

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформаційних систем та технологій

«На правах рукопису»
УДК _____ 007.51 _____

До захисту допущено:
В. о. завідувача кафедри
_____ Олександр РОЛІК
« ____ » _____ 2021 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Інформаційне забезпечення
робототехнічних систем»
зі спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології»
на тему: «Система автоматичного контролю клімату в нежитлових
приміщеннях»**

Виконав (-ла):
студент (-ка) VI курсу, групи ІК-01мп
Копелець Костянтин Романович _____

Керівник:
доц., к.т.н.
Тимошин Юрій Афанасійович _____

Рецензент:
доц. каф. ІПІ, к.т.н., доц.
Ліхоузова Тетяна Анатоліївна _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформаційних систем та технологій

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 126 «Інформаційні системи та технології»

Освітньо-професійна програма «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри

_____ Олександр РОЛІК

«__» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Копельцю Костянтину Романовичу

1. Тема дисертації «Система автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях», науковий керівник дисертації Тимошин Юрій Афанасійович, доц., к.т.н., затверджені наказом по університету від «27» 10 2021 р. № 3587-с
2. Термін подання студентом дисертації _____ 10 грудня 2021р
3. Об'єкт дослідження: Процес керування кліматичними параметрами в нежитлових приміщеннях.
4. Вихідні дані: розробки науковців КПІ, літературні джерела з систем автоматичного контролю кліматичних характеристик в нежитлових приміщеннях і засобів їх керування, результати переддипломної практики.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: провести аналіз та дослідження алгоритмів і систем для автоматичного контролю параметрів клімату в нежитлових приміщеннях, розробити прототип системи, обґрунтувати вибір компонентів та програмних засобів.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу – схеми алгоритмів контролю та управління, блок-схема додатку системи, структура компоненту інтелектуального управління, структура системи сенсорів та актуаторів.

7. Орієнтовний перелік публікацій – Державні санітарні норми мікроклімату для виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99; література щодо сенсорів з температури, вологості та пристроїв вентиляції; СУ штучним кліматом.

8. Консультанти розділів дисертації*

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

9. Дата видачі завдання 05.10.2021

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Ознайомлення з завданням	05.10.2021	
2	Аналіз проблеми та об'єкта досліджень	07.10.2021	
3	Аналіз існуючих систем	08.10.2021	
4	Постановка задачі	10.10.2021	
5	Можливі методи вирішення поставленої мети	11.10.2021	
6	Вибір компонентів та програмних засобів	12.10.2021	
7	Розробка системи прототипу	15.10.2021	
8	Оформлення документації	25.10.2021	
9	Передзахист	25.11.2021	
10	Представлення до захисту	23.12.2021	

Студент

Костянтин КОПЕЛЕЦЬ

Науковий керівник

Юрій ТИМОШИН

* Якщо визначені консультанти. Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

РЕФЕРАТ

Розмір пояснювальної записки – 119 аркушів, містить 16 ілюстрацій, 32 таблиці, 10 додатків.

Актуальність теми. У роботі розглянуто проблему автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях, показано основні особливості існуючих рішень проблеми, на базі пристроїв від компанії Fantini Cosmi, Mycond, Verano та Siemens, їх переваги та недоліки. Виявлено потребу в необхідності автоматичного керування не тільки температурою повітря, а і його вологістю.

Мета дослідження. Основною метою є аналіз способів підвищення ефективності використання електроенергії завдяки автоматичному керуванню кліматом в приміщенні за рахунок розробки відповідних програмно-апаратних засобів.

Об'єкт дослідження: процес керування кліматом в нежитлових приміщеннях.

Предмет дослідження: методи, алгоритми та технології, за допомогою яких здійснюється керування кліматом в приміщенні.

Для реалізації поставленої мети сформульовані наступні завдання:

- аналіз та вивчення предметної області;
- вибір та обґрунтування технологій для реалізації системи;
- створення прототипу системи контролю клімату;
- розробка програмного забезпечення для керування системою контролю клімату.

Наукова новизна результатів магістерської дисертації полягає в тому, що запропоновано програмно-апаратний комплекс, що на відміну від інших рішень на ринку виконує задачі регулювання клімату в нежитлових приміщеннях відповідно до ДСН 3.3.6.042-99. При цьому його орієнтовна вартість є однією з найнижчих. Результат досягнутий шляхом розробки експериментального прототипу пристрою з інтегрованою в нього системою контролю клімату.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що реалізовано автоматичне керування температурою та вологістю повітря в приміщення,

керування для користувача є максимально простим і вимагає натиснути одну кнопку раз в півроку. Дана система може бути використана майже в будь-яких приміщеннях які призначенні для людської праці, але не може бути застосована в приміщеннях де живуть люди.

Зв'язок з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалась на кафедрі інформаційних систем та технологій Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського".

Ключові слова: C, HAL, LL, STM32, STM32CUBEMX, STM32CUBEIDE, STM, КЛІМАТ В ПРИМІЩЕННІ, МІКРОКЛІМАТ, ОПТИМІЗАЦІЯ, МІКРОКОНТРОЛЕРИ, ДРУКОВАНА ПЛАТА, ПРИСТРІЙ.

ABSTRACT

Explanatory note size – 119 pages, contains 16 illustrations, 32 tables, 10 applications.

Topicality. Examines the problem of automatic climate control in non-residential premises, shows the main features of existing solutions to the problem, based on devices from Fantini Cosmi, Mycond, Verano and Siemens, analyzed their advantages and disadvantages. The need for automatic control not only of air temperature but also its humidity is revealed.

The aim of the study. The main target is analysis of ways to increase the efficiency of electricity use through automatic climate control in the room through the development of appropriate software and hardware.

Object of research: the process of climate management in non-residential premises.

Subject of research: methods, algorithms and technologies used to control indoor climate.

To achieve this goal, the following tasks were formulated:

- analysis and study of the subject area;
- selection and justification of technologies for the implementation of the system;
- creation of a prototype climate control system;
- development of software for climate control system management.

The scientific novelty of the results of the master's dissertation is proposed software and hardware complex, which, unlike other solutions on the market performs climate control tasks in non-residential premises in accordance with DSN 3.3.6.042-99. At the same time, its estimated cost is one of the lowest. The result was achieved by developing an experimental prototype of the device with an integrated climate control system.

The practical value of the obtained results is that the automatic control of temperature and humidity in the room is implemented, the control for the user is as simple as possible and requires pressing one button every six months. This system can

be used in almost any room that is intended for human labor. And it cannot be used in rooms where people live.

Relationship with working with scientific programs, plans, topics. Work was performed at the Department of Information Systems and Technologies of the National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute. Igor Sikorsky».

Keywords: C, HAL, LL, STM32, STM32CUBEMX, STM32CUBEIDE, STM, INDOOR CLIMATE, MICROCLIMATE, OPTIMIZATION, MICROCONTROLLERS, PCB, DEVICE.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ.....	11
ВСТУП.....	15
1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ	17
1.1 Огляд систем автоматичного контролю клімату	17
1.2 Задача системи автоматичного контролю клімату.....	18
1.3 Аналіз законодавчої частини	18
Висновок до розділу	20
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ	21
2.1 FANTINI COSMI CH 110\111\112	21
2.2 FANTINI COSMI CH 130RR/130ARR/130RFR.....	23
2.2.1 Спільні можливості модифікацій	23
2.2.2 Різниця модифікацій.....	24
2.3 MYCOND TRF-B2F	25
2.4 VERANO VER 24	27
2.5 SIEMENS RTD 201.....	29
2.6 Порівняльний аналіз характеристик систем	31
Висновок до розділу	33
3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ МЕТИ.....	34
3.1 Аналіз способів вимірювання температури	34
3.1.1 Аналіз термопар	34
3.1.2 Аналіз пірометрів.....	36
3.1.3 Аналіз терморезисторів	38
3.1.4 Дослідження термометрів опору	38

3.1.5 Аналіз манометричні термометри	39
3.2 Дослідження особливостей застосування датчиків вимірювання вологості	39
3.2.1 Аналіз термісторних датчиків вологості повітря	40
3.2.2 Дослідження оптичних датчиків вологості повітря	40
3.2.3 Дослідження електронних датчиків вологості повітря	41
3.2.4 Аналіз резистивних датчиків вологості повітря	42
3.2.5 Дослідження ємнісних датчиків вологості повітря	43
3.3 Дослідження способів керування температурою	44
3.3.1 Аналіз пристроїв для обігріву приміщення та їх особливостей	44
3.3.2 Аналіз пристроїв для охолодження повітря та їх особливостей	54
3.4 Дослідження способів керування вологістю повітря	56
3.4.1 Аналіз пристроїв для підвищення вологості повітря та їх особливостей	56
3.4.2 Аналіз пристроїв для зниження вологості повітря та їх особливостей	58
Висновок до розділу	60
4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ПРОТОТИПУ	62
4.1 Опис та обґрунтування вибору апаратних компонентів	62
4.1.1 Аналіз і вибір мікроконтролера	62
4.1.2 Дослідження та вибір датчиків	65
4.1.3 Обґрунтування вибору виконавчих пристроїв	69
4.1.4 Способи реалізації гальванічної розв'язки компонентів	70
4.2 Аналіз та обґрунтування вибору програмної частини	71
4.2.1 Вибір середовища розробки	71

	10
4.2.2 Вибір мови програмування	73
4.2.3 Обґрунтування вибору драйверів для керування периферією ..	74
Висновок до розділу	75
5 ОПИС СИСТЕМИ ПРОТОТИПУ	78
5.1 Розробка програмної частини	78
5.2 Проєктування модулів	81
5.3 Розробка структурної системи.....	83
Висновок до розділу	85
6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ	86
6.1 Опис ідеї проєкту	86
6.2 Технологічний аудит ідеї проєкту.....	88
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту.....	90
6.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту	100
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту	103
Висновки до розділу	107
ВИСНОВКИ.....	110
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	112

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА ТЕРМІНІВ

1-Wire – інтерфейс передачі даних в якому для передачі даних в обидва напрямки використовується один провідник, крім цього живлення мікросхеми також може здійснюватися по цьому провіднику. Тобто для підключення мікросхеми потрібно 2 провідника.

CAN (Controller Area Network) – інтерфейс, що призначений для створення надійних та недорогих каналів зв'язків в розподілених системах керування.

CBGA100 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 100 кулькових виводів розміром 0.8 мм з кроком між ними 0.09 мм. Підходить для пайки паяльним феном або нижнім підігрівом.

CMSIS – низькорівневий драйвер для роботи з периферією мікроконтролера, собою більше нагадує набір перейменувань для більш зручного читання коду людиною, розроблений компанією ARM для всіх мікроконтролерів на однойменній архітектурі.

CTR (Current transfer ratio) – коефіцієнт оптопар, що показує відношення струму колектора до вхідного струму, що подається до світлодіода.

DIP4 – корпус електронного компонента для вивідного монтажу, що має 4 виводи з кроком між выводами 2.54 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory) – пристрій для постійного запам'ятовування інформації, є енергонезалежною пам'яттю.

Flash – тип довготривалої енергонезалежної пам'яті.

FPU (Floating point unit) – математичний співпроцесор для обрахування чисел з плаваючою крапкою.

HAL – високорівневий драйвер для роботи з периферією мікроконтролера, розроблений компанією STMicroelectronics для своєї лінійки STM32.

I2C (Inter-Integrated Circuit) – послідовна інтерфейсна шина даних для зв'язку інтегральних мікросхем.

I2S (Inter-IC Sound) – інтерфейс послідовної шини, що використовується для передачі звукових даних між мікросхемами за допомогою широтно-імпульсної модуляції.

IDE (Integrated Development Environment) – інтегроване середовище розробки, комплексний програмний засіб, що поєднує в собі редактор коду та засоби для його зневадження.

LL – низькорівневий драйвер для роботи з периферією мікроконтролера, розроблений компанією STMicroelectronics для своєї лінійки STM32.

LQFP48 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 48 виводів з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

RAM (Random Access Memory) – енергозалежна пам'ять, що призначення для тимчасового збереження програмних іструкцій та даних запущених програм.

RTC (Real-time clock) – пристрій, модуль, який відстежує поточну дату, час, може мати апаратне коригування високосних років.

Single-bus – інтерфейс передачі даних в якому для передачі даних в обидва напрямки використовується один провідник, проте на відміну від 1-Wire живлення по цьому провіднику неможливе. Тобто для підключення мікросхеми потрібно 3 провідника.

SOIC8 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 8 виводів з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

SPDIP28 – корпус електронного компонента для вивідного монтажу, що має 28 виводів з кроком між выводами 2.54 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

SPI (Serial Peripheral Interface) – послідовний периферійний інтерфейс для забезпечення зв'язку мікроконтролера з периферійними пристроями.

TQFP100 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 100 виводів з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

TQFP32 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 32 виводи з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльником, паяльним феном або нижнім підігрівом.

UFQFPN48 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 48 виводів з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльним феном або нижнім підігрівом.

UNIX – сімейство багатозадачних комп'ютерних операційних систем, що підтримують одночасне використання багатьма користувачами.

USART (Universal synchronous and asynchronous receiver-transmitter) – універсальний синхронний чи асинхронний приймач чи передавач, це назва периферійного пристрою який використовують для передачі даних від персонального комп'ютера до мікроконтролера, зазвичай використовується в парі з іншими стандартами, такими як RS-232.

USB (Universal Serial Bus) – універсальний стандарт послідовної шини даних який призначений для підключення різних периферійних пристроїв.

VQFN28 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 28 виводів з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльним феном або нижнім підігрівом.

VQFN32 – корпус електронного компонента для поверхневого монтажу, що має 32 виводи з кроком між выводами 0.5 мм. Підходить для пайки паяльним феном або нижнім підігрівом.

АЦП – аналого-цифровий перетворювач.

ВАХ – вольт-амперна характеристика.

ДСН – державні санітарні норми.

ДСТУ – державні стандарти України.

ДСТУ ІЕС – державний стандарт України, що базується на стандартах міжнародної електротехнічної комісії.

ЕРС – електрорушійна сила.

ІЧ – інфрачервоне випромінювання.

МЕК – міжнародна електротехнічна комісія.

МК – мікроконтролер.

ПЗ – програмне забезпечення.

ТЕН – трубчастий електронагрівник.

ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач.

ШИМ – широтно-імпульсна модуляція.

ВСТУП

Останнім часом системи автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях є досить необхідними в сучасних офісах, складських приміщеннях, гаражах станцій технічного обслуговування та інших приміщеннях, де працюють люди або потрібно дотримуватись деяких кліматичних норм. Ці системи допомагають користувачу здійснювати базові операції з кліматичним устаткуванням приміщень в автоматичному режимі. В таких системах наявні автоматичні сценарії, які покликані на швидке перемикання завчасно встановлених параметрів та системи безпеки які запобігають перегріванню чи замерзанню теплоносія (якщо він наявний), простота налаштування є одним з головних параметрів для людей, що купують собі ці системи. На поточний момент системи автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях можуть керувати такими пристроями:

- циркуляційними насосами;
- котлами (газовими та електричними);
- теплою підлогою;
- системами кондиціонування;
- системами зволоження та осушення повітря.

Крім вище перелічених базових можливостей деякі системи здатні керувати розширеним набором пристроїв, що не відносяться напряму до кліматичної техніки, пороте опосередковано керуючи ними впливають на клімат в приміщенні, серед цих пристроїв є: моторизовані штори або ролети та вентиляція.

Система автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях включає три типи пристроїв:

- контролер (інтелектуальний модуль) – пристрій який керує приладами (актуаторами) та обробляє інформацію з датчиків яка потім використовується для реалізації заданих сценаріїв;

- датчик – пристрій, що отримує інформацію про зміну зовнішніх кліматичних умов;
- актуатор – найбільш чисельна група пристроїв, які виконують команди від контролера, до них належать насоси, котли, кондиціонери, тепла підлога, зволожувачі та осушувачі повітря та інше.

Мета магістерської дисертації – створення системи яка буде здатною автоматично виконувати регулювання клімату в нежитлових приміщеннях.

Після виконаного аналізу було прийнято рішення задля здешевлення системи і полегшення її налаштування відмовитись від надлишкових засобів взаємодії між інтелектуальним модулем та людиною, та використовувати лише мінімум управляючих елементів. Таке компонування дозволить створити прототип системи без наявності спеціальних навичок та інструменту.

1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ТА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕНЬ

Сьогодні в сфері інформаційних технологій існує велика кількість інструментів для вирішення широкого спектру задач. Одним з цих інструментів є системи керування кліматом. В цьому розділі буде розглянуто складові системи її задачі та законодавчу частину оскільки система повинна задовольняти нормам які прописані в ДСН 3.3.6.042-99 щодо кліматичних умов для працівників відповідно до категорії їх робіт.

1.1 Огляд систем автоматичного контролю клімату

Основою системи автоматичного контролю клімату є інтелектуальний модуль, який здійснює регулювання робочих параметрів устаткування з метою нормалізації клімату в приміщенні. Інтелектуальний модуль повинен вміти керувати цими видами обладнання:

- кондиціонери та спліт-системи;
- радіатори;
- теплі підлоги;
- котли, інші прилади для опалення;
- системи охолодження та вентиляції;
- фільтри;
- іонізатори, озонатори повітря;
- зволожувачі, осушувачі повітря;
- інші системи, наприклад моторизовані ролети.

Дана система повинна виконувати керування приладами опалення, системами охолодження повітря та системою вентиляції.

З цього виходить, що система повинна вміти визначати концентрацію вуглекислого газу в приміщенні, вимірювати температуру та вологість повітря. Після здійснення необхідних вимірів інтелектуальний модуль на основі заданих

параметрів віддає команди відповідним елементам системи для покращення умов в приміщенні.

Наприклад для збільшення температури в приміщенні модуль може:

Віддати команду кондиціонеру перейти на режим опалення(це можливо якщо температура на вулиці в межах дозволеного для кондиціонерів з можливістю опалення).

Віддати команду кондиціонеру на вимкнення (для літнього періоду, температура сама підніметься через деякий час).

Віддати команду кондиціонеру на вимкнення та увімкнути пристрої опалення.

1.2 Задача системи автоматичного контролю клімату

Головна задача системи – здійснювати ефективно керувати кліматом в приміщеннях, щоб забезпечити його комфортність для працівників. Другорядною ж задачею є – економія ресурсів для запобігання зайвих витрат.

1.3 Аналіз законодавчої частини

Комфортні умови на робочому місці підвищують продуктивність праці, саме тому підтримання їх на одному рівні є досить важливою складовою правильного виробництва. В Україні є постанова Міністерства охорони здоров'я України від 1999 року під назвою «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99» в якій наведено вимоги до параметрів мікроклімату відповідно до категорії роботи. В постанові наведено оптимальні параметри клімату які наведено в таблиці 1.1 та допустимі параметри клімату, що представлені в таблиці 1.2. Поняття допустимих величин мікрокліматичних умов було введено оскільки часто неможливо дотриматись чітких норм.

Таблиця 1.1 – оптимальні параметри клімату в залежності від категорії робіт

Період року	Категорія робіт	Температура повітря в °C	Відносна вологість
Холодний період року	Легка Ia	22 – 24	60 – 40%
	Легка Ib	21 – 23	60 – 40%
	Середньої важкості IIa	19 – 21	60 – 40%
	Середньої важкості IIб	17 – 19	60 – 40%
	Важка III	16 – 18	60 – 40%
Теплий період року	Легка Ia	23 – 25	60 – 40%
	Легка Ib	22 – 24	60 – 40%
	Середньої важкості IIa	21 – 23	60 – 40%
	Середньої важкості IIб	20 – 22	60 – 40%
	Важка III	18 – 20	60 – 40%

Таблиця 1.2 – допустимі параметри клімату в залежності від категорії робіт

Період року	Категорія робіт	Температура повітря (°C) в межах		Відносна вологість
		На постійних роб. місцях	На непостійних роб. місцях	
Холодний період року	Легка Ia	21 – 25	18 – 26	75%
	Легка Ib	20 – 24	17 – 25	75%
	Середньої важкості IIa	17 – 23	15 – 24	75%
	Середньої важкості IIб	15 – 21	13 – 23	75%

Продовження таблиці 1.2

	Важка ІІІ	13 – 19	12 – 20	75%
Теплий період року	Легка Іа	22 – 28	20 – 30	55% – при 28 °С
	Легка Іб	21 – 28	19 – 30	60% – при 27 °С
	Середньої важкості Іа	18 – 27	17 – 29	65% – при 26 °С
	Середньої важкості Іб	15 – 27	15 – 29	70% – при 25 °С
	Важка ІІІ	15 – 26	13 – 28	75% – при 24 °С

Висновок до розділу

Основою системи автоматичного контролю клімату є інтелектуальний модуль, який здійснює регулювання робочих параметрів устаткування з метою нормалізації клімату в приміщенні, та актуатори, завдяки яким інтелектуальний модуль може здійснювати керування.

Головною задачею системи є здійснення ефективного керування кліматом в приміщеннях, для забезпечення його незмінності. Другорядною ж задачею є – економія ресурсів для запобігання зайвих витрат.

Кліматичні умови на робочому місці в Україні регулюються постановою Міністерства охорони здоров'я України від 1999 року під назвою «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99», де наведено вимоги до параметрів мікроклімату відповідно до категорії роботи. В постанові наведено оптимальні параметри клімату та допустимі параметри клімату, що наведено в таблицях.

2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ

На ринку доступно багато реалізацій систем з контролю клімату в приміщеннях. Вони розподілені за типами пристроїв, над якими здійснюється керування та за функціональними можливостями. Зазвичай такі пристрої здійснюють керування над теплими підлогами, циркуляційними насосами, живленням котлів, конвекторами та фанкойлами.

2.1 FANTINI COSMI CH 110\111\112

Молодша модель терморегулятора яка призначення для роботи в парі з модулями МК-150, МК-300, МК-45 PREMIUM і подібними, які необхідні для керування електродвигуном конвектора. Пристрій з себе представляє корпус білого, сірого чи чорного кольору з рідкокристалічним дисплеєм без підсвітки та чотири кнопки, його зображено на рисунку 2.1. Джерелом живлення є дві батарейки формату AAA, конструктивно пристрій складається з двох модулів, де перший модуль з МК та органами керування, а другий модуль з клемними колодками та реле яке здатне комутувати струм до 3 А при напрузі до 250 В, з'єднання модулів відбувається штирьовими роз'ємами.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд корпусу терморегулятора CH 110/111/112

Терморегулятор має ступінь пило-волого захист IP20, що згідно стандарту значить, що в пристрій не потрапить сторонній предмет розміром більше 12,5 мм, та повну відсутність захисту від води. Пристрій має широкий набір режимів роботи та дозволяє швидко перемикатись між ними:

- «Комфорт»;
- «Економія»;
- «Вимкнено».

Кожен режим крім «Вимкнено» має можливість швидкого перемикавання в підрежими:

- «Зима»;
- «Літо».

Для режимів «Комфорт» та «Економія» для різних підрежимів «Зима» чи «Літо» терморегулятор надає можливість встановлювати температуру оточуючого середовища в межах від 2 °C до 40 °C, а в режимі «Вимкнено» який крім прямого значення яке впливає з назви передбачує в собі режим захисту теплоносія від перемерзання, тому дозволяє встановити температуру оточуючого середовища від 0 °C до 7 °C, яка потім буде автоматично підтримуватись.

Пристрій працює за законом гістерезису який рівняється 1,5 °C, тобто якщо різниця між фактичною та заданою температурою більше ніж 1,5 °C, то пристрій перемикає реле, яке надсилає сигнал до додаткового модуля який здійснює керування одним чи декількома електродвигунами конвекторів.

Орієнтовна ціна інтелектуального модуля станом на грудень 2021 року складає – 1800 грн [2], та найдешевшого виконавчого модуля (МК-150) – 3500 грн [3], тобто повна вартість комплексу буде складати – 5300 грн.

2.2 FANTINI COSMI CH 130RR/130ARR/130RFR

2.2.1 Спільні можливості модифікацій

Старша за FANTINI COSMI CH 110\111\112 модель яка працює в парі з виконавчим модулем CH172D(RF) який здійсню розшифровку команди від інтелектуального модуля та подає сигнал на модулі МК-150, МК-300, МК-45 PREMIUM про ввімкнення електродвигуна конвектора на одній з 3-х швидкостей.

Пристрій виконано в білому кольорі зі ступенем пило-вологозахисту IP20, на лицьовій панелі є чотири клавіші та рідкокристалічний дисплей без підсвітки, його зображення на рисунку 2.2.

Виконавчий модуль CH172D(RF) представлено у вигляді модуля білого кольору для монтажу на DIN рейку на якій займає шість слотів. Підключення дротів відбувається в нижній частині модуля за допомогою гвинтових клем. Зовнішній вигляд зображено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.2 – Зовнішній вигляд корпусу терморегулятора CH 130



Рисунок 2.3 – Зовнішній вигляд корпусу виконавчого модуля CH172D(RF)

Інтелектуальний модуль як і його молодша модель дозволяє встановити три режими роботи:

- «Комфорт»;
- «Економія»;
- «Вимкнено».

Кожен режим крім «Вимкнено» також як і молодшій моделі має можливість швидкого перемикавання в підрежими:

- «Зима»;
- «Літо».

В кожному з режимів крім «Вимкнено» чи підрежимів є можливість встановити температуру установки від 2 °С до 40 °С, а в режимі «Вимкнено» аналогічно до молодшої моделі від 0 °С до 7 °С для попередження замерзання теплоносія.

Пристрій як і його молодша модель працює за законом гістерезису, який рівний 1,5°С.

2.2.2 Різниця модифікацій

Модифікації різняться між собою лише в чотирьох аспектах, а саме:

- джерело живлення;
- наявність автоматичного вибору швидкості двигуна конвектора;
- спосіб взаємодії між інтелектуальним модулем та виконавчим модулем;
- вартість.

Модифікація CH 130RR:

- живиться від виконавчого модуля CH172D;
- відсутній автоматичний вибір швидкості, лише ручний;
- інтелектуальний модуль «спілкується» з виконавчим модулем дротовим зв'язком;

- орієнтовна ціна на інтелектуальний модуль + виконавчий модуль CH172D станом на грудень 2021 року – 3900 грн [4], ціна на виконавчий модуль МК-150 – 3500 грн [3], тобто загальна вартість – 7400 грн.

Модифікація CH 130ARR:

- живиться від виконавчого модуля CH172D;
- наявний автоматичний вибір швидкості, також доступний ручний вибір;
- інтелектуальний модуль «спілкується» з виконавчим модулем дротовим зв'язком;
- орієнтовна ціна на інтелектуальний модуль + виконавчий модуль CH172D станом на грудень 2021 року – 4200 грн [5], ціна на виконавчий модуль МК-150 – 3500 грн [3], тобто загальна вартість – 7700 грн.

Модифікація CH 130RFR:

- живиться від двох батарейок типу AA;
- наявний автоматичний вибір швидкості, також доступний ручний вибір;
- інтелектуальний модуль «спілкується» з виконавчим модулем CH172DRF за допомогою радіозв'язку, дальність до 30 метрів;
- орієнтовна ціна на інтелектуальний модуль + виконавчий модуль CH172DRF станом на грудень 2021 року – 5400 грн [6], ціна на виконавчий модуль МК-150 – 3500 грн [3], тобто загальна вартість – 8900 грн.

2.3 MYCOND TRF-B2F

Самодостатній термостат який призначений для використання з фанкойлами. Пристрій з себе представляє квадратну скляну панель білого або чорного кольору з сенсорними клавішами та рідкокристалічним дисплеєм,

зовнішній вигляд передньої панелі зображено на рисунку 2.4. Задня панель пристрою, яку зображено на рисунку 2.5 представляє з себе прямокутник зі зрізаними кутами, така форма дозволяє встановити цей інтелектуальний модуль в будь-який підрозетник. Задня панель має ряд гвинтових клем для:

- під'єднання крана холодного контура;
- під'єднання крана гарячого контура;
- під'єднання трьох обмоток електродвигуна вентилятора, кожна з яких відповідає різній швидкості обертів;
- під'єднання до мережі змінного струму 220 В.

Під час роботи на дисплеї пристрою відображається:

- температура;
- поточний режим;
- швидкість вентилятора.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд лицьової панелі терморегулятора TRF-B2F

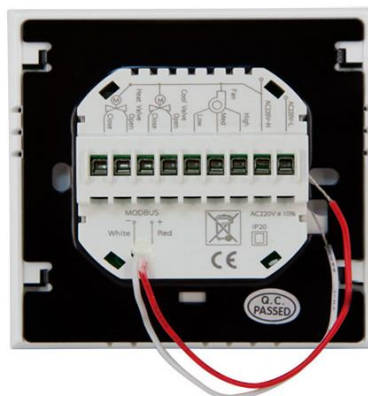


Рисунок 2.5 – Зовнішній вигляд задньої панелі терморегулятора TRF-B2F

Пристрій має три режими які застосовуються відповідно до дня тижня:

- будні;
- субота;
- неділя.

Для кожного з режимів є можливість встановити температуру від 5 °С до 35 °С. Крім цього в цих режимах інтелектуальний модуль дозволяє керувати обертами вентилятора як в ручному режимі, так і в автоматичному, на вибір дається три швидкості.

Орієнтовна ціна на інтелектуальний модуль станом на грудень 2021 року – 1800 грн [7]. Це досить низька ціна порівняно з іншими моделями.

2.4 VERANO VER 24

Один з найбільш просунутих терморегуляторів на ринку. Призначений для керування конвекторів з вентиляторами та двотрубних конвекторів-кондиціонерів, що мають сервоприводи з робочою напругою 24 В. Корпус пристрою, що зображено на рисунку 2.6 має форму прямокутника білого чи чорного кольору, передня панель представлена у вигляді скляної сенсорної панелі з кольоровим рідкокристалічним дисплеєм. Монтаж здійснюється на фінішну поверхню без заглиблень в стіну.



7

Рисунок 2.6 – Зовнішній вигляд корпусу терморегулятора VERANO VER 24

Пристрій потребує зовнішнього блоку живлення постійного струму 24 В, компанія VERANO випускає широкий асортимент блоків живлення на DIN рейку та просто в промисловому корпусі. В наявності блоки живлення на DIN рейку з потужністю 30 Вт, 60 Вт, 100 Вт та 120 Вт, а блоки живлення в промисловому корпусі – 240 Вт та 480 Вт. Виробник рекомендує підбирати потужність блока живлення в залежності від номінальної потужності вентилятора конвектора.

Блоки живлення відповідно до потужності різняться і по ціні, орієнтовні ціни наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Орієнтовні ціни на оригінальні блоки живлення компанії VERANO

Модель	Потужність у ватах	Орієнтовна ціна
Z030-24V DC [10]	30	1500 грн
Z060-24V DC [11]	60	1800 грн
Z100-24V DC [12]	100	2500 грн
Z120-24V DC [13]	120	2700 грн
Z240-24V DC [14]	240	4700 грн
Z480-24V DC [15]	480	8400 грн

Терморегулятор на відміну від вище перелічених моделей вміє плавно керувати швидкістю вентилятора в межах 0% – 100%, проте хоч ця можливість і є він все рівно прив’язаний до трьох швидкостей які можна задати вручну, тобто він оперує трьома швидкостями які користувач сам налаштовує під себе на основі власних побажань акустичного комфорту.

Пристрій дозволяє користувачу налаштовувати три режими:

- «Комфорт»;
- «ECO»;
- «Захист».

Ці режими потім використовуються при налаштуванні тижневого розкладу, який може складатися з трьох графіків, графік являє собою погодинний розклад на день. Тобто, припустимо, що користувачу необхідно в будні дні опалювати приміщення тільки після робочого дня, це є перший графік поведінки, а в вихідні постійно вдома, та опалення працює рівномірно протягом дня, це другий графік поведінки. А третій режим наприклад залишити на випадок відпустки, тоді можна налаштувати всі дні тижня на режим «Захист».

Кожен режим налаштовується по різному, режим «Комфорт» наприклад дозволяє становити температуру від 5 °С до 40 °С. А з режимами «Захист» та «ECO» все цікавіше, це взаємо залежні режими які налаштовуються також в діапазоні від 5°С до 40°С проте з деякими правилами:

- мінімальна температура «Захист» < мінімальна температура «ECO»;
- максимальна температура «Захист» > максимальна температура «ECO».

Регулювання здійснюється за законом гістерезису та його значення складає 0,1°С.

Орієнтовна ціна на інтелектуальний модуль складає – 10000 грн [16]. Ціна на комплект з інтелектуального модуля та блока живлення може різнитись від 11500 грн з блоком живлення на 30 Вт, до 18400 грн за комплект з блоком живлення на 480 Вт.

2.5 SIEMENS RTD 201

Пристрій преміум сегменту який призначений для керування сервоприводами, фенкойлами та конвекторами з вентиляторами. Корпус пристрою виконано в формі прямокутника з заокругленими кутами білого кольору, що має захист по стандарту IP30. Передня панель має рідкокристалічний дисплей з підсвіткою, три клавіші та енкодер. Зображення пристрою представлено на рисунку 2.7



Рисунок 2.7 – Зовнішній вигляд корпусу терморегулятора SIEMENS RTD 201

Живлення пристрою здійснюється від зовнішнього джерела живлення постійного струму з напругою 24 В. Джерело живлення може поставлятися з конвектором або купуватись окремо, компанія SIEMENS не надає ніяких рекомендацій щодо цього, проте має декілька лінійок блоків живлення які виконуються як в корпусі на DIN рейку так і в промисловому корпусі. Пристрій має три режими роботи а кожному з яких дозволяється встановити температуру уставки в діапазоні від 5 °C до 40 °C:

- «Комфорт»;
- «Економія»;
- «Режим захисту».

Ці режими роботи використовуються для програмування тижневого таймера, який має вісім програмованих таймерів для перемикання режимів роботи.

Монтаж пристрою здійснюється накладним способом на готову фінішну поверхню. При монтажі до стіни кріпиться пластина з гвинтовими клеммами, до якої потім кріпиться інтелектуальний модуль за допомогою двох гвинтів, контакт між гвинтовими клеммами та модулем забезпечується завдяки штирьовим контактам. На задній частині корпусу пристрою розміщено DIP перемикач завдяки якому можна налаштувати додаткові параметри такі як тип пристроїв якими він керує:

- двох трубна система;
- двох трубна система та електричний нагрівач;

- двох трубна система з радіатором;
- чотирьох трубна система;
- двоступенева система.

Також цей перемикач дозволяє задати режим роботи вентилятора:

- плавне регулювання обертів;
- фіксовані три швидкості.

Та вмикати чи вимикати роботу тижневого таймера, це корисно коли користувач тимчасово від'їжджає з будинку щоб не збивати налаштування таймера, його просто вимикають і натомість вмикають режим «Економія» або «Режим захисту».

Станом на грудень 2021 року, орієнтовна вартість пристрою складає 6700 грн [18], проте необхідно пам'ятати, що для його роботи необхідний блок живлення який не входить в комплект.

2.6 Порівняльний аналіз характеристик систем

В результаті аналізу існуючих систем було виявлено, що більшість систем орієнтовані на роботу з:

- теплими підлогами як електричними так і тими, що потребують теплоносія;
- фанкойлами різних конфігурацій;
- конвекторами з вентиляторами для поліпшення розповсюдження тепла;
- звичайною системою опалення з циркуляційними насосами та радіаторами.

Було розглянуто п'ять інтелектуальних модулів різної цінової категорії та можливостей та складено порівняльну таблицю 2.2 для швидкого аналізу їх відмінностей.

Таблиця 2.2 – порівняння існуючих інтелектуальних модулів

	FANTINI COSMI CH 110\ 111\ 112	FANTINI COSMI CH 130RR/ 130ARR/ 130RFR	MYCOND TRF-B2F	VERANO VER 24	SIEMENS RTD 201
Температури регулювання:	2 – 40°C	2 – 40°C	5 – 35°C	5 – 40°C	5 – 40°C
Наявність режиму захисту теплоносія	Так	Так	Так	Так	Так
Можливість керувати вентиляторами від 0% до 100%	Ні	Ні	Ні	Так	Так
Можливість керувати вентиляторами, що мають три фіксовані швидкості	Так	Так	Так	Так	Так
Можливість керувати фанкойлами	Ні	Ні	Так	Так	Так
Можливість під'єднання зовнішніх датчиків	Ні	Ні	Ні	Так	Так

Продовження Таблиці 2.2

Можливість керувати циркуляційними насосами	Так	Так	Так	Так	Так
Наявність тижневого таймера	Ні	Ні	Ні	Так	Так
Вид монтажу	Накладний	Накладний	Вмонтований	Вмонтований	Накладний
Орієнтовна вартість системи	1800 грн	7400 грн – 8900 грн	1800 грн	11500 грн – 18400 грн	6700 грн

Висновок до розділу

Більшість систем дозволяють встановити температуру в межах від 5 °С до 40 °С для кожного з доступних режимів. Зазвичай інтелектуальні модулі мають три режими роботи один з яких в своїй суті є просто режимом очікування з захистом теплоносія від замерзання. Деякі системи мають змогу програмувати розклад на тиждень, що є досить корисною функцією оскільки це дозволяє запрограмувати часи коли дійсно необхідна регуляція та зекономити кошти. Багато систем потребують окремого блока живлення, або мають змінні елементи живлення, що не є як на мене доцільно оскільки змінні елементи живлення є досить дорогими та мають малий термін служби.

3 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ МЕТИ

3.1 Аналіз способів вимірювання температури

Для вимірювання температури в цифровій техніці може застосовуватись велика кількість датчиків, які поділяються за будовою на наступні типи:

- термопари;
- пірометри;
- термометри опору;
- терморезистори;
- манометричні термометри.

Розглянемо по черзі кожен тип.

3.1.1 Аналіз термопар

Термопара – особливий чутливий елемент у вигляді двох ізольованих провідників різнорідних металів, що зварені на одному з кінців, добре підходять для вимірювання повільних процесів. Пари металів та межі вимірів таких термопар наведено в таблиці 3.1. Принцип роботи термопар базується на використанні ефекту Зеебека для вимірювання температури.

Таблиця 3.1 – Основні типи термопар

Матеріал термопар	Довготривалий температурний діапазон	Короткотривалий температурний діапазон
Хромель-алюмелеві	0 – 1100 °C	-180 – 1300 °C
Залізо-константанові	0 – 700 °C	-180 – 800 °C
Ніхросил-нісильові	0 – 1100 °C	-270 – 1300 °C
Платинородій-платинові	0 – 1600 °C	-50 – 1700 °C
Платинородій-платинові	0 – 1600 °C	-50 – 1750 °C

Продовження таблиці 3.1

Платинородій-платинородієві	200 – 1700 °C	0 – 1820 °C
Мідь-константанові	-185 – 300 °C	-250 – 400 °C
Хромель-константанові	0 – 800 °C	-40 – 900 °C

Ефект Зеебека полягає в здатності кола генерувати деякий потенціал, якщо з'єднані кінці різнойменних матеріалів мають різну температуру, при цьому напрямок струму залежить від того, де температура вища. Тобто у випадку термопар першим спаем є кінець термопар, який знаходиться в середовищі де необхідно виміряти температуру, а другим є контакт, що знаходиться при кімнатній температурі та під'єднаний до гальванометра, який здійснює вимірювання потенціалу. Напрямок струму залежить від різниці температур, тобто якщо необхідно виміряти температуру рідкого азоту полярність буде однією, а якщо температуру розплавленого свинцю полярність буде оберненою.

Класифікація термопар та визначення їх характеристик здійснюється згідно з МЕК, ДСТУ 2857-94, ДСТУ ІЕС 60584. Відповідності стандартів та матеріалів зображено в таблиці 3.2

Таблиця 3.2 – Відповідність стандартів між собою

Матеріал термопар	Тип термопар за МЕК	Тип термопар за ДСТУ
Хромель-алюмелеві	K	ТХА
Залізо-константанові	J	ТЖК
Ніхросил-нісилові	N	ТНН
Платинородій-платинові	R	ТПП 13
Платинородій-платинові	S	ТПП 10
Платинородій-платинородієві	B	ТПР

Продовження таблиці 3.2

Мідь-константанові	T	ТМК _н
Хромель-константанові	E	ТХК _н

3.1.2 Аналіз пірометрів

Пірометри є гарним способом вимірювання та є дуже розповсюдженими оскільки дозволять здійснити вимірювання безконтактним способом. Принципи роботи полягає в вимірюванні електромагнітного випромінюванні тіла. Пірометри за способом вимірювання поділяються на:

- оптичні пірометри;
- радіаційні пірометри;
- фотоелектричні пірометри.

Безконтактні інфрачервоні вимірювачі температури широко застосовуються в металургії, виробництві скляних виробів, харчовій промисловості та в інших галузях. Оскільки вимірювання температури відбувається безконтактно, то це унеможлиблює потрапляння сторонніх елементів до продукції.

Оптичні пірометри – пірометри, що здійснюють вимірювання температури завдяки порівнянню інтенсивності випромінювання нитки розжарювання, температура якої завчасно відома з інтенсивністю випромінювання об'єкту дослідження. Особливістю роботи з пристроєм є необхідність людині спостерігати через окуляр за ниткою розжарювання та досліджуваним тілом в цей час підлаштовуючи за допомогою реостату струм, що проходить через нитку розжарювання до тих пір доки слід від нитки не зліється з досліджуваним об'єктом, коли температура нитки замала видно темний слід від нитки, а коли зavelika – світлий. Після співставлення яскравості нитки з об'єктом необхідно поглянути на шкалу пристрою, де буде вказана температура. З недоліків пристрою можна назвати досить довге налаштування, тобто неможливість вимірювання швидких процесів та високу початкову температуру, пірометри цієї

конструкції зазвичай дозволяють проводити вимірювання в діапазоні 800 – 6000 °C. Що підходить для деяких виробництв але не підходить для задачі контролю клімату в приміщенні.

Фотоелектричні пірометри найбільш схожі на оптичні пірометри, головною різницею є те, що оцінка температури проводиться не оком користувача, а за допомогою фотоелементів подібних до тих, що встановлені в камерах. Температурні межі також в діапазоні 800 – 6000 °C, та наявність електронних частин збільшило швидкість вимірювання.

Радіаційні пірометри – прилади, що уловлюють та фокусують на теплочутливу частину, що з'єднана з термопарами випромінювання від досліджуваного тіла.

Пристрій складається з корпусу та об'єктиву, що призначений для концентрації випромінювання на теплочутливій частині. Теплочутлива пластина має форму хреста з платини та покрита платиновою черню. До кожного з кінців пластини прикріплено термопару з яких утворюються термобатареї, така конструкція допомагає збільшити електрорушійну силу, що в свою чергу збільшує точність вимірювань. Для вимірювання ЕРС термобатареї застосовується гальванометр який градуйовано в градусах. Для налаштування пірометрів користуються спеціальними таблицями коефіцієнтів чорноти повного випромінювання матеріалів за різних температур, та таблицями повного співвідношення температури яка випромінюється радіаційним пірометром та істиною температурою в залежності від чорноти повного випромінювання.

Як і у випадку з оптичним пірометром, радіаційних теж необхідно фокусувати на тілі, що досліджується, тіло повинно закривати все поле зору, та бути в фокусі. В ручних моделях для збереження очей користувача від яскравого світла використовують світлофільтри.

Радіаційні пірометри здатні вимірювати температуру від 900 до 2000 °C.

3.1.3 Аналіз терморезисторів

Терморезистор або як його ще називають термістор – це напівпровідниковий елемент, який змінює свій опір в залежності від своєї температури. Терморезистори переважно виготовляються методами порошкової металургії у формі пластин, циліндрів, трубок, шайб, тощо. Розміри коливаються в широких межах, від 1 мікрметра до 2 сантиметрів. В залежності від характеристик термістори здатні вимірювати температури в межах $-269 - -103\text{ }^{\circ}\text{C}$ для низькотемпературних, $-103 - 236\text{ }^{\circ}\text{C}$ для середньотемпературних та $236 - 1026\text{ }^{\circ}\text{C}$ для високотемпературних. Для визначення температури за допомогою термістора використовуються градуйовані в градусах омметри, градуювання наноситься відповідно до ВАХ терморезистора. Розрізняється два види терморезисторів, позистори та термістори, у перших при нагріванні опір зростає, а в других навпаки, опір зменшується.

Терморезистори знайшли своє застосування не лише як датчик температури. За умови виконання в одному корпусі з нагрівачем їх можна використовувати як ізольований змінний резистор.

3.1.4 Дослідження термометрів опору

Термометри опору на відміну від терморезисторів для вимірювання температури використовують не лише напівпровідникові чутливі елементи, а й метали. Термометри опору виконують свою роботу завдяки властивості металів та напівпровідників змінювати свій опір завдяки зміні температури. Для виготовлення цих датчиків використовують матеріал в якого максимально постійний температурний коефіцієнт електричного опору. Датчики цього типу є одними з найточніших, похибка в деяких зразків складає $0.001\text{ }^{\circ}\text{C}$, крім цього вони є досить надійними. А до їх недоліків можна приписати низький діапазон

вимірювальних температур та відносно не високі максимальні температури вимірювання.

3.1.5 Аналіз манометричні термометри

Манометричні термометри представляють собою набір з чутливого елементу та показуючий пристрій. У якості чутливого елементу виступає термобалон, що заповнено робочою речовиною. Робочої рідиною може бути ртуть, ксилол, спирт, азот, гелій, фреон, пропілен, ацетон та інші. При зміні температури відбувається зміна тиску робочої речовини, зміну тиску відслідковують і виводять на градуйовану шкалу, оцифровка сигналу відбувається за допомогою тензорезистора, потенціометра, енкодера. Діапазон вимірювальних температур різниться в залежності від робочої рідини, проте загальний діапазон складає $-50 - +1300$ °C. Головною перевагою є можливість вимірювати температуру пожежонебезпечних та вибухонебезпечних приміщеннях. Тоді як головним недоліком є складність ремонту системи у випадку розгерметизації.

3.2 Дослідження особливостей застосування датчиків вимірювання вологості

Левову частину площі поверхні нашої планети займає вода, більшість живих істот складаються мінімум на 50% з води, вода оточує нас скрізь навіть в повітрі і мати спосіб контролю вологості повітря необхідно оскільки людина та сучасна техніка чутливі до неоптимальних показників вологості. Для людей оптимальним показником вологості повітря є 40 – 60%.

Датчики вологості повітря поділяються на:

- термісторні;
- оптичні;
- електронні;

- резистивні;
- ємнісні.

3.2.1 Аналіз термісторних датчиків вологості повітря

Даний тип датчиків використовує властивість вологи конденсуватись та випаровуватись. Для вимірювань застосовуються два термістора, один з яких знаходить в герметичній камері в якій знаходиться сухе повітря, а другий знаходиться без захисту в середовищі, де необхідно здійснити вимір. Для знаходження вологості повітря використовується властивість води при випаровуванні знижувати температуру тіла. Знаючи різницю температури між захищеним термістором та незахищеним можна дізнатись вологість повітря.

3.2.2 Дослідження оптичних датчиків вологості повітря

Оптичний датчик вологості працює використовуючи ефект вологи конденсуватися у вигляді крапель на поверхні. Такі датчики є найбільш точними проте і найбільш дорогими як сама вартість датчика так і вартість його обслуговування. Для максимальної точності вимірювань поверхня дзеркала, фотодіода та світлодіода повинні бути максимально чистими. Схематичну будову датчика зображено на рисунку 3.1. Алгоритм роботи датчика такий:

- з однієї зі сторін дзеркало нагрівається або охолоджується;
- світлодіод посилає пучок світла на дзеркало;
- фотодіод вловлює пучок світла;
- процес повторюється до тих пір доки не буде знайдено точку роси.

Коли відомо температуру дзеркала за якої відбулася конденсація вологи вимір можна вважати закінченим. Оскільки для своєї роботи датчику необхідно знати і температуру за якої сталась конденсація, то датчик одночасно є і датчиком температури оскільки ніщо не заважає виміряти температуру дзеркала при вимкненому підігріві.

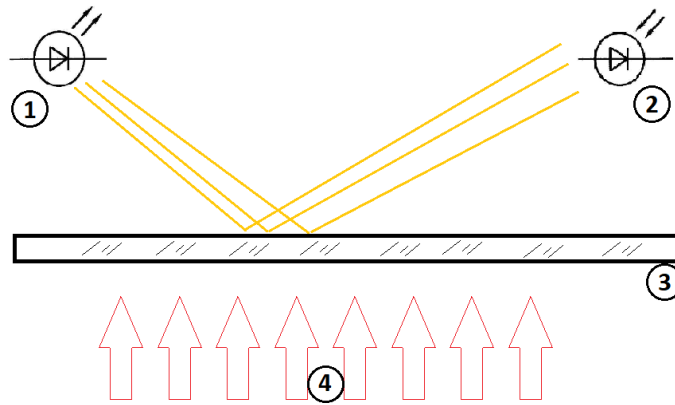


Рисунок 3.1 – Схема будови оптичного датчика вологості повітря

Примітки

- 1 світлодіод;
- 2 фотодіод;
- 3 дзеркало;
- 4 підігрів дзеркала.

3.2.3 Дослідження електронних датчиків вологості повітря

Принцип роботи електронного датчика вологості повітря полягає в здатності електролітів накопичувати вологу. В залежності від кількості води в електроліті він змінює свою електропровідність. Сам датчик виглядає як деяка відкрита для зовнішніх чинників ємність, яка наповнена електролітом та зонда, що має вигляд двох рознесених на фіксовану відстань електродів, схематично будову зображено на рисунку 3.2. Для вимірювання через зонд пропускається потенціал і в залежності від того наскільки велика сила струму проходить визначається вологість. Чим більша сила струму – тим більша вологість повітря.

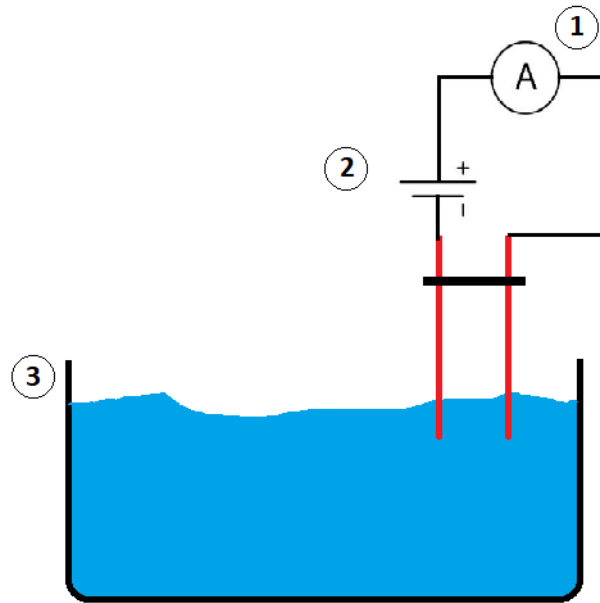


Рисунок 3.2 – Будова електронного датчика вологості повітря

Примітки

- 1 амперметр;
- 2 джерело живлення;
- 3 посудина з електролітом.

3.2.4 Аналіз резистивних датчиків вологості повітря

Резистивний датчик вологості є одним з найдешевших датчиків, його робота базується на можливості деяких матеріалів напитувати вологу при цьому змінюючи опір. Датчик конструкційно складається з провідника та запеченого порошку з оксиду алюмінію який при запіканні перетворюється в плівку. Запікання необхідне для забезпечення стійкості порошкового матеріалу від розмокання. Зовнішній вигляд датчика зображено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд резистивного датчика вологості повітря

3.2.5 Дослідження ємнісних датчиків вологості повітря

Ємністнісний датчик вологи по своїй суті являється звичайним конденсатором, вимірювання вологи в ньому здійснюється завдяки зміні провідності діелектрика, що знаходиться між обкладками цього конденсатора. Датчики поділяються на три типи в залежності від своєї конструкції.

Першим типом є звичайний повітряний конденсатор, його конструкція максимально проста. Між обкладками конденсатора знаходиться повітря яке в сухому стані є гарним діелектриком, а в вологому поганим, як відомо чим більша провідність в діелектрика, що знаходиться між обкладками конденсатора тим менша ємність конденсатора використовуючи це явище і визначається вологість повітря. Схематичне зображення повітряного ємнісного датчика вологості зображено на рисунку 3.4.

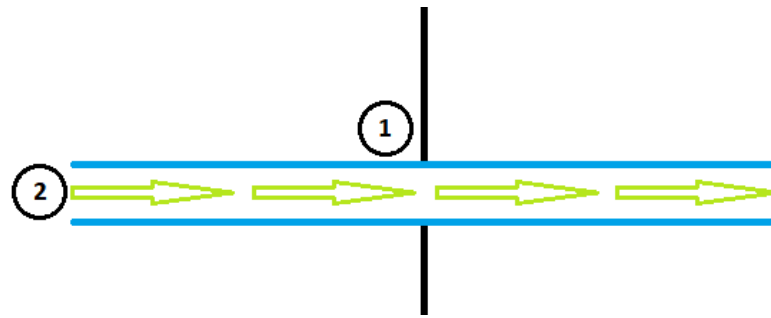


Рисунок 3.4 – Схематичне зображення повітряного ємнісного датчика вологості

Примітки

- 1 повітряний конденсатор;
- 2 повітря з середовища, де необхідно здійснити вимір.

Другим типом є схожа конструкція до повітряного конденсатора проте замість повітря в якості діелектрика виступає інший матеріал який здатний впитувати вологу з повітря, це чимось схоже на плівку з запеченого порошку оксиду алюмінію. Крім цього для вимірювання з підвищеною точністю до виводів конденсатора подаються імпульси заданої частоти.

Третій тип конструкції являє собою конденсатор який виготовлено методом металізації текстоліту, контакти обкладинок конденсатора виконано у формі гребінця, така конструкція є найбільш зручною на сьогоднішній час проте вимагає температурної компенсації під час вимірювань.

3.3 Дослідження способів керування температурою

Сьогодні існує багато пристроїв які здатні опалювати або охолоджувати приміщення. З цього різноманіття можна скласти багато схем опалення та кондиціонування та кожна з цих схем має особливості в керуванні.

3.3.1 Аналіз пристроїв для обігріву приміщення та їх особливостей

Пристроїв, що можуть нагрівати приміщення неймовірна безліч, вони відрізняються умовами роботи, типом палива, необхідністю інфраструктури для

своїєї роботи, теплоносієм та мобільністю. За умовами роботи пристрої поділяються залежно від рекомендованих початкових температур роботи, тобто ви не зможете запустити опалення в якого у якості теплоносія використовується вода, коли вона замерзла, а використати електрообігрівач у якого немає теплоносія можна завжди. За типом палива пристрої можна поділити на: електричні, газові, геотермальні, твердопаливні (вугілля, дрова та інше) та нафтопаливні, в залежності від типу використаного палива кожен обігрівач має свої характерні особливості в керуванні, наприклад терморегулятор в ході аналізу температури в приміщенні віддає команду циркуляційному насосу зупинитися оскільки задана температура була досягнена, проте виникає питання, що нагрівало теплоносії, якщо це був електричний нагрівач, то його можна просто вимкнути, а якщо це був твердопаливний котел, то його неможливо просто вимкнути і через це доведеться залишити циркуляційний насос увімкненим, а натомість перекрити повітряну заслінку для зменшення температури горіння та просто чекати доки температурні витрати перевищать нагрів. Під необхідністю інфраструктури мається на увазі наявність тепломагістралей, радіаторів, конвекторів, нагрівального кабелю, димоходів та інше. В більшості пост-радянських держав системи опалення в якості теплоносія використовують воду, проте сучасні рішення та економічні умови повертають людство до каміння, такі обігрівачі зараз оформлюють у вигляді каміну оскільки в наш час важлива не лише ефективність, а й зовнішній вигляд, а в якості нового пропонують нагрівання безпосередньо повітря в пристроях з резистивними нагрівачами або нагрівання всіх оточуючих предметів за допомогою інфрачервоних нагрівачів. А під мобільністю мається на увазі необхідність постійному місці перебування, більшість електричних обігрівачів цього не потребують, а от газові чи твердопаливні навіть якщо б і не потребували б димоходу, то вони зазвичай досить важкі, що значною мірою ускладнить їх переміщення.

Ознайомившись з класифікацією необхідно проаналізувати кожен тип окремо для з'ясування його особливостей.

Конвектори поділяються на керамічні та звичайні, головною різницею є матеріал який виступає в ролі посередника між повітрям та нагрівачем. У керамічних нагрівачів нагрівач нагріває спочатку керамічну панель, яка потім рівномірно розподіляє тепло, перевагою перед звичайними є тривале охолодження, що добре для систем з терморегуляторами, це значно зменшує кількість увімкнень для підтримання температури. Зазвичай керамічні та звичайні конвектори мають форму радіатора та кріпляться до стіни або мають власні підставки для утримання у вертикальному положенні на підлозі. Електро-керамічні конвектори зазвичай мають форму пласкої панелі з декоративним малюнком природнього каменю або інше, а звичайні електричні конвектори мають повністю металевий корпус з характерними прорізами для пасивної конвекції повітря.

За типом живлення конвектори можна поділити на електричні, газові та водяні. Як ясно з назви електричні споживають електроенергію та нагрівають повітря, а газові споживають газ, це самостійні прилади, проте водяні конвектори потребують наявності в системі водонагрівача та циркуляційного насоса, по факту це звичайний радіатор який призначений для монтажу в підлогу, він поділяється на два види, перший з природньою конвекцією та другий з примусовою конвекцією, для роботи якої необхідно додатково встановлювати блок керування та блок живлення.

Газові конвектори являють собою пристрої які задля нагрівання приміщення спалюють природній газ. Деякі пристрої мають в конструкції підключення до димоходу, деякі розраховані на технічні або добре провітрювані приміщення і в них викид газів відбувається разом з теплим повітрям всередину. За способом монтажу представлені як підлогові так настінні. За корпусом бувають як великі в яких можна помістити газовий балон, так і маленькі які представляють собою просто насадку для обігріву в приміщення, що не потребують естетики. За принципом роботи такі конвектори нагадують керосинову лампу з калільною сіткою, у них як і в лампі є деяка щільна сітка яка нагрівається від полум'я, а потім вона нагріває повітря. Також часто

практикується заміна калільної сітки на сітку з керамічними кільцями, що мають більшу теплоємність та покращують ефективність приладу.

Тепловентилятори – один з найпопулярніших видів обігрівачів, існують дуже дешеві моделі, що і зумовило його популярність. Можуть працювати від електрики та на газу, проте прилади на газу є досить рідкісними та станом на листопад 2021 року вони відсутні в продажу повністю. Тепловентилятори існують у вигляді підлогових, настінних та стельових обігрівачів, що зазвичай можуть забезпечити обігрів приміщень до 25 квадратних метрів та мають потужність до 2,5 кіловат. Класифікація зазвичай відбувається по типу нагрівального елементу:

- ТЕН;
- ТЕН з ІЧ обігрівом;
- спіраль;
- керамічний;
- керамічний з ІЧ обігрівом;
- теплообмінник (газовий конвектор з примусовою конвекцією);
- кварцовий з ІЧ обігрівом;
- галогеновий з ІЧ обігрівом;
- карбоновий з ІЧ обігрівом;
- мікатермічний.

Найдешевшими та найпопулярнішими моделями є моделі з спіральним нагрівачем, ці моделі мають регульований термостат та дві спіралі, кожна з яких має потужність в кіловат, спіралі можна не вмикати або вмикати по одній чи обидві за допомогою перемикача на корпусі. Така комплектація дозволяє якісно налаштувати швидкість обігріву та уникнути різкого зменшення вологості повітря.

Крім цього більш дорогі моделі можуть мати додаткові функції, такі як:

- таймер вимкнення;
- програматор;
- поворотна система;

- зволоження повітря;
- управління з телефону;
- підключення до Wi-Fi.

Масляні радіатори є досить привабливими для покупки пристроями, на відміну від тепловентиляторів вони безшумні та довше здатні тримати температуру у вимкненому стані. Крім того вони так само як і тепловентилятори мають максимальну потужність в 2,5 кіловат та можуть обігріти приміщення до 25 квадратних метрів, візуально потужність масляних радіаторів можна оцінити за кількістю секцій радіатора, зазвичай це від 9 до 12 секцій проте бувають винятки. Масляні радіатори працюють завдяки ТЕН який нагріває технічну олію, яка в свою чергу нагріває корпус пристрою. Головним недоліком масляних радіаторів є те, що їх корпус досить сильно нагрівається, часто до 150 °С, тому їх слід встановлювати подалі від легкозаймистих речей та не слід торкатися поверхні під час роботи.

Електрокамін – дизайнерський обігрівач, який виглядає як камін проте не потребує жодного палива, тільки розетку. Перевагами перед традиційним камінами є відсутність необхідності в постійному поповненні дров та автоматична терморегуляція. Каміни виконують в різних формах для зручної установки та вирішення усіляких дизайнерських питань, вони бувають:

- вбудовані;
- приставні;
- настінні;
- окремі;
- кутові.

В кожного типу каміна є свої переваги та недоліки, проте всі ці особливості відносяться лише до дизайнерської частини, з технічної точки зору вони всі майже однакові за винятком деяких додаткових функцій в окремих моделях. В основі є режими, де перший суто декоративний, працює лише імітація полум'я та звукове супроводження, а другий з режимом обігріву. Обігрівач камін завдяки модулю конвектора з примусовою конвекцією, в якому становлено ТЕН.

Біокаміни – на мій погляд одні з найнебезпечніших пристроїв для обігріву, вони не піддаються жодному контролю та мають відкрите полум'я, в якості палива використовується спеціальна суміш спиртів та нафтопродуктів. В якості виключення деякі рідкісні моделі мають автопідпал та можливість регулювати полум'я. Часто виконуються у відкритому корпусі без жодних захисних елементів.

Традиційний камін – працює за принцип спалювання деревини в будь-якій формі, регуляція здійснюється за допомогою повітряної заслінки. З цього виходить, що він не піддається контролю для автоматичних систем оскільки в залежності від конструкції повністю перекрита заслінка може призвести до задимлення приміщення та конструктивно неможливо зупинити горіння, а потім його відновити.

Теплові гармати – за своєю суттю є покращеними версіями тепловентиляторів, що здатні обігрівати площу до 1200 квадратних метрів. Вони складаються з вентилятора, камери згорання чи електричного нагрівача, автоматики та паливної системи якщо це газовий чи дизельний варіант. Гармати як і тепловентилятори поділяються за типом нагрівача та за типом енергії, що споживають для нагріву.

За типом нагрівача поділяються на:

- ТЕН;
- керамічний;
- спіраль;
- ІЧ пластина;
- теплообмінник.

А за типом енергії, що використовується для обігріву поділяються на:

- електричний;
- газовий;
- дизельний;
- водяний контур.

Найпотужнішими з цих теплових гармат є дизельні з теплообмінником, вони здатні обігрівати величезні площі. Для усіх пристроїв такого типу необхідне електроживлення оскільки для розподілення тепла вони використовують вентилятори та мають п'єзозапалювання. Їх можна контролювати за допомогою спеціальних контролерів, задача яких перекривати паливо та вмикати чи вимикати вентилятор з модулем підпалу.

Теплові завіси – це пристрої які найчастіше всього встановлюються над дверми в людних місцях, таких як ТЦ, кінотеатри, людні офіси, тощо. Прилад покликаний обігрівати приміщення та за допомогою потоку теплого повітря блокувати потрапляння холодного в приміщення.

Прилад може в залежності від своєї конструкції використовувати декілька джерел енергії для обігріву:

- електрична;
- газова;
- водяна.

В системах теплових завіс використовується два типи нагрівальних елементів:

- ТЕН;
- стич-елемент.

Теплові завіси максимально примітивні прилади, часто навіть більш примітивні за тепловентилятори оскільки задача завіси не скільки обігрів, а скільки захист приміщення від холодного повітря, тому часто на їх корпусі є лише кнопка увімкнення. Конструкційно тепла завіса складається з нагрівача та вентилятора.

Сьогоднішній ринок пропонує широкий вибір теплових завіс, в продажі навіть є моделі без підігріву, суть цих моделей просто створювати повітряну завісу для запобігання різкого перепаду температур, такі моделі особливо корисні для захисту теплиць.

Печі або твердопаливні котли – це найбільш звичний метод обігріву в сучасності, багато сімей та підприємств перейшли на цей вид централізованого

опалення через високу ціну природного газу. Зазвичай печі та твердопаливні котли в якості палива використовують дерев'яну сировину, тобто дрова, пілети та інше, проте був період коли для здешевлення проводилась модернізація за допомогою газових пальників. Для розповсюдження тепла котлам та печам необхідна облаштована системи опалення з циркуляційних насосів, радіаторів чи інших рідинних обігрівачів. Проте печі в залежності від їх конструкції можуть обходитись без рідинної системи, але це призводить до високої температури корпусу та підвищеної пожежної небезпеки, в таких конструкціях обігрів здійснюється за допомогою природної конвекції, а в деяких конструкціях до корпусу печі кріпляться ламелі, які перетворюють його на радіатор. Сучасні печі та котли оснащуються певними автоматичними системами проте повноцінне керування неможливе через необхідність повторного підпалу, дозавантаження палива та неможливість багаторазової миттєвої зупинки горіння. Тому автоматичні системи можуть виконувати лише базові функції з моніторингу температури, керувати зіслінкою та циркуляційними насосами, при цьому якщо автоматика не впорається з ситуацією і вода закипить спрацює байпасний клапан.

Котли електричні – є досить привабливими на ринку оскільки вони потужні, мають малі габарити та не потребують спеціальних дозволів на відміну від газових котлів. Крім цього вони часто мають автоматику яка покликана запобігти перегріву, підтримувати температуру та інколи навіть мають можливість тижневого програмування.

Котли цього типу зазвичай мають відносно невелику ціну проте ця невисока ціна обумовлена тим, що часто крім нагрівача та блоку керування в котлі нічого немає, тобто він не самодостатній і потрібно окремо купувати циркуляційні насоси, розширювальний бачок. Крім цього для роботи електричних котлів потрібна якісна електрична інфраструктура та окрема лінія в будинку, квартирі чи офісі яка буде захищеною автоматичними вимикачами. Такі котли розраховані на напругу 220 вольт та 380 вольт, вони добре підходять для будівель які знаходяться в районах з гарною електромережою. В якості

нагрівача використовується три технології, у кожній з яких є свої переваги та недоліки:

- ТЕН – стандартний нагрівний елемент, головною перевагою якого є відсутність контакту нагрівача та теплоносія оскільки вони розділені діелектриком;
- індукційний нагрівач – нагрівач складається з сталевого сердечника який представляє собою трубу в якій протікає теплоносій та індуктора (обмотки) який під час протікання через нього струму нагріває за допомогою індукції сердечник який нагріває теплоносій;
- електродний нагрівач – працює завдяки пропусканню електричного струму через теплоносій, в якості теплоносія використовуються сольові розчини які є дорогими.

Регулювання потужності здійснюється по різному в залежності від конструкції котла, наприклад в котлів з ТЕН регулювання потужності здійснюється шляхом включення додаткових ТЕН, часто для стандартних мереж це 2 ТЕНа по 1 кіловату кожен. А у випадку з іншими нагрівачами, то там використовується технологія перетворення струму для досягнення відповідної потужності, тобто в цьому випадку регуляція може здійснюватися плавно а не з фіксованим інтервалом. Крім того у електронних нагрівачів потужність можна регулювати за допомогою електропровідності теплоносія та його кількості, тобто за допомогою глибини занурення електродів в електроліт.

Котли газові – ці установки сьогодні є найбільш популярними в приватних будинках чи квартирах, зумовлено це простотою використання та слабкою електричною інфраструктурою країн пост радянського простору. Пристрої даного класу зазвичай мають автоматичні системи які регулюють подачу газу, контролюють температуру теплоносія та здійснюють автоматичне увімкнення чи вимкнення в залежності від ситуації. В більшості сучасних котлів вже вбудовано циркуляційний насос, розширювальний бак, клапани які стравлять зайвий тиск. Також на відміну від електричного варіанту в газових котлах часто

зустрічається двоконтурна схема, тобто котел має змогу гріти не тільки теплоносії для опалення приміщень, а й проточну воду для потреб людини.

Схему будови двоконтурного газового котла зображено на рисунку 3.5, з якої видно, що для реалізації функції нагрівання проточної води використовується не два пальника, а трьохходовий клапан який перемикає контур опалення з радіаторів опалення на внутрішній теплообмінник в якому нагрівається проточна вода, саме для цього в конструкції двоконтурного газового котла циркуляційний насос є необхідністю. Для зовнішніх автоматичних систем теоретично можливе керування обігрівом за допомогою газових котлів, проте згідно законодавства заборонено самостійно модернізувати газове обладнання, тому низькорівневе керування неможливе. А якщо розглянути можливість встановлення простого додаткового циркуляційного насоса та здійснювати керування за допомогою нього можливо, проте можливо лише за умови наявності теплообмінника, оскільки в разі його відсутності вимкнений додатковий циркуляційний насос буде заважати циркуляції теплоносія та вводити автоматику котла в аварійні ситуації.

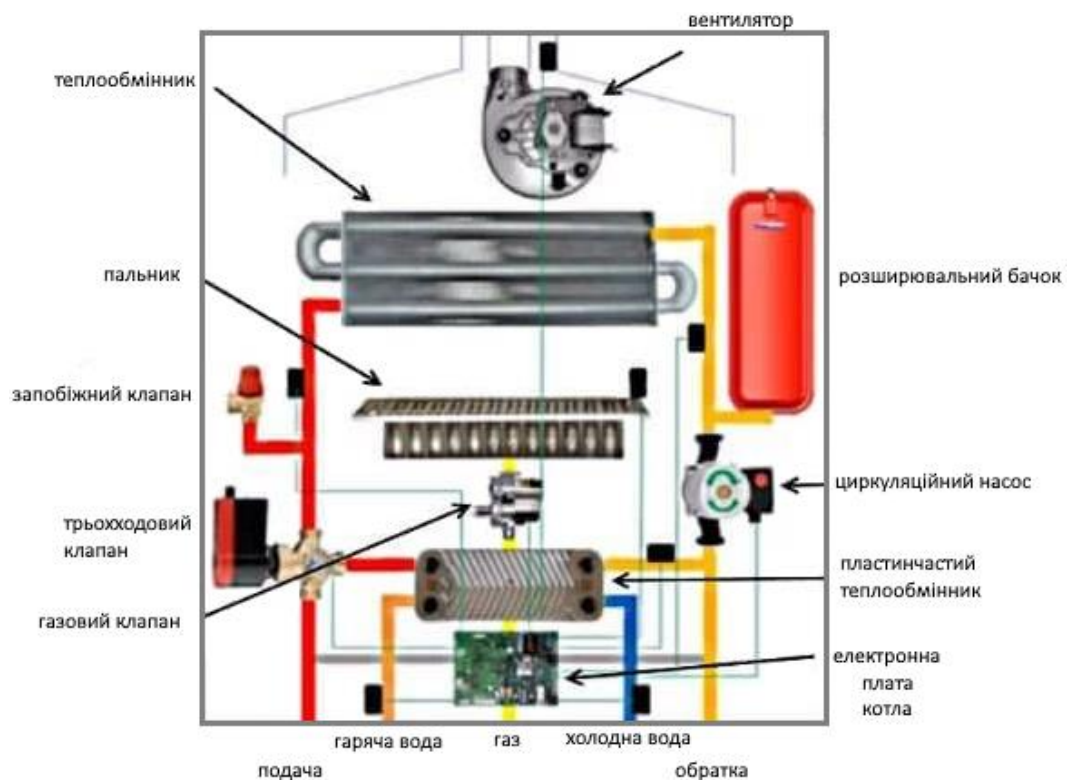


Рисунок 3.5 – Схема двоконтурного газового котла

3.3.2 Аналіз пристроїв для охолодження повітря та їх особливостей

Сьогодні єдиним автоматичним способом охолодження повітря є використання кондиціонерів. Інші способи мають безліч недоліків які не дозволяють автоматизувати цей процес. Кондиціонери складаються з зовнішнього блоку який відповідає за безпосереднє охолодження холодоагенту та його циркуляцію по системі, саме від продуктивності зовнішнього блоку залежить максимальний об'єм охолоджуваного приміщення та їх кількість. Зовнішні блоки поділяються на 2 типи залежно від типу компресора:

- інверторний – особливістю такого типу компресора є можливість знизити його продуктивність після досягнення заданої температури, це дозволяє знизити температуру гістерезису;
- не інверторний або класичний – він має лише два режими роботи, ввімкнено чи вимкнено.

Крім зовнішнього блоку також системі необхідний внутрішній блок задача якого перекачувати повітря з кімнати через холодний радіатор. Внутрішній блок може бути виконано у вигляді настінного, каналного або стельового(фанкойл) блоку. Для забезпечення охолодження декількох кімнат практикується встановлення одного потужного зовнішнього блоку який забезпечує циркуляцію холодоагенту в декількох внутрішніх блоках, проте в цьому випадку температура в усіх приміщеннях буде однаковою.

Система кондиціонування складається з замкнутого контуру в якому циркулює холодоагент, компресору який його перекачує, терморегулятора який контролює кількість холодоагенту який потрапляє до внутрішнього блоку, радіатора зовнішнього блоку, радіатора внутрішнього блоку, вентилятора для охолодження радіатору зовнішнього блоку та вентилятора для перегонки теплого повітря через холодний радіатор внутрішнього блоку, саме це зображено на рисунку 3.6. Принцип роботи систем кондиціонування дуже схожий на принцип роботи холодильника та базується на здатності будь-якої рідини поглинати тепло при випаровуванні, яке здійснюється у внутрішньому блоці,

потім холодоагент в газоподібному стані потрапляє до зовнішнього блоку, де в процесі охолодження конденсується та процес повторюється знову. До негативних сторін даного способу охолодження повітря можна віднести зниження вологості повітря через конденсацію вологи на холодному радіаторі внутрішнього блоку.

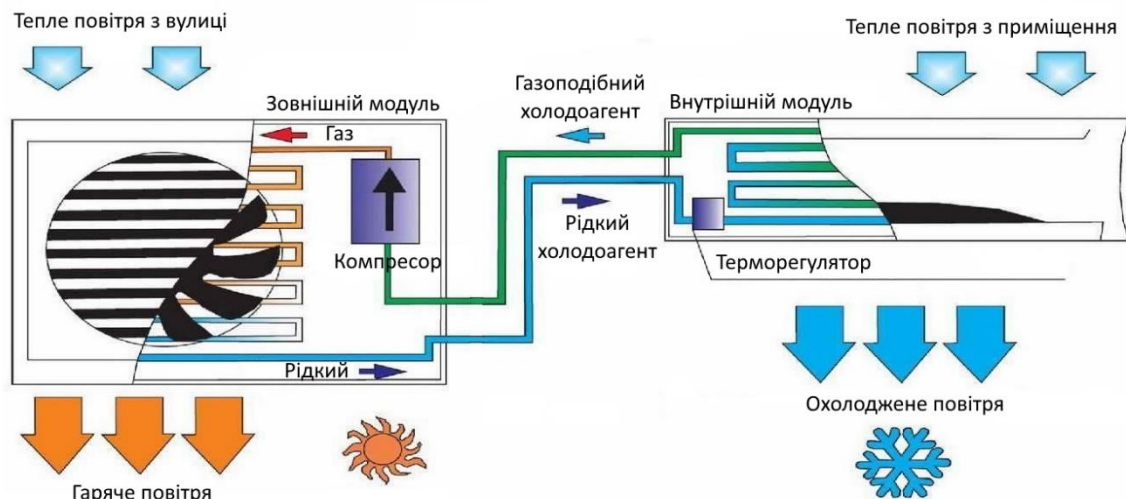


Рисунок 3.6 – Схема роботи та будова кондиціонера

Керувати кондиціонерними системами за допомогою зовнішніх блоків без модернізації самого кондиціонера фактично неможливо, проте оскільки всі сучасні кондиціонери мають пам'ять установки достатньо його один раз налаштувати, а потім зовнішній керуючий пристрій може просто вмикати його в розетку чи вимикати і так здійснювати керування. Оскільки керування можливе таким способом необхідність в інверторному компресорі повністю відсутня, він може бути присутнім, це ніяк не завадить, проте такі системи є дорогими тому немає необхідності переплачувати.

3.4 Дослідження способів керування вологістю повітря

3.4.1 Аналіз пристроїв для підвищення вологості повітря та їх особливостей

Сьогодні існує безліч пристроїв для зволоження повітря. Вологе повітря сприяє гарному самопочутті, підвищенню працездатності та інше. Проте занадто вологе повітря шкідливе для електронної техніки, яка в цьому випадку може майже миттєво вийти з ладу, про це потрібно пам'ятати та тримати вологість в межах 60%. Крім прямого призначення зволожувачі використовують для «миття» повітря, суть цього дійства полягає в фільтруванні твердих часток, що літають в повітрі за допомогою води, це може бути волога завіса чи штора з вологої ганчірки на яку дує вентилятор, конструкцій безліч, а суть в активному контакті брудного повітря з вологою поверхнею.

Пристрої для зволоження повітря поділяються за способом зволоження:

- ультразвукові;
- парові;
- водяні.

Від способу зволоження повітря напряму залежать їх переваги та недоліки, тому необхідно розглянути кожен тип окремо.

Ультразвукові зволожувачі повітря є найпопулярнішими на сьогодні, оскільки вони майже безшумні та продуктивні, ці зволожувачі не нагрівають приміщення та мають низьке споживання електроенергії. Сам пристрій за будовою досить простий, він має бак для води, фільтр для повітря та фільтр для води, вентилятор, ультразвукову мембрану та поворотний розпилювач. Крім цього більшість пристроїв комбінують в собі гігрометр та зволожувач, саме через це вони здатні здійснювати зволоження автоматично, опираючись на значення установки. Принцип роботи пристрою полягає в властивості ультразвукових коливань розбивати краплі води на туман, який потім за допомогою вентилятора розсіюється по кімнаті.

Парові зволожувачі – це пристрої, що працюють завдяки випаровуванню води, яка нагрівається електронагрівачем, найчастіше в ролі електронагрівача виступає ТЕН. Зволоження паром допомагає продезінфікувати повітря, що допоможе людям зі зниженим імунітетом. Цей тип зволожувачів здатний досить швидко зволжити повітря завдяки конструкції камери яка сприяє одночасному нагріванню невеликої кількості води та постійно поповнюється з великого резервуару. До недоліків парового зволожувача можна віднести порівняно велике споживання електроенергії та велику витрату води, хоч і велика витрата води пов'язана з високою ефективністю, висока ефективність може призводити до утворення конденсату який може зашкодити оточуючій техніці. Крім цього на мою думку головним недоліком такого зволожувача є можливість обпектися паром та шум від кипіння води. До нейтральних особливостей можна віднести можливість використовувати не очищену воду, оскільки на відміну від ультразвукових зволожувачів паровий не залишає білих слідів навколо себе якщо використовувати воду з підвищеною концентрацією солей. Проте при використанні важкої води доведеться часто чистити нагрівач від накипу, це робиться максимально швидко та за допомогою побутових засобів від накипу.

Водяний зволожувач або як їх ще інколи називають водяний очищувач повітря – пристрій який переганяє повітря через вологий об'єкт на якому осідають тверді частинки та паралельно здійснюється зволоження повітря. Пристрій складається з вентилятора, пластикового диску, та резервуару з водою, принцип роботи такого типу полягає в проходженні повітря через вентилятор який дує на пластиковий диск, що постійно миється з в резервуарі з водою, при такій будові пил з повітря налипає на диск і насичується водою. До недоліків такого зволожувача можна віднести постійну необхідність в заміні брудної води та низьку ефективність.

Крім конструкції з пластиковим диском також існує варіант конструкції з продувкою повітря не через пластиковий диск, а через вертикально підвішені тканинні полоски, що частково занурені в воду. Принцип дії такого зволожувача-очисника полягає в капілярному ефекті, який допомагає воді підніматися вгору

по тканині, вентилятор проганяє повітря через вологу тканину, а повітря контактуючи з нею залишає на ній пил, а саме насичується вологою. Перевагою над попереднім варіантом є відсутність в необхідності замінювати воду на чисту, проте є необхідність в пранні тканини через яку продувається повітря, ефективність зволоження залишилась на тому ж рівні, що і в дисковому варіанті, проте пасивне зволоження (при вимкненому пристрої) вище, оскільки така конструкція має більшу площу випаровувача через яку проходить повітря під час природнього руху.

3.4.2 Аналіз пристроїв для зниження вологості повітря та їх особливостей

Осушувач повітря – дуже корисний пристрій в приміщеннях з підвищеною вологістю повітря. Він дозволяє знизити вологість повітря тим самим підвищити рівень комфорту для працівників або досягти рекомендованих умов для складної обчислювальної техніки. За своєю будовою вони поділяються на два типи:

- конденсаційні;
- абсорбційні.

Конденсаційні осушувачі – працюють за принципом конденсації вологи з повітря завдяки охолодженню повітря до утворення точки роси. Осушувачі повітря цього типу можуть працювати лише за температур від $+15^{\circ}\text{C}$ до $+30^{\circ}\text{C}$, та можуть знизити вологість повітря до 40%, знизити нижче можливо проте процес буде відбуватися довго і нестабільно.[35] Для охолодження повітря в таких пристроях використовуються елементи пельтьє або контур охолодження, схожий на ті, що використовуються в кондиціонерах або холодильниках. Пристрій проганяє вологе повітря через холодний радіатор, на якому конденсується волога, далі ця волога відводиться від радіатора та збирається або зливається до каналізації. Сухе холодне повітря проходить через гарячий радіатор системи одночасно охолоджуючи його та нагріваючись до кімнатної температури. Завдяки цьому контур охолодження не перегрівається та може

довго працювати. В моделях де використовуються елементи пельтьє система повністю аналогічна, єдина різниця в елементі, що охолоджує та нагріває.

Абсорбційні осушувачі – дуже специфічні за своєю будовою, для осушення вони використовують спеціальну речовину яка може вбирати рідину, наприклад силікагель. Ця технологія хоч і є дорогою, проте її можна використовувати в широкому діапазоні температур, до -40°C . Осушувач абсорбційного типу працює завдяки циркуляції повітря через пористий ротор в середині якого розміщено абсорбент. Пористий ротор який постійно обертається поділено на 3 частини, де через першу частину проходить вологе повітря з цільового приміщення, а через другу та третю частини проходить повітря ззовні яке додатково підігрівається внутрішнім нагрівачем для кращого осушення абсорбенту. В графічному представленні схему можна переглянути на рисунку 3.7. Завдяки такому компонуванні такі осушувачі повітря можна застосовувати навіть в морозильних кімнатах для збільшення інтервалів між розморозками.

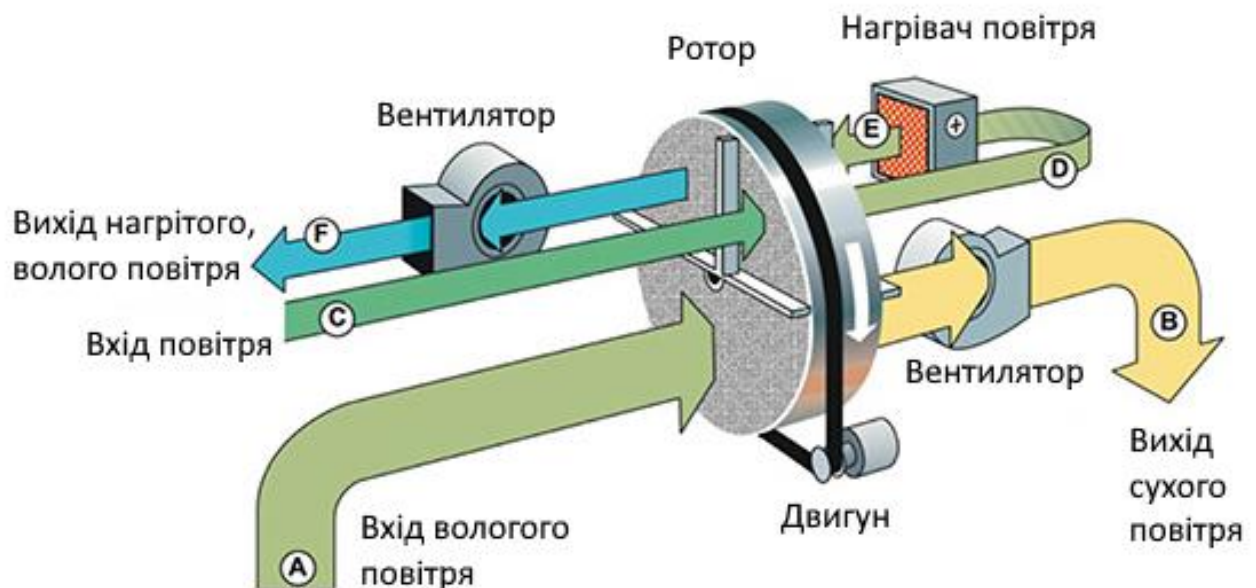


Рисунок 3.7 – Схема роботи та будова абсорбційного осушувача повітря

Висновок до розділу

Згідно проведеного аналізу існує безліч способів вимірювання температури, проте не кожен з них підходить для застосування з мікроелектронікою та не кожен підходить для вимірів кімнатної температури. З найбільш поширених для вимірювання кімнатних температур, що застосовуються в електроніці це терморезистори та термометри опору, вони можуть працювати в цьому температурному діапазоні та мають допустиму похибку.

Провівши аналіз способів вимірювання вологості повітря з'ясувалося, що як і у випадку з датчиками температури деякі рішення недоцільно застосовувати в електроніці як з точки зору компактності так і з точки зору ціни на можливі рішення. Тому найбільше розповсюдження в електроніці отримали резистивні, ємнісні та термістори датчики вологи. В сучасному виконанні вони мають допустимі відхилення, компактний корпус та існує багато рішень які перетворюють аналогові значення датчика в цифрові протоколи, зазвичай це I²C, SPI чи USART.

При аналізі пристроїв для обігріву приміщень виникла деяка складність з пристроями, що не мають передбаченої заводом виробником можливості зовнішнього керування, оскільки в теорії наявний в них пасивний захист дозволяє здійснювати віддалене керування методом увімкнути-вимкнути проте на мою думку це не є дуже безпечним особливо коли це стосується газового обладнання. Крім цього існують пристрої які взагалі не піддаються керуванню, дод таких пристроїв можна віднести каміни всіх типів, що мають відкрите полум'я, та твердопаливні печі, оскільки їх неможливо автоматично підпалити та потушити і повторювати цей процес в автоматичному режимі. В таких пристроях можна лише керувати заслінкою проте особливої точності в регулюванні температури так досягнути неможливо. До пристроїв, що піддаються керуванню можна віднести всі електричні обігрівачі, незалежно від наявності в них додаткової електроніки за деяким виключенням.

Проаналізувавши пристрої для охолодження приміщення з'ясувалося, що наразі існує лише одна робоча технологія охолодження приміщень і всі варіації модельних рядів побудовано на різних типах компресорів та різних можливостях вбудованої електроніки. Оскільки більшість кондиціонерів мають пам'ять останньої установки, вони добре піддаються керуванню сторонніми пристроями, та за правильного налаштування не потребують постійного втручання користувача в роботу системи.

Після аналізу пристроїв для зволоження повітря було виявлено, що пристрої є конструктивно простими та за наявності пам'яті останньої установки добре піддаються керуванню зовнішнім пристроєм, проте у таких пристроїв є суттєвий недолік, який притаманний кожному з цього типу, вони не здатні тривалий час працювати оскільки для зволоження повітря необхідна вода, а вода має властивість закінчуватись, тому необхідне постійне її поповнення.

Аналізуючи пристрої для зниження вологості повітря вони ж осушувачі повітря було з'ясовано, що існує лише два варіанти реалізації. Кожна з реалізацій має свої переваги та недоліки проте в рамках теми магістерської дисертації підходить кожна з них. За умови якщо вбудована електроніка пристрою дозволить йому запам'ятовувати завчасно обраний режим, чи якщо пристрій може продовжувати роботу без участі людини після відновлення електропостачання, він буде підходити для використання в системі.

4 ВИБІР КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ СИСТЕМИ ПРОТОТИПУ

4.1 Опис та обґрунтування вибору апаратних компонентів

4.1.1 Аналіз і вибір мікроконтролера

Сьогодні на ринку найбільш розповсюдженні мікроконтролери від двох виробників, STMicroelectronics та Atmel, яка згодом була придбана компанією Microchip яка продовжила випуск найпопулярніших лінійок. Свою популярність серед нового покоління програмістів та радіолюбителів вони отримали завдяки розробці плат Arduino, що базувались на МК від компанії Atmel, згодом компанія STMicroelectronics почала випускати аналогічні плати серій Discovery та Nucleo, проте орієнтовані ці плати не на початківців, а на досвідчених людей, які розуміли базову будову МК. Але оскільки МК від STMicroelectronics є досить потужними та мають низьку ціну, силами спільноти було розроблено плату розробника на базі МК STM32F103C8T6, це МК загального призначення який ідеально підійшов для цього, в народі плату прозвали як Blue Pill. Після розробки плати згодом було написано пакет сумісності з Arduino IDE, що і принесло їй популярність. Логічний нащадком Blue Pill є рішення на базі МК STM32F401CCU6. Хоч розробникам не вдалось повністю перейняти успіх Blue Pill оскільки використаний МК не є сумісним з Arduino IDE, його можна вважати наступним кроком до «дорослої» радіоелектроніки. Головною відмінністю від STM32F103C8T6 є наявність апаратного блоку для розрахунків з плаваючою крапкою, підвищена частота та збільшена кількість пам'яті.

Тому саме через вище описані причини, для розробки пристрою розглядається чотири мікроконтролера, по два від кожного виробника:

- ATmega2560 – Arduino Mega;
- ATmega328 – Arduino Uno;
- STM32F103C8T6 – Blue Pill;
- STM32F401CCU6.

Ці МК мають різних виробників, архітектуру, розрядність, функціональні можливості та ціну, тому для їх порівняння необхідно скористатись таблицею 4.1, та визначити який МК краще підходить для поставленої задачі.

Таблиця 4.1 – Порівняння МК

	ATmega2560 [43]	ATmega328 [44]	STM32F103C8T6 [45]	STM32F401CCU6 [46]
Корпус	TQFP100 100-CBGA	32 TQFP 28 SPDIP 28 VQFN 32 VQFN	LQFP48	UFQFPN48
Розрядність МК	8 бітний	8 бітний	32 бітний	32 бітний
Максимальна тактова частота	16 мегагерц	20 мегагерц	72 мегагерца	84 мегагерца
Напруга живлення	1.8 – 5.5 В	1.8 – 5.5 В	2 – 3.6 В	1.7 – 3.6 В
Кількість портів вводу-виводу	86	23	37	36
АЦП	1 АЦП, 16 каналів	1 АЦП, 8 каналів	2 АЦП по 10 каналів кожен	1 АЦП до 10 каналів
ЦАП	Відсутній	Відсутній	Відсутній	Відсутній
RTC	Є	Є	Є	Є
FPU	Немає	Немає	Немає	Є

Продовження таблиці 4.1

Апаратні реалізації інтерфейсів	I ² C – 1 канал SPI – 5 каналів USART – 4 канали	I ² C – 1 канал SPI – 2 канали USART – 1 канал	CAN – 1 канал I ² C – 2 канали SPI – 2 канали USART – 3 канали USB – пристрій	I ² C – 3 канали SPI – 3 канали USART – 3 канали USB – хост, пристрій, комбінований I ² S – 2 канали
Таймери загального призначення	6	3	4	8
Апаратне декодування сигналів енкодера	Немає	Немає	Є	Є
Розмір EEPROM пам'яті	4 кілобайта	1 кілобайт	Немає	Немає
Розмір flash пам'яті	256 кілобайт	32 кілобайта	64 кілобайта	256 кілобайт
Розмір RAM пам'яті	8 кілобайт	2 кілобайта	20 кілобайт	64 кілобайта

Продовження таблиці 4.1

Ціна станом на грудень 2021 року	Від 290 грн до 640 грн в залежності від корпусу [47]	Від 80 грн до 480 грн в залежності від корпусу [48]	290 грн [49]	Від 135 грн до 190 грн в залежності від пакування [50]
---	--	---	--------------	---

Виходячи з таблиці найдешевшим рішенням є STM32F401CCU6, проте він не є найслабшим з переглянутих МК, як на мене така різниця в ціні є через відносну непопулярність та масовий дефіцит напівпровідникових елементів на ринку спричинений підвищений підвищеним попитом та пандемією. МК має найвищу частоту та найбільше пам'яті, що відкриває можливість до розробки покращених версій пристрою на вже досконало вивченому залізі, або розробки однієї версії ПЗ для старшої моделі та молодшої, а переключення здійснювати або фізичною відсутністю елементів на модулі або перемичкою, все залежить від обраної архітектури ПЗ. Крім цього МК має апаратний блок FPU, що дозволить пришвидшити обчислення з плаваючою крапкою, наприклад при обчисленні середньодобової температури в старших версіях пристрою. Порівняно низьку кількість портів вводу-виводу можна компенсувати за рахунок регістрів зсуву чи різних мікросхем розширювачів портів.

4.1.2 Дослідження та вибір датчиків

Для реалізації даного проєкту необхідні датчики температури та вологості. На ринку існують рішення як окремі так і комбіновані, де датчик може надавати інформацію одночасно і про температуру і про вологість повітря. Крім цього датчики поділяються за способом передачі даних, вони бувають аналогові та цифрові, що передають дані за допомогою різних інтерфейсів.

На ринку представлено декілька датчиків температури в низькому ціновому діапазоні, їх порівняння наведено в таблиці 4.2.

До розгляду взято наступні датчики температури:

- MF52A1;
- DS18B20;
- LM35DZ.

Таблиця 4.2 – Порівняння датчиків температури

	MF52A1 [51]	DS18B20 [52]	LM35DZ [53]
Тип	Аналоговий	Цифровий (1-Wire)	Аналоговий
Діапазон вимірювальних температур	-55 – 125 °C	-55 – 125 °C	-55 – 150 °C
Похибка	1%	± 0.5 °C в діапазоні -10 – 85 °C	± 0.5 °C при 25 °C
Робоча напруга	–	3 – 5.5 В	4 – 30 В
Ціна станом на грудень 2021 року	5 грн [54]	20 грн [55]	30 грн [56]

Щодо датчиків для вимірювання вологості все досить складно, на ринку було знайдено один тип датчиків в низькому ціновому сегменті, датчик HR31 [57] являє собою резистивний датчик, передавання даних до МК здійснюється аналоговим способом. Живлення датчика здійснюється від 1.5 В, проте для запобігання поляризації датчика живлення датчика потрібно здійснювати 1.5 В змінного струму. Точність вимірювання датчика $\pm 5\%$, а діапазон вимірювання складає 20% – 95 % вологості повітря, що є допустимим для реалізації вимог ДСН 3.3.6.042-99. Станом на грудень 2021 року ціна на датчик складає 20 грн, що робить його дуже доступним. [58]

Комбіновані датчики є досить популярними оскільки часто для визначення вологості повітря необхідно знати температуру оточуючого середовища. На

ринку представлено значну кількість комбінованих датчиків, проте в зв'язку з своєю універсальністю вони мають порівняно високу ціну, проте висока ціна компенсується зручністю в роботі з ними, самі комбіновані датчики зазвичай мають цифровий інтерфейс. Найдешевшими на ринку є чотири моделі, їх порівняння наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Порівняння комбінованих датчиків температури та вологості повітря

	DHT11 [59]	AM2320 [60]	HTU21 [61]	SHT20 [62]
Тип постачання	Модуль	Модуль	Модуль або окремо мікросхема	Модуль або окремо мікросхема
Тип інтерфейсу передачі даних	Single-bus	I ² C, single-bus	I ² C	I ² C
Діапазон вимірювання вологості повітря	5 – 95%	0 – 99.9%	0 – 100%	0 – 100%
Точність вимірювання вологості повітря	± 5% при 25 °C	± 3% при 25 °C	± 2% при 25 °C та вологості 20 – 80%	± 3% при 25 °C
Дискретність вимірювання вологості повітря	1%	0.1%	0.04% або 0.7%	0.04% або 0.7%

Продовження таблиці 4.3

Діапазон вимірювання температури повітря	-20 – 60 °C	-40 – 80 °C	-40 – 125 °C	-40 – 125 °C
Точність вимірювання температури повітря	±2 °C при 25 °C	±0.5 °C	±0.3 °C при 25 °C	±0.3 °C при 25 °C
Дискретність вимірювання температури повітря	1 °C	0.1 °C	0.01% або 0.04%	0.01% або 0.04%
Напруга живлення	3.3 – 5.5 В	3.1 – 5.5 В	1.5 – 3.6 В	2.1 – 3.6 В
Ціна станом на грудень 2021 року	60 грн [63]	80 грн [64]	80 грн [65]	110 грн [66]

Згідно даних в таблицях 4.1, 4.2, 4.3 очевидно, що в зв'язку зі складністю роботи з зовнішнім датчиком вологості повітря та відносно невеликою різницею між комбінованими датчиками, краще обрати останній. З розглянутих датчиків найбільш точним з точки зору вологості повітря є HTU21, за рештою показників він рівний більш дорогій моделі SHT20. Тому прийнято рішення обрати HTU21 в якості датчика вологості та температури повітря для поточного проєкту у вигляді модуля під назвою GY-21. Таке рішення дозволить подальше віднести датчик від ділянок модуля, що нагріваються.

4.1.3 Обґрунтування вибору виконавчих пристроїв

В даному випадку під виконавчими пристроями розуміється пристрій, що здатний за команди МК комутувати мережу змінного струму з напругою 220 В. До таких пристроїв відносяться електромагнітні реле, симістори та твердотільні реле.

Електромагнітні реле мають в своїй будові котушку з сердечником, пропускаючи через яку виникає електромагнітне поле, яке притягує ковзаючий контакт. Це прості пристрої які працюють як звичайний вимикач. Проте через це вони мають ряд недоліків. Реле такого типу не довговічні при частих переключаннях, переключення з брязкотом контактів та мають високий струм керування оскільки необхідно подати струм до котушки, що має низький опір.

Симістор – симетричний тріодний тиристор, напівпровідниковий елемент, що здатний комутувати кола постійного та змінного струму. У випадку комутування постійно струму симістор буде «відкритим» до тих пір доки через нього буде йти струм, саме через це його частіше застосовують в схемах, де необхідно комутувати змінний струм, адже при переході напруги через 0 В, симістор «закривається». Крім цього симістор для роботи з високими струмами потребує додаткового радіатора, що робить його не дуже компактним.

Твердотільні реле – це пристрій який здатний комутувати високий струм без механічних рухів. Зазвичай в якості комутуючого елементу виступає симістор. По своїй будові твердотільне реле є звичайним модулем симістора з оптичною розв'язкою для захисту виводів МК від потенційного пробоя високої напруги.

Оскільки для симістора та твердотільного реле необхідні радіатори, а запланований пристрій повинен здійснювати виміри температури та вологості повітря, було вирішено використовувати електромагнітні реле, хоч вони і не такі довговічні проте вони менше нагріваються і підходять для комутації постійного та змінного струмів.

4.1.4 Способи реалізації гальванічної розв'язки компонентів

Гальванічна розв'язка призначена для передачі енергії або інформаційних сигналів між електричними колами, що не є безпосередньо з'єднаними між собою.

Існує декілька видів гальванічної розв'язки:

- трансформаторна;
- оптична;
- акустична;
- радіо;
- ємнісна;
- перетворювачі, що працюють на ефекті Холла;
- електромеханічні.

Серед перелічених методів гальванічної розв'язки найбільш поширеними є: трансформаторна, оптична та електромеханічна.

Трансформаторна розв'язка – складаються з сердечника та мінімум двох ізольованих обмоток, тобто звичайна будова трансформатора. Гарно підходить для передачі енергії, проте погано для передачі сигналів, особливо сигналів постійного струму, оскільки для їх передачі їх потрібно перетворити в змінний струм.

Оптична розв'язка – складається з передавача – світлодіода та приймача – фотодіода, фототранзистора або фототеристора. В середині корпусу між передатчиком та приймачем встановлену гарний оптичний зв'язок з матеріалів, що забезпечують електричну ізоляцію. Сьогодні даний види гальванічної розв'язки є найпопулярнішим оскільки дозволяє передавати сигнали від МК без перетворення, має маленькі габарити порівняно з трансформаторною та дешево коштує.

Електромеханічна розв'язка – складається з електромагнітної котушки та перемикаючого контакту, тобто це звичайне електромагнітне реле. До переваг даного типу розв'язки можна віднести високі напругу та струм які реле здатне

комутувати, проте до недоліків відносяться переключення з брязкотом контактів та високий струм керування, тобто для подачі сигналу на реле більшості МК необхідно додатково задіяти транзистор.

Для застосування в приладі було обрано оптичну розв'язку, оскільки вона потребує найменше додаткових елементів для своєї роботи та має малі габарити, що ідеально підходить для друкованих плат. Порівняння найрозповсюдженіших оптопар представлено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Порівняння оптопар

	PC817C [66]	ILD213T [67]
Корпус	DIP4	SOIC8
Напруга пробою ізоляції	5000 В	3000 В
Кількість каналів	1	2
CTR	50%	>100%
Ціна станом на грудень 2021 року	5 грн [68]	30 грн [69]

Оскільки для керування електромагнітними реле в будь-якому випадку буде застосовуватись транзистор параметр CTR не є таким важливим і в нашому випадку краще обрати оптопару PC817C оскільки вона має вищу напругу пробою ізоляції та низьку ціну.

4.2 Аналіз та обґрунтування вибору програмної частини

4.2.1 Вибір середовища розробки

Для розробки програмного забезпечення під МК від компанії STMicroelectronics існує безліч IDE, проте найпопулярнішими є Keil μ Vision® від компанії ARM, та STM32CubeIDE від компанії STMicroelectronics. В обох цих IDE реалізована можливість налаштування проєкту за допомогою STM32CubeMX, який було розроблено для спрощення попереднього

налаштування проєкту, застосунок дозволяє активувати внутрішні периферійні пристрої та налаштувати їх, керувати портами GPIO та задавати для них власні назви для спрощеного розуміння подальшого коду. Крім цього застосунок дозволяє налаштувати джерела тактування МК та всіх його внутрішніх периферійних пристроїв. Після налаштування STM32CubeMX згенерує проєкт для обраної IDE за допомогою обраного драйвера HAL чи LL та додасть всі необхідні бібліотеки для роботи з периферією.

Кожна з IDE добре справляється зі своїми задачами, проте вони мають деякі відмінності.

Keil μ Vision® – є платним середовищем розробки, та постачається за ліцензією. Існує безкоштовна версія для ознайомлення яка накладає обмеження на об'єм коду, обмеження складає 64 кілобайти, цього зазвичай вистачає кожному радіолюбителю, що проєктує власний невеликий пристрій. Крім об'єму коду пробну версію заборонено використовувати в комерційних цілях. У якості особливої відзнаки можна виділити зручний доступ до документації на обраний мікроконтролер прямо з вікна застосунку.

STM32CubeIDE – є безкоштовною IDE, яка побудована на базі модульного інтегрованого середовища розробки Eclipse, розповсюдження відбувається за умови SLA0048 Rev4 від березня 2018 року. Вона не має жодних обмежень щодо комерційного використання та відкрито розповсюджується на сайті компанії. Середовище розробки має вбудоване автоматичне доповнення коду та підтримку роботи з STM32CubeMX прямо з середовища, що дозволяє у разі необхідності оперативно змінювати розпіновку, тактування мікроконтролера чи навіть обраний драйвер для певного периферійного пристрою.

Оскільки для розробки найдешевшої системи автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях витрата грошей на додаткове програмне забезпечення не є розумним рішенням, прийнято рішення використовувати STM32CubeIDE в парі з STM32CubeMX, що дозволить досить швидко та дешево розробити ПЗ для системи.

4.2.2 Вибір мови програмування

Сьогодні для написання програмного забезпечення для МК в більшості випадків використовується дві мови програмування:

- C;
- C++.

Мова програмування C була розроблена в 1972 році як універсальна процедурна мова програмування задля написання операційної системи UNIX. Проте вона придатна не лише для написання системного а й для прикладного програмного забезпечення, що потребує максимально ефективного використання апаратних можливостей обчислювального пристрою. Для мови C існує безліч компіляторів для різних операційних систем та архітектур, таку популярність мова здобула через свою філософію, яка наголошує, що кожен елемент мови повинен генерувати лише кілька інструкцій, саме завдяки цьому мова швидко витіснила асемблер. Крім цього мова програмування дозволяє отримати низькорівневий доступ до оперативної пам'яті завдяки перетворенню машинних адрес в вказівники, це добре коли оперативної пам'яті мало та потрібно її використати максимально ефективно проте з цього виникає недолік який в сучасність відштовхує новачків, мова не вміє автоматично керувати пам'яттю через що у недосвідчених розробників може виникнути витік пам'яті. За свій час існування мова постійно модернізувалася та на поточний момент останньою редакцією є C17, що була прийнята в 2018 році, редакція не несла ніяких змін до мовних функцій лише деякі виправлення технічного характеру.

Мова програмування C++ була розроблена в 1985 році як модернізація мови програмування C, та мала початкову назву: «C з класами», яку перед релізом змінили на звичну C++. Мова була розроблена для використання в загальних задачах з підтримкою об'єктно-орієнтованого програмування та процедурного програмування, що дозволило розробникам, що раніше використовували C, легко перейти на використання нової мови. На відміну від C в C++ дещо спростили керування пам'яттю хоч і не було додано автоматичної

роботи, що дозволило більш легко писати застосунки. Мова так само як і її логічний попередник має підтримку безлічі операційних систем та архітектур завдяки написаним компіляторам. Необхідно зауважити, що компілятори для мови C++ також здатні компілювати код написаний на C, що є доброю новиною при рішенні складних задач де необхідний точний контроль над оперативною пам'яттю. На сьогодні актуальною версією мови є C++20, що була прийнята у вересні 2020 року.

Оскільки об'єктно-орієнтована модель програмування зазвичай вимагає додаткових ресурсів від МК, та у випадку відсутності користувацького інтерфейсу є надлишковою, було прийнято рішення використовувати мову програмування C.

4.2.3 Обґрунтування вибору драйверів для керування периферією

Для МК від компанії STMicroelectronics на поточний момент існує три драйвери периферійних пристроїв:

- HAL;
- LL;
- CMSIS.

HAL (Hardware Abstraction Layer) – високорівневий драйвер, який було розроблено компанією STMicroelectronics, що дозволяє розробнику не заглиблюватись в тонкощі роботи МК, запам'ятовувати його регістри та особливості роботи периферії. Драйвер дозволяє швидко написати ПЗ проте він погано підходить для високонавантажених систем оскільки стандартизація деяких рішень погано вплинула на продуктивність. Для написання програмного коду з використанням драйверу HAL підходить мова програмування C та C++, достатньо лише обрати необхідну мову під час конфігурації проекту.

LL (low-layer) – низькорівневий драйвер, який було розроблено компанією STMicroelectronics. Цей драйвер забезпечує елементарні операції з регістрами периферії МК через виклик функцій. Дані для зміни регістрів визначені не у

вигляді цифрових значень, а у вигляді символьних, що добре розуміються розробником. Код написаний за допомогою драйвера є чистим, займає мало місця та швидко виконується проте драйвер вимагає від розробника високого рівня підготовки та знання внутрішньої будови периферійних пристроїв МК. Написання коду за допомогою цього драйверу відбувається на мові програмування C.

CMSIS (Common Microcontroller Software Interface Standard) – най більш низькорівневий драйвер, що розроблений компанією ARM. За своєю суттю більше нагадує не драйвер, а набір визначень імен для регістрів, задля підвищення читабельності коду. Код написаний за допомогою драйвера виконується ще швидше ніж при роботі з драйвером LL аде не витрачається процесорний час на виклик функцій та займає менше пам'яті МК через туж саму причину. CMSIS – є гарним вибором для високонавантажених систем які працюють на межі можливостей апаратних засобів. Для написання коду зазвичай використовується мова програмування C, оскільки вона дозволяє максимально ефективно здійснювати керування ресурсами МК,

Оскільки для кожного периферійного пристрою допустимо обирати необхідний драйвер, було прийнято рішення задля здешевлення розробки шляхом зниження часу розробки для простих задач, таких як керування портами вводу-виводу застосувати драйвер LL, а для обміну даними з датчиком температури та вологості за допомогою інтерфейсу I²C використати драйвер HAL, оскільки нам не потрібно часто опитувати датчик та відсутня необхідність в досконалому вивченні складного інтерфейсу.

Висновок до розділу

Для розробки пристрою системи керування кліматом в нежитлових приміщеннях було обґрунтовано вибір МК від компанії STMicroelectronics під назвою STM32F401CCU6, його було обрано через велику кількість пам'яті та високу тактову частоту, що допоможе у випадку розвинення проєкту, відпадає

необхідність у вивченні особливостей роботи інших МК та можливо застосувати вже готові напрацювання. Крім цього через свою відносну непопулярність під час пандемії на нього зберігалася приваблива ціна.

В якості датчика температури та вологи було прийнято рішення використовувати комбінований датчик HTU21 через складність роботи з резистивним датчиком вологи який нажаль вдалось знайти єдиний у вільному продажу в Україні. Датчик має високу точність, цифровий інтерфейс для зв'язку з МК та порівняно низьку ціну для своїх характеристик. Задля збільшення відстані датчика від компонентів, що нагріваються прийнято рішення використати датчик у вигляді готового модуля під назвою GY-21.

При аналізі виконавчих пристроїв прийнято рішення застосовувати електромагнітні реле оскільки на відміну від інших вони не потребують додаткових радіаторів та не зможуть занадто сильно вплинути на показання датчика вологи та температури HTU21. Щодо номіналів реле, було прийнято рішення застосовувати для циркуляційних насосів, зволожувача та осушувача повітря реле з максимальним струмом до 10 А, а для керування системою кондиціонування та котлом або обігрівачем реле з максимальним струмом до 30 А.

Для реалізації гальванічної розв'язки було обрано використання оптопар РС817С. Вибір було зроблено через порівняно високу напругу пробною та низьку ціну. Крім оптопар які виконують гальванічну розв'язку керуючих сигналів необхідно виконати гальванічну розв'язку живлення, для цього було застосовано два окремих блоки живлення з вихідною напругою 5 В.

Для розробки програмного забезпечення буде застосовано утиліту розроблену компанією STMicroelectronics спеціально для полегшення розробки ПЗ для їх 32 бітної серії МК STM32 під назвою STM32CubeMX, що призначена для початкового налаштування проєкту, а саме: призначення виводів МК, активації його периферійних пристроїв та їх налаштування, встановлення частоти тактування ядра МК та його периферійних пристроїв та вибору драйвера для керування ними. Після налаштування згенерований проєкт буде наповнитись

авторським кодом за допомогою інтегрованого середовища розробки від того ж самого розробника STM32CubeIDE. Вибір STM32CubeIDE було зроблено через те, що вона є безкоштовною що допоможе здешевити кінцевий продукт. Та має досить високу сумісність з усіма МК цієї компанії. Крім цього за винятком деяких не критичних особливостей вона не суттєво відрізняється від інших аналогів.

Для написання ПЗ буде застосовано мову програмування C, через відсутність необхідності у використанні об'єктно-орієнтованого програмування та необхідності максимально зберегти ресурси МК.

При написанні ПЗ буде застосовано комбінацію з драйверів периферійних пристроїв. Для використання складних інтерфейсів, таких як I²C буде застосовано HAL, а для легких задач буде застосовано LL.

5 ОПИС СИСТЕМИ ПРОТОТИПУ

Першочергово при розробці проєкту, в якому використовується МК потрібно починати з програмної частини. Потім при подальшій розробці, проєктування модулів пересікається з проєктуванням ПЗ оскільки часто неможливо або не доцільно під'єднувати периферійні пристрої до конкретно обраного виводу МК через різні причини.

5.1 Розробка програмної частини

При розробці програмної частини з самого початку було виконано планування на якому порту і каналі буде розміщено кожен елемент системи. Для цього було використано застосунок STM32CubeMX, який дозволив швидко виконати початкове налаштування. Починати слід з увімкнення необхідних периферійних блоків МК і паралельно здійснювати їх призначення на відповідні піни. Першочерговим пристроєм який необхідно увімкнути є блок зовнішнього тактування та блок реального часу, тобто якщо простими словами, під'єднати кварцові резонатори. Наступними слід призначати інтерфейсні виводи оскільки той самий I²C немає можливості перемістити до інших пінів. Після призначення інтерфейсних ліній потрібно почати з ліній GPIO, вони можуть розміщуватись в будь-якому місці, тому в даному випадку це не є важливо. Схему розпіновки показано рисунку 5.1.

Після налаштування розпіновки МК необхідно налаштувати тактування МК. За допомогою STM32CubeMX на вкладці «Тактування». Задача при налаштуванні ставиться різна, це може бути задача зменшення електроспоживання чи збільшення продуктивності. В даному випадку зменшення електроспоживання на міліампери не принесе жодної відчутної користі, тому для можливості подальшої модернізації проєкту було прийнято рішення встановити максимально можливу частоту тактування ядра яка складає 84 мегагерци, проте оскільки згідно рекомендацій виробника слід встановлювати

кварцовий резонатор калібрований на частоту 25 мегагерц, максимальна частота яку вдалося досягнути складає – 83.854167 мегагерци. Повна схема з всіма множниками та дільниками частоти наведена в Додатку А.

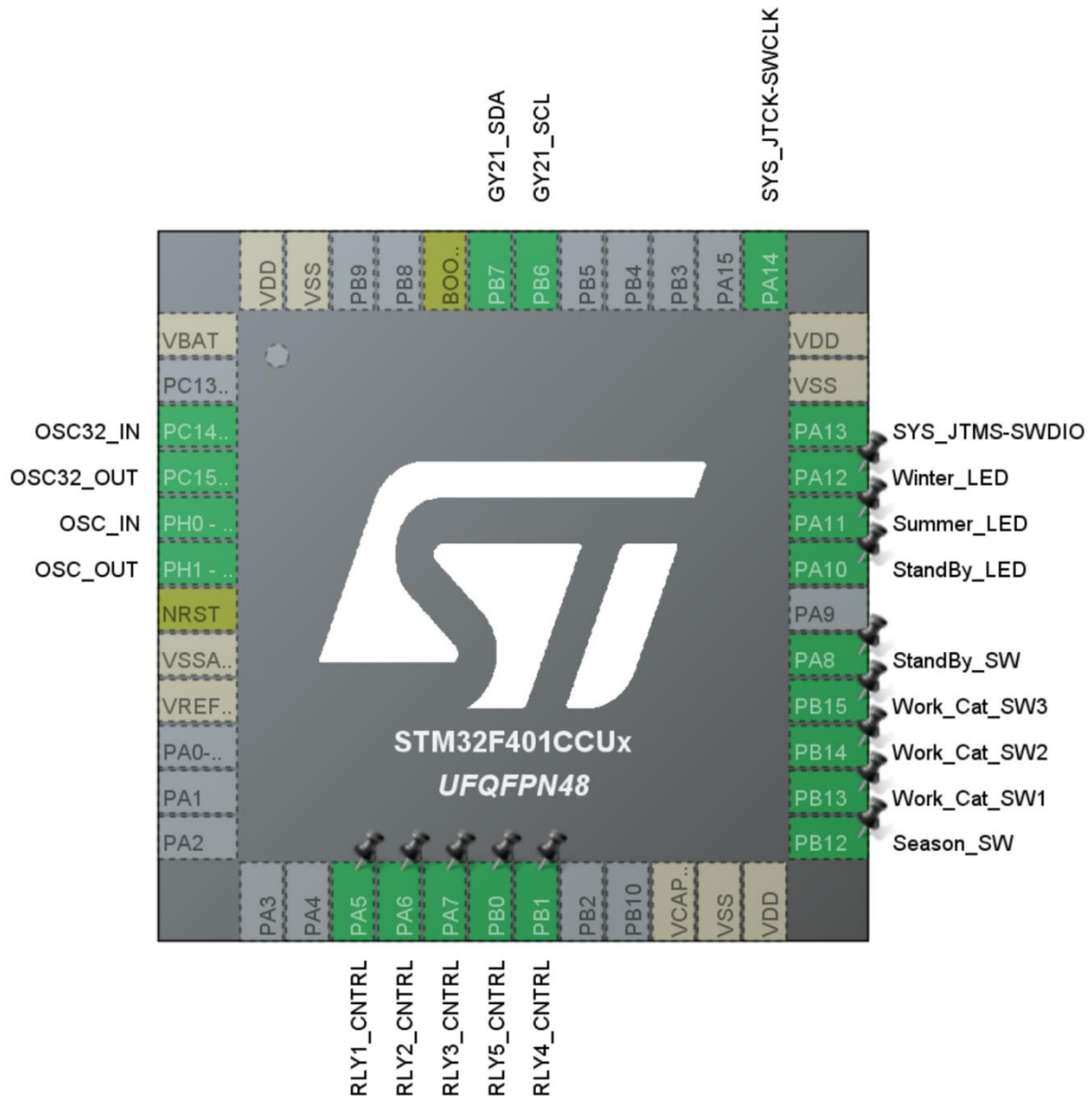


Рисунок 5.1 – Розпіновка МК

Якщо підсумувати, то для проекту знадобиться активувати такі периферійні пристрої:

- RTC;
- I2C;
- GPIO.

Далі після генерування проєкту з кодом ініціалізації периферійних пристроїв необхідно було написати програмне забезпечення для МК згідно блок-схеми, що зображено в Додатку Б. Зображена частина блок-схеми показує початкову ініціалізацію та обробку сигналів з елементів керування для подальшого передання обробленої інформації до функції control, блок-схему якої наведено в Додатку В. На вхід до функції передається поточна пора року та граничні значення температури та вологості повітря, на основі цих даних здійснюється перевірка на занадто часте переключення станів актуаторів, для запобігання ефекту ШІМ та крім цього здійснює безпосереднє керування актуаторами.

Алгоритм застосунку базується на необхідності вибору робочої категорії та одного з трьох режимів:

- зима;
- літо;
- режим захисту.

Встановлення налаштувань відбувається за допомогою двох кнопок з фіксацією та перемикача. Кнопки з фіксацією призначенні для взаємодії з кінцевим користувачем, а DIP перемикач для встановлення робочої категорії під час монтажу системи. Така система реалізована щоб забезпечити безвідмовну роботу навіть у випадку збою програмного забезпечення оскільки потрібні для роботи данні зберігаються у вигляді фізичний перемичок. Після початкової ініціалізації МК починає перевіряти кнопку 2 яка відповідає за режим «режим захисту», якщо вона активна починається перевірка температури чи вона не менша ніж 2°C, якщо менша, то вмикається опалення для попередження замерзання теплоносія. Якщо ж кнопка 2 не активна, то виконується перевірка на поточний сезон за допомогою кнопки 1, після перевірки в залежності від сезону встановлюються відповідні прапори та відбувається перевірка обраної робочої категорії. Як завершення алгоритму данні про необхідні параметри передаються до функції «control», блок-схему якої наведено в Додатку В. Задача

функції «control» полягає в здійсненні порівняння поточної температури та вологості повітря з заданими та прийнятті рішення який пристрій вмикати.

Крім цього функція перед кожним рішенням про зміну поточного стану актуатора здійснює перевірку на те, чи не змінювався стан поточного каналу протягом п'яти хвилин. Це здійснюється для запобігання утворення ШІМ сигналу, який може призвести до поломки реле та підключених до нього пристроїв. Для заміру часу було застосовано апаратний блок периферії RTC за допомогою якого відраховується не менше 5 хв від останньої дії над каналом керування.

5.2 Проєктування модулів

Пристрій складається з трьох двосторонніх друкованих плат розміром 100х100 мм кожна з яких має різне призначення:

- інтелектуальний модуль;
- модуль з актуаторами або релейний модуль;
- модуль живлення.

Інтелектуальний модуль побудована на базі МК від компанії STMicroelectronics з модельним номером STM32F401CCU6. Її схема представлена в Додатку Г, а її креслення представлено в Додатку Д. Задача інтелектуального модуля здійснювати вимірювання параметрів та керувати актуаторами згідно заданих параметрів. Для цього на модулі розміщений МК з його обов'язкою у вигляді: кварцового резонатора 25 мегагерц для тактування ядра та кварцовий резонатор на 32.768 кілогерци для забезпечення тактування модулю периферії годинника реального часу. Для живлення МК використовується стабілізатор напруги AMS1117-3.3, що формує напругу 3.3 В. Для переключення типу роботи використовується DIP перемикач на 3 клавіші, що дозволяє мати до 9 варіантів перемикачів, що цілком достатньо. Для індикації поточних режимів на модулі встановлено 3 світлодіоди різних кольорів. В якості датчика температури та вологості було обрано комбінований датчик HTU21 на базі

модуля GY-21, оскільки він є водночас точним, компактним та має не високу ціну[70]. До переваги датчика також можна віднести те, що його можна знайти в продажу у вигляді модуля, що для датчика температури є гарним бонусом оскільки паразитний нагрів від компонентів, що поряд, не йдуть на користь точності вимірювання. Крім цього інтелектуальний модуль вміщає п'ять оптопар PC817C для гальванічної розв'язки реле та п'ять транзисторів NPN структури моделі s8050 які дозволяють керувати навантаженням до 500mA, тобто до трьох реле на канал, саме за рахунок цього реалізовано масштабування системи.

Модуль з актуаторами – є частиною проєкту яка займається комутацією різного виду навантаження за команди інтелектуального модулю. Її схему зображено в Додатку Е, а креслення модуля та маски плати продемонстровані в Додатку Ж. Модуль складається з трьох реле SLA-5VDC-SL-A, що можуть комутувати струм до 10 А при напрузі до 220 В та мають сигнал керування в 5 В, та двох реле SRD-05VDC-SL-C, що мають змогу комутувати за напруги в 220 В струм до 30 А, для їх роботи сигнал керування повинен мати потенціал 5 В, такі потужні реле використовуються для керування кондиціонером та електрокотлом або обігрівачем. Для запобігання зворотного індукційного імпульсу було застосовано діоди 1N4007, які встановлено на виводи кожного реле. Крім цього для захисту ліній керування від можливого пробоя високої напруги було застосовано фрезерування в потенційно можливих ділянках, які дуже близько до лінії 220 В. Для підтримки масштабованості системи в проєкті може бути використано до двох таких модулів, це обмеження накладається транзисторами, що розміщені на інтелектуальному модулі та потужністю блоку живлення, що розміщено на модулі живлення.

Модуль живлення є невід'ємною частиною проєкту, на ньому розміщено блок з чотирьох запобіжників, по два на кожний блок живлення для завчасного збереження цілісності системи та два блоки живлення для розділення між реле та логічною частиною, це допоможе уникнути зайвих наводок від індуктивностей у вигляді котушок реле. Крім цього на модулі встановлено батарею конденсаторів, як цього вимагає документація до блоків живлення та

діод Зенера який по іншому називають стабілітрон. Схему модуля живлення зображено в Додатку И.

При побудові друкованої плати модуля для запобігання пробією високої напруги до частини схеми з низьковольтною напругою в місцях найбільш імовірного пробією було зроблено фрезерування та максимально можливе віддалення ліній одна від одної. Для посилення сили струму, що може протікати по доріжках, їх було виконано симетрично на обох сторонах плати. Креслення модуля живлення наведено в Додатку К.

5.3 Розробка структурної системи

В результаті роботи та дослідженні способів знизити вартість комфортного клімату в нежитлових приміщеннях було розроблено прототип пристрою з загальною структурою наведеною в Додатку Г.

Як видно зі схеми пристрій складається з інтелектуального модуля а також комбінованого датчика вологості та температури. Інтелектуальний модуль згідно його результатів здійснює керування модулем з актуаторами які на схемі представлено у вигляді п'яти реле, які в свою чергу здійснюють увімкнення чи вимкнення відповідної кліматичної техніки. Крім цього на схемі зображено додатковий модуль з актуаторами, який може бути доданий за необхідності для збільшення загальної потужності каналів. Її на схемі позначено пунктиром. Розширення може знадобитись у випадках, коли для забезпечення необхідного рівня клімату замало одного кондиціонера чи пристрою обігріву.

Згідно схеми пристрій має такі функції:

- керування пристроями охолодження повітря;
- керування пристроями обігріву;
- керування пристроями зволоження повітря;
- керування пристроями осушення повітря.

Та крім цього згідно блок-схеми в Додатку В, він має додаткову функцію захисту для запобігання ситуацій коли один пристрій часто вмикається і

вимикається подібно ШІМ сигналу. Та згідно Додатку Б пристрій має ще одну захисну функцію, що покликана запобігти замерзанню теплоносія.

На основі схем пристрою з Додатку Г та Додатку Е було побудовано макет системи з використанням відлагоджувальної плати, модуля GY-21, та модулів реле від RobotDyn з гальванічною розв'язкою на базі оптопар. Фото змакетованого прототипу представлено на рисунку 5.2.

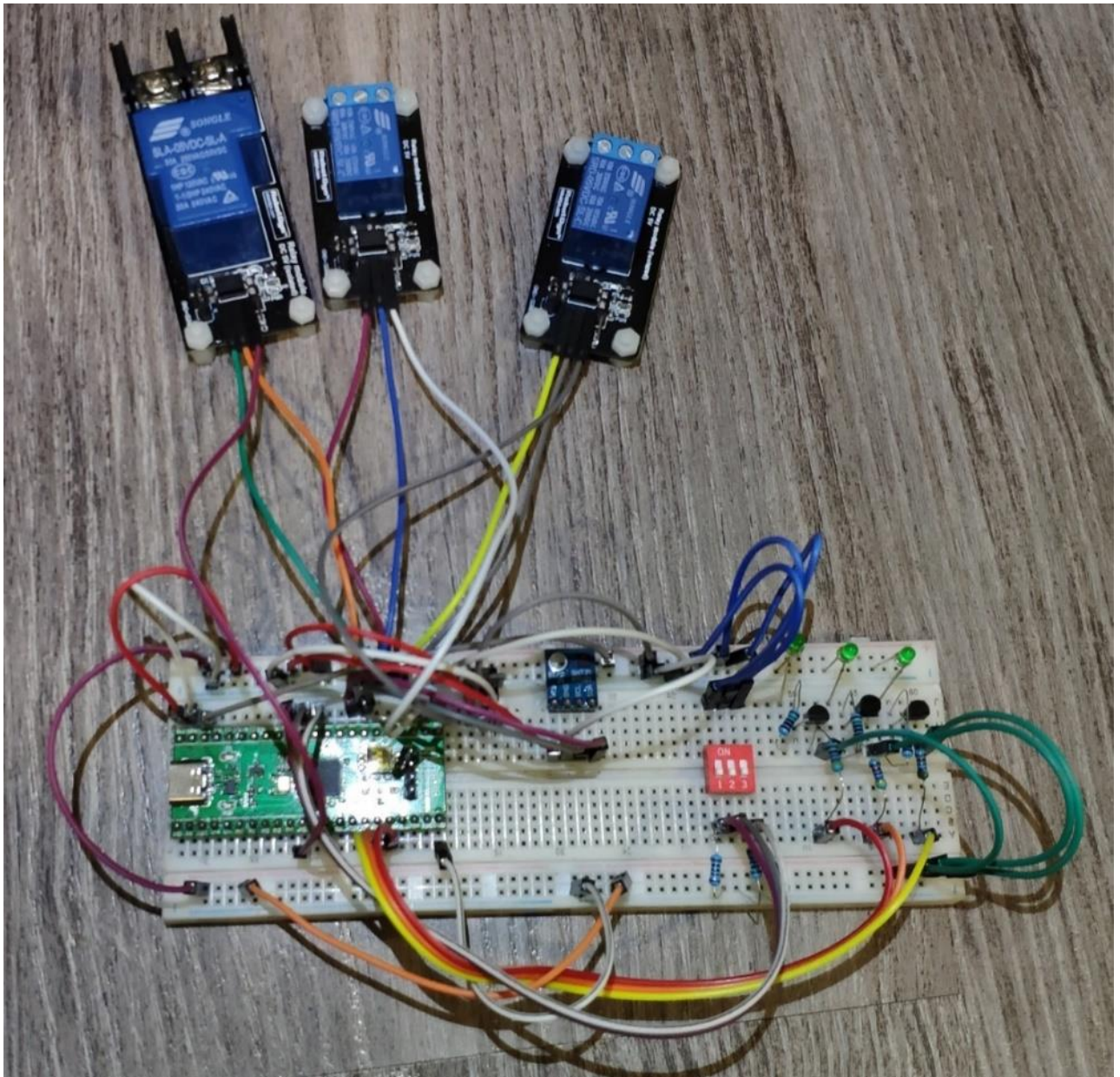


Рисунок 5.2 – Фото прототипу

Як видно з фото побудований прототип не повністю відповідає схемі оскільки прості задачі такі, як обробка сигналів активації кнопок з фіксацією, які перемикають режими «зима-літо» та «режим захисту», для тестування цих

функцій натиснення було імітовано програмний способом. Крім цього на фото лише три реле з п'яти оскільки це не впливає на тестування, а радше для наочності, оскільки аналіз активних каналів здійснюється за допомогою логічного аналізатора.

Висновок до розділу

В результаті роботи над магістерською дисертацією та дослідженні способів знизити вартість комфортного клімату в нежитлових приміщеннях було розроблено прототип пристрою з загальною структурою наведеною у розділі 5.2. Було проведено моделювання прототипу відповідно основних функцій системи, що підтвердило правильність запропонованих рішень.

В подальшому пристрій має не погані можливості для розвитку та відкриття нових ринків. Буде необхідно реалізувати підтримку стандартів декількох країн, а не тільки України. Крім цього можна реалізувати підтримку більшої кількості датчиків температури та вологості для рівномірного аналізу по всьому приміщенні. Можна буде реалізувати онлайн кліматичну карту приміщення, що допоможе зрозуміти як необхідно змінити розташування кліматичної техніки для покращення ефекту.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ

6.1 Опис ідеї проєкту

Проект: підприємство, що виготовлятиме та встановлюватиме пристрої для автоматичного регулювання клімату нежитлових приміщень. Особливостями буде можливість вибору параметрів клімату в залежності від категорії робіт, що здійснюються в приміщенні.

Назва: Clima HW-3000, де Clima походить з англійської від слова клімат та HW-3000, що значить Happy Worker, тобто в перекладі щасливий працівник, а 3000 – це кількість цих щасливих працівників в кожному приміщенні де встановлена система.

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки використання	Вигоди до користувача
Система автоматичного керування кліматом в нежитлових приміщеннях.	Встановлення в не житлових приміщеннях, таких як офіси, СТО, складські приміщення та ін.	Автоматизація процесу керування кліматом в приміщенні. Підвищення продуктивності праці за рахунок комфортних умов. Зниження витрат на підтримання кліматичних умов за рахунок чіткого дотримання заданих значень.

Основними техніко-економічними характеристиками ідеї є:

- автоматичне регулювання температури;
- автоматичне регулювання вологості повітря;
- встановлення цільових значень відповідно до чинного законодавства;
- встановлення сезонних режимів (літо/зима);

- встановлення режиму, що запобігає замерзанню холодоагента в системі;
- масштабованість системи.

На ринку присутні системи автоматичного керування кліматом різних класів (див. розділ 2). Серед найближчих за функціоналом можна зазначити наступні: FANTINI COSMI CH 110, MYCOND TRF-B2F та SIEMENS RTD 201. Для визначення сильних, нейтральних та слабких характеристик системи, було здійснено збір та аналіз інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку. В таблиці 6.2 міститься порівняння розробленої системи із конкурентами, в ній стовпчик W – слабка сторона, N - нейтральна сторона, S - сильна сторона.

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	Потенційні товари/концепції конкурентів				W	N	S
		Мій проект	CH 110	TRF-B2F	RTD 201			
1.	Встановлення будь-якої цільової температури.	Немає	Має	Має	Має	+		
2.	Плавне керування швидкістю вентиляторів.	Немає	Немає	Немає	Має		+	
3.	Керування трьох швидкісними вентиляторам.	Немає	Має	Має	Має	+		

Продовження таблиці 6.2

4	Наявність режиму для захисту теплоносія від замерзання.	Має	Має	Має	Має		+	
5	Наявність режимів зима-літо.	Має	Має	Має	Має		+	
6	Можливість керувати електричними котлами.	Має	Немає	Немає	Немає			+
7	Можливість керувати кондиціонерами.	Має	Немає	Немає	Немає			+
8	Можливість керувати циркуляційними насосами.	Має	Має	Має	Має		+	
9	Можливість керувати вологістю повітря.	Має	Немає	Немає	Немає			+
10	Можливість встановлення кліматичних параметрів згідно категорії робіт.	Має	Немає	Немає	Немає			+
11	Можливість розширення базової кількості каналів керування.	Має	Немає	Немає	Немає			+

6.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Для вдалої реалізації проєкту, потрібно провести аудит існуючих технологій та аналіз на ступінь їх доступності та готовності до використання. За

результатам цього аудиту, було обрано необхідний набір технологій та встановлена їх доступність. Завдяки цьому було встановлено технологічну можливість виконання ідей проєкту, і як підсумок було оформлено у таблицю 6.3.

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

№	Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Керування системою	Мікроконтролер	Наявна	Доступна
2	Забезпечення гальванічної розв'язки елементів схеми.	Оптопари	Наявна	Доступна
3	Вимірювання температури повітря.	Датчики температури повітря або комбіновані	Наявна	Доступна
4	Вимірювання вологості повітря.	Датчики вологості повітря або комбіновані	Наявна	Доступна
5	Керування кліматичними пристроями.	Реле, симістори	Наявна	Доступна
6	Здешевлення розробки.	Вільно розповсюджуванні програмні засоби розробки	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проєкту: є можливою.				

Відповідно до проведеного дослідження, перераховані технології є досить доступними для використання та за допомогою них можливо побудувати систему, методи реалізації є доступними в повній мірі.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Попередня характеристика потенційного ринку зображена на таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проєкту

№	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер об-межень)	Конкуренція
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Задані цільові значення температури та вологості повинні відповідати чинному законодавству.
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10 %

Ринок є досить специфічним проте ніша практично не зайнята і єдину конкуренцію можуть скласти побутові терморегулятори які вимагають від користувача знань щодо поточних норм та не мають можливість впливати на вологість в приміщенні.

Тепер необхідно визначити потенційних клієнтів, охарактеризувати їх та сформулювати певний перелік вимог до продукції для кожної групи. Ці відомості було сформовано в таблицю 6.5.

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Потреба в економії енергетичних ресурсів.	Малий бізнес, що має робоче приміщення.	Пошук найдешевшого рішення на ринку.	– надійність; – ціна пристрою; – простота налаштування;
2	Потреба в постійному підтриманні встановлених законом кліматичних параметрів.	Середні та великі компанії, що мають у власності приміщення, де працюють люди.	Пошук якісного рішення, що має технічну підтримку та має достатню надійність для довготривалої служби.	– висока якість; – надійність; – ціна пристрою; – простота налаштування; – можливість оновлення стандарту.

Таким чином було визначено основні цільові сегменти ринку, а саме це всі компанії, що прагнуть зберегти комфорт для працівників на робочому місці при цьому не витрачаючи зайвих коштів на регуляцію клімату.

Фактори загроз, які перешкоджають ринковому впровадженню стартап-проєкту наведено в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Зростання конкуренції	Поява інших компаній, що випускають аналогічний продукт	Випуск нової моделі. Демпінг цін.
2	Низькі продажі	Прогнозовані продажі виявились значно завищеними.	Збір та аналіз відгуків з подальшим удосконаленням продукту.
3	Зміна цін на комплектуючі	Через різні економічні чи політичні фактори ціни на комплектуючі можуть підвищитися .	Пошук альтернативних комплектуючих які є сумісними зі старими. Випуск нової моделі зі схожими можливостями але на інших комплектуючих.
4	Зміна стандартів	Зміна стандартів клімату для різних категорій робіт.	Для пристроїв, що були придбані до двох років тому, безкоштовна модифікація ПЗ. Для пристроїв, що були продані більше двох років тому, платна модифікація ПЗ за зверненням клієнта.

Аналіз факторів загроз показав, що найбільшою загрозою для ринкового впровадження стартап-проєкту можуть стати зростання конкуренції та низькі продажі. Ці фактори можуть призвести до зниження прибутків та підвищення строку окупності. Проте для підтримання компанії було продумано контрзаходи які повинні вирішити можливі проблеми.

Фактори можливостей продукту наведені в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Отримання інвестицій	Формування початкового капіталу.	Створення перших партій пристроїв.
2	Зростання попиту	Збільшення товарообороту, нові клієнти.	Розширення існуючих виробничих потужностей.
3	Зниження цін на комплектуючі	Зменшення витрат на виробництво.	Модернізація пристрою з залишенням минулої ціни. Зниження цін.
4	Зацікавленість іноземних покупців	Розширення ринку, перехід до міжнародної торгівлі.	Модернізація продукту до стандартів країни призначення.

З таблиць 6.6 та 6.7 можна зрозуміти, що фактори загроз не перевищують фактори можливостей. Крім того імовірність того, відбудеться деяка можливість є значно більшою ніж імовірність виникнення деяких загроз.

Аналіз пропозиції та загальні риси конкуренції на ринку наведено в таблиці 6.8.

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкуренто-спроможною)
1. Тип конкуренції – чиста конкуренція	Безліч продавців та покупців. Рівний і повний доступ всіх учасників до інформації. Відсутність бар'єрів для входу або виходу з ринку.	Постійний розвиток технологій. Можлива співпраця з деякими виробниками кліматичної техніки.
2. Рівень конкурентної боротьби – національний	Оскільки пристрій розроблено згідно стандартів України, то сенс його застосування в інших країнах втрачається.	Модернізація пристрою для кожної країни. Створення універсальних версій, що підходять для міжнародного застосування.
3. Галузева ознака – внутрішньогалузева	Діяльність в одній галузі економіки;	Аналіз успіху конкурентів для підвищення шансів на власний успіх.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція між схожими приладами проте з різними можливостями.	Надалі розвивати новаторські ідеї, для знаходження власного напрямку в розробці пристроїв.

Продовження таблиці 6.8

5. Характер конкурентних переваг – нецінова	Цільові покупці в першу чергу звертають увагу на можливості, а потім порівнюють за ціною	Дослідження потреб покупця для створення найкращої пропозиції.
6. Інтенсивність – марочна	Цільові покупці в першу чергу звертають на бренд виробника, а потім серед його продукції обирають необхідний виріб	Жорсткий контроль якості для рекомендації себе як надійного виробника.

Після проведення ступеневого аналізу конкуренції на ринку необхідно провести більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю п'яти сил Портера, це продемонстровано в таблиці 6.9.

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	СН 110,	Потенційним конкурентом	Сконцентрованість постачальника на роботі з	Будь-який бізнес,	Більш дешеві версії зроблені

Продовження таблиці 6.9

	TRF- B2F, RTD 201	може стати хто завгодно, якщо розробить подібну систему направлену не тільки на робочі приміщенн я, а і на складські.	визначеними клієнтами. Важливість для постачальни-ка обсягу продажів.	що має робочі примі- щення	праців- никами без належно ї освіти.
Висновки:	Іnten- сив- ність конку- рен- тної боро- тби є доволі низько ю.	Потенційні конкуренти можуть виникнути згодом.	Особливо в час всесвітньої пандемії постачальники почали фокусуватися на найбільших замовниках, ігноруючи більш малих, тому для стабільного виробництва необхідно мати декілька запасних шляхи постачання.	Головна вимога клієнтів полягає в підви- щенні комфор- ту праці на їх об'єктах, згідно чинного законо- давства.	Існує імовір- ніть виникне -ння товарів замінни ків.

Аналіз за М. Портером показав, що є деякі загрози для благополуччя проєкту, а саме загроза можливого виникнення товарів-замінників. Проте загалом ситуація є сприятливою через низьку конкурентну боротьбу. Головною вимогою клієнтів є в підвищенні комфорту праці на їх об'єктах, згідно чинного законодавства. Проте існує деякий ризик зі сторони постачальників, хоча даний ризик значно знижується за умови наявності резервного постачальника. Для успішності проєкту необхідно встановити ключові сильні сторони, які обов'язково повинен мати проєкт для успішної конкуренції на ринку. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності описано в таблиці 6.10.

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування факторів
1	Встановлення параметрів згідно закону	В ПЗ продукту записано параметри клімату на робочому місці, що відповідають нормам
2	Регуляція вологості повітря	Продукт має можливість здійснювати вимірювання та регуляцію вологості повітря.
3	Простий інтерфейс взаємодії з користувачем	Для взаємодії з користувачем використовується лише 2 клавіші, де перша перемикає між зимовим та літнім режимом, а інша вмикає режим захисту теплоносія.
4	Ремонтопридатність	Оскільки продукт має гальванічну розв'язку та конструкційно складається з трьох модулів, він має високу високу ремонтпридатність.

Для гарантування успіху пристрою за сучасної ринкової ситуації було обрано головні фактори на яких заснована його перевага над конкурентами. Найважливіший фактор – можливість встановлення кліматичних параметрів

згідно категорії робіт та можливість керування технікою для зміни вологості в приміщенні та легка можливість розширення базової кількості каналів керування. Порівняння факторів конкурентоспроможності дає можливість визначити сильні та слабкі сторони стартап-проєкту, порівняння представлено в таблиці 6.11.

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Clima HW-3000»

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів порівняно з проєктом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Встановлення параметрів згідно закону	17	CH 110; TRF-B2F; RTD 201.						
2	Регуляція вологості повітря	12	CH 110; TRF-B2F; RTD 201.						
3	Простий інтерфейс взаємодії з користувачем	8				CH 110; TRF-B2F; RTD 201.			

Продовження таблиці 6.11

4	Ремонтопридатність	10		CH 110; TRF- B2F;	RTD 201.				
---	--------------------	----	--	----------------------------	-------------	--	--	--	--

Порівняльний аналіз продемонстрував, що за важливими факторами конкурентоспроможності стартап-проект має значні переваги над конкурентами, тому може мати успіх на ринку. Проте для повноти аналізу, необхідно скласти SWOT-аналіз на основі ринкових можливостей та загроз, а також сильних і слабких сторін, аналіз продемонстровано в таблиці 6.12.

Таблиця 6.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: - функції, що відсутні в конкурентів - потреба в економії ресурсів - потреба в дотриманні кліматичних норм на робочому місці	Слабкі сторони: - залежність від постачальників - мало відома марка
Можливості: - поява інвесторів - зростання попиту - перехід на міжнародний ринок	Загрози: - продовження карантину - відсутність інвестора - мала кількість продажів - проблеми з постачальником

На основі SWOT-аналізу було розроблено альтернативи ринкової поведінки таких як: пошук альтернативних постачальників, розробка маркетингової кампанії, краудфандинг, ці рішення необхідні для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок згідно таблиці 6.9.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів в таблиці 6.13.

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проєкту

№	Альтернатива ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Краудфандинг	40%	До 1 року
2	Пошук альтернативних постачальників	70%	До 1 року
3	Маркетинг	65%	1 – 2 роки

Для початку слід обрати альтернативу два, оскільки вона має найбільшу ймовірність отримання ресурсів та одну з найменших строків реалізації.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проєкту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку, тобто опис цільових груп потенційних споживачів що наведено в таблиці 6.14.

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Малий бізнес	Низька	Низький	Низька	Висока

Продовження таблиці 6.14

2	Середній бізнес	Висока	Середній	Середня	Середня
3	Великий бізнес	Середній	Середній	Висока	Середня
Які цільові групи обрано: середній та великий бізнес					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів (сегментів), було з'ясовано, що оскільки для малого бізнесу де часто немає постійного приміщення немає особливої потреби в пристроях даного типу, тому прийнято рішення концентруватися на середньому та великому бізнесі. Для просування товару на ринку було прийнято рішення застосовувати масовий маркетинг.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку, що зображена на таблиці 6.15.

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Пошук альтернативних постачальників	Концентрація на потребах малого сегменту ринку	Надання простого рішення проблеми за допомогою продукту з унікальним функціоналом.	Стратегія спеціалізації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, що показано в таблиці 6.16.

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проєкт «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	Проект не є «першопрохідцем» на ринку	Приваблення нових користувачів завдяки конкурентно- спроможній ціновій політиці	Необхідно реалізувати можливість керування температурою в приміщенні за рахунок керування циркуляційними насосами.	Стратегія заняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, наведено в таблиці 6.5, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку в таблиці 6.15 та стратегії конкурентної поведінки в таблиці 6.16 розробляється стратегія позиціонування в таблиці 6.17, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проєкт.

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкуренто-спроможні позиції власного стартап-проєкту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проєкту (три ключових)
1	Оптимальне регулювання температури та вологості згідно поточних норм	Стратегія спеціалізації	Стратегія заняття конкурентної ніші	Економія коштів, комфорт на робочому місці, відсутність проблем з законом

В підсумку на основі SWOT-аналізу було визначено позиціонування продукту, вибір його цільових груп споживачів та визначено стратегію для захоплення ринку використовуючи його конкурентоспроможні переваги.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проєкту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 6.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Потреба в комфорті працівників	Автоматичне регулювання кліматичних параметрів в приміщенні	Можливість регулювання вологості повітря
2	Економія ресурсів	За рахунок увімкнення обігрівачів чи кондиціонерів строго на необхідний час	Гістерезис встановлено згідно вимог норм, тому він є більшим ніж у конкурентів і це дозволяє більше економити
3	Дотримання норм закону	Відсутність з точки зору закону, претензій щодо невідповідності кліматичних умов на робочому місці.	Норми вже в середині пристрою

Надалі було розроблено трирівневу маркетингову модель товару, що продемонстрована в таблиці 6.19, в якій уточняється ідея продукту, його фізичні складові, особливості процесу його розповсюдження.

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматичне регулювання клімату в не житловому приміщенні.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх/Тл/Е/Ор
	1. Надійність: в пристрою практично відсутні елементи, що піддаються зносу.	М	Вр
	2. Технології: пристрій допомагає знизити витрати на підтримання клімату.	М	ТХ
	3. Естетика: пристрій призначено для прихованого монтажу.	М	Е
	4. Екологічність: пристрій допомагає знизити використання джерел енергії.	М	Тл
	Якість: нормативи ДСН 3.3.6.042-99		
	Пакування в коробці		
	Марка: Clima HW-3000		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: надання консультацій щодо вибору		
	Після продажу: встановлення, ремонт, обслуговування		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: за рахунок неможливості зчитати програмне забезпечення з пам’яті мікроконтролера.			

Наступним кроком є встановлення цінової категорії продукту, для цього необхідно здійснити аналіз товарів-аналогів та аналіз рівня доходів цільової категорії споживачів, це продемонстровано в таблиці 6.20.

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
60 – 350 у.о.	60 – 350 у.о.	200 – 1000+ у.о.	40 – 200 у.о.

Оскільки пристрій має декілька цільових груп, то при встановленні ціни потрібно орієнтуватися на більшу але не занадто завишати ціну для випадку якщо дехто з нищим достатком також захоче пристрій. Тому для цього обрана верхня межа середнього сегменту.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якої приймається рішення, це наведено в таблиці 6.21.

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Покупка в спеціалізованих магазинах	Доставка та консультація перед продажом	Глибока	Посередники
Покупка через інтернет	Доставка та консультація перед продажом	Мінімальна	Власні сили

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, це зображено в таблиці 6.22.

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Багато людей, що проводять час в інтернеті та соціальних мережах.	Соціальні мережі, сарафанне радіо, мережа інтернет.	Заощадження часу, економія ресурсів, підвищення продуктивності праці.	Донести про переваги продукту та про необхідність дотримання кліматичних норм на роб. місцях.	Оригінальна подача переваг нового продукту.

Основними каналами комунікації для потенційних клієнтів є мережа інтернет, тому використання цього каналу зв'язку з клієнтами принесе позитивний ефект для маркетингової компанії. Ключовою позицією продукту є його ефективність в вирішенні рутинної задачі.

Висновки до розділу

Проект під маркою Clima HW-3000 є системою автоматичного контролювання клімату в нежитлових приміщеннях, що базується на мікроконтролері від компанії STMicroelectronics. Автоматизація контролю клімату дозволяє використовувати час який раніше на це витрачався на більш корисні з точки зору процесів компанії речі. Встановлення цільових температурних значень відбувається відповідно до обраної категорії праці працівників в цьому приміщенні.

На ринку представлено декілька найближчих за функціоналом пристроїв проте вони не мають можливості вимірювати та керувати вологістю повітря та не мають завчасно запрограмованих параметрів відповідно до категорії робіт в приміщенні. Тобто в інших системах користувачу потрібно самому дізнаватись поточні параметри та їх задавати. Порівняння виявило, що проєкт є перспективним.

При проведенні технічного аудиту проєкту було виявлено, що технології для реалізації ідеї наявні на ринку та доступні для впровадження.

За результатами дослідження потенційного ринку було виявлено, що системи автоматичного керування кліматом в нежитлових приміщеннях є привабливими для входження на ринок та мають задовільну норму рентабельності.

Аналіз потенційних клієнтів показав, що потенційними покупцями пристрою є середній та великий бізнеси, що мають приміщення де постійно працюють люди. Їх головними вимогами є заощадження ресурсів та зручність користування. Задумка системи успішно задовольняє ці вимоги.

Для реалізації проєкту існують загрози різноманітного плану і пов'язані вони з конкурентами які можуть запропонувати кращий продукт так із постачальниками які можуть обірвати поставки компонентів приладу.

Проте як було виявлено загрози не є надто критичними, а їх шанси виникнення не занадто великими, виходячи з цього можливості перекривають ризики. Для гарантування успіху в сучасній ринковій економіці для проєкту були обрані фактори, на яких буде заснована його перевага над конкурентами. Найважливішими серед факторів конкурентоспроможності є оптимальне регулювання температури та вологості згідно поточних норм законодавства. Проєкт має перспективи для масштабування так як потенційний ринок охоплює всю планету.

Тому з відомих стратегій розвитку для першого періоду старту була обрана стратегія спеціалізації, як найбільш підходяща. А згодом планується в залежності від поточних продажів коригування подальшої стратегії розвитку.

Маркетингова програма продукту дозволить своєчасно та успішно реалізувати проєкт. В ній було використано ключові переваги концепції даного проєкту, а саме регулювання клімату згідно чинних норм для приміщень де постійно працюють люди.

Позиціонування товару буде засноване на його ключових відмінних характеристиках.

Встановлені цінові межі були обґрунтованими для цільових груп клієнтів та можливі для досягнення.

Система збуту товару буде складатися з продажу в магазинах партнерів та з власного Інтернет магазину.

Оптимальним каналом для спілкування зі споживачами є мережа Інтернет.

ВИСНОВКИ

В результаті роботи над магістерською дисертацією було створено систему для автоматичного контролю клімату в нежитлових приміщеннях. Розроблено експериментальний прототип пристрою з інтегрованою в нього системою контролю, що підтвердило правильність запропонованих рішень

Виконано аналіз ряду схожих імпортованих продуктів, а саме: FANTINI COSMI CH 110\111\112, FANTINI COSMI CH 130RR/130ARR/130RFR, MYCOND TRF-B2F, VERANO VER 24 та SIEMENS RTD 201. В ході аналізу були визначені проблеми, які лягли в основу даної роботи, та не реалізовані функції, що могли б потенційно мати попит на ринку.

Показано, що прототип повинен здійснювати керування системою опалення та кондиціонування, мати можливість вмикати електричний котел або інші електричні обігрівачі, циркуляційні насоси, кондиціонер та крім цього керувати системою зволоження/осушення повітря. Встановлення цільових кліматичних умов повинно задаватись шляхом обирання категорії роботи, що виконуються в даному приміщенні.

Реалізована система складається з мікроконтролера та його обв'язки, функціональних модулів, включаючи інтелектуальний модуль, що займається збором та аналізом даних з датчиків температури та вологості, а потім віддає необхідні команди керування модулю актуаторів, що здійснює комутацію мережі змінного струму 220 В, завдяки чому і здійснюється керування над кліматичною технікою.

Для розробки системи було обрано 32 бітний мікроконтролер загального призначення від компанії STMicroelectronics, серії STM32F4, через великий обсяг пам'яті, високу частоту та низьку вартість.

Для розробки програмного забезпечення було використано мову програмування C, за допомогою STM32CubeMX було здійснено початкове налаштування та генерацію проекту для інтегрованого середовища розробки STM32CubeIDE. Для керування периферією МК були задіяні два драйвери від

компанії STMicroelectronics під назвою HAL та LL для керування складними інтерфейсами та для простих завдань відповідно.

Дана система розроблена з мінімально можливим функціоналом для користування, проте вже зараз вона має гарний потенціал для розвитку та модернізації.

Розроблено стартап-проект, та визначено, що потенційними покупцями даного продукту є власники середнього та великого бізнесів, що турбуються про самопочуття своїх працівників на робочому місці. Здійснено технологічний аудит проекту, аналіз його слабких та сильних сторін, проаналізовано загрози та можливості продукту на ринку та на основі цього розроблено власну маркетингову програму.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042-99 | 01.12.1999 № 42 [Електронний ресурс] – Доступ: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99#Text>
2. Электронный комнатный термостат Fantini Cosmi CH 110 [Електронний ресурс] – <https://ktk.kiev.ua/fantini-cosmi-ch-110/>
3. Модуль конвектора МК-Р 150Т Polvax 150W - купить по выгодной цене в Украине и Киеве с доставкой, заказать комплектующие для конвекторов в интернет магазине teploradost.com.ua (280520191214) [Електронний ресурс] – Доступ: <https://teploradost.com.ua/modul-konvektora-mk150t-polvax-150w>
4. Комнатный термостат CH-130RR | купить в Украине [Електронний ресурс] – Доступ: <https://radiki.com.ua/konvektor/komplektaciya/termostat/ch-130rr.html>
5. Комнатный термостат CH-130ARR | купить в Украине [Електронний ресурс] – Доступ: <https://radiki.com.ua/konvektor/komplektaciya/termostat/ch-130arr.html>
6. Комнатный термостат CH-130RFR | купить в Украине [Електронний ресурс] – Доступ: <https://radiki.com.ua/konvektor/komplektaciya/termostat/ch-130rfr.html>
7. Комнатный термостат MyCond TRF-B2 Черный | КТК [Електронний ресурс] – Доступ: <https://ktk.kiev.ua/mycond-trf-b2f-black/>
8. Регулятор температуры VER-24 - Verano Украина [Електронний ресурс] – Доступ: <https://verano.in.ua/regulyator-temperature-ver-24>
9. Блоки питания для конвекторов Верано [Електронний ресурс] – Доступ: <https://verano.in.ua/bloki-pitaniya>
10. Блок питания Z030-24V DC купить по цене 1500.35Грн. | Kanalniki.com.ua [Електронний ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-30wt.html>

11. Блок питания Z060-24V DC купить по цене 1815.65Грн. | Kanalniki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-60wt.html>
12. Блок питания Z100-24V DC купить по цене 2570.34Грн. | Kanalniki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-100wt.html>
13. Блок питания Z120-24V DC купить по цене 2770.52Грн. | Kanalniki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-120wt.html>
14. Блок питания Z240-24V DC купить по цене 4720.29Грн. | Kanalniki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-240wt.html>
15. Блок питания Z480-24V DC купить по цене 8415.66Грн. | Kanalniki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://kanalniki.com.ua/blok-pitaniya-verano-480wt.html>
16. VER 24, комнатный термостат Верано | КТК [Электронный ресурс] – Доступ: <https://ktk.kiev.ua/ver-24/>
17. Комнатный регулятор Verano VER-24 (Черный) | Купить в Украине | Radiki.com.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://radiki.com.ua/konvektor/komplektaciya/termostat/ver-24-black.html>
18. Комнатный термостат Siemens RTD 201 [Электронный ресурс] – Доступ: <https://ktk.kiev.ua/siemens-rtd-201/>
19. Комнатный термостат SIEMENS RTD 201 — купить комплектующие к конвекторам в Киеве | Фото, Отзывы, Цена | Radiators [Электронный ресурс] – Доступ: <https://radiators.in.ua/konvektory/komplektuyushie-k-konvektoram/komnatnyj-termostat-siemens-rtd-201/>
20. Siemens комнатный термостат RTD 201 [Электронный ресурс] – Доступ: <https://vsefitingi.in.ua/siemens-rtd-201.html>
21. Эффект Зеебека (термопара) - YouTube [Электронный ресурс] – Доступ: <https://www.youtube.com/watch?v=Gv1IHc1B8Mc>

22. Оптический пирометр - YouTube [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.youtube.com/watch?v=PbpW6D-8SQQ>
23. ▷ Як вибрати теплові завіси, поради щодо вибору, характеристики в каталозі теплових завіс на ▷ ЕК.ua ◁ [Електронний ресурс] – Доступ: <https://ek.ua/ua/k269.htm>
24. Як виміряти вологість у приміщенні? [Електронний ресурс] – Доступ: <https://maxton.com.ua/statti-pro-osushuvachi/vlazhnost-vozdruha-metody-izmereniya-vlazhnosti-vozdruha>
25. Датчики вологості і температури для вимірювання рівня вологості повітря принцип дії різних типів - siteMasters.com.ua [Електронний ресурс] – Доступ: <https://sitemasters.com.ua/elektroobladnannja/datchiki-vologosti-i-temperaturi-dlja/>
26. Датчики влажности: типы и принцип работы, схемы подключения [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.asutpp.ru/datchiki-vlazhnosti-tipy-i-printsip-raboty.html>
27. Болдирев, А. М. Система контролю якості повітря і вологості : дипломний проєкт ... бакалавра : 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка / Болдирев Андрій Миколайович. – Київ, 2020. – 57 с.
28. Види камінів за способом обігріву приміщення - Повітряні, водяні, акумуляційні каміни [Електронний ресурс] – Доступ: <https://kaminin.ua/articles/rol-kamina-u-karkasnomu-budivnitstvi.html>
29. Принцип работы газового конвектора, его устройство и установка [Електронний ресурс] – Доступ: <https://all-for-teplo.ru/convectory/na-gazu-cto-eto-takoe-kak-rabotaet-iz-chego-sostoit.html>
30. Як вибрати найкращий електричний тепловентилятор (настінний, керамічний) для дому | Тепловентилятор або конвектор - який вибрати — F.ua [Електронний ресурс] – Доступ: <https://blog.f.ua/ua/articles/kak-vybrat-teploventilyator.html>

31. ≈ Як вибрати масляний обігрівач по характеристикам та призначенню [Електронний ресурс] – Доступ: <https://vencon.ua/ua/articles/kak-vybrat-maslyanyy-obogrevatel-radiator>

32. ▷ Як вибрати електрокаміни, поради щодо вибору, характеристики в каталозі електрокамінів на ▷ ЕК.ua ◁ [Електронний ресурс] – Доступ: <https://ek.ua/ua/k314.htm>

33. ▷ Як вибрати біокаміни, поради щодо вибору, характеристики в каталозі біокамінів на ▷ ЕК.ua ◁ [Електронний ресурс] – Доступ: <https://ek.ua/ua/k979.htm>

34. Теплова завіса на входні двері: типи, вибір - Дом з котлом [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.domskotlom.com/ua/teplova-zavisa-na-vxidni-dveri/>

35. Електричний котел для опалення будинку - ЕкономТепло [Електронний ресурс] – Доступ: <https://ekonomteplo.com.ua/2020/09/10/elektrichnij-kotel-dlja-opalennja-budinku/>

36. Двухконтурный газовый котел: конструкция, работа, преимущества, какой купить (видео) [Електронний ресурс] – Доступ: <https://unidim.com.ua/blog/dvuhkonturnye-gazovye-kotly>

37. Як правильно вибрати кондиціонер для будинку, квартири або офісу? [Електронний ресурс] – Доступ: <https://climat-shop.in.ua/ua/news-kondicionery/kak-pravilno-vybrat-kondicioner-instrukciya/>

38. Ультразвуковой увлажнитель воздуха для дома [Електронний ресурс] – Доступ: <https://tehnika.expert/klimaticheskaya/uvlazhnitel-vozduxa/ultrazvukovoj.html>

39. Как работает увлажнитель воздуха: паровой, ультразвуковой, моющий, климатический [Електронний ресурс] – Доступ: <https://sovetexpert.ru/kak-rabotaet-uvlazhnitel-vozduxa.html>

40. Адсорбционный осушитель воздуха для холодильной камеры — что это, принцип работы и применение [Електронний ресурс] – Доступ: <https://energomir.su/blog/chto-takoe-adsorbtcionnyi-osushitel>

41. Как работаетосушитель воздуха? [Электронный ресурс] – Доступ: <https://www.dantherm.com/ru/sistemy-osusheniya-vozdukha/mobil-nye-osushiteli-vozdukha/kak-rabotaet-osushitel-vozdukha/>
42. Принцип работы осушителя воздуха: подробное описание видов осушения - полезные статьи Osushiteli.ua [Электронный ресурс] – Доступ: <https://osushiteli.ua/printsip-raboty-osushitelya-vozdukha>
43. ATmega640/V-1280/V-1281/V-2560/V-2561/V 8-bit Microcontroller with 16/32/64KB In-System Programmable Flash DATASHEET. Лютий 2014 року. С.1 – 3.
44. ATmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P. megaAVR® Data Sheet. 14 травня 2019 року. С. 1 – 2.
45. STM32F103x8 STM32F103xB Medium-density performance line ARM®-based 32-bit MCU with 64 or 128 KB Flash, USB, CAN, 7 timers, 2 ADCs, 9 com. interfaces Datasheet - production data. DocID13587 Rev 17. Серпень 2015 року. С. 1.
46. STM32F401xB STM32F401xC. Arm® Cortex®-M4 32-bit MCU+FPU, 105 DMIPS, 256KB Flash / 64KB RAM, 11 TIMs, 1 ADC, 11 comm. Interfaces. DS9716 Rev 11. Квітень 2019 року. С. 1.
47. Microcontroller Units (MCUs/MPUs/SOCs) | Embedded Processors & Controllers |LCSC.com - LCSC.COM [Электронный ресурс] – Доступ: https://lcsc.com/products/Microcontroller-Units-MCUs-MPUs-SOCs_11329.html?keyword=ATmega2560
48. MICROCHIP | Embedded Processors & Controllers |LCSC.com - LCSC.COM [Электронный ресурс] – Доступ: https://lcsc.com/products/MICROCHIP_471.html?keyword=ATmega328
49. ST Microelectronics | Embedded Processors & Controllers |LCSC.com - LCSC.COM [Электронный ресурс] – Доступ: https://lcsc.com/products/ST-Microelectronics_474.html?keyword=STM32F103C8T6

50. ST Microelectronics | Embedded Processors & Controllers |LCSC.com - LCSC.COM [Електронний ресурс] – Доступ: https://lsc.com/products/ST-Microelectronics_474.html?keyword=STM32F401CCU6
51. Specifications for NTC Thermistor. Part No. MF52A1 103F3950. Operating criteria Q/320115SHD03-2011. 2011 рік. С. 1 – 7.
52. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer. REV: 042208. 2008 рік. С. 1 – 2.
53. LM35Precision Centigrade Temperature Sensors. Листопад 2000 року. С. 1.
54. Термістор NTC MF52A1 10кОм 2мм 3950К купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod308-termistor-ntc-mf52a1-10kom-2mm-3950k>
55. Датчик температури DS18B20 цифровий купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod190-datchik-temperatyr-18b20-cifrovoi>
56. Датчик температури LM35DZ аналоговий купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod933-datchik-temperatyr-1m35dz>
57. Резистивный датчик влажности HR31 купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: https://arduino.ua/prod273-Rezistivnii_datchik_vlajnosti_HR31
58. 温湿度模块 DHT11 产品手册更多详情请登陆. 版本号:V1.3_20170331. С. 1 – 2.
59. Digital Temperature and Humidity SensorAM2320 Product Manual. С. 1 – 4.
60. HTU21D(F) RH/T SENSOR IC Digital Relative Humidity sensor with Temperature output. Вересень 2015 року. С. 1 – 5.
61. Datasheet SHT20 Humidity and Temperature Sensor IC. Version 3. Грудень 2011 року. С. 1 – 2.

62. Датчик влажности и температуры DHT11 купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod185-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-dht11>

63. Датчик влажности и температуры AM2320 купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod3563-datchik-vlajnosti-i-temperatyri-am2320>

64. Датчик вологості та температури GY-21 HTU21 купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod1222-datchik-vlajnosti-i-temperatyri>

65. Модуль датчика температури та вологості SHT20 I2C купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] – Доступ: <https://arduino.ua/prod4499-modyl-datchika-temperatyri-i-vlajnosti-sht20-i2c>

66. PC817X Series. DIP 4pin General Purpose Photocoupler. Sheet No.: D2-A03101EN. 30 вересня 2003 року. С. 1 – 4.

67. ILD205T/ 206T/ 207T/ 211T/ 213T/ 217T. Vishay Semiconductors. Optocoupler, Phototransistor Output, Dual Channel, SOIC-8 package. Document Number 83647. Rev. 1.4. 26 жовтня 2004 року. С. 1 – 4.

68. Купить PC817 на складі КОСМОДРОМ, Харьков, Украина [Електронний ресурс] – Доступ: <http://www.kosmodrom.com.ua/prodlist.php?name=PC817>

69. Купить ILD213T на складі КОСМОДРОМ, Харьков, Украина [Електронний ресурс] – Доступ: <http://www.kosmodrom.com.ua/prodlist.php?name=ILD213T>

70. μ Vision IDE [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www2.keil.com/mdk5/uvision/>

71. STM32CubeIDE - Integrated Development Environment for STM32 - STMicroelectronics [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubeide.html>

72. STM32CubeMX - STM32Cube initialization code generator - STMicroelectronics [Електронний ресурс] – Доступ: <https://www.st.com/en/development-tools/stm32cubemx.html>

73. UM1725. User manual. Description of STM32F4 HAL and low-layer drivers. Rev 7. Червень 2021 року. – 2123 с.

74. Common Microcontroller Software Interface Standard (CMSIS) – Arm Developer [Електронний ресурс] – Доступ: <https://developer.arm.com/tools-and-software/embedded/cmsis>