considers occupational safety issues.

Keywords: adaptive system, climate control, automatic regulators, software.

ЗМІСТ

Зміст	3
Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень та термінів..	5
Вступ.....	6
Розділ 1. Аналіз типів регуляторів та фізичної моделі об'єкту керування	9
1.1. Аналітичний огляд різних типів регуляторів	9
1.2. ПІ- та ПІД-регулятори.....	11
1.3. Адаптивний регулятор	13
1.4. Фізична модель об'єкту регулювання.....	13
Розділ 2. Розробка апаратного забезпечення системи клімат-контролю	17
2.1. Опис характеристик системи	17
2.2. Обґрунтування вибору інтелектуального реле	19
2.3. Вибір датчика температури	22
2.4. Розробка перетворювача температури у напругу 0-10В	24
2.5. Розробка друкованої плати.....	28
2.6. Розробка симісторного блоку керування	29
2.7. Апаратна частина демонстраційної версії адаптивної системи підтримки клімату.....	31
Розділ 3. Програмне забезпечення автоматизованого керування клімат-контролем	35
3.1. Характеристики середовища розробки програмного забезпечення	35
3.2. Реалізація алгоритму керування	36
3.3. Опис роботи програми	38
3.4. Розробка блок-схеми алгоритму програми	39
Розділ 4. Охорона праці	44
4.1. Вплив параметрів мікроклімату на самопочуття людини.....	44
4.2. Наслідки та захист людини від ураження струмом	45
4.3. Розрахунок захисного заземлення	49

4.4. Загальні заходи нормалізації параметрів мікроклімату	52
Висновки	55
Список використаних джерел	57
Додаток А.....	60
Лістинг програми	60
Додаток Б	65
Лістинг програми мікроконтролера перетворювача 10-35.5oC в 0-10V	65

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

АСКК – адаптивна система клімат-контролю

АСУ – автоматизована система управління

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

PLC – Programmable Logic Controller (програмований логічний контролер)

Zelio Logic – програмований релейний контролер від компанії Schneider Electric

SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition (диспетчерське управління і збір даних)

HMI – Human-Machine Interface (людино-машинний інтерфейс)

RTU – Remote Terminal Unit (віддалений термінальний пристрій)

I/O – Input/Output (вхід/вихід)

PID – Proportional-Integral-Derivative (пропорційно-інтегрально-диференціальне регулювання)

MODBUS – протокол обміну даними між контролерами та пристроями

OPC – OLE for Process Control (протокол зв'язку SCADA з іншими пристроями)

CPU – Central Processing Unit (центральний процесор)

RAM – Random Access Memory (оперативна пам'ять)

EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory (енергонезалежна пам'ять)

PWM – Pulse-Width Modulation (широтно-імпульсна модуляція)

DAQ – Data Acquisition (збір даних)

RS-485 – стандарт послідовного інтерфейсу для промислових мереж

TCP/IP – Transmission Control Protocol / Internet Protocol (мережевий протокол передачі даних)

GUI – Graphical User Interface (графічний інтерфейс користувача)

					171.4321.КР.ПЗ.Скорочення	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ВСТУП

Зміни параметрів навколишнього середовища мають значний вплив на фізичний та психологічний стан людини, що безпосередньо позначається на її працездатності. Відомо, що в процесі обміну речовин людський організм постійно виробляє тепло, кількість якого залежить від індивідуальних особливостей людини та зростає зі збільшенням фізичного навантаження.

Однією з важливих умов підтримання нормального фізіологічного стану в закритих приміщеннях є створення оптимальних метеорологічних параметрів повітряного середовища (температури, вологості та швидкості руху повітря). Це необхідно для того, щоб організм міг ефективно віддавати надлишкове тепло, не відчуваючи при цьому дискомфорту від перегріву чи переохолодження. Якщо людина не відчуває холоду, спеки або надмірного руху повітря, мікроклімат приміщення вважається комфортним. При цьому оптимальні параметри можуть змінюватися залежно від рівня фізичної активності людини та її одягу.

У приміщеннях з великою кількістю людей та недостатньою вентиляцією знижується рівень кисню, тоді як концентрація вуглекислого газу зростає, що впливає на тепловий баланс організму. Крім того, наявність шкідливих домішок у повітрі разом із тепловим випромінюванням підсилює токсичний вплив на людину. Це обумовлює необхідність контролю газового складу повітря. Для забезпечення комфортного мікроклімату у виробничих приміщеннях, окрім регулювання температури, доцільно застосовувати природну або штучну вентиляцію із залученням зовнішнього повітря.

У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі розглядається питання створення системи вентиляції та регулювання температури повітря у виробничих приміщеннях у холодну пору року за допомогою адаптивної системи клімат-контролю. Розроблена система автоматично керує електронагрівачем, розташованим у повітропроводі припливної вентиляції, що дозволяє підігрівати свіже повітря перед його подачею в приміщення. Оскільки вночі, у вихідні та святкові дні виробничі приміщення зазвичай не

					171.4321.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

використовуються, доцільно знижувати температуру або повністю вимикати підігрів, що сприятиме економії електроенергії. При цьому система повинна забезпечувати швидке відновлення комфортних умов до моменту появи людей у приміщенні. Важливо, щоб регулятор працював у широкому діапазоні зовнішніх температур ($-35^{\circ}\text{C} \dots +25^{\circ}\text{C}$) без потреби в додатковому налаштуванні.

					171.4321.КР.ПЗ.Вступ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

					171.4321.КР.ПЗ.Р1			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Десягін К.Є.		10.06	Аналіз типів регуляторів та фізичної моделі об'єкту керування	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							8	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.		10.06				
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТИПІВ РЕГУЛЯТОРІВ ТА ФІЗИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ

1.1. Аналітичний огляд різних типів регуляторів

Питання автоматизації мікроклімату в різних типах приміщень розглядаються у працях Барабаша та Соколова [1], де автори акцентують увагу на необхідності оптимізації споживання енергії при збереженні комфортного мікроклімату. Основними недоліками сучасних рішень є обмеженість адаптивних алгоритмів, слабка інтеграція з IoT-платформами та застарілі елементи керування. Аналогічні проблеми висвітлює і Костюк [6], зазначаючи, що більшість вентиляційних систем потребують модернізації як у сенсорному забезпеченні, так і в алгоритмах керування.

Гончаренко [2] приділяє увагу системам вентиляції та кондиціонування з позиції традиційної автоматики. Хоча автор описує фундаментальні принципи роботи таких систем, бракує акценту на сучасні контролери, програмування або цифрові рішення, що значно звужує актуальність підходів.

У системах опалення для контролю температурного режиму застосовуються різні види терморегуляторів. Найбільш простим є двопозиційний регулятор, який працює за принципом увімкнено-вимкнено, підтримуючи температуру у вигляді коливань навколо заданого значення. Такий тип регулятора використовується у побутових термостатах, електричних обігрівачах і котлах.

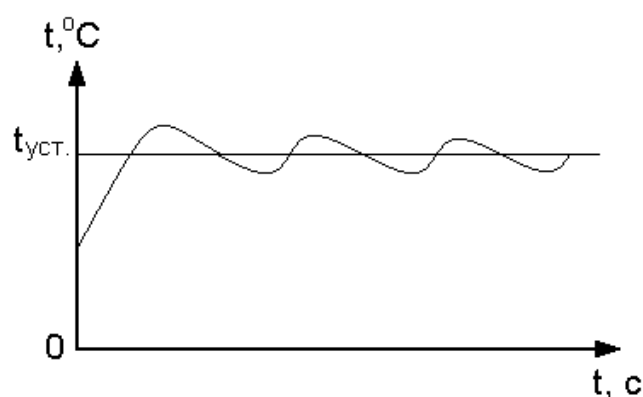


Рисунок 1.1 – Вид переходної функції

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Недоліком такого типу регуляторів є дуже велике перерегулювання.

У пропорційному регуляторі керуючий сигнал утворюється як добуток різниці між встановленим значенням і отриманими даними зворотного зв'язку на коефіцієнт підсилення. Чим більше значення цього коефіцієнта, тим швидше регулятор реагує на зміни. Іншими словами, він оперативніше компенсує різницю між заданою та реальною величинами.

Якщо коефіцієнт підсилення занадто великий, то пропорційний регулятор перетворюється на двопозиційний, а при низькому значенні регулювання відбувається плавно, без різких змін.

Слід зазначити, що регульований параметр ніколи не зрівняється точно із заданим значенням, оскільки виникає так звана стала похибка. Чим більше коефіцієнт підсилення, тим вона менша. Однак при надмірному його збільшенні система керування і сам об'єкт можуть увійти в стан коливань.

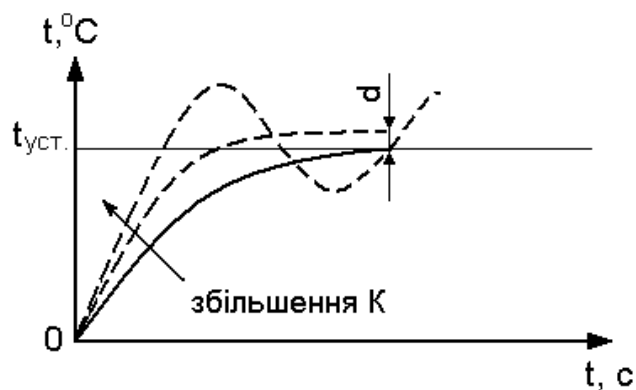


Рисунок 1.2 – Вид переходних функцій при різних настройках П-регулятора

Недолік пропорційного регулятора впливає з його принципу роботи. Він діє як підсилювач із високим коефіцієнтом підсилення, отримуючи на вхід різницю між поточним і встановленим значенням керованого параметра. Вихідний сигнал впливає на об'єкт керування, наприклад, подаючи живлення на нагрівальний елемент.

Якщо регульований параметр досягає заданого значення, то різниця між ними стає нульовою, а отже, і вихідний сигнал зникає. Це означає, що нагрівання припиняється, і система починає охолоджуватися, поки температура не опуститься настільки, щоб знову ввімкнути нагрівач із

достатньою потужністю. Далі температура починає підвищуватися, досягає встановленого рівня, після чого нагрівання вимикається. Однак за рахунок теплової інерції енергія, що залишилася в нагрівальному елементі, призводить до перегріву об'єкта.

Таким чином, температура коливається навколо встановленого значення і ніколи не стабілізується на ньому точно. Амплітуда цих коливань залежить від потужності нагрівального елемента, теплової інерційності системи, а також типу і розташування датчика температури. Для таких регуляторів відхилення від заданого рівня зазвичай становить від кількох десятих до кількох градусів.

1.2. ПІ- та ПІД-регулятори

Цей метод регулювання дає змогу зменшити похибку роботи регулятора завдяки тому, що різниця між фактичним значенням параметра і встановленим рівнем подається на інтегруючу ланку. Інтегратор накопичує цю невідповідність і додає її до вихідного сигналу пропорційної частини регулятора. У результаті, навіть якщо відхилення є незначним і недостатнім для безпосереднього впливу на нагрівальний елемент, воно поступово накопичується, доки не досягне рівня, що дозволяє повністю його усунути.

Завдяки інтегруючій ланці в ПІ-регуляторі керований параметр прагне точно відповідати встановленому значенню, оскільки навіть мінімальні відхилення з часом коригуються. Це забезпечує значно вищу точність утримання параметра в порівнянні з традиційним пропорційним регулятором.

Однак ПІ-регулятор має свої недоліки. Зокрема, для його налаштування потрібно коригувати два параметри – коефіцієнт підсилення і часову константу інтегратора. Крім того, для досягнення стабільного стану потрібен певний час, що збільшує затримку регулювання. Тому ПІ-регулятори ефективні в ситуаціях, де зовнішні зміни відбуваються повільно. Якщо ж умови різко змінюються (наприклад, раптове охолодження або різка зміна

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

встановленого значення), регулятору потрібно більше часу для адаптації і корекції цих змін.

ПІД метод керування дає змогу враховувати швидкість змін керованого параметра, аналізуючи його похідну та коригуючи вихідний сигнал пропорційно-інтегрального регулятора. Завдяки цьому досягається зменшення похибки роботи ПІД-регулятора за мінімальний час.

Проте важливо пам'ятати, що така ефективність можлива лише за умови, що характеристики об'єкта залишаються стабільними і його структура не зазнає змін. Крім того, регулятор повинен бути налаштований оптимальним чином, оскільки неправильно підібрані параметри можуть негативно вплинути на якість перехідного процесу. На рисунку 1.4 наведено приклад, що демонструє, як неправильне налаштування ПІД-регулятора може змінювати динаміку реакції системи автоматичного керування при одиничному стрибкоподібному збуренні.

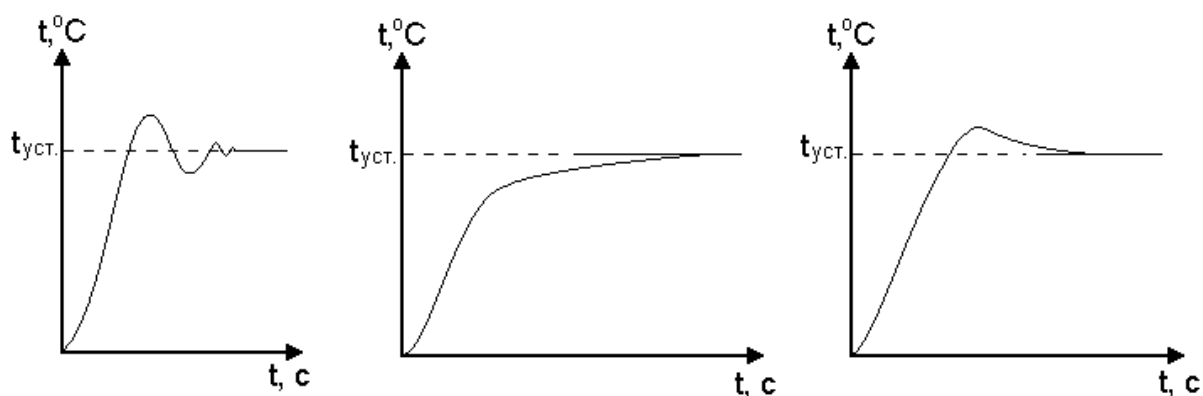


Рисунок 1.4 – Вид перехідних функцій при різних настройках ПІД-регулятора

Зі збільшенням часу затримки в системі суттєво посилюється фазове зміщення, що зменшує ефективність диференціальної складової регулятора. У результаті якість роботи ПІД-регулятора в умовах значного запізнення майже не відрізняється від роботи ПІ-регулятора. Крім того, якщо в системі присутні вимірювальні шуми, використання ПІД-регулятора може спричинити хаотичні зміни керуючого сигналу, що призводить до

збільшення похибки регулювання та підвищеного зносу виконавчих механізмів.

Отже, застосування ПІД-регулятора доцільне в тих системах, де рівень шумів невисокий, а затримка об'єкта керування мінімальна. Прикладами таких систем є контури регулювання температури.

1.3. Адаптивний регулятор

Створення адаптивних регуляторів спрямоване на усунення необхідності складного та трудомісткого налаштування системи під час запуску, а також регулярного коригування її параметрів у процесі роботи.

Один із підходів до реалізації таких регуляторів передбачає використання активних впливів на систему, наприклад, введення тестових сигналів або зміни алгоритму керування. У деяких випадках для цього тимчасово замінюють настроюваний регулятор на двопозиційне реле, що викликає постійні автоколивання в контурі регулювання.

Спроби налаштовувати адаптацію без активного втручання в роботу системи, спираючись лише на її нормальний режим функціонування, зазвичай виявляються невдалими через обмеження системного характеру. Проблема полягає не стільки у створенні адаптивної системи, що не спричиняє додаткових відхилень параметра, скільки у мінімізації цих відхилень до рівня, який буде прийнятним у реальних умовах експлуатації.

1.4. Фізична модель об'єкту регулювання

Для проектування системи підтримки клімату потрібно знати фізичні характеристики об'єкта регулювання.

Об'єктом регулювання є приміщення в будівлі, зведений із різних конструкційних матеріалів. Кожен із цих матеріалів характеризується певними значеннями теплопровідності та теплоємності. Відповідно, приміщення загалом також має власні теплопровідність і теплоємність, які є сумарним результатом властивостей матеріалів, використаних під час

					171.4321.KP.ПЗ.P1	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

будівництва, а також характеристик предметів і повітря, що знаходяться всередині. На основі цих параметрів розраховуються теплові втрати приміщення та температура повітря в ньому.

Обчислення потужності втрат

$$P_p = q \cdot (T_{air} - T_{extern}), \quad (1.1)$$

де q – теплопровідність стін приміщення;

T_{air} – температура повітря в приміщенні;

T_{extern} – температура повітря на вулиці.

Обчислення температури повітря в приміщенні

$$T_{air} = T_{init} + dt, \quad (1.2)$$

де T_{init} – деяка початкова температура повітря в приміщенні;

dt – прирощення температури повітря.

Прирощення температури повітря залежить від потужності втрат P_p , потужності P , з якою працює нагрівач, і теплоємності приміщення C та обчислюється за наступною формулою

$$dt = dt + (P - P_p)/C. \quad (1.3)$$

Щоб врахувати інерційність датчика температури був введений коефіцієнт k . Таким чином температура яку буде вимірювати датчик розраховується за формулою

$$T_{sensor} = T_{sensor} + (T_{air} - T_{sensor}) \cdot k. \quad (1.4)$$

Для демонстрації роботи адаптивної системи підтримки клімату була обрана фізична модель з такими коефіцієнтами:

$$q = 2; \quad C = 200; \quad k = 0,06.$$

					171.4321.KP.ПЗ.Р1	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Ці коефіцієнти були обрані саме такими, для того щоб можна було перевірити перехідні процеси.

Програма імітатора розроблена в SCADA-системі GENIE фірми Advantech. Далі приводяться лістинги програм блоків, що входять до стратегії зображеної на рис. 1.5.

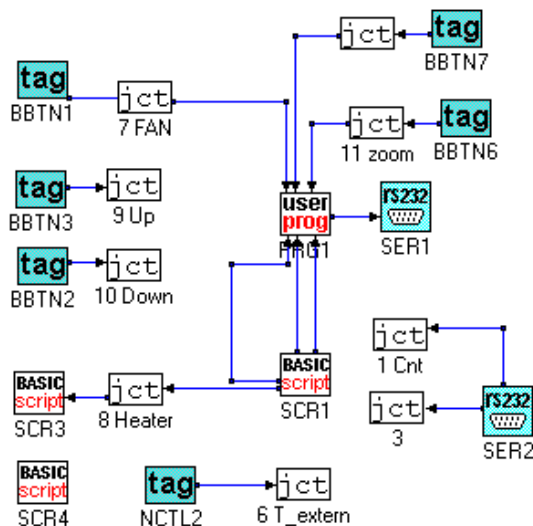


Рисунок 1.5 – Стратегія імітатора

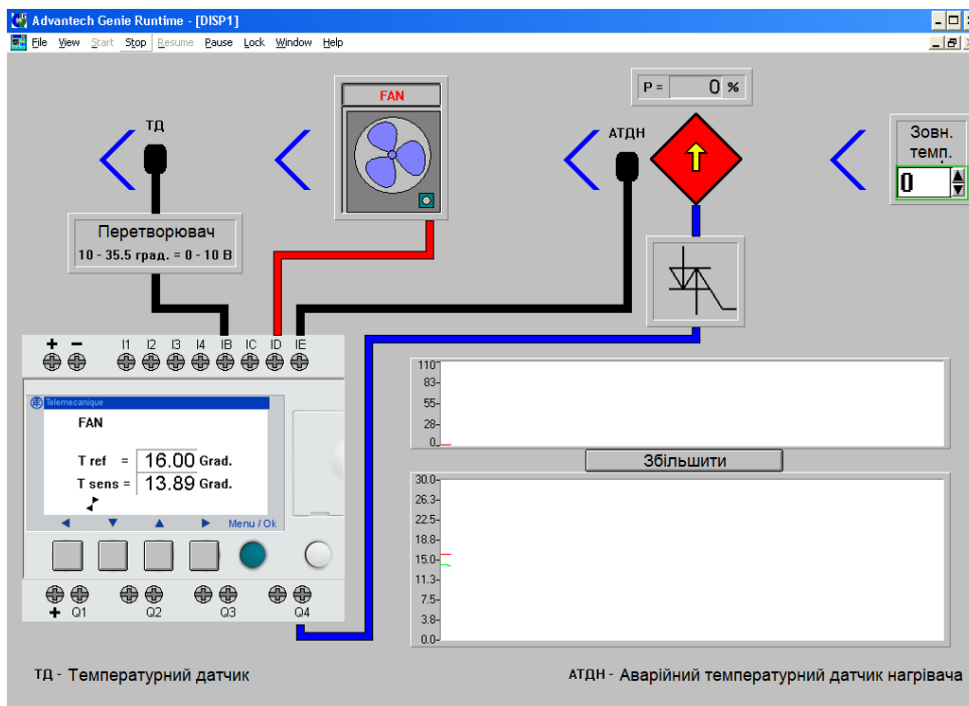


Рисунок 1.6 – Графічний інтерфейс імітатора

Лістинг програми наведено в Додатку А.

					171.4321.KP.ПЗ.P1	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		15

					171.4321.КР.ПЗ.Р2			
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата				
Розробник		Десягін К.Є.		10.06	Розробка апаратного забезпечення системи клімат-контролю	Літ.	Арк.	Аркуші
Консультант							16	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.		10.06				
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АПАРАТНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЛІМАТ-КОНТРОЛЮ

2.1. Опис характеристик системи

Визначальним напрямом у розробці систем автоматизації є вибір апаратної платформи. У контексті використання програмованих логічних контролерів (ПЛК), значний інтерес становить інтелектуальне реле Zelio Logic від Schneider Electric, яке докладно розглядається в офіційному керівництві користувача [17]. Його переваги включають компактність, підтримку мови програмування згідно з ІЕС 61131-3 [25], можливість локального та віддаленого моніторингу, а також простоту налаштування.

Переваги ПЛК як класу пристроїв висвітлюються у працях Болтона [18] та Даннінга [19]. Автори відзначають стабільність, модульність та універсальність ПЛК у порівнянні з традиційними релейно-контактними схемами. Проте вказується на їхню складність для початківців, потребу в спеціалізованому програмному забезпеченні та високу вартість деяких моделей.

Схожі аспекти розглядаються в працях Михайлова [8] і Дрозда [3], де основна увага приділяється базовим принципам мікропроцесорної техніки та їх застосуванню у керуванні технічними процесами. Хоча подається ґрунтовна теоретична база, не вистачає прикладного аспекту саме для кліматичних систем.

У контексті альтернативних платформ варто згадати про ПЛК Modicon (M221, M241, M251) [21] та Siemens SIMATIC S7-1200 [22], які забезпечують більшу масштабованість і підтримку розширених SCADA-функцій. Проте вони складніші у налаштуванні, дорожчі, і для реалізації малих об'єктів (типу окремих приміщень чи малих будівель) можуть бути надмірними.

Адаптивна система регулювання клімату складається з кількох основних компонентів. Вентилятор забезпечує циркуляцію повітря. Температурний датчик вимірює температуру повітряного потоку. Спеціальний перетворювач трансформує температурний діапазон 10-35,5°C у

					171.4321.KP.ПЗ.P2	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

напругу 0-10В, що дозволяє працювати з цими даними в електронних схемах. Інтелектуальне реле аналізує зовнішні сигнали та формує імпульси для керування симісторами. Симісторний блок здійснює комутацію електронагрівача, який відповідає за нагрівання повітря. Уся система живиться від окремого блока живлення.

Отже, система складається з таких елементів (блоків):

- Вентилятор.
- Температурний датчик – використовується для вимірювання температури повітряного потоку.
- Перетворювач 10-35.5оС в 0-10В – необхідний для виділення потрібного діапазону температур і приведення його до зручного діапазону напруг.
- Інтелектуальне реле – виконує обробку зовнішніх сигналів, здійснює формування імпульсів для відкриття симісторів.
- Симісторний блок – для комутації електронагрівача.
- Електронагрівач.
- Блок живлення.

На рис. 2.1. представлено структурну схему системи.

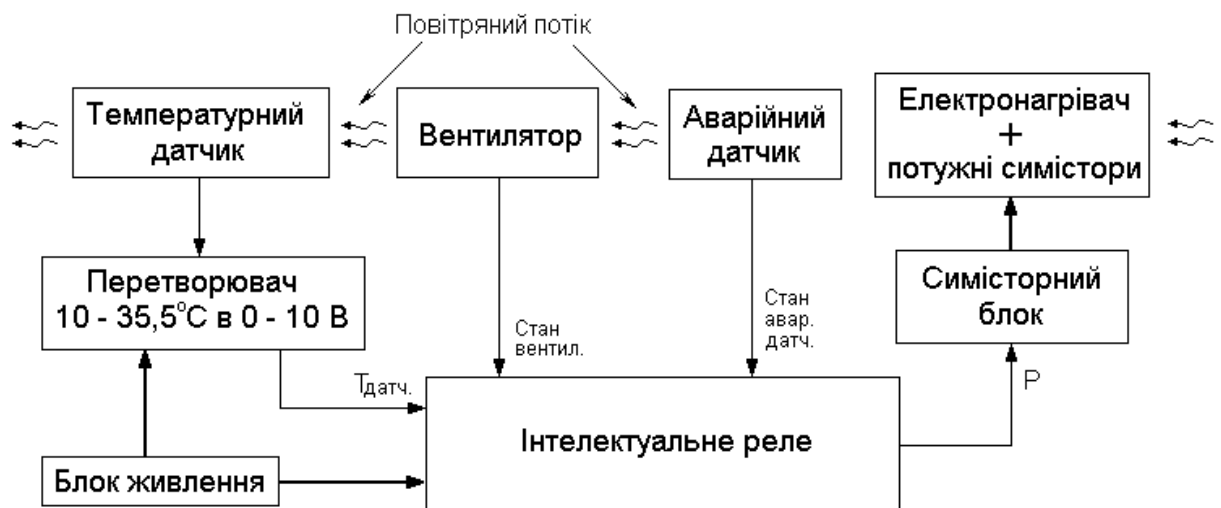


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи

Застосування сучасної елементної бази спростило схему. Головну функцію виконує інтелектуальне реле, яке реалізує запрограмовані алгоритми. Це забезпечує вищу точність системи порівняно з аналогами на дискретних елементах, підвищує її надійність і знижує собівартість завдяки скороченню часу розробки.

2.2. Обґрунтування вибору інтелектуального реле

Центральним елементом системи є інтелектуальне реле, яке виконує низку важливих функцій: керує відкриттям силових вентилів, обробляє сигнали від термодатчика, передає дані на РК-дисплей і забезпечує управління через клавіатуру.

Вибір відповідного реле є ключовим етапом проєктування. Хоча продукти різних виробників часто мають подібні характеристики, кожна компанія пропонує технічну документацію для підтримки розробників у створенні апаратних і програмних рішень. Більшість інтелектуальних реле базуються на мікроконтролерах із RISC-архітектурою, що передбачає розділення шин пам'яті для даних і програм, енергоефективні режими роботи, а також наявність таймерів, лічильників і сторожових таймерів для підвищення надійності. Проте кожен виробник додає у свої пристрої унікальні особливості.

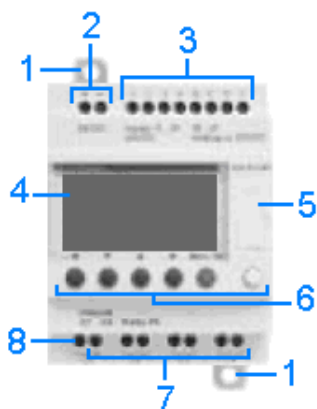
Щоб забезпечити необхідний функціонал, реле має містити достатню кількість входів і виходів (переважно транзисторного типу), клавіатуру, РК-дисплей, аналого-цифровий перетворювач і значний обсяг пам'яті. Важливими критеріями вибору також є доступність програмного середовища для розробки, моделювання та налагодження програм. Усім цим вимогам відповідає модель SR2B122BD з лінійки Zelio Logic від Schneider Electric.

Загальні характеристики SR2B122BD:

- Кількість входів/виходів: 12;
- Кількість дискретних входів (в тому числі аналогових): 8 (4);
- Кількість транзисторних виходів: 4;

					171.4321.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- Напруга живлення: 24В, постійна;
- Вбудований годинник: наявний.



На передній панелі розташовані:

1. Два висувних монтажних виступи
2. Дві клеми живлення
3. Клеми приєднання входів
4. РК-дісплей з підсвічуванням, 4 строчки по 18 символів
5. Роз'єм для програмування
6. Клавіатура з 6 клавiш
7. Клеми приєднання виходів
8. Клема живлення виходів

Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд інтелектуального реле Zelio Logic

Параметри джерела енергії:

- Робоча напруга: 24 В
- Діапазон напруги, включаючи флуктуації: 19.2...30 В
- Стандартний струм: 100 мА
- Розсіювана потужність: 3 Вт
- Короткочасні переривання: 1 мс (до 20 повторень)
- Захисні механізми: від зворотної полярності

Параметри обробки інформації:

- Тривалість циклу: 10...50 мс
- Час відгуку: 20 мс
- Термін збереження (у разі вимкнення живлення):
- Дні/години: 10 років (літієва батарея) при 25°C
- Програма та конфігурація: 10 років (флеш-накопичувач)
- Перевірка пам'яті програми: під час кожного запуску
- Похибка ходу годинника:
- 12 хвилин на рік (0...55°C)
- 6 секунд на місяць (при 25°C і калібруванні)
- Точність роботи таймерів: 1% ±2 цикли

					171.4321.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Параметри цифрових входів:

- Спосіб підключення: гвинтові затиски
 - Робоча напруга: 24 В
 - Стандартний струм: 4 мА
 - Межові характеристики перемикання входів:
- Логічна "1":
 - Напруга: ≥ 15 В
 - Струм: ≥ 2.2 мА
- Логічний "0":
 - Напруга: ≤ 5 В
 - Струм: < 0.75 мА
 - Вхідний опір у стані логічної "1": 7.4 кОм
 - Час реакції (налаштовується):
- Перехід 0 $\rightarrow$ 1: 0.2 мс
- Перехід 1 $\rightarrow$ 0: 0.3 мс
 - Тип входу: резистивний
 - Найвища частота підрахунку: 1 кГц

Параметри інтегрованих аналогових входів:

- Аналогові входи:
- Діапазон вхідної напруги: 0...10 В або 0...24 В
- Опір входу: 12 кОм
- Гранична неруйнівна напруга: 30 В
- Роздільна здатність молодшого біту: 39 мВ, 4 мА
- Тип входу: недиференційований
 - Перетворення:
- Дискретизація: 8 біт
- Час перетворення: рівний циклу модуля
- Точність:
- При 25°C: ± 5 %

					171.4321.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- При 55°C: $\pm 6.2 \%$
- Відтворюваність: при 55°C $\pm 2 \%$
- Довжина підключеного кабелю: до 10 м (екранований кабель)

Параметри транзисторних виходів:

- Робоча напруга: 19.2...30 В
- Навантаження:
 - Номінальна напруга: 24 В
 - Номінальний струм: 0.5 А
 - Найвищий струм: 0.625 А при 30 В
 - Напруга залишку (при активному стані): ≤ 2 В при $I = 0.5$ А
 - Час реакції:
- Увімкнення: ≤ 1 мс
- Вимкнення: ≤ 1 мс
- Вбудовані механізми захисту:
 - Від перевантаження та короткого замикання
 - Від стрибків напруги
 - Від зворотного підключення живлення

2.3. Вибір датчика температури

Для вибору датчика температури важливо враховувати його компактність, щоб забезпечити зручність розміщення, низьку інерційність для швидкого отримання результатів, високу точність вимірювань, а також доступну вартість. З огляду на ці критерії було прийнято рішення використовувати цифровий температурний сенсор DS18B20 виробництва Dallas Semiconductor. Його головною перевагою є заводське калібрування, що гарантує точність вимірювань у межах $\pm 0.5^\circ\text{C}$ у діапазоні від -10 до $+85^\circ\text{C}$ та $\pm 2^\circ\text{C}$ у ширшому робочому інтервалі.

Цей сенсор має низку унікальних особливостей. Його підключення відбувається через однопровідний інтерфейс, що мінімізує потребу у виводах мікроконтролера. Кожен датчик має власний 64-бітний ідентифікаційний

					171.4321.KP.ПЗ.Р2	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

номер, записаний у постійній пам'яті, що дозволяє легко організувати багатоточкові вимірювальні системи. Пристрій не потребує додаткових компонентів і може живитися безпосередньо від лінії даних при напрузі 3,0–5,5 В.

Датчик здатний працювати у широкому температурному діапазоні від -55°C до +125°C, а користувач може самостійно обирати роздільну здатність вимірювань від 9 до 12 біт. Максимальний час перетворення температури при 12-бітному режимі становить 750 мс. Крім того, пристрій підтримує функцію енергонезалежного збереження параметрів температурних сигналів і може автоматично ідентифікувати сенсори, температура яких вийшла за встановлені межі.

Завдяки цим характеристикам DS18B20 широко застосовується в термостатах, промислових системах, побутових приладах, електронних термометрах і будь-яких інших пристроях, чутливих до змін температури.

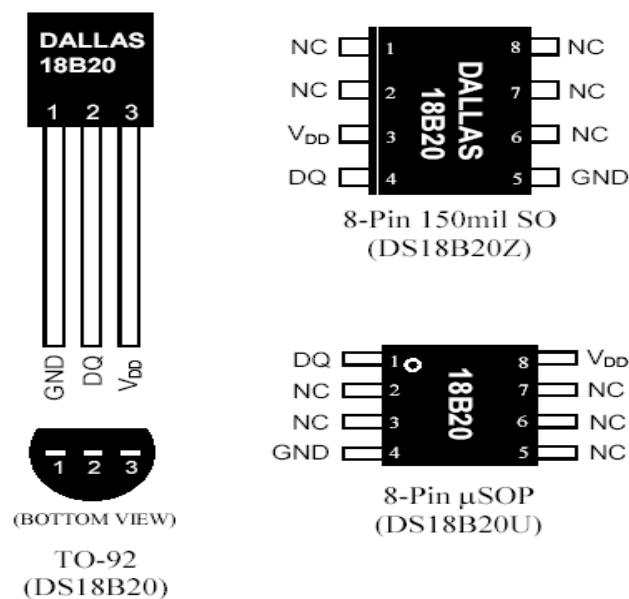


Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд датчика та призначення виводів

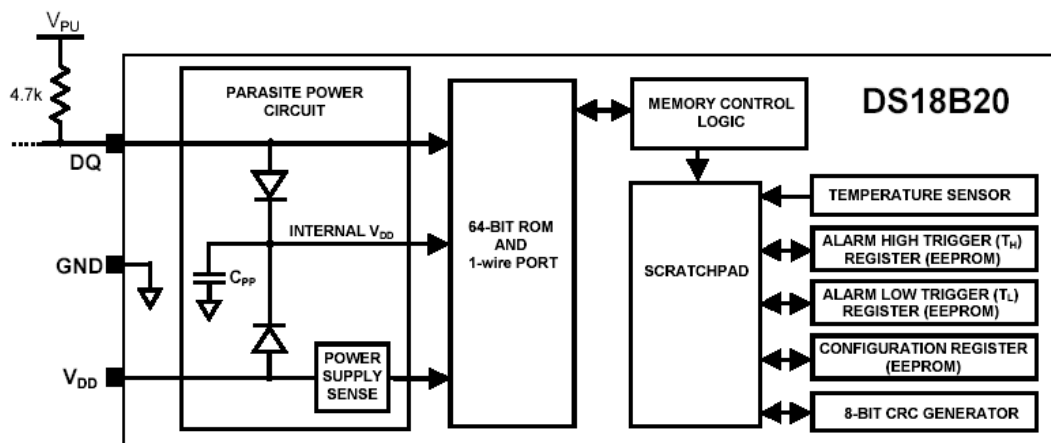


Рисунок 2.4 – Внутрішня структура датчика температури

Робота цифрових температурних сенсорів DALLAS базується на підрахунку імпульсів, які генерує стабільний генератор у часовому проміжку, що формується іншим генератором із температурно-залежною частотою. Початково лічильник встановлюється на значення, що відповідає -55°C , тобто найнижчій вимірюваній температурі. Якщо лічильник доходить до нуля до завершення інтервалу (що свідчить про те, що температура вища за -55°C), значення регістра температури збільшується на одиницю.

Після кожного скидання лічильник отримує нове значення, яке визначає схема корекції температурної залежності. Ця схема компенсує нелінійність зміни частот генераторів у залежності від температури. Лічильник знову запускається, і якщо він повторно досягає нуля до завершення відліку, процес триває аналогічним чином. Корируюча схема завантажує лічильник відповідними значеннями, які відповідають кількості імпульсів на 1°C при кожному конкретному рівні температури. Після завершення вимірювання у регістрі температури зберігається актуальне значення температури.

2.4. Розробка перетворювача температури у напругу 0-10В

Цей блок циклічно зчитує значення вимірюваної температури з цифрового датчика, який до нього підключається, а також передає команду початку перетворення з допомогою 1-провідного інтерфейсу (1-WireTM)

					171.4321.KP.ПЗ.P2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		24

фірми DALLAS. Виділяє діапазон температур від 10 °С до 35.5 °С і перетворює його до діапазону напруг 0 – 10 В. Перетворювач 10-35.5°С в 0-10В складається з таких функціональних блоків:

- Мікроконтролер;
- НЧ-фільтр;
- Підсилювач;
- Стабілізатор.

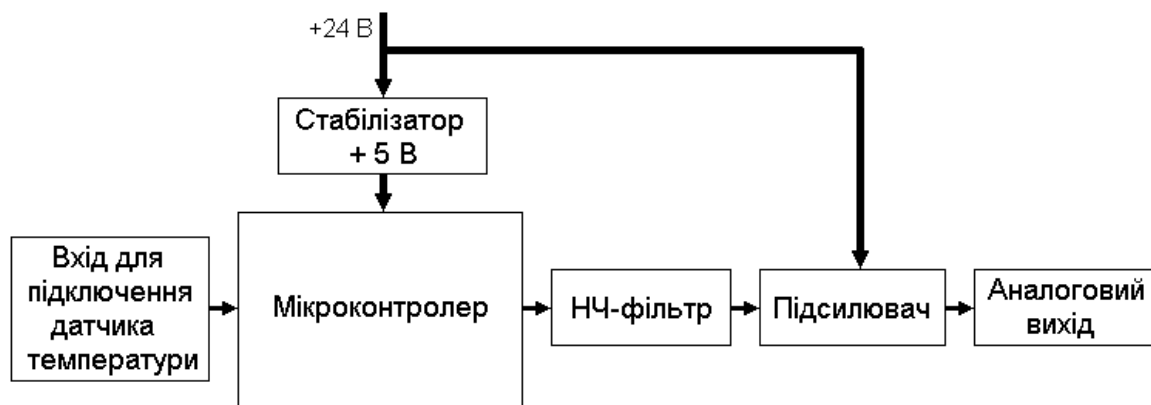


Рисунок 2.5 – Структурна схема перетворювача 10-35.5°С в 0-10В

Цей блок має вхід для підключення цифрового датчика температури і аналоговий вихід, який підключається до інтелектуального реле. Аналоговий вихід реалізується за допомогою вбудованого в мікроконтролер апаратного каналу ШІМ, який працює на частоті більше ніж 10 кГц. Відфільтрований сигнал ШІМ підсилюється, щоб забезпечити на виході перетворювача максимальну напругу 10 В, яка відповідає температурі 35.5 °С. Діапазон живлячих напруг складає 8 - 30 В.

Для забезпечення необхідного рівня аналогового сигналу на виході блоку, потрібно його підсилити. Підсилювач постійного струму виконаний на операційному підсилювачі по схемі, що не інвертує (рис. 2.6).

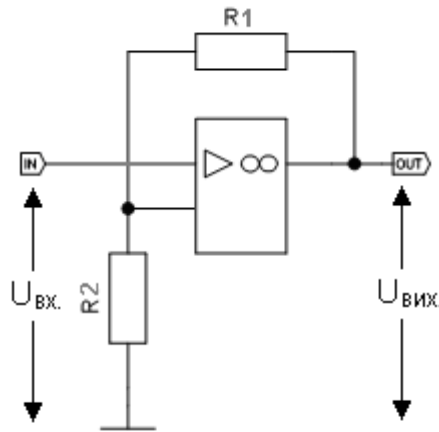


Рисунок 2.6 – Схема підсилювача постійного струму

Максимальна напруга на вході ППС дорівнює приблизно 5 В, при цьому на виході потрібно отримати напругу 10 В. Тому коефіцієнт підсилення буде дорівнювати

$$K = U_{\text{вих.}} / U_{\text{вх.}} = 2.$$

Вибір резисторів для цієї схеми робиться за формулою $K = 1 + R1/R2$, звідки $R1 = R2 \times (K - 1)$. Видно, що при $K = 2$ формула спрощується до $R1 = R2$, тобто резистори повинні бути одного номіналу. Для забезпечення необхідної перешкодостійкості номінали резисторів були обрані рівними 2 кОм.

Слід зазначити що напруга живлення операційного підсилювача повинна бути більше 10 В щоб забезпечити правильну роботу ППС. Виходячи з цього для живлення операційного підсилювача можна використати напругу +24 В, яка живить АСПК. Що в свою чергу спростить схему і зменшить вартість цього блоку, тому що не треба буде ставити додатковий стабілізатор, щоб понизити напругу.

Для отримання аналогового сигналу потрібно відфільтрувати сигнал на виході ШІМ мікроконтролера. Щоб це зробити використовується найпростіший НЧ-фільтр – інтегруюча RC-ланка (рис. 2.7).

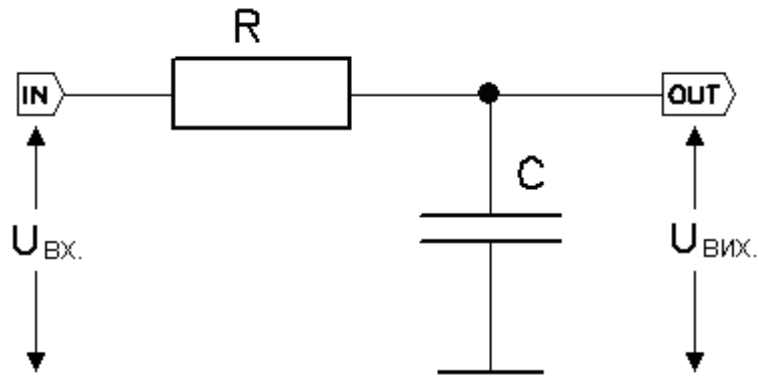


Рисунок 2.7 – Схема підсилювача постійного струму

Номінали елементів RC-ланки розраховуються за формулою

$$RC = q/(2\pi f), \quad (2.1)$$

де q - коефіцієнт згладжування фільтру;

f – частота пульсацій на вході фільтру, яка дорівнює частоті сигналу ШІМ $f_{\text{ШИМ}}$.

Коефіцієнт згладжування фільтру

$$q = U_{n. \text{ вх.}} / U_{n. \text{ вих.}}, \quad (2.2)$$

де $U_{n. \text{ вх.}}$ – амплітуда пульсацій на вході фільтру;

$U_{n. \text{ вих.}}$ – амплітуда пульсацій на виході фільтру;

Амплітуда пульсацій на вході фільтру визначаються сигналом ШІМ і дорівнюють $U_{n. \text{ вх.}} = 2,5$ В. Амплітуда пульсацій на виході фільтру визначаються значенням молодшого розряду для аналогового входу інтелектуального реле ($U_{\text{мол.розр.}} \approx 40$ мВ). Щоб забезпечити надійну фільтрацію сигналу ШІМ потрібно виконання умови

$$U_{n. \text{ вих.}} \leq U_{\text{мол.розр.}} / (2 \cdot K), \quad (2.3)$$

де $K = 2$ – коефіцієнт підсилення ППС, який стоїть між фільтром і аналоговим входом інтелектуального реле. Двійка у знаменнику враховує подвійну амплітуду пульсацій на виході фільтру. Таким чином

$$U_{n. \text{ вих.}} = 0,04/(2 \cdot 2) = 0,01 \text{ (В)}.$$

Розраховуємо потрібний коефіцієнт згладжування фільтру за формулою (2.2):

$$q = 2.5/0,01 = 250.$$

					171.4321.КР.ПЗ.Р2	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Опір резистора R візьмемо рівним 47 кОм. Ємність конденсатору фільтру розраховується за формулою

$$C = q / (2\pi \cdot f_{\text{ШИМ}} \cdot R) = 250 / (2 \cdot 3.14 \cdot 10^4 \cdot 47 \cdot 10^3) \approx 0,085 \text{ (мкФ)}.$$

Найближче значення ємності із стандартного ряду - це 0,1 мкФ.

Для більшої ефективності фільтру дві такі ланки з'єднуються послідовно.

2.5. Розробка друкованої плати

Плата виконує функцію каркаса пристрою, на якому розміщуються всі компоненти. Застосування САПР дозволяє уникнути неточностей, спрощує процес компонування деталей на платі та їх електричного з'єднання. Крім того, використання цієї системи відкриває можливість виготовлення плати на автоматизованому обладнанні.

Після визначення габаритів плати та розташування елементів необхідно здійснити її виготовлення. Існує кілька методів створення друкованих плат, серед яких гальванохімічний спосіб, витравлювання фольгованого діелектрика, технологія переносу схеми шляхом запресування в ізоляційний матеріал тощо. У цьому випадку був обраний метод хімічного травлення фольгованого матеріалу, який передбачає нанесення захисного шару кислотійкого покриття, а потім витравлення незахищених ділянок фольги. Такий підхід забезпечує високу точність формування провідників, скорочує трудовитрати у порівнянні з альтернативними методами, дозволяє отримувати лінії товщиною до 0,1 мм та легко адаптується до автоматизованого виробництва. Однак недоліком є хімічний вплив розчину на діелектричну основу, що може погіршити її ізоляційні властивості.

Як матеріал основи друкованої плати використовується склотекстоліт. Технологічний процес виготовлення включає кілька етапів: підготовка поверхні (очищення та знежирення), нанесення захисного малюнка, витравлення, видалення захисного покриття, механічне оброблення та нанесення захисного шару (наприклад, лакового покриття).

					171.4321.KP.ПЗ.P2	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

У якості хімічного реагенту для травлення застосовується водний розчин хлорного заліза. Підвищення температури розчину прискорює процес, але використання хлорного заліза має певні недоліки. Через взаємодію з фенольними смолами, що містяться в матеріалі плати, може погіршуватися її ізоляційна здатність. Крім того, складність регенерації міді ускладнюється присутністю заліза у використаному розчині. Альтернативою може бути водний розчин хлорної міді з додаванням соляної кислоти, хоча це збільшує тривалість процесу.

Після завершення механічного оброблення плата проходить стадії промивання та висушування.

На рис. 2.8 приводиться вигляд друкованої плати.

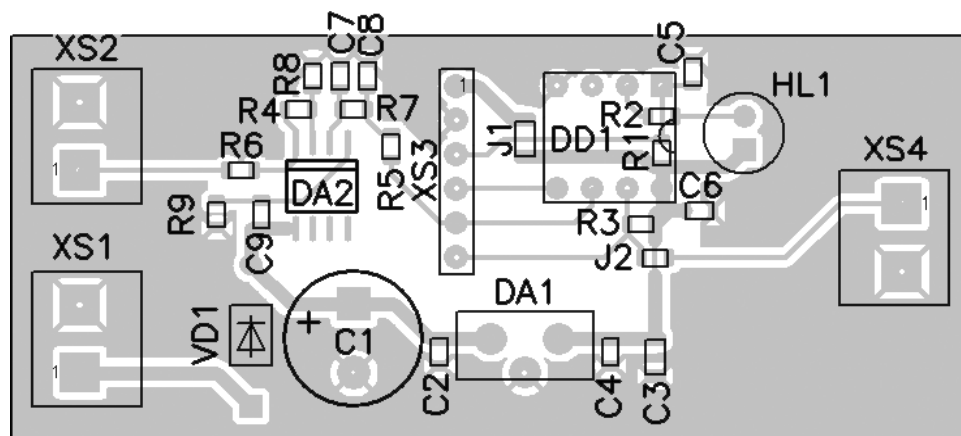


Рисунок 2.8 – Друкована плата

2.6. Розробка симісторного блоку керування

Схема симісторного блоку показана на рис. 2.9. Він складається з трьох однакових каналів, які керуються одним сигналом. Це дозволяє підключити одне трьохфазне навантаження, або три однофазних.

Симістори вибираються виходячи з максимальної прямої постійної напруги в закритому стані і максимального постійного струму у відкритому стані. Максимальна амплітудна напруга яка діє на симістор в закритому стані визначається наругою живлячої мережі $U_a = 536 \text{ В}$, а струм у відкритому стані – потужністю навантаження ($I = 0,5 \text{ А}$). Тому були обрані симістори типу ВТА12, з максимальною напругою 800 В і струмом 12 А.

Оптопара вибирається по максимальній напрузі на оптосимісторі в закритому стані. В данному випадку ця напруга дорівнює діючій напрузі живлячої мережі (220 В). Тому можна використати оптопару МОС3063.

Номинал резистору R1 розраховується за формулою:

$$R1 = (U_{лог.1 IP} - 3 \cdot U_{np. U1} - U_{np. HL1}) / I_{вкл. U1}, \quad (2.4)$$

де $U_{лог.1 IP} = 24$ В – напруга на виході інтелектуального реле при рівні логічної одиниці;

$U_{np. U1} = 1,3$ В – спад напруги на світлодіоді оптопари в прямому включенні;

$U_{np. HL1} = 2$ В – спад напруги на світлодіоді HL1 в прямому включенні;

$I_{вкл. U1} = 10$ мА – прямий струм включення оптопари.

$$R1 = (24 - 3 \cdot 1,3 - 2) / 10 \approx 1,8 \text{ (кОм)} \quad (2.5)$$

Резистори R2, R3, R4 запобігають мимовільному відкриттю симісторів VS1 – VS3. Їх номінал вибирається рівним 47 Ом.

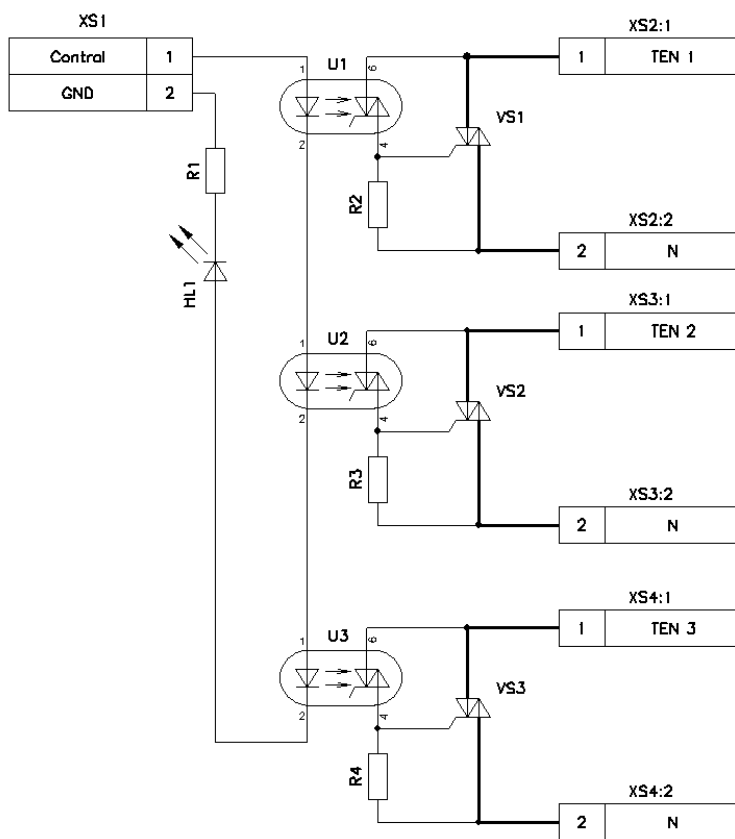


Рисунок 2.9 – Схема симісторного блоку

Вибір джерела живлення здійснюється з урахуванням напруги, необхідної для всіх компонентів системи, зокрема інтелектуального реле та

перетворювача температурного діапазону 10–35,5°C у сигнал 0–10 В. Для стабільної роботи цих модулів необхідна напруга в межах 19,2–30 В при загальному споживанні струму не більше 130 мА.

Окрім цього, живлення інтелектуального реле має бути оснащено захистом від зворотної полярності, а також стійким до короткочасних перебоїв у мережі. Враховуючи всі ці вимоги, оптимальним рішенням є використання імпульсного модуля живлення 20ДП-24.

2.7. Апаратна частина демонстраційної версії адаптивної системи підтримки клімату

Для демонстрації роботи АСПК з відображенням на екрані монітору персонального комп'ютера графіків температури і потужності та іншої анімації була розроблена її демонстраційна версія, яка дозволяє перевірити технічні характеристики регулятора в заданому діапазоні температур з будь-якими характеристиками об'єкта, а також більш наглядно відобразити принцип дії всієї системи. Структурна схема системи представлена на рис. 2.10.

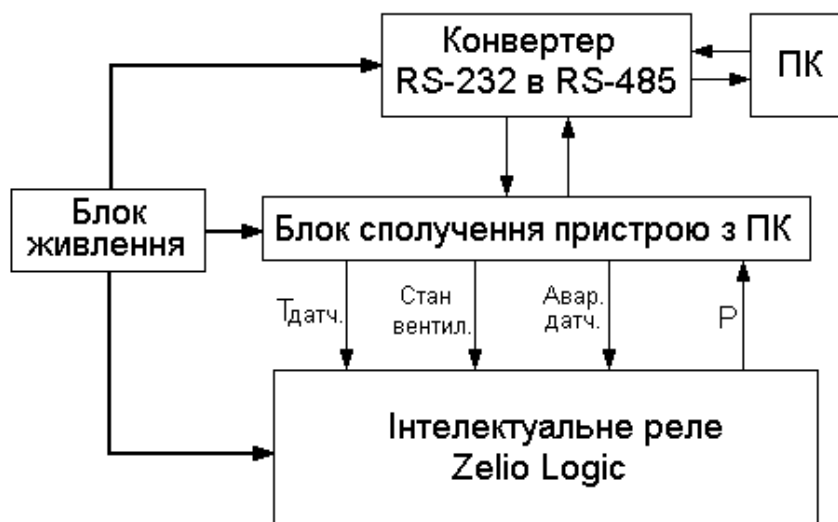


Рисунок 2.10 – Структурна схема демонстраційної версії системи

Блок сполучення пристрою з ПК (рис. 2.11) вимірює сигнал керування електронагрівачем (потужність), який виробляє інтелектуальне реле, і

передає виміряне значення в ASCII-кодах по інтерфейсу RS-485 на персональний комп'ютер. Програма імітатора на ПК по прийнятим даним обчислює значення температури повітря і передає в цей блок. Тут прийняті дані перетворюються в аналоговий сигнал, який надходить на вхід інтелектуальне реле. Також в залежності від команд, які надходять від ПК, цей блок виробляє сигнали стану вентилятора і аварійного датчика електронагрівача.

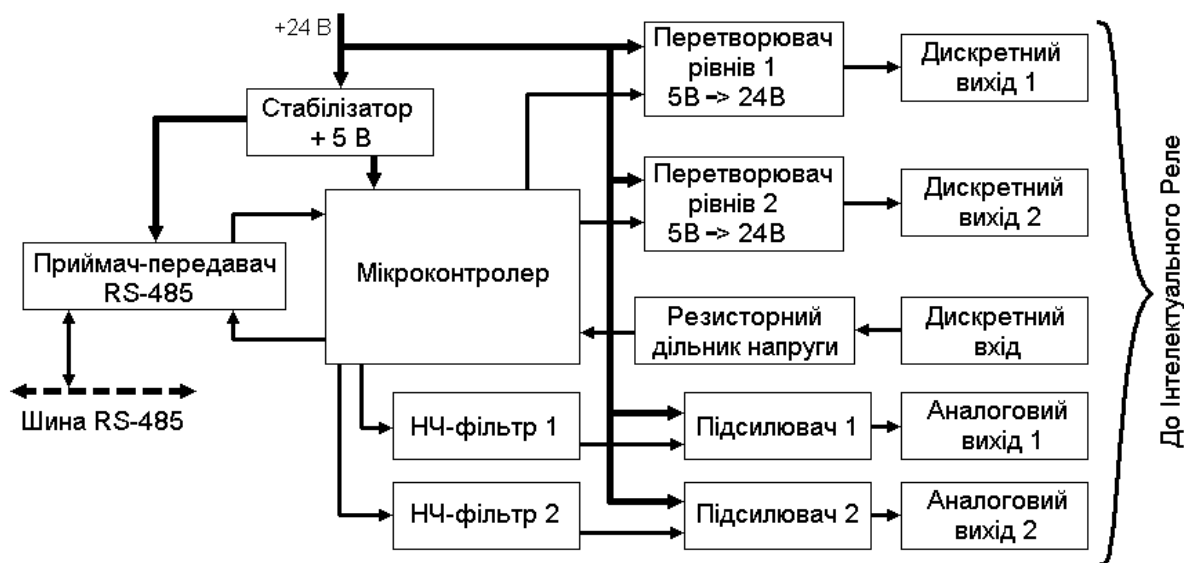


Рисунок 2.11 – Структурна схема Блоку Сполучення з ПК

Аналогові виходи реалізуються за допомогою двох 8-ми бітних вбудованих в мікроконтролер апаратних каналів ШІМ, які працюють на частоті більше ніж 10 кГц. Відфільтрований сигнал ШІМ підсилюється, щоб забезпечити на виході максимальну напругу 10 В, яка відповідає температурі 35.5 °С. Діапазон живлячих напруг складає 8 - 30 В.

На рис. 2.12 представлено вигляд друкованої плати розробленої демонстраційної версії адаптивної системи клімат-контролю.

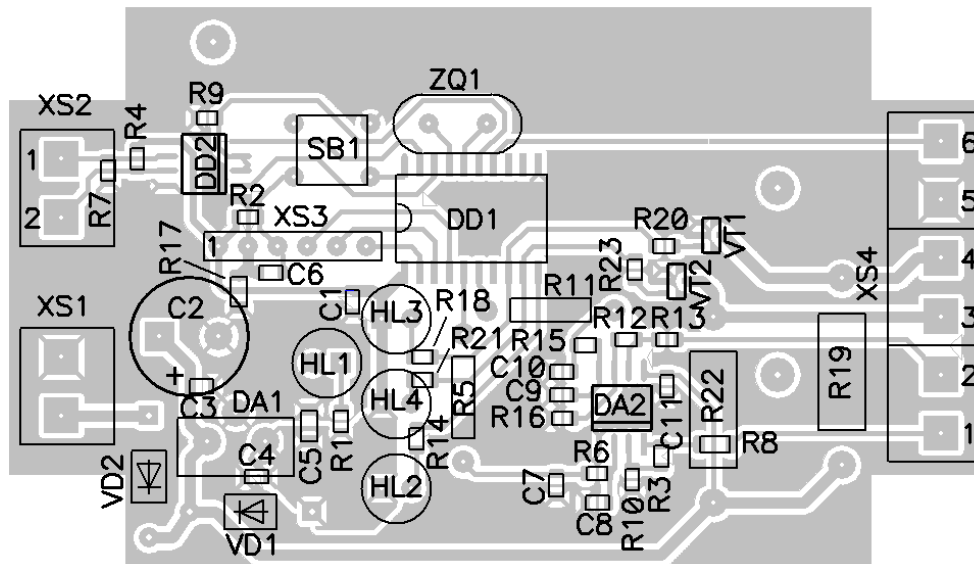


Рисунок 2.12 – Друкована плата

					171.4321.КР.ПЗ.Р2	Арк.
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		33

					171.4321.КР.ПЗ.РЗ				
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Програмне забезпечення автоматизованого керування клімат- контролем	Літ.		Арк.	Аркуші
Розробник		Делягін К.Є.		10.06					
Консультант								34	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова			
Керівник		Ушкаренко О.О.		10.06					
Зав. каф.		Рябенський В. М.							

РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ КЛІМАТ-КОНТРОЛЕМ

3.1. Характеристики середовища розробки програмного забезпечення

Однією з важливих складових клімат-контролю є візуалізація та диспетчеризація. Сучасні SCADA-системи розглядаються у працях Сергієнка [16] і Грема [20]. У роботах описуються типові архітектури, протоколи обміну, роль OPC-серверів, однак мало уваги приділено реалізації SCADA на базі рішень начебто Zelio Logic, що часто мають обмежений інтерфейс візуалізації.

Певну компенсацію цьому дає підхід автоматного програмування, що дозволяє створювати структуровані алгоритми для керування складними об'єктами. Цю тему висвітлює Рябенський В.М. у низці публікацій [12–15], де наголошується на зручності створення спеціалізованих алгоритмів автоматного типу навіть для апаратів із обмеженими обчислювальними ресурсами.

У сфері будівельної автоматизації важливо орієнтуватися на міжнародні стандарти. ISO 16484-3:2022 [26] визначає функціональні блоки автоматизації для будівельних систем, а стандарт IEC 61131-3:2020 [25] формує основу мов програмування ПЛК (LD, FBD, ST, SFC). Згідно з цими стандартами, Zelio Logic підтримує мови LD і FBD, що робить його сумісним із базовими вимогами до кліматичних систем.

Також слід враховувати специфіку HVAC-об'єктів. У посібниках White [23], Trane [27] та довіднику ASHRAE [24] подано класифікацію систем, режими роботи, способи керування клапанами, вентиляторами та датчиками. Це забезпечує підґрунтя для правильного проектування керуючої логіки та вибору виконавчих механізмів.

У сучасному конструюванні спостерігається тенденція до збільшення використання програмних рішень замість апаратних компонентів. Це стало можливим завдяки стрімкому розвитку мікропроцесорних технологій, удосконаленню програмного забезпечення та зниженню його вартості.

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Поєднання апаратних і програмних ресурсів у єдиній системі забезпечує виконання всіх необхідних функцій та ефективну взаємодію оператора з пристроєм. Програми з інтуїтивно зрозумілим графічним інтерфейсом не потребують довготривалого навчання користувачів, а інтеграція з іншими застосунками дозволяє вирішувати широкий спектр наукових, технічних і прикладних завдань. У цьому розділі розглядається процес розробки програмного забезпечення для інтелектуального реле.

Створення програмного забезпечення здійснювалося за допомогою інструменту Zelio Soft v.2.0, який надає можливість:

- програмування на контактній логіці (LADDER) або з використанням функціональних блоків (FBD);
- симуляції роботи, оперативного моніторингу та диспетчерського керування;
- завантаження, видалення та редагування програм;
- створення і коригування персоналізованих документів;
- автоматичної компіляції коду.

Для розробки програмного забезпечення була обрана мова функціональних блокових схем (FBD), що дозволяє здійснювати графічне програмування на основі попередньо визначених функціональних модулів.

3.2. Реалізація алгоритму керування

Задача, яку повинно виконувати інтелектуальне реле, полягає в автоматичній підтримці заданого значення температури. Для цього реле керує нагрівачем опираючись на показання термодатчика по заданому алгоритму. Для керування нагрівачем використовується дискретний вихід Q4. Вбудований у нагрівач аварійний датчик температури, підключається до дискретного входу I1 реле. Якщо електронагрівач перегріється, цей датчик спрацює і на вході I1 з'явиться логічна одиниця, інакше на вході буде присутній логічний нуль. Сигнал температури надходить на аналоговий вхід IV. Сигнал стану вентилятора надходить на дискретний вхід I2.

					171.4321.KP.ПЗ.РЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Адаптивний регулятор реалізований за методом, який складається у використанні активного впливу на об'єкт, під час якого вимірюються параметри цього об'єкта. В даному випадку об'єкт – це приміщення, в якому потрібно підтримувати температуру, а параметр – потужність теплових втрат цього приміщення. Процес регулювання забезпечується коливаннями потужності нагрівача $\pm P_{const}$ відносно потужності теплових втрат об'єкта. Для простоти реалізації алгоритму адаптивного регулятора й універсалізації системи потужність електронагрівача була прийнята за 100 %. Це дозволяє вимірювати потужність теплових втрат приміщення відносно потужності використаного електронагрівача.

Вимір потужності втрат здійснюється виходячи з енергетичного балансу нагрівання-охолодження при одній і тій самій температурі.

Задана температура буде постійною, якщо кількість тепла нагрівача компенсує тепло втрат, тобто

$$Q_n = Q_{втрат} \cdot \quad (3.1)$$

На рис. 3.1. для інтервалу 1 - 3

$$Q_n = P_n \cdot T1, \quad (3.2)$$

$$Q_{втрат} = P_{втрат} \cdot T2. \quad (3.3)$$

З формул (5.1), (5.2) і (5.3) випливає

$$P_{втрат} = P_n \cdot T1/ T2. \quad (3.4)$$

Так як $P_n = 100\%$, то

$$P_{втрат} = 100 \cdot T1/ T2. \quad (3.5)$$

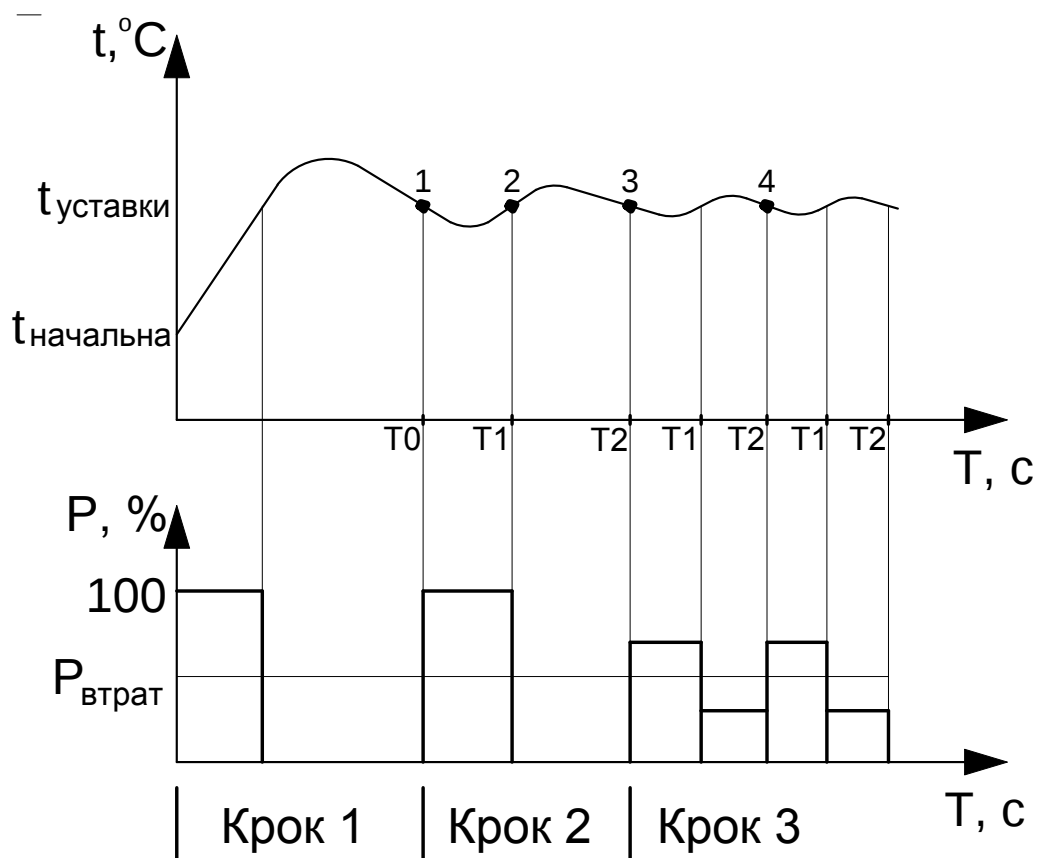


Рисунок 3.1 – Графіки, що пояснюють роботу адаптивного регулятора

3.3. Опис роботи програми

Програма починає виконуватись, якщо на вході I2 присутня логічна одиниця, тобто вентилятор включений. Налаштування адаптивного регулятора відбувається за три кроки. Перші два кроки регулятор працює в режимі двопозиційного реле, тобто якщо температура повітря нижче температури уставки, то електронагрівач включається на повну потужність (100%) і виключається коли температура повітря вище температури уставки. Перший і другий кроки відрізняються тим, що на першому кроці відбувається попереднє нагрівання системи, а на другому виконується вимірювання інтервалів часу $T1$ і $T2$, по яких за формулою (3.5) розраховується потужність теплових втрат $P_{втратах}$. На першому кроці нагрівання може і не відбутися, якщо температура повітря буде вище температури уставки на момент включення вентилятора. В цьому випадку регулятор буде чекати зниження температури і як тільки вона стане нижче температури уставки регулятор перейде на другий крок.

На третьому кроці, тобто на інтервалі 3-4 (див. рис. 3.1) протягом часу $T1$ нагрівач працює з потужністю

$$P = P_{втрat} + P_{const},$$

а протягом часу $T2 - T1$

$$P = P_{втрat} - P_{const},$$

де $P_{const} = 20\%$ потужності використаного нагрівача.

Це значення вибирається з максимально можливої зміни потужності втрат за цикл виміру. Якщо зміна потужності втрат все-таки перевищить його, то блок, що стежить за відхиленнями температури за межі $\pm 0,5^\circ\text{C}$, поверне програму на перший крок.

Наприкінці інтервалу 3-4 уточнюється $P_{втрat}$ по формулі

$$P'_{втрat} = \frac{(P_{втрat} + 20) \cdot T1 + (P_{втрat} - 20) \cdot (T2 - T1)}{T2}$$

$$P'_{втрat} = 40 \cdot \frac{T1}{T2} + P_{втрat} - 20$$

Надалі регулятор працює по такому ж алгоритмі.

3.4. Розробка блок-схеми алгоритму програми

Блок-схема алгоритму програми представлена на рис. 3.2 – рис. 3.4.

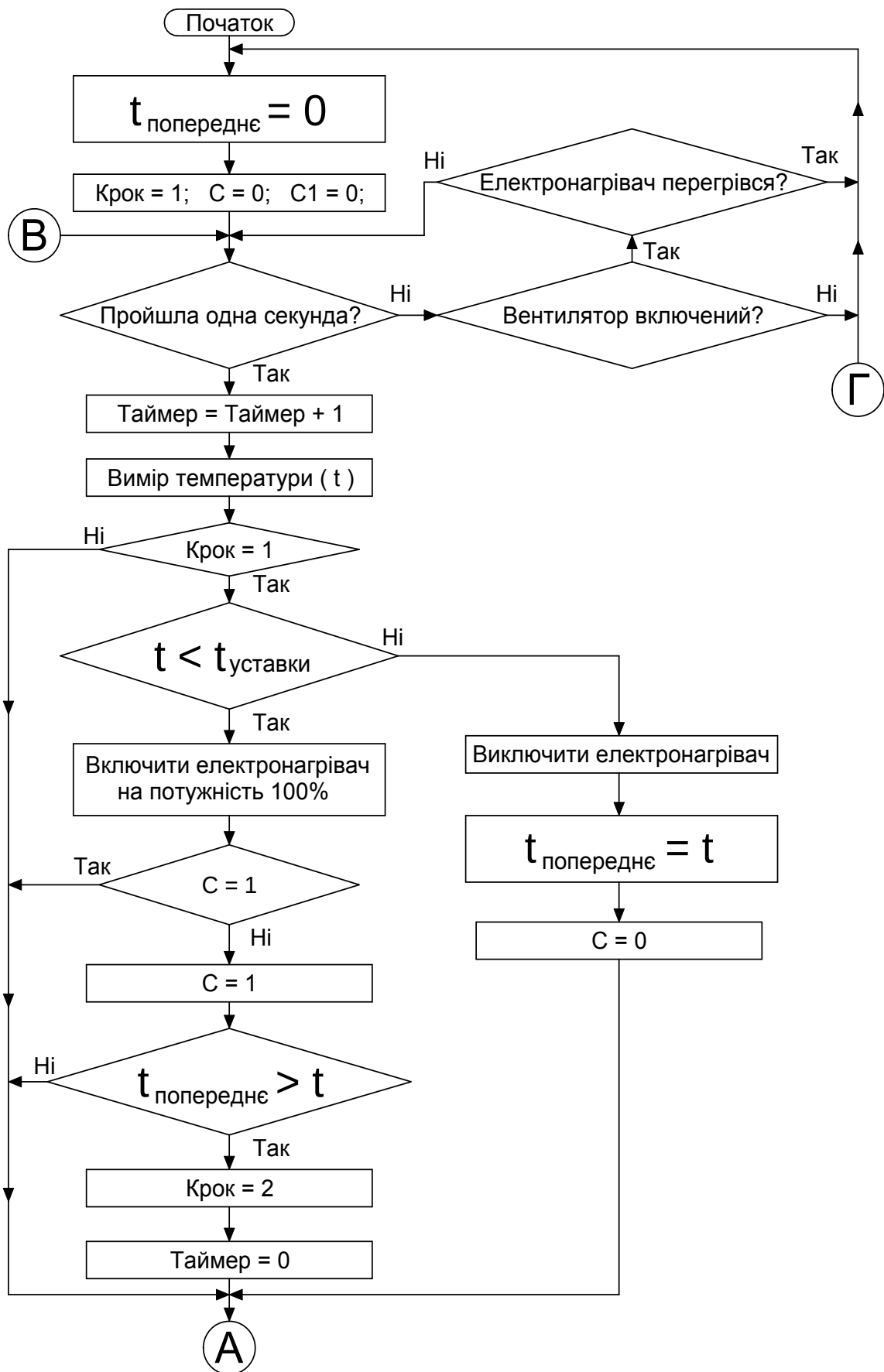


Рисунок 3.2 – Блок-схема алгоритму програми (частина 1)

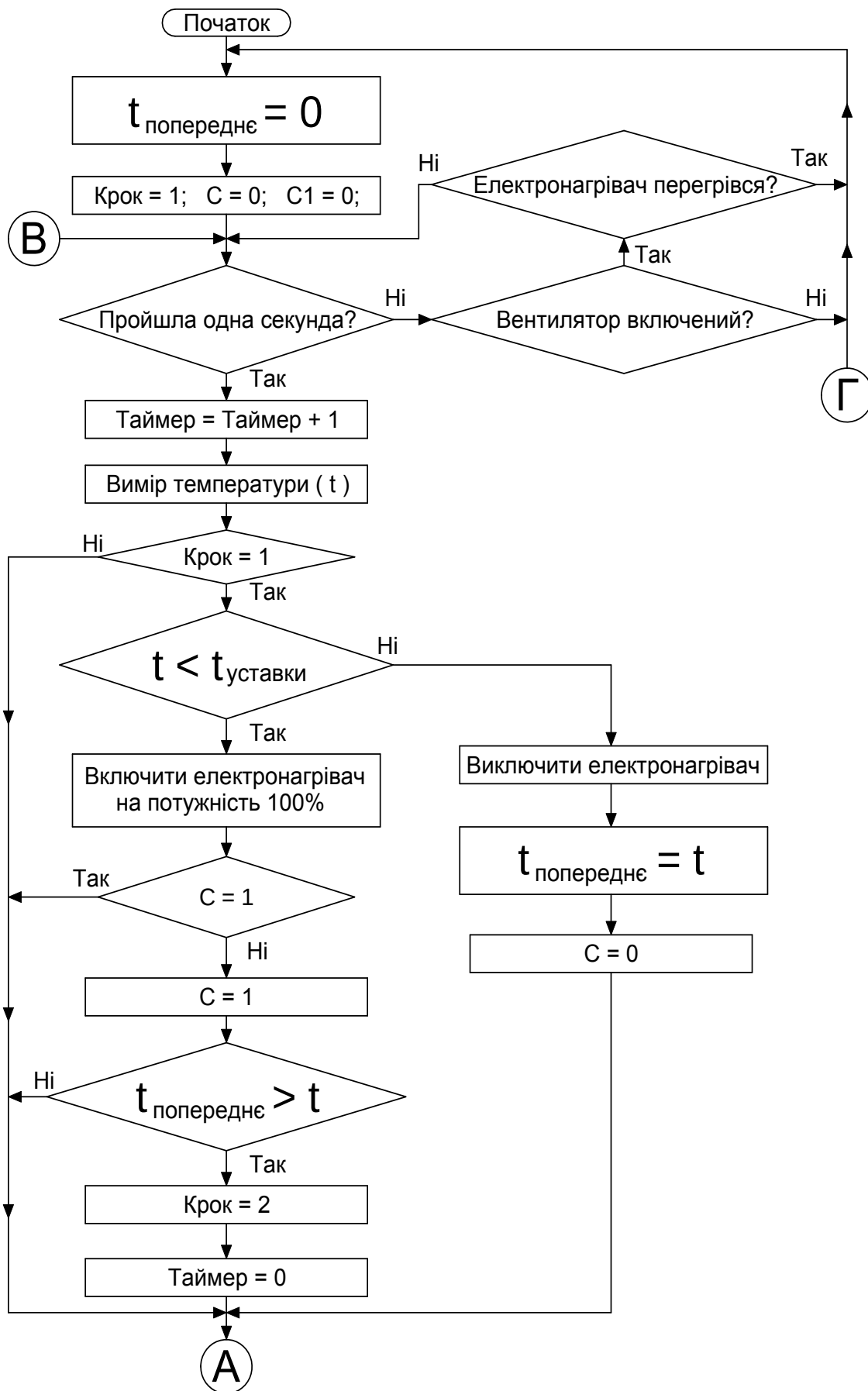


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритму програми (частина 2)

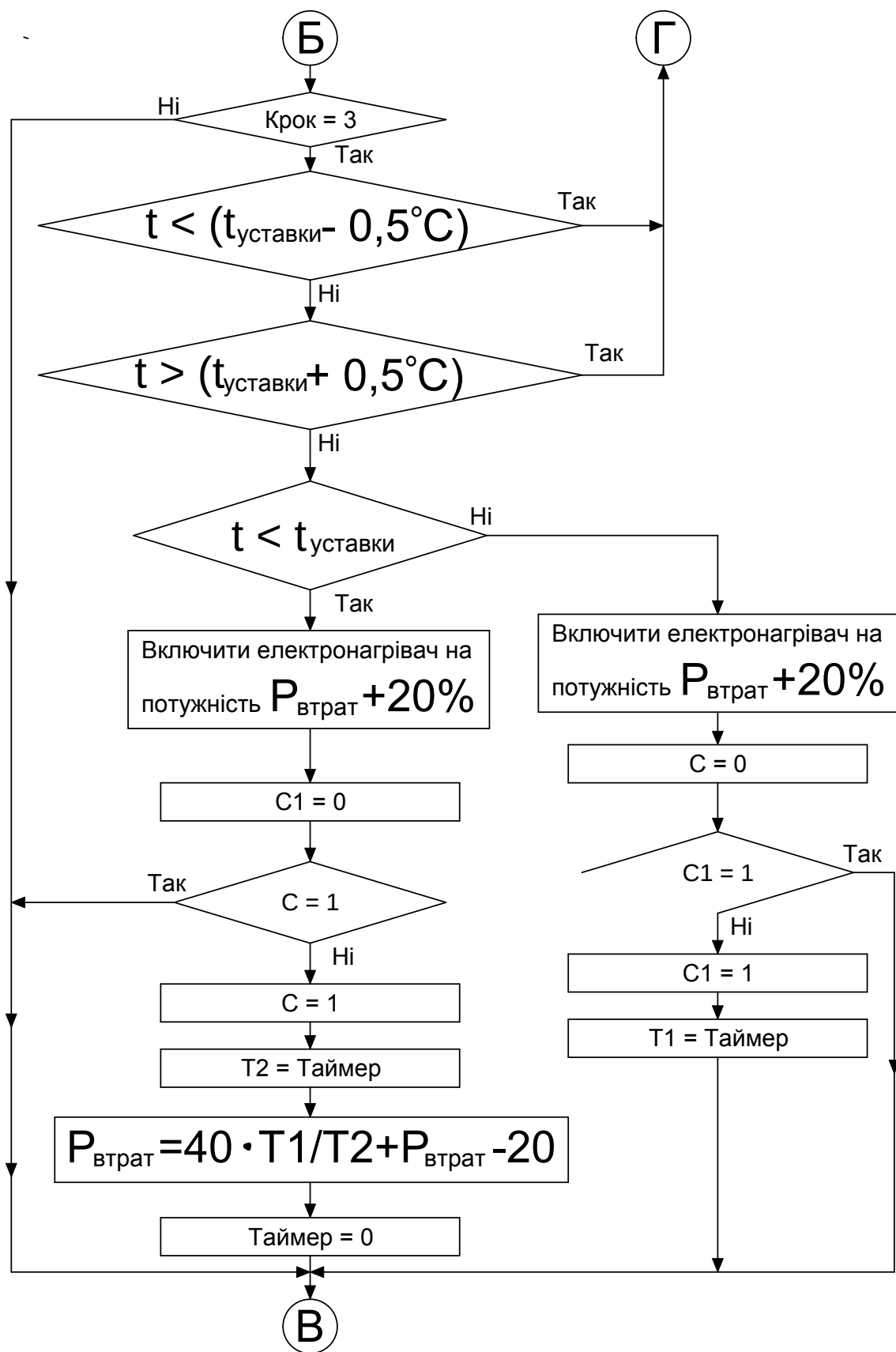
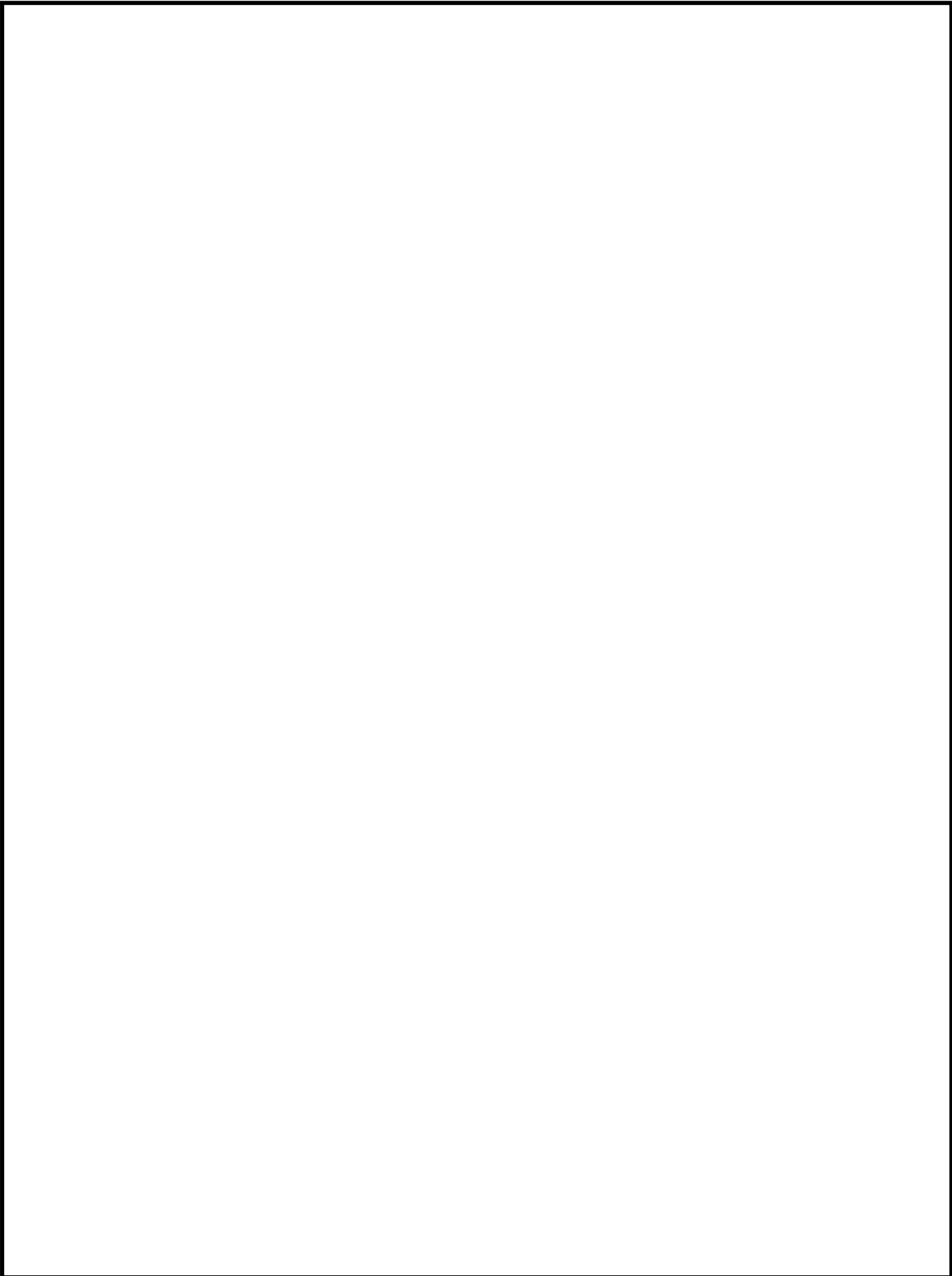


Рисунок 3.4 – Блок-схема алгоритму програми (частина 3)



					171.4321.КР.ПЗ.Р4			
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркуші
Розробник		Десягін К.Є.		10.06				
Консультант		Губальцев А. М.					43	
Н. контр.		Добрінова Л. П.				НУК імені адмірала Макарова		
Керівник		Ушкаренко О.О.		10.06				
Зав. каф.		Рябенський В. М.						

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Вплив параметрів мікроклімату на самопочуття людини

Кліматичні умови безпосередньо впливають на самопочуття людини та її ефективність у роботі. Зниження температури за стабільних інших факторів викликає збільшення тепловіддачі через конвекцію та випромінювання, що може спричинити переохолодження організму.

Збільшення швидкості повітряного потоку негативно впливає на стан людини, оскільки посилює процес теплообміну за рахунок конвекції та сприяє активнішому випаровуванню поту, що веде до значних теплових втрат.

За підвищених температурних показників повітря відбуваються протилежні процеси. Доведено, що коли температура перевищує 30 °С, працездатність людини значно знижується. У таких умовах та за високої вологості тепло організму майже повністю віддається через випаровування поту. Однак, якщо рівень вологості надмірний, випаровування ускладнюється, і піт просто стікає по тілу.

Недостатній рівень вологості повітря призводить до інтенсивного висихання слизових оболонок, їх розтріскування та підвищення ризику проникнення інфекцій.

Організм втрачає воду та солі разом із потом, тому їх нестача спричиняє загущення крові та погіршення роботи серцево-судинної системи. Втрата 6% рідини викликає порушення концентрації уваги та погіршення зору, а зневоднення на 15–20% може призвести до летального результату. Дефіцит солей у крові перешкоджає утриманню води в організмі, що теж негативно позначається на роботі серця та судин. В умовах підвищеної температури та нестачі рідини відбувається активне витрачання вуглеводів, жирів і руйнування білків.

Щоб підтримувати водно-сольовий баланс, рекомендується вживати підсолену воду (0,5% NaCl) у кількості 4–5 літрів на день на одну особу, а

					171.4321.KP.ПЗ.P4	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

також білково-вітамінні напої. У спекотному кліматі корисно пити охолоджену воду або чай.

Тривала дія високих температур разом із підвищеною вологістю може призвести до перегрівання організму – гіпертермії, коли температура тіла сягає 38–40 °С. У цьому стані можливий розвиток теплового удару, що супроводжується головним болем, запамороченням, загальною слабкістю, спотвореним сприйняттям кольорів, сухістю в роті, нудотою, блюванням та рясним потовиділенням. Частішають серцебиття та дихання, у крові зростає рівень залишкового азоту та молочної кислоти. Шкіра стає блідою або синюшною, зіниці розширюються, можуть виникати судоми та навіть втрата свідомості.

При низькій температурі, сильному вітрі та високій вологості можливе переохолодження організму (гіпотермія). Спершу знижується частота дихання, водночас збільшується об'єм вдиху. Якщо вплив холоду триває, дихання стає неритмічним, посилюється обмін вуглеводів, а організм реагує м'язовим тремтінням, що сприяє збереженню тепла. Однак тривалий вплив низьких температур може спричинити серйозні холодові ушкодження.

Мікрокліматичні умови є важливим чинником, що впливає як на продуктивність праці, так і на рівень виробничого травматизму.

4.2. Наслідки та захист людини від ураження струмом

Система заходів для забезпечення електробезпеки

Комплекс організаційних і технічних заходів, а також спеціальних засобів спрямований на захист людей від шкідливого впливу електричного струму, електричних розрядів, електромагнітного випромінювання та статичної електрики. Недотримання вимог електробезпеки може призвести до електротравм.

Електротравми та їхні наслідки

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Електротравма — це ушкодження, викликане дією електричного струму або дугового розряду. Сукупність таких випадків називається електротравматизмом.

Електроустановки

Електроустановка — це комплекс обладнання, що включає електричні машини, апаратуру, лінії та додаткові пристрої, які забезпечують генерацію, перетворення, передачу та розподіл електроенергії.

Основні причини електротравматизму:

- Випадковий контакт або наближення на небезпечну відстань до відкритих струмопровідних елементів.
- Потрапляння напруги на металеві частини електрообладнання через пошкодження ізоляції.
- Подача напруги на струмопровідні частини під час виконання робіт через помилкове вмикання установки.
- Виникнення потенційної різниці на поверхні землі через замикання проводу на ґрунт (крокова напруга).

Вплив електричного струму на організм людини

Струм, проходячи через тіло людини, викликає чотири основні типи впливу:

1. Термічний вплив – перегрівання тканин, опіки, пошкодження судин, нервової системи, серця та головного мозку.
2. Електролітичний вплив – розщеплення рідин організму (крові, лімфи) та зміна їхніх фізико-хімічних властивостей.
3. Механічний вплив – розрив тканин і внутрішніх органів через різке розширення перегрітих рідин.
4. Біологічний вплив – подразнення та збудження нервових клітин, що викликає мимовільні скорочення м'язів.

Шляхи проходження струму через організм:

- Прямий шлях – проходження через тканини.
- Рефлекторний шлях – передача імпульсів через нервову систему.

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Основні види електротравм:

- Місцеві ураження:
 - Опіки (контактні, дугові, струмові).
 - Електрознаки (відбитки на шкірі).
 - Металізація шкірного покриву.
 - Електрофтальмія (ушкодження очей).
- Загальні ураження:
 - Електроудар – системний вплив на організм із порушенням роботи життєво важливих органів (серця, мозку, дихальної системи).

Чотири ступені електроудару:

1. Судомне скорочення м'язів без втрати свідомості.
2. Втрата свідомості із збереженням серцевої діяльності.
3. Порушення роботи серця або дихання (або обох систем одночасно).
4. Клінічна смерть – тимчасовий стан, коли дихання та кровообіг зупиняються, але мозкові клітини ще живі (до 5-7 хвилин).

Фактори, що впливають на ступінь ураження електричним струмом:

- Сила, частота та тривалість впливу струму.
- Напруга електричного кола.
- Шлях проходження струму через тіло.
- Електричний опір організму (від 1000 до 10 000 кОм).
- Загальний фізичний стан людини, рівень зволоження шкіри, наявність захворювань.

Фактори, що зменшують опір тіла:

- Волога шкіра або металізація її поверхні.
- Порушення цілісності шкірного покриву.
- Хронічні хвороби та нервово-психічний стан людини.
- Зовнішні умови (температура, вологість).

Категорії приміщень за рівнем небезпеки ураження струмом:

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

1. Без підвищеної небезпеки – звичайні умови експлуатації електроустановок.
2. Приміщення з підвищеною небезпекою – мають один із факторів ризику:
 - Висока вологість (понад 75%).
 - Температура повітря понад 30°C.
 - Пил, що проводить струм.
 - Провідні підлоги.
 - Можливість одночасного контакту людини з струмопровідними елементами та землею.
3. Особливо небезпечні приміщення – містять один або більше таких факторів:
 - Надмірна вологість (майже 100%).
 - Агресивне хімічне середовище, що руйнує ізоляцію.
 - Наявність кількох умов із категорії підвищеної небезпеки.

Реакції організму на дію електричного струму:

- Змінний струм викликає судомні скорочення м'язів.
- Постійний струм спричиняє болючі подразнення.
- Сильні імпульси можуть викликати фібриляцію серцевого м'яза (хаотичне скорочення, що призводить до зупинки серця).

Критичні значення сили струму для людини:

- 0,6–1,5 мА – межа відчутності.
- 10–15 мА – м'язові скорочення, що не дають можливості відпустити провідник.
- 25–50 мА – параліч дихальних м'язів.
- 50–100 мА – небезпека фібриляції серця (зупинка через 25–30 секунд).

Дотримання правил електробезпеки та використання захисних засобів допомагають мінімізувати ризик ураження електричним струмом.

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

4.3. Розрахунок захисного заземлення

Вихідні данні:

- допустимий опір заземлюючого пристрою: $R_0 = 4 \text{ Ом}$;
- ґрунт: чорнозем ($\rho = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$);
- тип одиночного електрода заземлювача: трубчатий в землі (довжина $l_{mp} = 3 \text{ м}$, діаметр $d = 30 \text{ мм}$);
- відстань від поверхні землі: $t_0 = 0,5 \text{ м}$;
- тип з'єднувальної смуги: поздовжня смугова в землі (ширина $b = 45 \text{ мм}$).

По формулі, визначаємо опір одиночного вертикального заземлювача $R_{в.од.}$ з урахуванням питомого електричного опору ґрунта ρ :

$$R_{в.од.} = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_{mp}} \left(\ln \frac{2l_{mp}}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_{mp}}{4t - l_{mp}} \right),$$

де $t = t_0 + l_{mp}/2 = 0,5 + 3/2 = 2 \text{ (м)}$ (рис. 4.1).

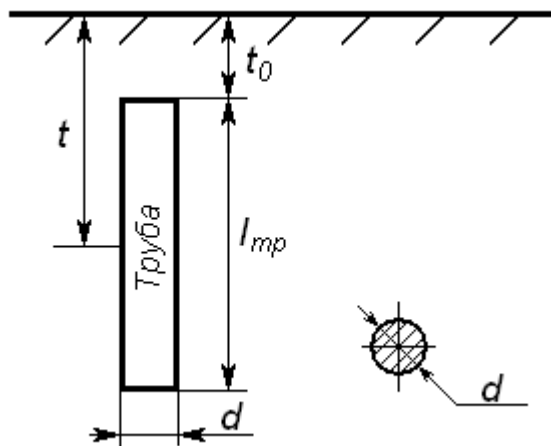


Рисунок 4.1 – Вертикальний електрод (трубчатий в землі).

$$R_{в.од.} = \frac{30}{2 \cdot 3 \cdot 143} \left(\ln \frac{2 \cdot 3}{0.03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2 + 3}{4 \cdot 2 - 3} \right) \approx 9.06 (\text{Ом})$$

Так як $R_{в.од.} > R_0$, означає необхідність застосовувати декілька штучних заземлювачів, з'єднаних паралельно, число яких визначається за формулою:

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

$$n = \frac{R_{\text{с.од.}}}{\eta \cdot R_0},$$

де η – коефіцієнт використання заземлювачів, який враховує їх взаємне екранування.

Для вибору коефіцієнта η першочергово знаходиться орієнтовне число заземлювачів при $\eta = 1$:

$$n = \frac{9.06}{1.4} = 2.27.$$

Так як число заземлювачів не може бути числом дробовим, то результат необхідно округлити до цілого, отримуємо результат $n = 2$. Але коефіцієнт η завжди менше одиниці, отже, округлять необхідно в сторону збільшення, тобто взяти $n = 3$.

Знаходимо коефіцієнт η . Відношення відстані між заземлювачами та їх довжиною l_{mp} приймемо рівним $k = 1$. Виберемо спосіб розміщення заземлювачів в ряд. Таким чином, для трьох заземлювачів в гіршому випадку $\eta = 0,76$.

Визначаємо фактичний опір вертикальних штучних заземлювачів:

$$R_{\text{а.о.}} = \frac{R_{\text{а.іа.}}}{\eta \cdot n} = \frac{9.06}{0.76 \cdot 3} \approx 3.97 (\Omega).$$

З'єднувальна смуга є додатковим заземленням, опір якого R'_n обчислюється за формулою:

$$R'_n = \frac{\rho}{2\pi \cdot l_n} \ln \frac{2 \cdot l_n^2}{b \cdot t_1},$$

де $l_n = (n - 1) \cdot k \cdot l_{mp} = 2 \cdot 1,05 \cdot 3 = 6,3$ (м) – довжина з'єднувальної смуги (рис. 4.2),

$$t_1 = t_0 + b/2 = 0,5 + 0,045/2 \approx 0,523$$
 (м).

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

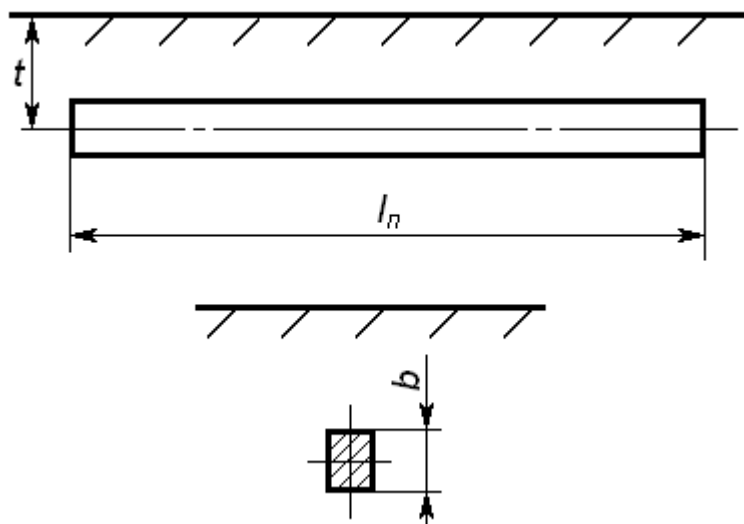


Рисунок 4.2 – З'єднувальна смуга (поздовжня смуга в землі).

$$R'_i = \frac{30}{2 \cdot 3.14 \cdot 6.3} \ln \frac{2 \cdot 6.3^2}{0.045 \cdot 0.523} \approx 6.14(\hat{\Omega})$$

Враховуючи коефіцієнт використання смуги η_n , її опір розтіканню струму знаходимо за формулою

$$R_n = \frac{R'_n}{\eta_n}.$$

Визначаємо коефіцієнт η_n при тому ж $k = 1$ і при розміщенні смуги в ряду труб. Уважно вивчивши таблицю, можна помітити, що коефіцієнт використання смуги зменшується зі збільшенням числа труб заземлювача. Тому візьмемо $\eta_n = 0,77$ (для чотирьох труб), так як варіанта для трьох труб в таблиці немає, врахувавши таким чином гірший варіант.

$$R_i = \frac{6.14}{0.77} \approx 7.97(\hat{\Omega})$$

Фактичний опір заземлюючого пристрою R_z з вертикальних заземлювачів і смуги зв'язку визначається як еквівалентний опір при паралельному з'єднанні:

$$R_\varphi = \frac{R_{\hat{a}.o.} \cdot R_i}{R_{\hat{a}.o.} + R_i} = \frac{3.97 \cdot 7.97}{3.97 + 7.97} \approx 2.65(\hat{\Omega}).$$

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Отриманий еквівалентний опір R_z не перевищує допустимого значення опору розтікання струму заземлюючого пристрою, тобто умова $R_z \leq R_d$ виконується. Схема розрахованого заземлюючого пристрою приведена нижче (рис. 4.3).

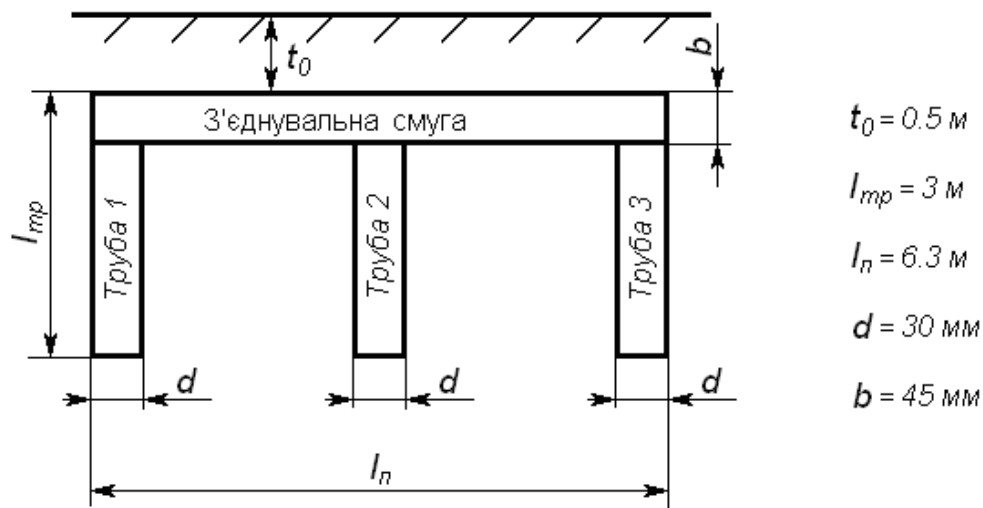


Рисунок 4.3 – Заземлюючий пристрій.

4.4. Загальні заходи нормалізації параметрів мікроклімату

Досягнення оптимальних кліматичних умов у виробничих приміщеннях є складним завданням, вирішення якого можливе через застосування таких методів та засобів:

Покращення технологічних процесів і обладнання. Впровадження нових технологій та технічних засобів, які не потребують виконання робіт у високотемпературних умовах, дозволить зменшити виділення тепла в виробничих зонах. Наприклад, заміна гарячої обробки металу на холодну, використання індукційного нагріву замість полум'я, а також перехід від горнових печей до тунельних.

Рациональне розташування технологічного обладнання. Основні джерела тепла слід розміщувати під вентиляційними люками, поруч із зовнішніми стінами будівель та на відстані один від одного, щоб теплові потоки не змішувались на робочих місцях. Охолодження гарячих виробів краще здійснювати в спеціально відведених приміщеннях. Ідеальним

варіантом є розміщення тепловипромінювальних установок у відокремлених або відкритих зонах.

Автоматизація та дистанційне управління виробничими процесами. Такий підхід дає змогу, у багатьох випадках, зменшити участь людини в роботі в зонах з небезпечними умовами, наприклад, автоматичне завантаження печей у металургії чи управління розливом сталі.

Раціональна вентиляція, опалення та кондиціонування. Ці методи є основними для нормалізації клімату в робочих приміщеннях. Застосування повітряного та водяного душування широко використовується для боротьби з перегрівом працівників у гарячих цехах.

Забезпечення комфортних температурних умов у холодну пору року в великих і легких промислових будівлях є складним та економічно не вигідним. У таких випадках доцільно використовувати променисте опалення для робочих місць або окремих ділянок. Для захисту від протягів варто ретельно закривати вікна, двері та інші отвори, а також встановлювати повітряні або повітряно-теплові завіси на воротах та дверях.

Раціоналізація режиму праці та відпочинку досягається шляхом скорочення робочої зміни, введення додаткових перерв та створення умов для відпочинку в приміщеннях з комфортними кліматичними умовами. Якщо організувати окремі зони відпочинку важко, то в гарячих цехах створюються охолоджувальні альтанки, де за допомогою вентиляції підтримуються нормальні температури.

Для працівників, що працюють на відкритому повітрі взимку, облаштовують кімнати для зігрівання, в яких температура підтримується на рівні, що трохи перевищує комфортну.

Використання теплоізоляції для обладнання та захисних екранів. Теплоізоляційні матеріали, такі як азбест, азбоцемент, мінеральна вата, склотканина, керамзит, пінопласт, широко застосовуються для ізоляції устаткування. Для захисту від теплового випромінювання також використовують екрани, які бувають відбиваючими, поглинаючими,

					171.4321.KP.ПЗ.Р4	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

відвідними та комбінованими. В металургії широко застосовуються водяні завіси, що ефективно захищають від теплового випромінювання.

Застосування засобів індивідуального захисту. Індивідуальні засоби захисту є важливими для запобігання перегріву. Спеціальний одяг повинен бути дихаючим, волого- та повітропроникним (із бавовни, льону, грубововняного сукна) і зручним. Для роботи в екстремальних умовах використовуються костюми з підвищеними теплоізоляційними властивостями. Для захисту голови від теплового випромінювання застосовують каски з дюралюмінію або фіброві, а також капелюхи з повсті. Для захисту очей використовуються спеціальні окуляри або маски з металевими екранами. Для захисту від низьких температур використовуються теплі спецодяги, а під час дощів — плащі та гумові чоботи.

					171.4321.КР.ПЗ.Р4	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У ході виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи було розроблено адаптивну систему клімат-контролю для виробничих приміщень на базі Zelio Logic з використанням SCADA-системи. Проведені дослідження підтвердили, що автоматизація процесів вентиляції та регулювання температури дозволяє значно покращити мікроклімат у приміщенні, забезпечити енергоефективність та підвищити рівень комфорту для персоналу.

Основні результати роботи:

1. Проведено аналіз існуючих систем клімат-контролю та визначено основні вимоги до адаптивної системи, зокрема гнучке регулювання температури залежно від часу доби та присутності людей у приміщенні.
2. Розроблено структурну схему системи, що включає контролер Zelio Logic, датчики температури, вологості, вуглекислого газу, електронагрівач та виконавчі механізми вентиляції.
3. Розроблено алгоритм роботи системи, який забезпечує автоматичне регулювання температури повітря шляхом керування електронагрівачем у повітропроводі приточної вентиляції.
4. Розроблено програмне забезпечення для контролера з використанням мов програмування для PLC (FBD, LD).
5. Реалізовано SCADA-систему для моніторингу та керування процесами клімат-контролю, що дозволяє дистанційно спостерігати за роботою системи, регулювати параметри та отримувати звіти про її ефективність.
6. Виконано моделювання роботи системи у різних режимах експлуатації, що підтвердило її ефективність у забезпеченні необхідних параметрів мікроклімату.
7. Розглянуто питання охорони праці, пов'язані з експлуатацією системи, та запропоновано заходи для забезпечення безпечної роботи персоналу.

					171.4321.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

Розроблена система клімат-контролю може бути використана не лише у виробничих приміщеннях, а й в адміністративних та громадських будівлях, що потребують ефективного регулювання мікроклімату. Запропоновані рішення сприяють оптимізації енергоспоживання та підвищенню рівня автоматизації у сфері вентиляції та кондиціонування повітря.

Подальший розвиток проєкту може включати розширення функціональних можливостей системи за рахунок інтеграції штучного інтелекту та інтернету речей (IoT) для прогнозування змін мікроклімату та автоматичного налаштування параметрів у режимі реального часу.

					171.4321.КР.ПЗ.Висновки	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Барабаш, О. В. Автоматизація мікроклімату виробничих приміщень / О. В. Барабаш, В. В. Соколов // Вісник НТУУ «КПІ». – 2021. – №3. – С. 25–30.
2. Гончаренко, В. М. Автоматизація систем вентиляції та кондиціонування / В. М. Гончаренко. – Київ: Наукова думка, 2020. – 318 с.
3. Дрозд, О. В. Основи мікропроцесорної техніки: Навчальний посібник / О. В. Дрозд, П. Г. Коваленко. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 212 с.
4. Захарченко, П. І. Системи автоматизації технологічних процесів / П. І. Захарченко. – Львів: Видавництво ЛНУ, 2021. – 296 с.
5. Коваленко, В. С. Автоматизовані системи управління вентиляцією / В. С. Коваленко, О. Ю. Мельник // Технічна механіка. – 2020. – № 4. – С. 45–53.
6. Костюк, І. В. Вентиляційні системи та їх автоматизація / І. В. Костюк. – Одеса: ОНПУ, 2018. – 187 с.
7. Лебедєв, С. Г. Автоматизація будівельних інженерних систем / С. Г. Лебедєв, Л. А. Романов. – Київ: Ліра-К, 2019. – 256 с.
8. Михайлов, А. І. Програмовані логічні контролери: навчальний посібник / А. І. Михайлов. – Київ: Основа, 2022. – 322 с.
9. Рябенський В.М. Проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. Навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. – К.: «Корнійчук», 2004, – 253 с.
10. Рябенський В.М. Verilog. Практика проектування цифрових пристроїв на ПЛІС. Навч. посібник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2007. – 324с.
11. Рябенський В.М. Комп'ютерне керування зовнішніми пристроями через стандартні інтерфейси. Навч. посіб. / В.М. Рябенський, В.Є. Ходаков, О.О. Ушкаренко. Херсон: Олді-плюс, 2008. – 380 с.
12. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 2. Прикладна теорія цифрових автоматів. Підручник / В.М. Рябенський,

					171.4321.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

М.Т. Фісун, О.О. Ушкаренко. – Миколаїв: Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2010. – 380 с.

13. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 3. Мікропроцесорна техніка. Підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко, В.С. Буряк. – Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2012. – 445 с.
14. Рябенський В.М. Схемотехніка електронних пристроїв та систем. Том 6. Апаратно-програмні засоби відображення інформації. Підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. – Миколаїв: Вид-во «Іліон», 2013. – 464 с.
15. Рябенський В.М. Особливості використання автоматного програмування при розробці спеціалізованої SCADA-системи для автономних електроенергетичних установок / В.М. Рябенський, А.О. Ушкаренко, О.И. Дорогань // Технічна електродинаміка. Тем. випуск. Харків, 2012. Ч.3. – С.155-159.
16. Сергієнко, О. Л. SCADA-системи в управлінні промисловими об'єктами / О. Л. Сергієнко, В. В. Демченко. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 268 с.
17. Schneider Electric. Zelio Logic Smart Relays – User Guide. – Schneider Electric, 2023. – 198 p.
18. Bolton, W. Programmable Logic Controllers / W. Bolton. – 6th ed. – Oxford: Newnes, 2021. – 432 p.
19. Dunning, G. Introduction to Programmable Logic Controllers / G. Dunning. – 4th ed. – Boston: Cengage Learning, 2020. – 520 p.
20. Graham, S. SCADA and Industrial Automation Systems / S. Graham, D. Johnson. – New York: CRC Press, 2022. – 368 p.
21. Schneider Electric. Modicon M221, M241 & M251 Controllers Programming Guide. – Schneider Electric, 2023. – 256 p.
22. Siemens. SIMATIC S7-1200 Programmable Controller – System Manual. – Siemens AG, 2023. – 412 p.
23. White, R. HVAC Control Systems / R. White. – New York: Fairmont Press, 2019. – 384 p.

					171.4321.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

24. ASHRAE Handbook – HVAC Systems and Equipment. – ASHRAE, 2021. – 1200 p.
25. IEC 61131-3:2020. Programmable controllers – Part 3: Programming languages. – International Electrotechnical Commission, 2020. – 250 p.
26. ISO 16484-3:2022. Building automation and control systems (BACS) – Part 3: Functions. – ISO, 2022. – 145 p.
27. Trane, J. Principles of HVAC Systems / J. Trane. – 3rd ed. – London: McGraw-Hill, 2021. – 544 p.
28. Mahmoud M. S. Al-suod. Software Quality Assessment Technique for the Autonomous Power Plants Automated Control Systems / Al-suod Mahmoud M. S., Oleksandr Ushkarenko, Olha Dorohan, Abdullah Eial Awwad, Alaa Al-Quteimat // Journal Européen des Systèmes Automatisés. – 2023. Vol. 56, No. 6. – P. 1043-1051. DOI: <https://doi.org/10.18280/jesa.560614>
29. Рябенський В.М. Програмовані електронні системи керування, збору та обробки інформації : підручник / В.М. Рябенський, О.О. Ушкаренко. – Миколаїв : Іліон, 2021. – 490 с.
30. Рябенський В.М. Програмна реалізація методів розрахунку та аналізу електричних кіл / Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Островерхов М.Я., Махмуд М.С. Аль-Суод. – Київ: Видавництво Ліра-К, 2021. – 462 с.
31. Рябенський В.М. Моделювання електронних, електротехнічних та електроенергетичних систем / Рябенський В.М., Ушкаренко О.О., Махмуд М.С. Аль-Суод. Миколаїв: Іліон, 2024. – 424 с.
32. Ушкаренко О.О. Вдосконалення методу побудови графоаналітичних моделей компонентів електронних кіл / О.О. Ушкаренко, Н.Г. Малахова // Збірник тез доповідей XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології і автоматизація – 2020», (Одеса, 22 - 23 жовтня 2020 р.) / Одеська нац. акад. харч. технологій. – Одеса: ОНАХТ, 2020. – С. 43-45.

					171.4321.КР.ПЗ.Джерела	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

ДОДАТОК А

Лістинг програми

Лістинг програми для блоку SCR1:

```
public T_init, T_sensor as currency
public Pp, i as integer
public T_ref as currency
Dim P, T_extern, Start_symbol as Tag
Dim P1 as integer
Dim T_s as integer
Dim dt, T_air as currency
Dim T as integer
Dim Up as Tag
Dim Down as Tag

Sub SCR1()
    Set P = GetTag("TASK1", "SOC3")
    Set T_extern = GetTag("TASK1", "SOC6")
    Set Start_symbol = GetTag("TASK1", "SER2")
    Set Up = GetTag("TASK1", "SOC9")
    Set Down = GetTag("TASK1", "SOC10")

    if (Start_symbol = "я") then P1 = P
    if (i=0) then
        'Прирошення температури повітря
        dt = dt + (P1 - Pp)/200
        'Обчислення температури повітря
        T_air = T_init + dt
        Pp = 2*(T_air - T_extern)      ' Потужність втрат
        T_sensor = T_sensor + (T_air - T_sensor)*0.06
        T_s = (Val((T_sensor-10)*10))
        if (T_s<0) then T_s = 0
        if (T_s>255) then T_s = 255
        outputi T_s
        outputf 1, T_sensor
        outputi 4, 1      ' Дозвіл на передачу по COM-порту
```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

else
    outputi 4, 0    ' Заборона передачі по COM-порту
End if

if ( i<20 ) then i = i+1 else i=0
if ( (Up=1) And (T_ref<27) ) then T_ref = T_ref + 1
if ( (Down=1) And (T_ref>0) ) then T_ref = T_ref - 1
T = (Val((T_ref-10)*10))
if (T<0)    then T = 0
if (T>255) then T = 255
outputi 5, T
outputf 6, T_ref
outputi 2, P1
if ( P1 > 0 ) then outputi 7, 1 else outputi 7, 0

End Sub

```

Лістинг програми для блоку SCR3:

```

dim Heater, FAN as Tag
dim k, n as integer

Sub SCR3()
Set Heater = GetTag("TASK1","SOC8")
Set FAN = GetTag("TASK1","SOC7")

outputi 0, Heater

if(FAN=1) then
    if(Heater=1) then
        outputi 4, 0
        outputi 5, 0
        outputi 6, 0
        if(k=0)then outputi 1, 1 else outputi 1, 0
        if(k=1)then outputi 2, 1 else outputi 2, 0
        if(k=2)then outputi 3, 1 else outputi 3, 0
    end if
end if

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

        else
            outputi 1, 0
            outputi 2, 0
            outputi 3, 0
            if(k=0)then outputi 4, 1 else outputi 4, 0
            if(k=1)then outputi 5, 1 else outputi 5, 0
            if(k=2)then outputi 6, 1 else outputi 6, 0
        end if
    else
        outputi 1, 0
        outputi 2, 0
        outputi 3, 0
        outputi 4, 0
        outputi 5, 0
        outputi 6, 0
    end if

    n = n + 1
    if(n>=4) then
        n = 0
        k = k + 1
        if(k>2) then k = 0
    end if

End Sub

```

Лістинг програми для блоку SCR4:

```

dim FAN, T_extern as Tag
dim j, m as integer

Sub SCR4()
Set FAN = GetTag("TASK1","SOC7")
Set T_extern = GetTag("TASK1","SOC6")
if(FAN=1) then
    if(T_extern<18) then
        outputi 4, 0
    end if
end if

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

        outputi 5, 0
        outputi 6, 0
        outputi 7, 0
        if(j=0)then outputi 1, 1 else outputi 1, 0
        if(j=1)then outputi 2, 1 else outputi 2, 0
        if(j=2)then outputi 3, 1 else outputi 3, 0
    else
        outputi 0, 0
        outputi 1, 0
        outputi 2, 0
        outputi 3, 0
        if(j=0)then outputi 4, 1 else outputi 4, 0
        if(j=1)then outputi 5, 1 else outputi 5, 0
        if(j=2)then outputi 6, 1 else outputi 6, 0
    end if
else
    outputi 1, 0
    outputi 2, 0
    outputi 3, 0
    outputi 4, 0
    outputi 5, 0
    outputi 6, 0
end if

m = m + 1
if(m>=4) then
    m = 0
    j = j + 1
    if(j>2) then j = 0
end if

End Sub

```

Лістинг програми для блоку PRG1:

```
sprintf( t2,  "\\%02X", SCR1[5] );
```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		

```

sprintf( t1,  "\\%02X", SCR1 );
s=@"+t1+ t2+a1;
sprintf( s1,  "\\%s\r", s );
if(SCR1[4]==1) {c=c+1; output(s1);} else output("");
output(#1,s);
a=0;
if(SOC7==1) a=a+2;
sprintf( a1,  "\\%d", a );
output(#2,i);
if( SOC7==1) i = i+1;
if(i>=4) i = 0;

output(#3,j);
j = j+1;
if(j>=3) j = 0;

if(SOC11==1) display(2);
if(SOC12==1) display(1);

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б

Лістинг програми мікроконтролера перетворювача 10-35.5oC в 0-10В

```
#include <iot13v.h>
#include <macros.h>

#define bus 0x04

#include "OWIPol.h"
#include "OWIBF.h"
#include "DS18B20.h"

char SL;

void OWI_SendByte(unsigned char);
unsigned char OWI_ReceiveByte(void);

#pragma interrupt_handler timer0_ovf_isr:4
void timer0_ovf_isr(void)
{
    SL = 1;
}

void main(void)
{
    signed int temperature = 0;
    unsigned int count;
    // init_devices
    DDRB = 0x1F;
    //TIMER0 initialize - prescale:1
    // WGM: PWM Phase correct
    // desired value: 16KHz
    // actual value: 15,686KHz (2%)
    TCCR0A = 0x01;
    TCCR0B = 0x01; //start timer
    TIMSK0 = 0x02; //timer interrupt sources
    TIFR0 = 0x02;
```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

SEI(); //re-enable interrupts

// OWI_Init(bus);
OWI_RELEASE_BUS(bus);
// The first rising edge can be interpreted by a slave as the end of
a
// Reset pulse. Delay for the required reset recovery time (H) to be
// sure that the real reset is interpreted correctly.
__delay_cycles(OWI_DELAY_H_STD_MODE);

start:
    for ( count = 0; count < 8000; count ++ )
    {
        while (!SL);
        SL = 0;
    }
    PORTB ^= 0x18;
    // Reset, presence.
    if (OWI_DetectPresence())
    {
        // Skip ROM again.
        OWI_SendByte(DS18B20_ROM_SKIP);
        // Send READ SCRATCHPAD command.
        OWI_SendByte(DS18B20_READ_SCRATCHPAD);
        // Read only two first bytes (temperature low, temperature high)
        // and place them in the 16 bit temperature variable.
        temperature = OWI_ReceiveByte();
        temperature |= (OWI_ReceiveByte() << 8);

        if (temperature > 568) temperature = 568;
        if (temperature < 160) temperature = 160;

        /*****[ 10 - 35.5 grad, 0.1 grad
        *****/
        OCR0B = (char)( (unsigned long)((temperature - 160)*255)/408 );
    }

    // Reset, presence.
    if (OWI_DetectPresence())

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

    { // Skip ROM
        OWI_SendByte(DS18B20_ROM_SKIP);
        // Send start conversion command.
        OWI_SendByte(DS18B20_START_CONVERSION);
    }
    goto start;
}

/*! \brief Sends one byte of data on the 1-Wire(R) bus(es).
 *
 * This function automates the task of sending a complete byte
 * of data on the 1-Wire bus(es).
 *
 * \param data    The data to send on the bus(es).
 *
 * \param pins    A bitmask of the buses to send the data to.
 */
void OWI_SendByte(unsigned char data)
{
    unsigned char temp;
    unsigned char i;

    // Do once for each bit
    for (i = 0; i < 8; i++)
    {
        // Determine if lsb is '0' or '1' and transmit corresponding
        // waveform on the bus.
        temp = data & 0x01;
        if (temp)
        {
            OWI_WriteBit1();
        }
        else
        {
            OWI_WriteBit0();
        }
        // Right shift the data to get next bit.
        data >>= 1;
    }
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

}

/*! \brief  Receives one byte of data from the 1-Wire(R) bus.
 *
 * This function automates the task of receiving a complete byte
 * of data from the 1-Wire bus.
 *
 * \param pin      A bitmask of the bus to read from.
 *
 * \return         The byte read from the bus.
 */
unsigned char OWI_ReceiveByte(void)
{
    unsigned char data;
    unsigned char i;

    // Clear the temporary input variable.
    data = 0x00;
    // Do once for each bit
    for (i = 0; i < 8; i++)
    {
        // Shift temporary input variable right.
        data >>= 1;
        // Set the msb if a '1' value is read from the bus.
        // Leave as it is ('0') else.
        if (OWI_ReadBit())
        { // Set msb
            data |= 0x80;
        }
    }
    return data;
}

//*****[ END DS_to_A.c
]*****//

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

```

//*****[ OWISWBF.c
]*****//

/*****
**
* Description:  Polled software only implementation of the basic
*               bit-level signalling in the 1-Wire(R) protocol.
*****
*/
#include <iot13v.h>
#include <macros.h>
#include "OWIPol.h"

#ifdef OWI_SOFTWARE_DRIVER

#include "OWIBF.h"

#define __disable_interrupt() CLI()

void __delay_cycles(unsigned int d)
{
    unsigned int dtemp;
    dtemp = d;
    while (dtemp > 0) dtemp--;
}

/*! \brief Write a '1' bit to the bus(es). (Software only driver)
*
* Generates the waveform for transmission of a '1' bit on the 1-Wire
* bus.
*
* \param pins    A bitmask of the buses to write to.
*/
void OWI_WriteBit1(void)
{
    unsigned char intState;

    // Disable interrupts.

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

    intState = SREG;
    __disable_interrupt();

    // Drive bus low and delay.
    OWI_PULL_BUS_LOW(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_A_STD_MODE);

    // Release bus and delay.
    OWI_RELEASE_BUS(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_B_STD_MODE);

    // Restore interrupts.
    SREG = intState;
}

/*! \brief Write a '0' to the bus(es). (Software only driver)
 * Generates the waveform for transmission of a '0' bit on the 1-
Wire(R)
 * bus.
 */
void OWI_WriteBit0(void)
{
    unsigned char intState;

    // Disable interrupts.
    intState = SREG;
    __disable_interrupt();

    // Drive bus low and delay.
    OWI_PULL_BUS_LOW(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_C_STD_MODE);

    // Release bus and delay.
    OWI_RELEASE_BUS(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_D_STD_MODE);

    // Restore interrupts.
    SREG = intState;
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ документи	Підпис	Дата		

```

}

/*! \brief Read a bit from the bus(es). (Software only driver)
 *
 * Generates the waveform for reception of a bit on the 1-Wire(R)
bus(es) .
 *
 * \return A bitmask of the buses where a '1' was read.
 */
unsigned char OWI_ReadBit(void)
{
    unsigned char intState;
    unsigned char bitsRead;

    // Disable interrupts.
    intState = SREG;
    __disable_interrupt();

    // Drive bus low and delay.
    OWI_PULL_BUS_LOW(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_A_STD_MODE);

    // Release bus and delay.
    OWI_RELEASE_BUS(bus);
    __delay_cycles(OWI_DELAY_E_STD_MODE);

    // Sample bus and delay.
    bitsRead = OWI_PIN & bus;
    __delay_cycles(OWI_DELAY_F_STD_MODE);

    // Restore interrupts.
    SREG = intState;

    return bitsRead;
}

```

					171.4321.КР.ПЗ.Додатки	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ документу	Підпис	Дата		