

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Пояснювальна записка

другий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

Розроблення комп'ютеризованої системи керування температурою складських приміщень фармацевтичної продукції
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, гр. КТРСм-23-1
Бельков Д. О.
(прізвище, ініціали)

Спеціальність
174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньої програми Комп'ютеризовані та
робототехнічні системи
(код і повна назва напрямку)

Тип програми освітньо-професійна
(повна назва освітньої програми)

Керівник доц. Косенко Н. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту
зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.
(прізвище, ініціали)

2024 р.

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Факультет _____ АКТ
Кафедра _____ КІТАР
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський)
Спеціальність _____ 174 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Тип програми _____ Освітньо-професійна
Освітня програма _____ Комп'ютеризовані та робототехнічні системи
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____

(підпис)

« _____ » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____ Белькову Дмитру Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення комп'ютеризованої системи керування температурою складських приміщень фармацевтичної продукції
Затверджена наказом по університету від 25.11.2024 р. № 1239 Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____
3. Вихідні дані до роботи _____
 - 3.1 Середовище розробки Arduino IDE;
 - 3.2 Платформа – NodeMCU;
 - 3.3 Напруга живлення 5 В;
 - 3.4 Середовище моделювання Matlab Simulink;
 - 3.5 Кількість датчиків термостату – 2.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____
 - 4.1 Вступ;
 - 4.2 Аналіз предметної області;
 - 4.3 Аналіз системи управління температури у приміщенні;
 - 4.4 Розробка алгоритму прогнозування температури для інтелектуального термостата;
 - 4.5 Питання пов'язані з охороною праці;
 - 4.6 Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації PowerPoint (*.pptx). – 9 с. формату А4.

6. Консультанти розділів роботи

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз предметної області	10.10.2024	Виконано
2	Моделювання теплообмінних процесів	01.11.2024	Виконано
3	Розробка алгоритму прогнозування температури для інтелектуального термостата	14.11.2024	Виконано
4	Розробка апаратної частини	26.11.2024	Виконано
5	Розробка програмної частини	15.12.2024	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	26.12.2024	Виконано
7	Подання кваліфікаційної роботи для перевірки на антиплагіат	_.01.2025	Виконано
8	Подання кваліфікаційної роботи в ЕК		

Дата видачі завдання _____

Студент _____
(підпис)

Бельков Д. О.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Косенко Н. В.
(посада, прізвище, ініціали)

Я як студент ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Дата

Підпис

Бельков Д. О.
ПІБ

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 68 с., 2 табл., 35 рис., 3 дод., 28 джерел.

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, РОЗУМНИЙ ТЕРМОСТАТ, НЕЙРОННА МЕРЕЖА, КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРОЮ.

Об'єкт дослідження – процес керування температурним режимом у складському приміщенні.

Предмет дослідження – інтелектуальна система керування температурою у складському приміщенні

Мета роботи – розробка інтелектуальної системи керування температурою у складському приміщенні.

У першому розділі роботи розглянуто фактори, що визначають кліматичні умови в складському приміщенні та методика розрахунку тепловитрат. Також наведено опис сучасних способів регулювання температури в приміщенні.

В другому розділі розглянуто теплову модель будівлі для традиційної системи регулювання температури, обрано регулятор для реалізації інтелектуальної системи управління температурним режимом.

У третьому розділі описано реалізацію алгоритму прогнозування температури для інтелектуального термостату на базі нейронних мереж. А також представлено опис реалізації апаратної та програмної частин інтелектуальної системи.

ABSTRACT

The explanatory note contains: 68 pages, 2 tables, 35 figures, 3 application, 28 sources.

INTELLECTUAL CONTROL SYSTEM, SMART THERMOSTAT, NEURAL NETWORK, TEMPERATURE CONTROL.

The object of the study is the process of controlling the temperature regime in the warehouse.

Subject of research – intelligent temperature control system in the warehouse

Purpose – to develop an intelligent temperature control system in the warehouse.

In the first section of the work, the factors that determine the climatic conditions in the warehouse and the methodology for calculating heat consumption are considered. It also describes modern methods of temperature control in the room.

In the second section, the thermal model of the building for the traditional temperature control system is considered, the regulator for the implementation of the intelligent temperature control system is chosen.

The third section describes the implementation of an algorithm for predicting temperature based on neural networks. It also describes the implementation of hardware and software parts of the intelligent system.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз предметної області.....	12
1.1 Сучасні склади і організація складських процесів.....	12
1.2 Особливості автоматизації фармацевтичного складу.....	15
1.3 Приклади застосування обладнання KAPELOU на складах фармдистриб'юторів.....	21
1.4 Основні особливості складів фармацевтичних компаній.....	23
1.5 Фактори, що визначають кліматичні умови у приміщенні	26
1.6 Сучасні способи регулювання температури у приміщенні.....	27
1.7 Алгоритм прогнозування температури для інтелектуального термостата	30
1.8 Висновки до розділу.....	35
2 Моделювання теплообмінних процесів	36
2.1 Вихідні дані для моделювання теплообмінних процесів	36
2.2 Математична модель об'єкта управління.....	58
2.3 Дискретна модель об'єкта управління.....	40
2.4 Синтез системи управління.....	43
2.5 Висновки до розділу.....	45
3 Розробка алгоритму прогнозування температури для інтелектуального термостату	46
3.1 Визначення параметрів збору даних для інтелектуальної системи управління температурою в приміщенні	46
3.2 Інструменти для реалізації системи.....	46
3.3 Реалізації апаратної частини	52
3.4 Реалізація програмної частини.....	57
3.5 Безпека життєдіяльності та охорона праці.....	63
3.6 Висновки до розділу.....	64
Висновки	65

Перелік посилань.....	66
Додаток А Лістинг розробленої програми.....	69
Додаток Б Апробація результатів наукових досліджень	73
Додаток В Демонстраційний матеріал	82

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизовані складські комплекси;

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;

ЛФЧХ – логарифмічна фазо-частотна характеристика;

П – пропорційний (регулятор);

ПІ – пропорційно-інтегральний (регулятор);

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний (регулятор);

GDP (Good Distribution Practice) – належна практика дистрибуції;

GMP (Good Manufacturing Practice) – належна виробнича практика.

ВСТУП

Від кліматичних умов у складському приміщенні безпосередньо залежить зберігання продукції. Тому невід'ємним елементом системи керування мікрокліматом фармацевтичного складу є інтелектуальний термостат, головна функція якого полягає в керуванні температурним режимом у приміщенні.

«Розумний» термостат це сучасний електронний пристрій, який підключається до покращеної енергетичної системи будівлі та працює в рамках систем охолодження, опалення та вентиляції.

Ідея цієї роботи полягає в тому, щоб розробити таку інтелектуальну систему управління температурою в складському приміщенні, яка б не тільки регулювала температуру в ручному режимі, але й підбирала показники температури автоматично за мінімальних енергетичних витрат і мінімальної загальної вартості спожитої енергії, при цьому рішення має бути доступним.

Об'єкт розробки – керування температурним режимом у складському приміщенні.

Предмет розробки – інтелектуальна система керування температурою в складському приміщенні.

Мета роботи – розробка інтелектуальної системи керування температурою у складському приміщенні.

В відповідно з поставленою метою визначено наступні завдання:

- провести аналіз предметної області;
- розробити теплову модель приміщення для забезпечення можливості моделі орієнтованої розробки;
- обрати регулятор для реалізації інтелектуальної системи управління температурним режимом;
- визначити інструменти та технології для реалізації програми;
- розробити інтелектуальний алгоритм навчання термостату на основі аналізу теплових параметрів будівлі та вимог користувача;

- реалізувати апаратну частину;
- реалізувати програмну частину;
- оформити кваліфікаційну роботу згідно з ДСТУ 3008:2015 [1], а також

з методичними вказівками з підготовки та оформлення кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [2-3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Сучасні склади і організація складських процесів

Сучасний склад – це складна технічна споруда, що складається з взаємопов'язаних елементів, що виконують ряд функцій з перетворення матеріальних потоків, а також накопичення, переробки та розподілу вантажів між споживачами та підрозділами основного виробництва. При цьому можливе різноманіття параметрів, технологічних та об'ємно-планувальних рішень, конструкцій обладнання та характеристик різноманітної номенклатури вантажів, що переробляються на складах, відносить склади до складних систем.

Склади – важливі ланки технологічного процесу промислових підприємств, а для оптової і роздрібною торгівлі вони служать фундаментом. Тому для ефективної організації роботи складів підприємств, які прагнуть перетиснути конкурентів, необхідні сучасна організація, використання новітніх технологій, наявність кваліфікованих кадрів.

Основна складова оптимізації складських господарств – автоматизація пов'язаних з ними бізнес-процесів, що дозволяє ефективно управляти запасами, знижувати витрати при плануванні майбутніх закупівель, оптимізувати використання складських площ, підвищувати точність та оперативність обліку продукції, а також продуктивність праці.

Автоматизація складського господарства будь-якого підприємства включає комплекс таких заходів, як:

- оснащення складу необхідними технічними засобами;
- розробка та впровадження комплексної інформаційної системи, що автоматизує складську діяльність;
- зміна організації роботи складу відповідно до нових вимог (дозволяє скоротити тривалість і трудомісткість вантажних операцій, підвищити оперативність обліку та збереження вантажу при транспортуванні).

Практично будь-яке підприємство має в своєму розпорядженні склад, проте

далеко не кожне з них планує впровадити в складському господарстві систему автоматизації. Це обумовлюється багатьма чинниками, частина яких пов'язана безпосередньо з характеристиками самого складу, а більше належить до специфіки підприємства і галузі, до якої воно належить.

Добре організоване складське господарство сприяє впровадженню передових методів організації виробництва, прискоренню оборотності оборотних засобів, зниженню собівартості продукції. Раціональна організація складського господарства передбачає наявність достатньої кількості складських приміщень, розміщення їх по території заводів, механізацію та автоматизацію складських робіт, а також активізацію складів по контролю за використанням матеріалів. Все це призводить до збільшення випуску, зниження собівартості та покращення якості продукції. Промислова автоматизація зменшує чисельність обслуговуючого обладнання персоналу, підвищує надійність і довговічність машин, дає економію матеріалів, покращує умови праці та підвищує безпеку виробництва.

Сучасні технологічні та конструкторські рішення дозволяють доповнити класичні види стелажних систем (фронтальних, гравітаційних, прохідних, поличних, мезонінних тощо) спеціальним стелажним обладнанням вертикального або горизонтального складування. Прикладом такого обладнання можуть бути автоматизовані системи зберігання елеваторного або ліфтового типу.

Автоматизовані складські комплекси (АСК) призначені для зберігання та обробки товарів на великих промислових підприємствах, оптово-роздрібних базах, митних терміналах, транспортних компаніях з інтенсивним вантажообігом, у фармакологічних компаніях, інших установах та організаціях, що потребують швидкого та безпомилкового приймання та видачі вантажів. Автоматизація складського господарства сприяє розвитку підприємства за рахунок скорочення площі займаної складом, прискоренню операцій по роботі з вантажами, збільшенню точності та забезпеченню безпеки вантажів при їх зберіганні, а чіткий облік допомагає заощадити кошти та уникнути збільшення складських запасів.

Конструкція ліфтових АСК передбачає зберігання товарів у коробах, що розміщуються на піддонах. Мінімальний проміжок між рівнями зберігання

(піддонами) – 25 мм. Піддони встановлюються на консольні елементи металоконструкції стелажу та розташовуються по вертикалі один над одним. Піддони переміщуються до осередків стелажу та вікна завантаження/вивантаження спеціальним ліфтом (маніпулятором), вантажна платформа якого має можливість вертикального переміщення. Горизонтальне переміщення піддонів у осередках стелажу та у вікні завантаження/вивантаження здійснюється за допомогою телескопічного захвату (екстрактора), розміщеного на вантажній платформі. Принцип дії ліфтових АСК полягає в тому, що за командою оператора з пульта управління піддони з потрібним товаром, розміщені на вантажній платформі, доставляються до вікна завантаження/вивантаження. Як елеваторні, так і ліфтові АСК мають зовнішній захисний корпус (шафа), який повністю оберігає вантаж/товар від пилу, бруду та світла. У більшості відомих АСК реалізований принцип «goods-to-man» («товар до людини»), тобто принцип, коли оператор (комплектувальник) знаходиться на робочому місці біля вікна завантаження/вивантаження і не переміщається по робочій зоні вздовж стелажу, як це зазвичай відбувається при стелажному зберіганні.

Існує безліч готових рішень, що є програмно-апаратними комплексами, що складаються як із самого складського обладнання, так і з програмного забезпечення системи управління складом. Задача інтеграції таких систем особливо гостро стоїть зараз перед великими підприємствами з великою номенклатурою вантажів, що зберігаються.

Система управління сучасним складом повинна забезпечувати автоматизацію та оптимізацію всіх процесів складської роботи профільного підприємства. Архітектура такої автоматизованої інформаційної системи побудована за трирівневим принципом:

а) перший компонент являє собою видиму для користувача частину – інтерфейс типу «людина-машина» – клієнтський додаток, за допомогою якого користувач здійснює введення, зміну та видалення даних, дає запити на виконання операцій та запити на вибірку даних (отримання звітів);

б) сервер бази даних, який здійснює зберігання даних. Користувач через

клієнтську програму ініціює процедуру запиту на вибірку, введення, зміну або видалення даних у базі даних;

в) бізнес-логіка, призначена для ініційованої користувачем обробки даних, та повернення оброблених даних до бази даних, повідомляючи користувачеві через екран клієнтської програми про завершення запитаної обробки.

При реінжинірингу логістичних процесів територія складу розбивається на зони за видами технологічних операцій з метою автоматизації процедур прийому, розміщення, зберігання, обробки та відвантаження товарів, що дозволяє впорядковувати роботу персоналу на різних ділянках та ефективно розподіляти сфери відповідальності. На стадії впровадження АСК у систему управління заноситься опис фізичних характеристик складу, навантажувальної техніки, параметри всього устаткування і правила роботи з ним.

Всі вантажі, що надходять, повинні бути помічені штрих-кодами. Проведення технологічних складських операцій під контролем автоматизованої системи управління проводиться на підставі даних штрих-кодів, місця зберігання та вантажної техніки. При проведенні інвентаризації фахівці за допомогою терміналів для збору даних зчитують штрих-коди, які автоматично заносяться до баз даних приладів.

Як правило, виробники АСК надають програмне забезпечення для управління комплексами в автоматичному режимі, однак, воно має високу ціну за рахунок того, що містить систему складського обліку і не завжди може бути інтегровано в єдиний інформаційний простір підприємства без істотних доробок, що вимагає додаткових фінансових витрат.

1.2 Особливості автоматизації фармацевтичного складу

Розглянемо особливості автоматизації фармацевтичного складу на прикладі обладнання фірми KAPELOU [6]. Портфель реалізованих проектів KAPELOU має більше 420 об'єктів. З них 16% проектів саме в сегменті фармацевтики. Це одна з ключових галузей компанії, досвід комплексної автоматизації складів в якій

формувався протягом 8 років.

На складах фармацевтичних дистриб'юторів обладнання KAPELOU (рис. 1.1):

- значно пришвидшує збирання замовлень для аптечних мереж;
- знижує витрати на логістичні процеси в межах складу;
- мінімізує кількість помилок під час збирання замовлень;
- робить труд персоналу максимально простим і комфортним.



Рисунок 1.1 – Обладнання фірми KAPELOU

Щоб вирішити ці задачі, використовують на складах фармдистриб'юторів автоматизовані конвеєрні системи. Вони складаються з модулів і бувають різних видів: вертикальні (рис. 1.2), горизонтальні та з нахилом до 16 (рис. 1.3), приводні (рис. 1.4) або не приводні (рис. 1.5), роликові та зі стрічкою (рис. 1.6).



Рисунок 1.2 – Вертикальний конвеєр KAPELOU

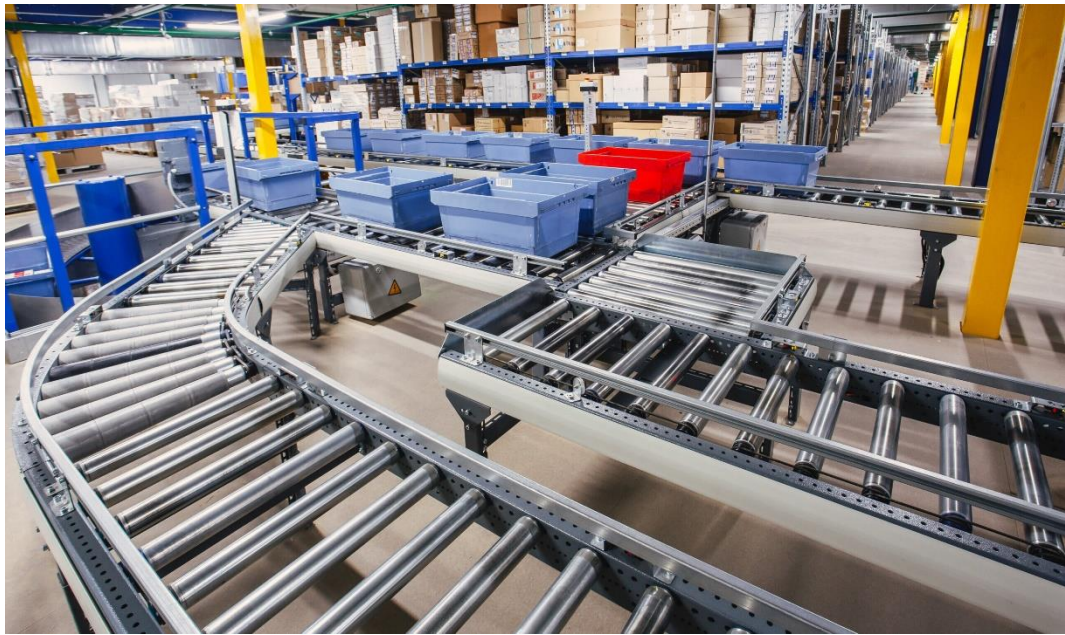


Рисунок 1.3 – Горизонтальний конвеєр KAPELOU

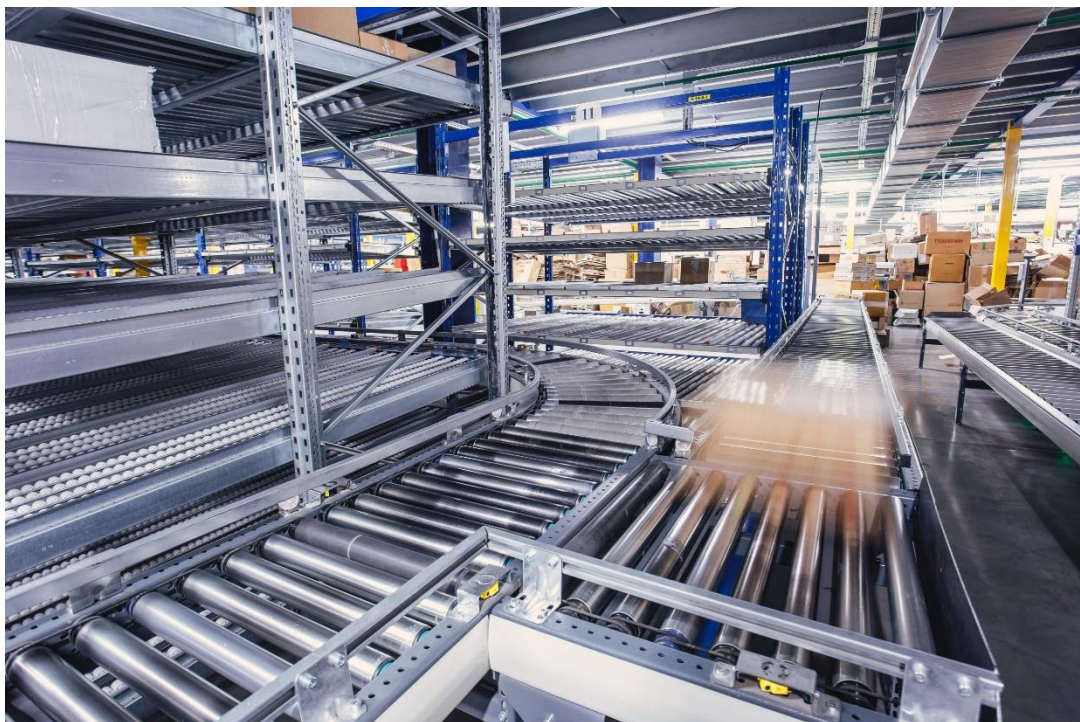


Рисунок 1.4 – Приводний роликівий конвеєр для ящиків KAPELOU

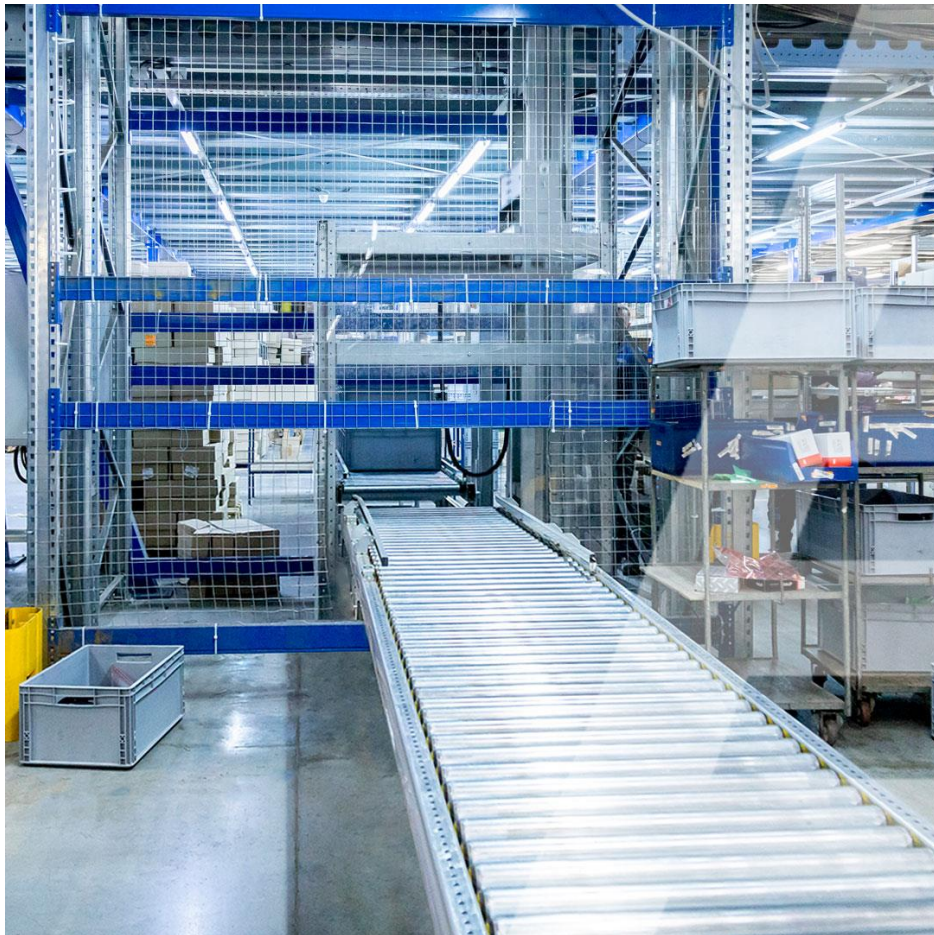


Рисунок 1.5 – Непривідний роликівий конвеєр KAPELOU



Рисунок 1.6 – Стрічковий конвеєр KAPELOU

КАPELOU комбінує конвеєри з інноваційними розробками німецької компанії МЕТА, яка виготовляє системи коробкової гравітації. Це стелажі і полиці (рис. 1.7) які зроблені з роликів та розташовані під кутом 4°-6°. Один бік використовується виключно для завантажування продукції, а протилежний – для відбору. Це дає змогу максимально заощадити простір на складі та значно пришвидшує відбір товару комплектувальниками замовлень. Під силою власної ваги, товар скочується до краю полиці й завжди знаходиться в доступі для швидкого відбору.

Інноваційні рішення компанії КАPELOU допомагають мінімізувати переміщення людей по складу, оскільки лотки між станціями та зонами відбору товару доставляє конвеєр. Це значно пришвидшує відбір товару та мінімізує помилки, підвищує конкурентні переваги компанії.



Рисунок 1.7 – Складські стелажі і полиці МЕТА

Наразі на складах діють три основні принципи комплектації замовлень:

а) працівник із візком переміщується по складу та відбирає в нього необхідний товар;

б) комплектувальників закріплено за окремими зонами, лотки переміщуються в кожну зону за допомогою неприводного конвеєру. Комплектувальник має передивитися всі лотки, що потрапили в його зону та здійснити відбір товару в потрібний. Фінальна точка транспортування лотків – зона пакування;

в) люди працюють в окремих зонах складу, а роликів конвеєр доставляє лотки лише в ті зони, де має бути відбір товару. Всі лотки без відбору в певних зонах проїжджають повз, тому співробітники не витрачають на них свій час і більш уважно відбирають товар в потрібний лоток. При такій автоматизації кількість помилок зменшується майже до нуля та може складати не більше 0,002%.

Якщо до третього варіанта додати гравітаційні полиці, процес формування роздрібних замовлень значно пришвидшується. Завдяки цьому посилюються конкурентні переваги фармдистриб'ютора на ринку та скорочуються складські витрати.

Зменшення вартості складської обробки впливає на ціни медпрепаратів для роздрібного споживача. А ціна – це перший параметр при виборі фармдистриб'ютора. На другому місці – швидкість виконання замовлень, на третьому – якість роботи, кількість помилок в замовленнях. Завдяки розробленим компанією KAPELOU автоматичним модулям вимірювання ваги – виконується безконтактне (без участі працівника складу) вимірювання фактичної ваги лотка з товаром, потім ця інформація звіряється з даними WMS по цьому лотку – і приймається рішення щодо коректності зібраного замовлення. Якщо дані фактичного зваження та системні співпали – лоток автоматично доїзжає до станції пакувальника. Якщо дані не співпадають – конвеєр доставляє лоток до станції мануального контролю. Таким чином економиться час і гроші на контроль зібраних замовлень.

Комплексні рішення автоматизації складу та обладнання KAPELOU поліпшує всі три показники. Чим менше персонал переміщується по складу, тим швидше формується та надсилається замовлення. А кількість помилок мінімізується, оскільки комплектувальники працюють лише з тими лотками, для

яких потрібно здійснити відбір товару. При додатковому застосуванні системи вагового контролю можливість помилки взагалі зводиться до нуля навіть при високій інтенсивності складу.

1.3 Приклади застосування обладнання KAPELOU на складах фармдистриб'юторів

KAPELOU на початку 2021 року автоматизувала склад площею 2800 м² фармдистриб'ютора «КОМФАРМ» (рис. 1.8). У його асортименті 11000 найменувань фармацевтичної продукції, замовлення обробляються кілька разів на день. На складі команда KAPELOU запровадила технологію швидкісного відбору товару за рахунок конвеєру власного виробництва, який доповнили системою коробкової гравітації.



a)



б)

Рисунок 1.8 – Приклад автоматизації складу

Щоб вирішити всі логістичні питання, KAPELOU розробили спеціальне програмне забезпечення для складу «КОМФАРМ». Індивідуальне концептуальне рішення дало змогу модернізувати весь складський технологічний ланцюг від отримання товару на склад до його видачі аптекам.

На складі мережі магазинів Watsons встановлено спіральний конвеєр, здатний щогодини пропускати 3000 ящиків різних розмірів вагою до 30 кг. Крім того, спроектовано та налагоджено роботу автоматизованої сортирової системи на 24 шути, яка пришвидшує сортування великого асортименту товарів та посилок різних розмірів і ваги (рис. 1.9). Все це мінімізувало кількість помилок комплектувальників та пришвидшило процес відвантаження товарів у 420 магазинів Watsons по всім регіонам України.

Наступним етапом автоматизації фармскладів стануть сортирові системи, AGV-машини і дельта-роботи для формування великої кількості дрібних замовлень та відправки їх замовникам.



Рисунок 1.9 – Сортувальні системи KAPÉLOU

1.4 Основні особливості складів фармацевтичних компаній

Кожен лікарський препарат потрібно зберігати в жорстко регламентованих умовах, дотримуючись певної температури та відносної вологості повітря, оскільки ці чинники не повинні негативно впливати на діючі речовини та готові лікарські засоби. Від цього залежить життя та здоров'я пацієнтів, які їх вживатимуть.

Саме тому сучасний фармацевтичний склад європейського зразка має відповідати міжнародним вимогам GDP (Good Distribution Practice) та GMP (Good Manufacturing Practice). В них прописано низку спеціальних параметрів, яких потрібно дотримуватися під час зберігання та транспортування медпрепаратів.

Щоб складський центр відповідав міжнародним вимогам, здійснюється його кваліфікація. Спочатку на етапі проекту, а потім двічі під час експлуатації – у холодний та теплий періоди року (це дає змогу перевірити роботу систем охолодження та опалення). Причому кожен фармсклад має розташовуватися в окремій капітальній будівлі з окремим входом або в допоміжних приміщеннях на фармакологічному виробництві.

Сучасний фармацевтичний склад дистриб'ютора повинен складатися з таких зон (рис. 1.10):

- зручний вантажно-розвантажувальний майданчик для машин (рампа з навісом);
- виробничі приміщення приймання/зберігання/комплектації та відпуску

товару кожен площею від 250 м²;

- приміщення для вхідного контролю товару та відбору проб;
- карантинний майданчик;
- допоміжні приміщення для підготування дезрозчинів, розміщення серверної, зберігання інвентарю тощо;
- адміністративні приміщення з кабінетом завідувача, гардеробною, кімнатою для персоналу, душовою та вбиральною.

Причому прохід до побутових зон, де перевдягається персонал, не повинен проходити через виробничі зони. Висоту стелі на складі зазвичай роблять не менше 10 м, оскільки вона забезпечує складування продукції на 4 рівнях. Таким чином вдається оптимально використовувати об'єм будівлі. Мінімальна загальна площа фармскладу починається від 750-1000 м². У великих дистриб'юторів лікарських препаратів вона може сягати понад 15 000 м².

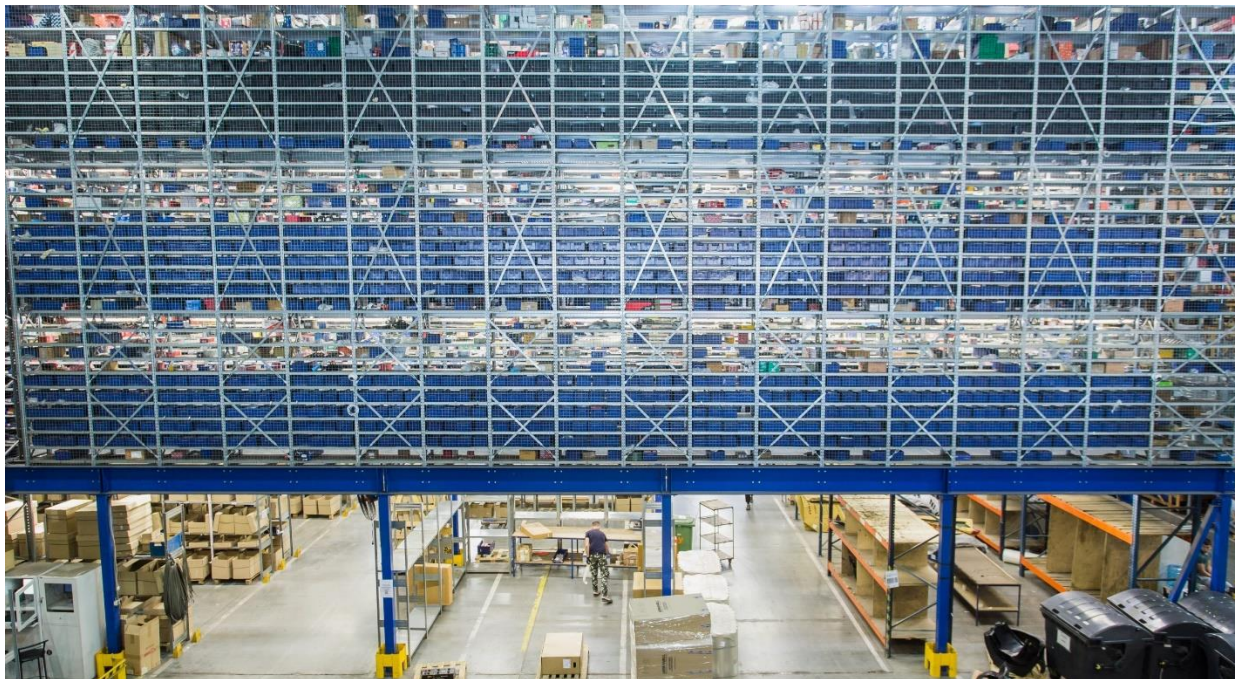


Рисунок 1.10 – Сучасний фармацевтичний склад

На фармскладі європейського зразка повинні бути:

- система вентиляції та кондиціонування;
- наливна підлога з безпилловим покриттям;
- стійкі до дезінфікуючих засобів поверхні стін, стелі та підлоги;

- гігієнічні панельні радіатори опалення;
- холодильні камери для ліків, які зберігаються при температурі +2-8 °С;
- сучасна система пожежогасіння;
- система електронного доступу на дверях усіх приміщень;
- система керування складом WMS, що контролює усі дії працівників і мінімізує помилки під час формування замовлень;
- автоматизовані конвеєри для швидкої обробки товарів, формування та видачі замовлень (рис. 1.11).

Крім того, холодильні камери повинні оснащатися приладами цілодобового моніторингу, які стежать за дотриманням температурного режиму. Існують технічні новинки, коли при найменшому відхиленні система повідомляє про нього за допомогою SMS.



Рисунок 1.11 – Автоматизовані конвеєри KAPELOU

Дуже важливо правильно організувати високоефективну роботу складського фармацевтичного центру. Від працівників вимагається бути дуже уважними та враховувати додаткові процеси в роботі з ліками. Приймаючи товар, необхідно швидко й чітко розподіляти медикаменти на групи за умовами зберігання, забезпечувати цілісність упаковок та постійно стежити за терміном придатності. А

відпускаючи медпрепарати, вони зобов'язані дотримуватись міжнародних стандартів фасування, закупорювання та маркування. До того ж, усі ліки, які надходять на склад дистриб'ютора, повинні мати державну реєстрацію. Це стосується як імпортих, так і вітчизняних медпрепаратів.

Багато також, щоб склад географічно розташовувався так, щоб витратити мінімум часу на транспортування ліків до аптек і лікарень. Адже під час перевезення медпрепаратів також потрібно дотримуватися жорстких вимог температурного режиму та вологості.

1.5 Фактори, що визначають кліматичні умови у складському приміщенні

Параметри мікроклімату формуються внаслідок впливу на складське приміщення зовнішнього середовища, технологічного процесу в приміщенні та систем опалення-охолодження та вентиляції або кондиціонування повітря (рисунок 1.12).



Рисунок 1.12 – Структурна схема формування мікроклімату у складському приміщенні

Зовнішнє середовище впливає на мікроклімат складського приміщення через

огороджувальні конструкції та внутрішні перегородки у приміщенні. Технологічний процес відіграє певну роль у формуванні мікроклімату. При такому процесі безпосередньо у приміщенні відбувається виділення вологості, пилу, газів, що безпосередньо впливає на формування температурного режиму та складу повітря. Системи забезпечення мікроклімату активно формують внутрішній клімат приміщення, нейтралізуючи негативний вплив зовнішнього середовища та технологічного процесу.

Пунктом 4.2 ДСТУ 30494-2011 визначено параметри, що характеризують мікроклімат у приміщеннях:

- температура повітря;
- швидкість руху повітря;
- відносна вологість повітря;
- результуюча температура приміщення;
- локальна асиметрія результуючої температури.

Оптимальні та допустимі параметри мікроклімату в складському приміщенні, що обслуговується, слід приймати для відповідного періоду року в межах значень параметрів, наведених у ДСТУ.

Підтримувати оптимальні параметри мікроклімату в приміщенні за допомогою інтелектуальної системи регулювання температури. Комплект електрифікованого обладнання забезпечує централізоване управління усіма системами клімату та їх окремими елементами.

Для підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в приміщенні та зниження, витрачених на створення сприятливого мікроклімату, енергоресурсів, необхідно визначити та розрахувати фактори, за яких створюються тепловитрати в приміщенні.

1.6 Сучасні способи регулювання температури у приміщенні

Повітря у приміщенні вважається відповідаючим нормам, якщо воно чисте та зволене в нормальних межах. Штучно його можна створити за допомогою

системи фільтрів, нагрівання, охолодження, зволоження та рекуперації .

Проаналізувавши науково-технічну літературу за існуючими системами управління мікрокліматом можна розділити їх на три умовні групи: традиційні, автоматизовані та автоматичні. Розглянемо кожну групу докладніше.

1.6.1 Традиційні системи управління мікрокліматом

У традиційних системах управління системою мікроклімату здійснюється за допомогою датчиків температури та механічних перетворювачів.

Механічний терморегулятор – це пристрій, що працює за принципом розширення газів при зміні температури, або біметалічні пластини, що змінюють форму від нагрівання або охолодження. Механічний пристрій є одночасно датчиком температури, і виконавчим органом, об'єднаними в єдиний вузол. У нагрівальних пристроях використовується біметалічна пластина, яка є термопарою з двох металів з різним коефіцієнтом теплового розширення [17].

Наприклад, для керування системою теплої підлоги використовується механічний регулятор. Для його увімкнення достатньо натиснути на кнопку та повернути ручку регулятора на потрібну температуру. При зниженні температури нижче заданого значення прилад почне працювати, якщо температура стане вище заданого значення, то прилад відключитися для охолодження приміщення. Прилад зможе працювати за дуже низьких температур.

Для управління радіатором опалення у традиційних системах контролю температури у приміщенні використовуються термостатичні вентилі та ручні або механічні термоголовки.

Ручні термоголовки працюють за принципом стандартного крана, за допомогою якого можна регулювати обсяг теплоносія, що транспортується в радіатор опалення. Такий вид термоголовок зазвичай встановлюється замість шарового крана. Нестача ручної термоголовки в тому, що при частому її перемиканні може послабити моховик вентиля і термоголовка виходить з ладу.

Механічні термоголовки є складнішою конструкцією. В основі приладу розміщено сифон циліндричної форми, всередині якого розміщено тепловий агент

у рідкому або газоподібному вигляді. Встановивши необхідну температуру термоголовки пристрій за допомогою розширення або звуження циліндра регулює подачу теплоносія в радіатор опалення, тим самим регулюючи температуру.

Основні переваги таких систем – простота конструкції та дешевизна, а також велика ремонтпридатність. До основних недоліків відноситься низька точність підтримки заданих параметрів, тому для таких систем потрібний постійний контроль та високе енергоспоживання. Використовуються найчастіше, що пов'язано з їх відносно простотою реалізацією.

1.6.2 Автоматизовані системи управління мікрокліматом

Автоматизовані системи управління базуються на використанні мікроконтролерів таких як Siemens Logo, Pixel. У такій системі механічне реле замінено електронним «програмованим вимикачем», який дозволяє чітко ставити необхідні параметри роботи відповідно до заздалегідь заданого алгоритму. Електронний терморегулятор складається з основного блоку та датчика температури, що подає сигнали про збільшення або зниження заданої температури в системі.

Для управління радіатором опалення в автоматизованих системах керування температурою у приміщенні використовуються електронні термоголовки з вбудованим мікропроцесором, який управляє штоком регулювання подачі теплоносія до системи. У такому пристрої з'являються додаткові функції, наприклад, виставлення температури за годиною, або програмування температури по днях тижня. Працює термоголовка від батарейок, яких вистачає на достатній час, але необхідно відстежувати їхній заряд.

До переваг слід віднести можливість точної підтримки параметрів у заданих межах за відносно невисоку вартість. Недоліки полягають у наступному: некоректне управління мікрокліматом при режимах, які не задані в алгоритмах функціонування; необхідність зміни алгоритмів при зміні умов функціонування або додавання нових елементів до системи управління.

1.6.3 Автоматичні системи управління мікрокліматом

Під автоматичними системами керування розуміють комплекс механізмів, призначених для управління об'єктом без втручання людини (регуляторів), і керованого об'єкта, що взаємодіють між собою. У цьому випадку виділяють тільки вхідні та вихідні параметри управління, не виділяючи у явному вигляді фізичні принципи побудови моделі управління. Така модель є деякою апроксимацією процесів, що спостерігаються.

Прикладом автоматичної системи управління температурним режимом у приміщенні є система, що складається з інтелектуального термостату та датчиків.

У системах контролю температури переважно застосовуються електричні регулятори. Пневматичні та гідравлічні регулятори, як правило, застосовуються у вибухо- та пожежонебезпечних зонах.

1.7 Алгоритм прогнозування температури для інтелектуального термостата

В сучасних будівлях встановлюють різні системи опалення, вентиляції і кондиціонування. Зазвичай, кожна з встановлених систем має власну систему управління та не має зв'язки з іншими системами.

Наприклад, в приміщенні встановлені радіатори водяного опалення, вентиляція і система кондиціонування. Радіатори, що управляються термостатичною головкою, мають свою задану температуру. Система вентиляції має постійну продуктивність і може бути включена або вимкнена. Система кондиціонування має свій терморегулятор зі своєю заданою температурою. Всі перелічені вище системи, встановлені в приміщенні, не мають зв'язку, і управління цими системами здійснюється незалежно один від одного.

Так як задана температура термостатичної головки і задана температура терморегулятора кондиціонера незалежні, то у разі перевищення заданої температури термостатичної головки над заданою температурою терморегулятора кондиціонера, опалення та кондиціонування будуть працювати друг проти друга. При цьому менш потужний пристрій працюватиме постійно, більш потужний або

постійно, або уривчасто. Подібне терморегулювання зовсім неефективне, так як необхідні витрати енергії складаються з енергії, необхідної для обігріву або охолодження приміщення і енергії, необхідної для протидії систем опалення і кондиціонування.

Описана вище ситуація характерна і для багатьох інших поєднань систем опалення, вентиляції і кондиціонування, таких як повітряне опалення, тепла підлога, пряме електричне опалення, кондиціонери з тепловими насосами та інші. Вищевикладена проблема пов'язана з неефективним управлінням при спільній роботі перерахованих систем.

Крім того, різні системи, опалювальні або охолоджуючі приміщення, мають різну продуктивність і питому вартість теплової енергії, залежно від зовнішніх факторів. Так, наприклад, при певних співвідношеннях між температурою в приміщенні та температурою зовнішнього повітря, вентиляція виявляється енергетично вигіднішою, ніж кондиціонування.

Ще одним фактором оптимізації управління температурним режимом приміщень є планування режиму роботи і облік фактично необхідної підтримки температурного режиму відповідно до вимог до зберігання фармацевтичної продукції в приміщенні.

Завдання оптимального управління температурним режимом приміщень, можливо сформулювати наступним чином: оптимальний регулятор повинен забезпечувати задану якість регулювання температури, при мінімальних енергетичних витратах та мінімальній загальній вартості спожитої енергії.

Для рішення вищеописаних проблем з неефективним управлінням систем опалення, вентиляції і кондиціонування розроблені алгоритми прогнозування температури для інтелектуального термостату.

Розглянемо основні вимоги, що відносяться до самонавчання системами управління температурою приміщення з використанням інтелектуального термостату.

До однієї з основних вимог відноситися економія витрат на електроенергію. Класичні термостати дозволяють встановлювати температуру до одного значення,

яке має бути змінено вручну, що не може бути названо ефективним використанням енергії. Назвемо це нульовим рівнем інтелектуалізації. Класичні програмовані моделі дозволяють планувати, яка температура в приміщенні повинна бути в певні години впродовж дня, забезпечуючи цим значну економію електроенергії (перший рівень інтелектуалізації). Наприклад, термостат Siemens REA23 [19] працює в режимі самонавчання, автоматично налаштовуючи параметри адаптивного пропорційно-інтегрально-диференціального (ПІД) регулятора. Проте контроль температури здійснюється відповідно до розкладу, встановленому користувачем, а не формується автоматично на основі аналізу поведінки користувача.

Інтелектуальний термостат автоматично формує і динамічно змінює графік роботи в залежності від активності і присутності користувачів з обліком заданих користувачем пріоритетів, що дозволяє досягти найкращої економічної ефективності (другий рівень інтелектуалізації). Деякі моделі термостатів вивчають режим роботи протягом часу, щоб побудувати свій власний графік і адаптуватись до змін. Інші моделі не передбачають розклад на основі попередніх дій, але автоматично реагують на дії користувача. Моделі з автоматичним плануванням використовують звички користувача, його відповіді на ряд простих питань і місцеві погодні умови.

Наприклад, інтелектуальний термостат Nest Learning Thermostat адаптується під потреби користувача і працює відповідно з його потребами і температурними уподобаннями, то є фактично програмує себе протягом певного періоду, створюючи тим самим персоналізований графік. Пристрій постійно адаптується до усіх змін в розкладі власника, наприклад, функція «Auto-Away» автоматично розпізнає, якщо в приміщенні нікого немає, тоді термостат автоматично регулює температуру, щоб уникнути нагрівання порожнього приміщення [20, 21]. В разі якщо необхідно визначити обсяг економії електроенергії, то технологія NestLeaf дозволить визначити, наскільки були ефективні налаштування зміни температурного режиму в приміщенні за певний період [21].

Інтелектуальні термостати марки Honeywell [20, 22], T9 [23], Ecobee SmartThermostat [24] і ряд інших інтелектуальних термостатів мають аналогічну

функціональність.

Також інтелектуальний термостат повинен мати можливість інтегрування компонентів в систему розумного приміщення. Деякі моделі термостатів мають функцію підключення до інших пристроїв екосистеми розумної будівлі.

Більшість термостатів мають функцію сповіщення різних типів, повідомляючи власника, наприклад, коли настав час провести базове технічне обслуговування кондиціонера або замінити повітряні фільтри в системі охолодження. Також сповіщення може попередити про проблемі або збій в системі опалення або охолодження. Деякі моделі можуть забезпечувати зв'язок з представником сервісного центру, який обслуговує термостат.

За результатами вищевикладеного, було розглянуто підхід побудови алгоритму для роботи і самонавчання інтелектуального термостата.

Розглянемо алгоритм моделювання, описаний в статті «Development of the temperature prediction algorithm for smart thermostat» [25].

Прогнозування температурних умов у приміщенні передбачає створення надійної теплової моделі з однозначними параметрами. Модель має, з одного боку, достовірно описувати фізичні процеси теплообміну, а з іншого – швидко адаптуватися до реальних умов функціонування і зміни теплових параметрів приміщення.

Розглянемо формулу теплообміну для стандартного приміщення з встановленою системою опалення радіатором, кондиціонером та теплою підлогою

$$\frac{dt_v}{dr} = -\frac{L_0}{v} \cdot (t_v - t_0) - \frac{L_c}{v} \cdot (t_v - t_0) + \frac{a_0 \cdot F_{ra}}{\rho \cdot c_r \cdot V} \cdot (t_v - t_0) + \frac{a_{uf} \cdot F_{uf}}{\rho \cdot c_r \cdot V} \times \quad (1.7)$$

$$\times (t_{uf} - t_v) + \frac{a_r \cdot F_r}{\rho \cdot c_r \cdot V} \cdot (t_r - t_v),$$

де α_0 – коефіцієнт тепловіддачі приміщення;

α_{uf} – коефіцієнт теплої підлоги;

α_r – коефіцієнти радіатора опалення;

t_0 – температура зовнішнього повітря;

t_v – температура повітря в приміщенні;

L_0 – надходження зовнішнього повітря;

L_c – надходження повітря від кондиціонера;

ρ – густина повітря;

c_r – теплоємність речовини при постійному тиску;

V – об'єм приміщення;

t_c – температура повітря кондиціонера;

t_r – температура радіатора опалення;

t_{uf} – температура теплої підлоги;

F_{ra} , F_{uf} , F_r – площа поверхні приміщення, теплої підлоги та радіатора опалення.

В формулі коефіцієнт теплопередачі α_0 є невідомим значенням, який вибирається таким чином, щоб рішення по формулі збігалось з експериментальними значеннями температури повітря всередині приміщення.

Розглянемо формулу розрахунку температури радіатора опалення. За своєю формою теплова модель для радіатора аналогічна моделі температури повітря в приміщенні, але з меншою кількістю доданків

$$\frac{dt_r}{dr} = -\frac{L_{hw}}{V_r} \cdot (t_{hw} - t_r) + \frac{\alpha_{r0} \cdot F_r}{\rho_w \cdot c_{rw} \cdot V_r} \cdot (t_v - t_r), \quad (1.8)$$

де L_{hw} – витрати гарячою води в радіаторі;

V_r – об'єм опалювального радіатора;

t_{hw} , t_r – температура гарячої води в системі опалення і радіаторі опалення відповідно;

ρ_w , c_{rw} – густина і теплоємність при постійному тиску води в радіаторі опалення;

α_{r0} – коефіцієнт теплопередачі радіатора опалення;

F_r – площа внутрішньої поверхні радіатора опалення.

В формулі параметри L_{hw} , ρ_w , c_{rw} , α_{r0} , F_r є невідомими значеннями, які повинні бути обрані таким чином, щоб рішення співпадало з експериментальними

значеннями температури радіатора опалення. Визначимо параметри моделі. Для визначення коефіцієнта теплопередачі α_0 складемо функціонал, в якому розраховується сума квадратів відхилень експериментальної температури повітря в приміщенні t_{vi}^{exp} від розрахункових значень температури $t_{vi}^{mod}(a_0)$ по формулі

$$M(a_0) = \sum_{i=n}^{n-4} \left(t_{vi}^{exp} - t_{vi}^{mod}(a_0) \right)^2. \quad (1.9)$$

У формулі сума обчислюється за останніми 5 значеннями температури. Для визначення α_0 , використовувався одномірний метод мінімізації – метод золотого перерізу [26]. Аналогічний підхід використовувався і для визначення невідомих параметрів в формулі для визначення температури радіатора опалення.

1.8 Висновки до розділу

У першому розділі роботи описано організацію складських процесів, основні особливості складів фармацевтичних компаній і розглянуто фактори, що визначають кліматичні умови в приміщенні, та методику розрахунку тепловитрат. Також наведено опис сучасних способів регулювання температури в приміщенні.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Вихідні дані для моделювання теплообмінних процесів

Моделювання – це процес заміни одного об'єкта іншим, як правило, спрощеним, для отримання потрібної інформації про досліджувані властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкта-моделі. Усі моделі мають ту саму структуру (статистичну чи динамічну, матеріальну чи ідеальну), яка подібна до об'єкта-оригіналу.

Математична модель являє собою вираз або формулу, що включає змінні та відносини між ними, що відтворюють елементи та відносини у явищі, що вивчається. Тип математичної моделі вибирається в залежності від природи реального об'єкта, процесів, що протікають у ньому і навколо нього, а також задач дослідження об'єкта та необхідної достовірності та точності вирішення цієї задачі. Будь-яка математична модель описує реальний об'єкт із деяким ступенем наближення до дійсності. Метою створення математичної моделі є аналіз та синтез реальних процесів математичними методами.

Комп'ютерне моделювання – це моделювання об'єкта з використанням математичних моделей і засобів обчислювальної техніки. Комп'ютерне моделювання є одним із найбільш ефективних способів дослідження складних об'єктів і систем. Комп'ютерне моделювання полягає у проведенні серії обчислювальних експериментів на комп'ютері, метою яких є аналіз, інтерпретація та зіставлення результатів моделювання з реальною поведінкою об'єкта, що вивчається, а також верифікація, тобто уточнення моделі і т.д.

Об'єктом для моделювання в даній роботі буде взято приміщення 2 із схеми, зображеної на рисунку 2.1. Геометричні розміри приміщення 2 представлені у таблиці 2.1.

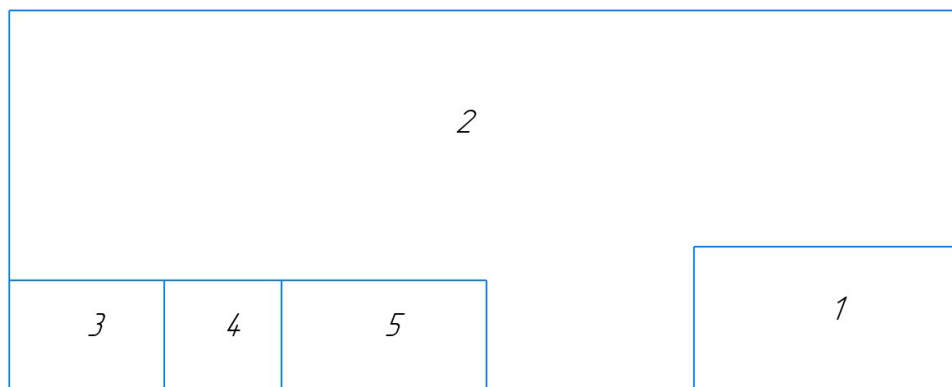


Рисунок 2.1 – Схема приміщень

Таблиця 2.1 – Геометричні параметри об'єкта

Геометричні параметри приміщення 2			
Lx, м	Ly, м	Lz, м	Ly2, м
20	6,7	3	0,3

Lx, Ly, Lz – довжина, ширина, висота приміщення, Ly2 – ширина зовнішньої стіни.

Граничні умови приміщення 2 представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Граничні умови

Граничні умови приміщення 2						
S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
const	const	const	1	1	1	ГРС

На рисунку 2.2 представлено схематичну модель, взяту для приміщення 2.

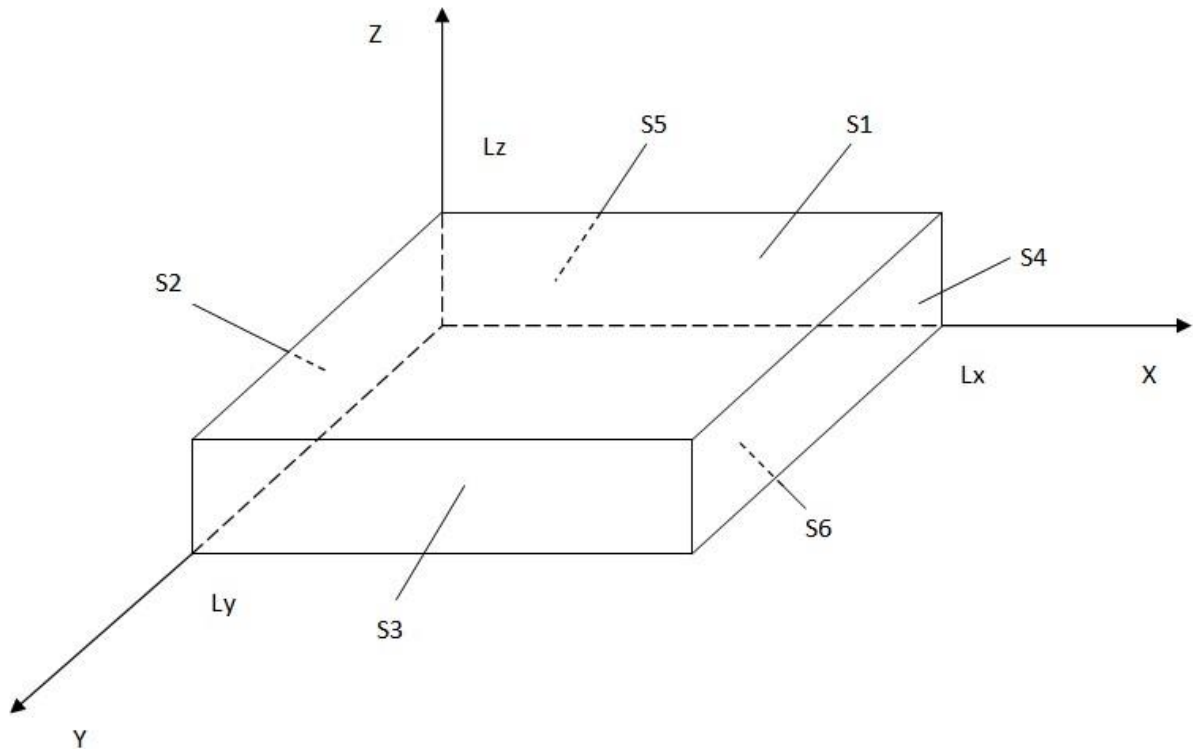


Рисунок 2.2 – Схематична модель об'єкта

Приміщення 2 являє собою паралелепіпед, дах, підлогу та внутрішні стіни якої теплоізолювані, на зовнішню стіну впливає постійна температура (const).

2.2 Математична модель об'єкта управління

Рівняння, що описують поширення тепла в приміщенні, складається з 2 шарів:

$$\frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = a_1 \cdot \left(\frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial z^2} \right), \quad (2.1)$$

$$0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z, \tau \geq 0,$$

$$\frac{\partial^2 T_2(x,y,z,\tau)}{\partial \tau} = a_2 \cdot \left(\frac{\partial^2 T_2(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_2(x,y,z,\tau)}{\partial z^2} \right), \quad (2.2)$$

$$0 < x < L_x, 0 < y < L_{y2}, 0 < z < L_z, \tau \geq 0,$$

де x, y, z – просторові координати;

τ – час;

$\partial \tau$ – крок дискретизації по τ ;

$\partial x, \partial y, \partial z$ – кроки дискретизації по осях L_x, L_y, L_z відповідно;

α_1, α_2 – температуропровідність середовищ.

Початкові та граничні умови для приміщення представлені нижче:

$$T_{(x,y,z,\tau=0)} = 0, 0 < x < L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z;$$

$$S_1 \rightarrow T_2; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial x} = T_2, x = L_x, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z, \tau \geq 0.$$

$$S_2 \rightarrow T_2; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial y} = T_2, 0 < x < L_x, y = L_y, 0 < z < L_z, \tau \geq 0.$$

$$S_3 \rightarrow T_2; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial x} = T_2, x = 0, 0 < y < L_y, 0 < z < L_z, \tau \geq 0.$$

$$S_4 \rightarrow 1; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial y} = 0, 0 < x < L_x, y = 0, 0 < z < L_z, \tau \geq 0.$$

$$S_5 \rightarrow 1; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial z} = 0, 0 < x < L_x, 0 < y < 0, z = L_z, \tau \geq 0.$$

$$S_6 \rightarrow 1; \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial z} = 0, 0 < x < L_x, 0 < y < 0, z = 0, \tau \geq 0.$$

$$S_7 \text{ ГРС} \rightarrow T_1 = -T_2; \lambda_1 \cdot \frac{\partial T_{(x,y,z,\tau)}}{\partial y} = \lambda_2 \cdot \frac{\partial T_2(x,y,z,\tau)}{\partial y}, 0 < x < L_x, y = 0,$$

$$0 < z < L_z, \tau \geq 0.$$

У граничних умовах теплопровідність матеріалів позначається: λ_1 – теплопровідність повітря; λ_2 – теплопровідність цегли.

Моделюваний об'єкт складається з двох середовищ (параметри задані в системі СИ): повітря ($\lambda_1 = 0,23, \rho_1 = 12, c_1 = 1005$), цегла ($\lambda_2 = 5, \rho_2 = 1600, c_2 = 6009,61$).

Коефіцієнти температуропровідності $\alpha \left(\frac{\text{м}^2}{\text{с}} \right)$ визначаються по формулі:

$$\alpha = \frac{\lambda}{c \cdot \rho},$$

де $\rho \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \right)$ – щільність;

$\lambda \left(\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{град}} \right)$ – теплопровідність матеріалу;

$c \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}} \right)$ – коефіцієнт теплоємності.

Підставляючи значення в формули отримаємо:

$$\alpha_1 = \frac{\lambda_1}{\rho_1 \cdot c_1} = \frac{0.23}{12 \cdot 1005} = 1,907 \cdot 10^{-5},$$

$$\alpha_2 = \frac{\lambda_2}{\rho_2 \cdot c_2} = \frac{5}{1600 \cdot 6009.61} = 5,2 \cdot 10^{-7}.$$

Отримані системи рівнянь, з урахуванням заданих граничних умов, вирішуватимемо з використанням обчислювальної техніки, для цього перетворюємо на дискретний вигляд.

2.3 Дискретна модель об'єкта управління

Для проведення експерименту необхідно привести математичну модель до дискретного вигляду для її реалізації. Замінімо координати (x, y, z) їх дискретними аналогами (i, j, k) , а поточний час (τ) на його дискретний аналог ∂t_i , що змінюється $0 < \partial t_i < \text{time}$. Дискретну модель приміщення 2 представлено рисунку 2.3.

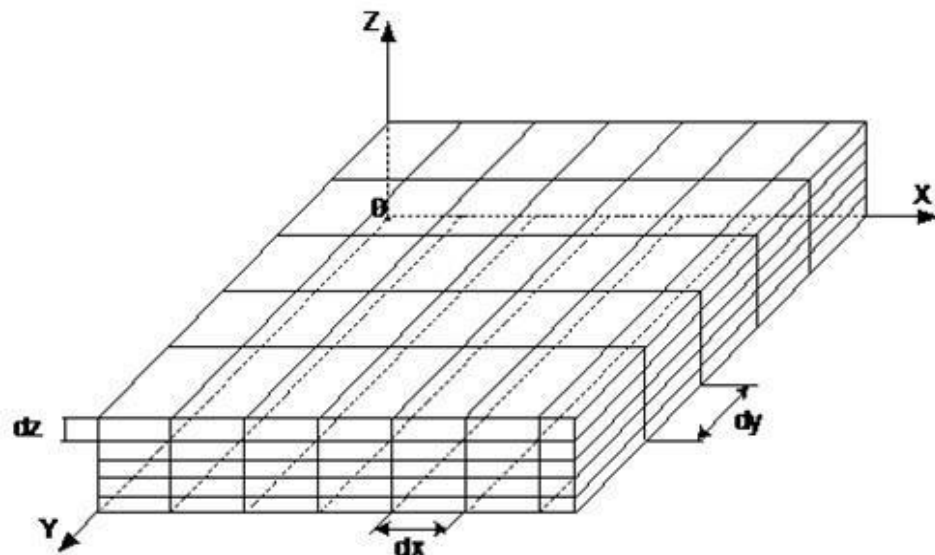


Рисунок 2.3 – Дискретна модель об'єкту

Крок дискретизації по осях (x, y, z) для приміщення вирахуємо за формулами:

$$\partial x = \frac{L_x}{10} = \frac{4}{10} = 0,4 \text{ м},$$

$$\partial y = \frac{L_y}{30} = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ м},$$

$$\partial z = \frac{L_z}{30} = \frac{3}{30} = 0,1 \text{ м}.$$

Крок дискретизації за часом: $\partial t_i = 1$.

Рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial^2 T_{(i,j,k)}}{\partial x^2} = \frac{T_{(i-1,j,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i+1,j,k)}}{\partial x^2},$$

$$\frac{\partial^2 T_{(i,j,k)}}{\partial y^2} = \frac{T_{(i,j-1,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j+1,k)}}{\partial y^2},$$

$$\frac{\partial^2 T_{(i,j,k)}}{\partial z^2} = \frac{T_{(i,j,k-1)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j,k+1)}}{\partial z^2}.$$

Підставимо дані вирази для приміщення в рівняння (2.1) і (2.2) попередньо перетворивши ліву частину рівняння.

$$\partial T_{(i,j,k)} = \alpha_1 \cdot \partial t_i \cdot \left(\frac{T_{(i-1,j,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i+1,j,k)}}{\partial x^2} + \frac{T_{(i,j-1,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j+1,k)}}{\partial y^2} + \frac{T_{(i,j,k-1)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j,k+1)}}{\partial z^2} \right),$$

$$0 < i < L_x, 0 < j < L_y, 0 < k < L_z, t \geq 0,$$

$$\partial T_{2(i,j,k)} = \alpha_2 \cdot \partial t_i \cdot \left(\frac{T_{(i-1,j,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i+1,j,k)}}{\partial x^2} + \frac{T_{(i,j-1,k)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j+1,k)}}{\partial y^2} + \frac{T_{(i,j,k-1)} - 2 \cdot T_{(i,j,k)} + T_{(i,j,k+1)}}{\partial z^2} \right),$$

$$0 < i < L_x, 0 < j < L_{y2}, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

Початкові та граничні умови в дискретному вигляді для приміщення 2 представлені нижче:

$$T_{(i,j,k)} = 0, 0 < i < L_x, 0 < j < L_y, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

$$S_1 \rightarrow T_2; T_{(i,j,k)} = T_{(i-1,j,k)}, i = L_x, 0 < j < L_y, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

$$S_2 \rightarrow T_2; T_{(i,j,k)} = T_2, 0 < i < L_x, j = L_y, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

$$S_3 \rightarrow T_2; T_{(i,j,k)} = T_{(i+1,j,k)}, i = 0, 0 < j < L_y, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

$$S_4 \rightarrow 1; T_{(i,j,k)} = T_{(i,j+1,k)}, 0 < i < L_x, j = 0, 0 < k < L_z, t \geq 0.$$

$$S_5 \rightarrow 1; T_{(i,j,k)} = T_{(i,j,k-1)}, 0 < i < L_x, 0 < j < L_y, k = L_z, t \geq 0.$$

$$S_6 \rightarrow 1; T_{(i,j,k)} = T_{(i,j,k+1)}, 0 < i < L_x, 0 < j < L_y, k = 0, t \geq 0.$$

$$S_7 \text{ ГРС} \rightarrow T_1 = -T_2; T_{(i,j,k)} = \frac{\lambda_1 \cdot T_{(i,j+1,k)} + \lambda_2 \cdot T_{(i,j-1,k)}}{\lambda_1 + \lambda_2}, 0 < i < L_x, j = 0,$$

$$0 < k < L_z, t \geq 0.$$

На рисунку 2.4 показаний графік перехідного процесу розімкнутої системи для приміщення 2.

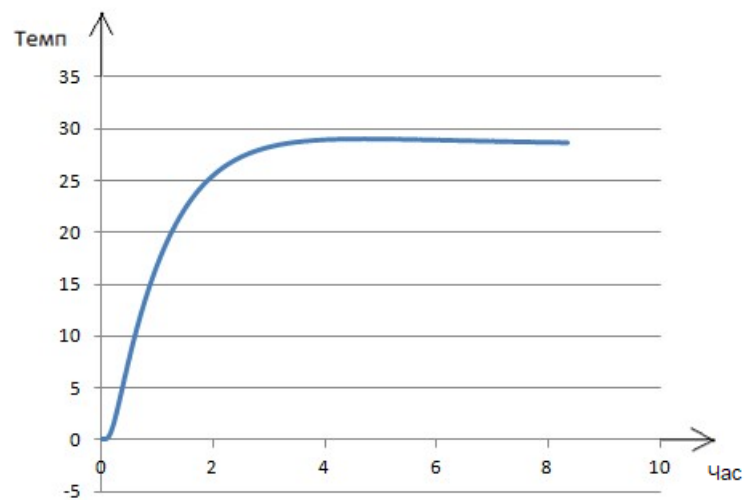


Рисунок 2.4 – Графік перехідного процесу приміщення 2

За результатами моделювання видно, що перехідний процес приходить до усталеного режиму.

2.4 Синтез системи управління

Переходячи до процедури синтезу регулятора, необхідно звернути увагу на формулювання вимог, яким повинен відповідати синтезований регулятор. Для системи управління використовуватимемо пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) регулятор.

ПІД регулятор, вбудований в керуючий контур, з обов'язковим зворотним зв'язком. Він призначений для підтримки встановлених рівнів величин, наприклад, температури повітря. Робота ПІД-регулятора полягає в подачі вихідного сигналу про величину потужності, необхідну для підтримки регульованого параметра на заданому рівні. Для обчислення показника використовують складну математичну формулу, у складі якої є 3 коефіцієнти – пропорційний, інтегральний, диференціальний.

Промодельовавши приміщення 2, отримали перехідний процес (рис. 2.5). Для синтезу ПІД регулятора необхідно розрахувати необхідні коефіцієнти.

З перехідного процесу, вираховували коефіцієнти: $\tau_{\text{зап}} = 750$; $T_{\text{раз}} = 4250$; $T_{\text{ст}} = 28$.

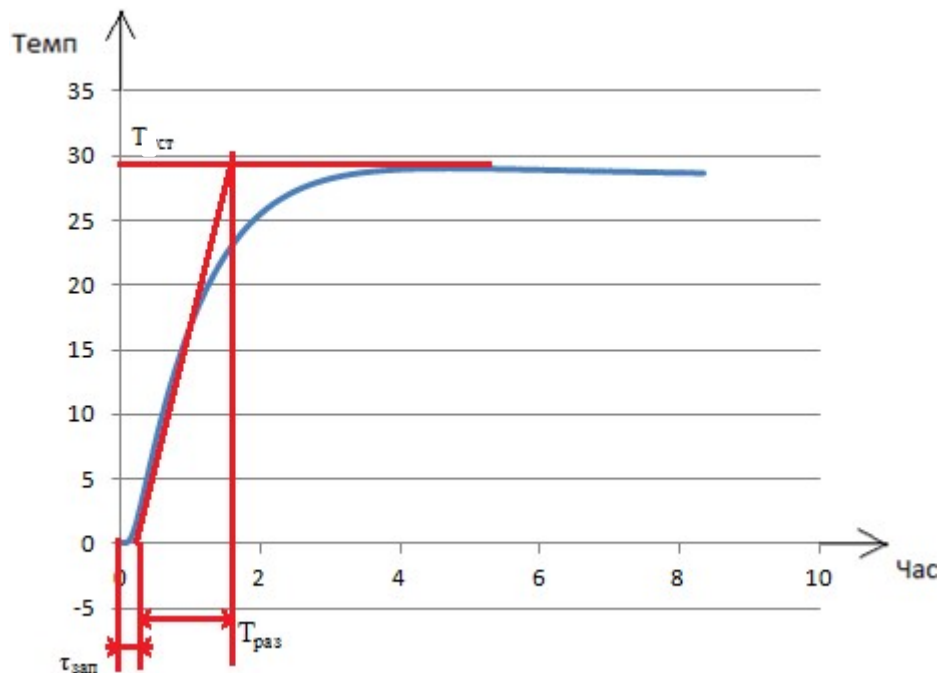


Рисунок 2.5 – Графік перехідного процесу приміщення 2

Для синтезу ПД регулятора необхідно побудувати ЛАЧХ і ЛФЧХ, зображені на рисунку 2.6.

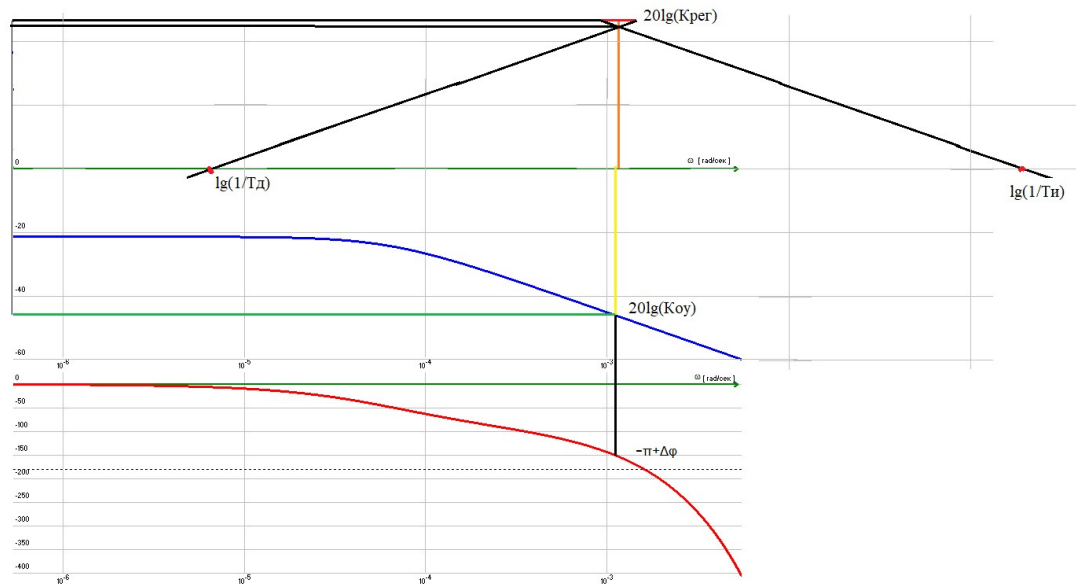


Рисунок 2.6 – ЛАЧХ/ЛФЧХ

Визначимо коефіцієнт посилення: $K_{п} = 0,093$.

Обчислимо коефіцієнт регулювання: $K_{рег} = 62,7$.

Обчислимо коефіцієнт інтегрування: $T_i = 436,68$.

Обчислимо коефіцієнт диференціювання: $T_d = 90$.

Формула ПД-регулятора для системи управління має вигляд:

$$PID = K_a \cdot x + \frac{1}{T_i} \cdot c + \left(T_d \cdot \left(\frac{x - x_1}{dt_i} \right) \right),$$

де K_a – постійне регулювання;

$\frac{1}{T_i}$ – коефіцієнт інтегрування;

T_d – стала диференціювання;

x, x_1, c – додаткові змінні для перерахунку;

dt_i – крок по циклу часу.

Підставивши отримані коефіцієнти ПД-регулятора у програму та повторно промодельовавши, отримали перехідний процес, зображений на рисунку 2.7.

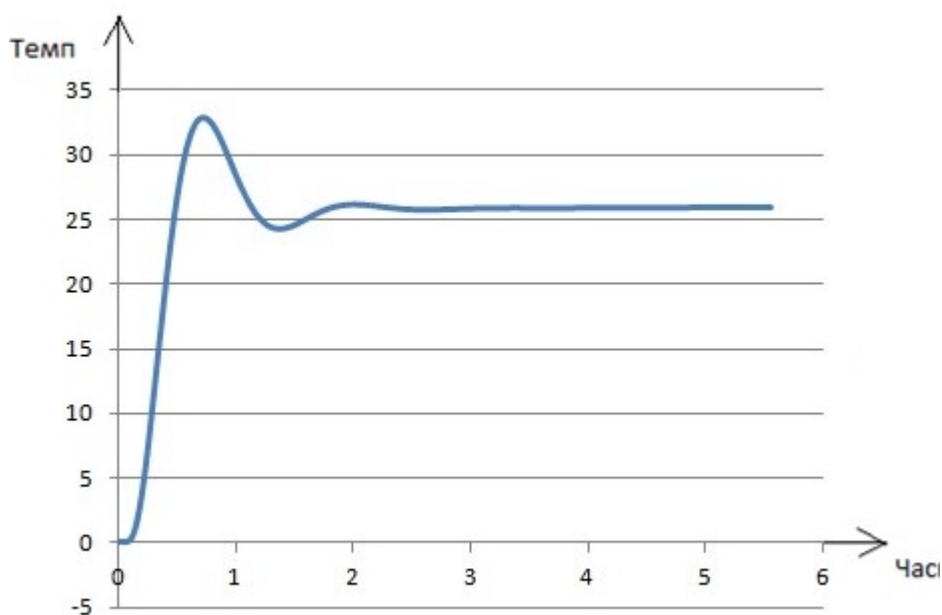


Рисунок 2.7 – Графік перехідного процесу приміщення 2 (ПД-регулятор)

Область застосування розподілених регуляторів прямої дії може бути досить широкою. Ці регулятори керують «живим» перетином каналу поточної рідини і використовуються в системах підведення (відведення) теплової енергії.

Залежно від інтенсивності теплового потоку теплоносій кожної секції нагрівається (охолоджується), а отже, регулятор (біметалічна пластинка), поміщений в потік теплоносія, збільшує (зменшує) живий переріз каналів, здійснюючи регулювання витрати теплоносія через задану секцію.

2.5 Висновки до розділу

В другому розділі розглянуто теплову модель будівлі для традиційної системи регулювання температури, обрано регулятор для реалізації інтелектуальної системи управління температурним режимом та розраховано його параметри.

3 РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ДЛЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ТЕРМОСТАТУ

3.1 Визначення параметрів збору даних для інтелектуальної системи управління температурою в приміщенні

Для роботи інтелектуальної системи управління температурою в приміщенні необхідно отримувати і обробляти дані, передані з встановлених датчиків.

Необхідно отримувати такі параметри як:

- температура зовнішнього повітря t_n , °C;
- температура повітря в приміщенні t_b , °C;
- температура гарячої води в системі опалення і радіаторі опалення t_p , °C;
- стан термоголівки, встановленої на радіаторі опалення;
- задана статутна температура в приміщенні $t_{вуст}$, °C.

Датчик для вимірювання зовнішньої температури повинен бути встановлений таким чином, щоб він був захищений від вітру, вологи та нагрівання від сонячних променів.

Датчик для вимірювання повітря в приміщенні також необхідно встановлювати у місцях, де відсутні технологічні процеси з виділенням тепла і не поблизу приладів обігріву або охолодження.

Датчик визначення температури радіатора опалення встановлюється безпосередньо на одну з перших секцій радіатора.

3.2 Інструменти для реалізації системи

Для моделювання інтелектуальної системи управління температурою в приміщенні був спроектований тестовий стенд, що складається з такого обладнання як:

- інтегральний датчик температури DS18B20;
- термостат, реалізований на Arduino;
- термоголовка для радіатора опалення з сервоприводом;
- Wi-Fi модуль;
- мережа інтернет.

Інтегральний датчик температури DS18B20 – це цифровий вимірник температури, з дозволом перетворення від 9 до 12 розрядів та функцією контролю температурою з тривожним сигналом (рисунок 3.1). Параметри контролю можуть задаватися користувачем і зберігатися в енергонезалежній пам'яті датчика.

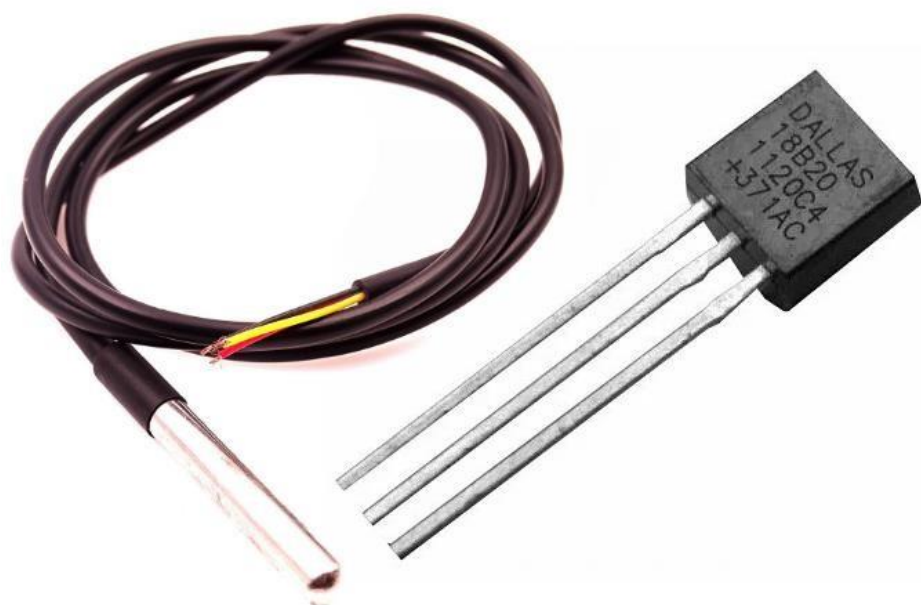


Рисунок 3.1 – Інтегральний датчик температури DS 18B20

DS18B20 обмінюється даними з мікроконтролером по однопровідній лінії зв'язку, використовуючи протокол інтерфейсу 1-Wire.

Діапазон вимірювання температури складає від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для діапазону від $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ похибка не перевищує $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кожна мікросхема датчика DS18B20 має унікальний серійний код довжиною 64 розрядів, який дозволяє кільком датчикам підключатися на одну загальну лінію зв'язку. Таким чином, через один порт мікроконтролера можна обмінюватися даними з декількома датчиками, розподіленими на значній відстані [27].

На рисунку 3.2 представлена схема підключення датчика.

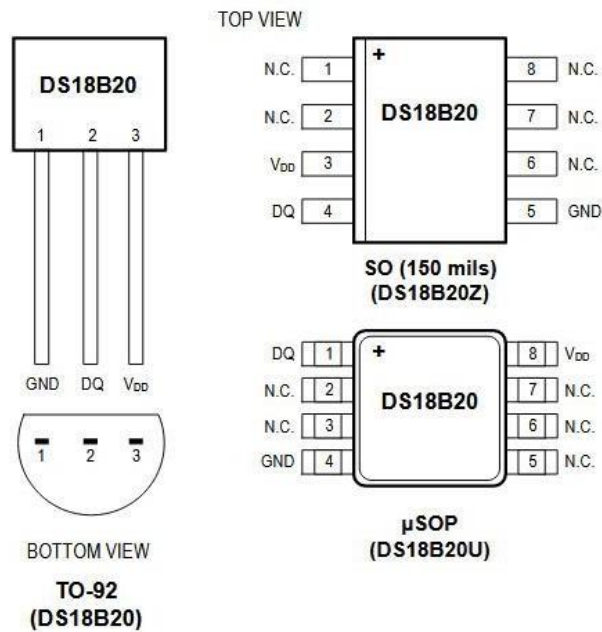


Рисунок 3.2 – Схема підключення датчика DS18B20

Сигнал GND (чорний) – земля. Сигнал DQ (жовтий, білий або синій) є вивідним сигналом даних (вхід вихід), вихід типу відкритий колектор інтерфейсу 1-Wire. Також через сигнал DQ відбувається харчування за рахунок підключеного адаптера. Сигнал V_{DD} (червоний) призначений для висновку зовнішнього живлення. Якщо живлення йде від підключеного обладнання, то даний сигнал повинен бути підключений до землі.

Для моделювання системи використовується термостат, реалізований на платформі Arduino.

Для отримання температури з датчика DS18b20, була використана плата NodeMCU на основі модуля ESP8266 з інтерфейсом передачі даних Wi-Fi.

Плата NodeMCU має наступні технічні параметри:

- одинадцять цифрових входів і виходів;
- один аналоговий вхід з максимальним входним напругою 3,3 В;
- micro USB роз'єм;
- підтримка Arduino IDE;
- flash пам'ять 4 Мб;

- бездротова завантаження програмного коду по інтерфейсу Wi -Fi.
- На рисунку 3.3 представлена плата NodeMCU на основі модуля ESP8266.

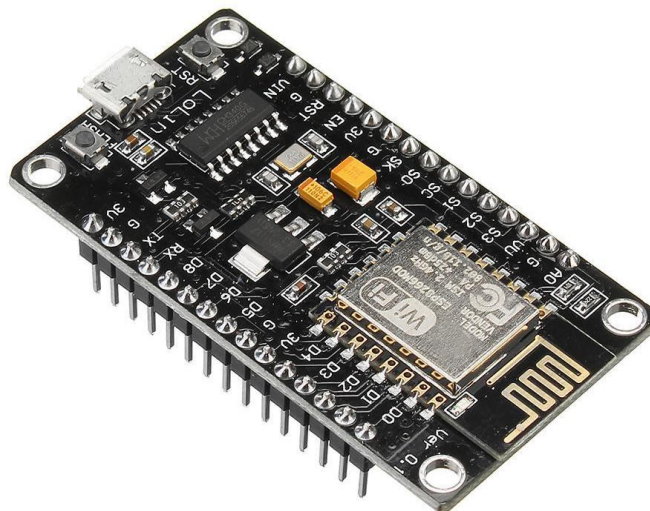


Рисунок 3.3 – NodeMCU на основі модуля ESP8266

Модуль ESP8266 є популярним інструментом для організації бездротового зв'язку в проектах «Інтернету речей». Модуль ESP8266 має наступні параметри:

- напруга живлення 3,3 В;
- сила струму в режимі передачі до 215 мА;
- сила струму під час прийому до 62 мА;
- протокол 802.11 b/g/n;
- режими збереження енергії і сну;
- вбудований мікроконтролер;
- температура функціонування від -40 °С до +125 °С;
- максимальна дистанція зв'язку до 100 м.

Головне перевага модуля ESP8266 в порівняно низькій вартості. Для створення бездротової мережі в межах приміщення використовується чіп ESP8266. З його допомогою організується зв'язок по Wi -Fi, здійснюються збір інформації, дистанційне управління та вихід в інтернет.

Усі дані, що надходять із датчиків, зберігатимуться в реляційній базі даних.

Електротермічний двопозиційний сервопривод застосовується для автоматичного управління радіаторним термостатичним клапаном систем

водяного опалення і охолодження приміщення (рисунок 3.4).

Дія приводу заснованого на розширенні заповнюється сильфон армованого парафіну, при протіканні електричного струму через вбудований нагрівальний елемент по сигналу від кімнатного термостата або контролера.



Рисунок 3.4 – Термоголовка радіатора опалення

Для тестового стенда був обраний електротермічний двопозиційний сервопривод VT.TE3043.

Виходячи з функціональної моделі, була спроектована архітектура проекту, яка представлена на рисунку 3.5.

Пристрій збору і передачі даних (Термостат) підключається до порту датчиків, які встановлені в приміщенні, зовні приміщення на радіаторі опалення. Термостат передає дані на веб-сервер по засобам зв'язку Wi-Fi.

Модуль ESP8266 підключається до даного порту і перетворює імпульси, передані з датчиків, значення температури. Цей модуль оснащений Wi-Fi передавачем, який підключається до маршрутизатору по засобам бездротової мережі.

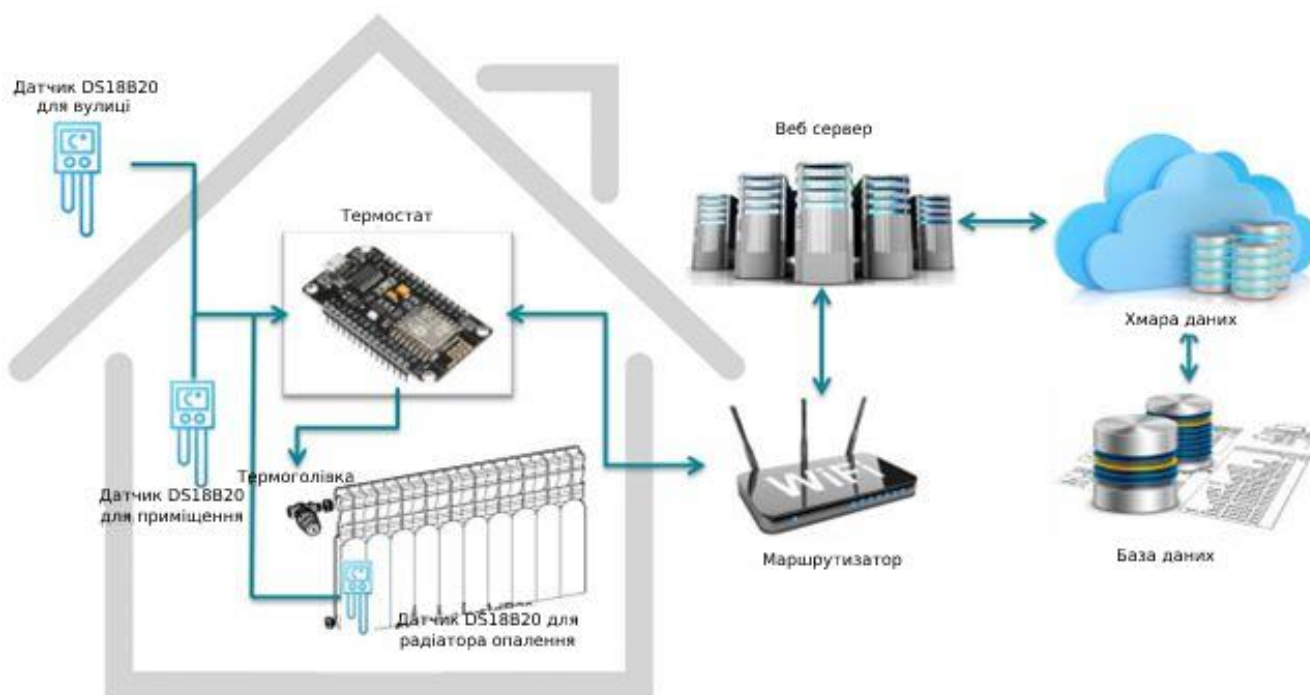


Рисунок 3.5 – Структурна схема проекту

Роутер має доступ до мережі інтернет та перенаправляє дані від модуля ESP8266 на сервер протоколу передачі даних HTTP. При відключенні мережі інтернет, всі дані зберігаються ось вбудованою пам'яті пристрої, до відновлення мережі Інтернет. Після відновлення, всі накопичені дані передаються на сервер.

На сервері розгорнуто веб-додаток, яке приймає дані, обробляє їх, і встановлює відповідність між температурою в приміщенні та статутною температурою, потім по розробленому алгоритму в приміщенні коректується температура повітря до статутної температури в певний момент за заданим часом за сигналу від термостата регулюється стан термостатичної головки для регулювання температури радіатора.

В якості веб-сервера для розгортання сервісу були розглянуті Apache та Nginx. Основна відмінність даних веб-серверів полягає в тому, як обробляються з'єднання. Apache використовує розгалужене багатопотокове рішення, яке підтримує з'єднання для кожного користувача. Nginx використовує неблокуючий цикл подій, який об'єднує з'єднання, працюючи асинхронно через робочі процеси. Таким чином, був обраний веб-сервер Nginx, тому що для обробки кожного нового з'єднання не створюються додаткові процеси, та навіть при високому навантаженні,

CPU та оперативна пам'ять не дуже сильно витрачаються за такого підходу.

Для реалізації бази даних було обрано вільну реляційну систему управління базами даних MySQL.

Для реалізації веб-сервісу було обрано мову програмування Python, так як він має відкритий початковий код та поширюється по PSFL ліцензії.

При розробці серверної частини застосовується фреймворк Flask. Flask – це безкоштовний фреймворк для створення веб-додатків мовою програмування Python, що використовує набір інструментів Werkzeug, а також шаблони Jinja2.

3.3 Реалізації апаратної частини

Для реалізації апаратної частини необхідно наступне:

- плата NodeMCU з вбудованим модулем ESP8266;
- 3 штуки інтегральних датчиків температури DS18B20;
- додаток Arduino IDE.

Необхідно підключити датчик температури до платі наступним чином, як показано на рисунку 3.6.

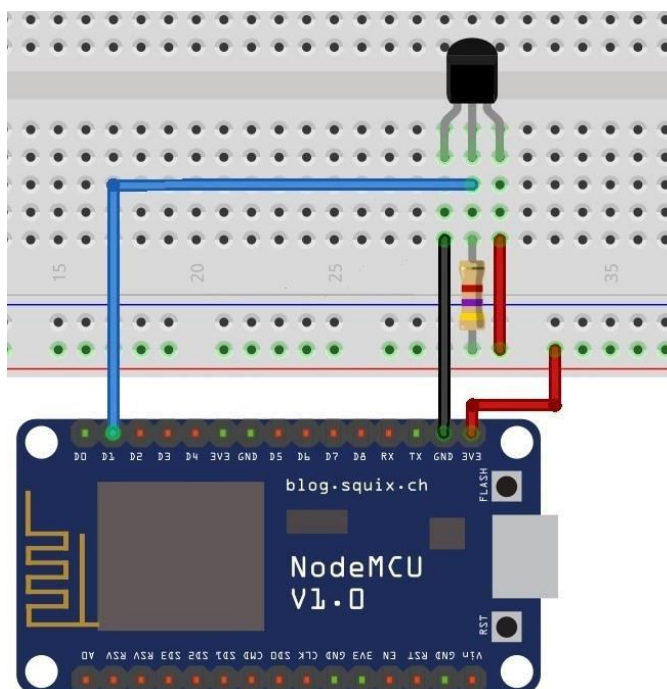


Рисунок 3.6 – Схема підключення датчика температури до плати

Після того, як підключені датчики температури до плати, необхідно налаштувати обладнання. Для цього необхідно завантажити програму Arduino IDE версії 1.8.0 або вище та встановимо його на персональний комп'ютер (рисунок 3.7).

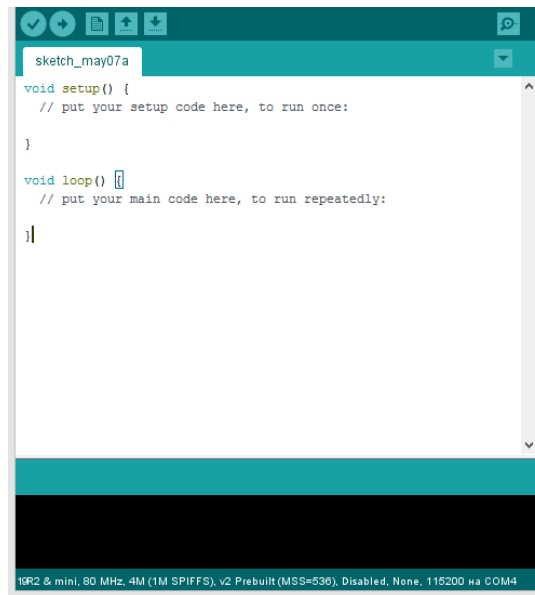


Рисунок 3.7 – Головне вікно програми Arduino IDE

Далі необхідно підключити плату до USB-порту комп'ютера за допомогою micro USB кабелю і скачати драйвер для програми Arduino, потім встановити його (рисунок 3.8).



Рисунок 3.8 – Встановлення драйвера

Після того як встановлено програму та необхідні драйвера, потрібно перейти до розділу «Налаштування». У рядку «Додаткове посилання для Менеджера плат» ввести URL: http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json.

Потім натиснути кнопку поруч із полем введення URL для того, щоб переконатися, що адреса була додана і завершити налаштування, натиснувши кнопку "Ок".

Далі необхідно перейти в вкладку «Інструменти» і вибрати «Менеджер плат».

У вікні «Менеджер плат» вибрати модуль ESP 8266, встановити його, і після того як завантажилися всі необхідні модулі натиснути кнопку "Закрити".

Для зміни температури від початкової до заданої, необхідно реалізувати ПІД-регулятор. ПІД регулятор приймає на вхід дві величини вхідний сигнал «input» і встановлення «setpoint» для регулювання вихідного сигналу. Управління регулятора встановлюється при допомоги коефіцієнтів K_p , K_i і K_d .

Лістинг ПІД регулятора:

```
#include <PID_v1.h>
# define PIN_INPUT 0
# define PIN_OUTPUT 3

PID myPID ( &Input, &Output, &Setpoint, Kp , Ki, Kd , DIRECT);
void setup()
{
  Input = analogRead ( PIN_INPUT);
  Setpoint = 22;
  myPID.SetMode (AUTOMATIC);
}
void loop( )
{
  Input = analogRead ( PIN_INPUT);
  myPID.Compute ();
  analogWrite (PIN_OUTPUT, Output);
}
```

Для підключення плати до мережі інтернет була реалізована функція пошуку

точки доступу Wi-Fi.

Для роботи з датчиками температури необхідна бібліотека «OneWire» і «DallasTemperature», для роботи з декількома датчиками одразу.

Для початку необхідно дізнатися адресу датчика на шині, та чи підключений датчик коректно.

Лістинг ініціалізації адреси датчика:

```
if ( ! ds .search ( addr )) {
  Serial.println ("No more addresses.");
  Serial.println ();
  ds.reset _search ();
  delay(250);
  return;}
```

Функція «ds.search(addr)» відповідає за індексування датчика. Якщо пристрій знайдено, то в масив « addr » буде додана адреса датчика.

Потім датчику відправляється команда для зчитування температури і відправки її в регістр.

Лістинг зчитування температури з датчика:

```
ds.reset ();
ds.select ( addr );
ds.write (0x44, 1);
```

Далі відправляється команда на читання даних з регістру і зчитування відповіді в масив по циклу.

Лістинг зчитування даних з регістру:

```
present = ds.reset ();
ds.select ( addr );
ds.write (0xBE);
Serial.print (" Data = ");
Serial.print (present, HEX);
Serial.print (" ");
```

```

for ( i = 0; i < 9; i ++ ) {
    data[ i ] = ds.read ();
    Serial.print (data[ i ], HEX);
    Serial.print ( " ");
}

```

3.4 Реалізація програмної частини

Для реалізації програмної частини було спроектовано та реалізована база даних.

Виділимо основну сутність необхідну для подальшого проектування структури бази даних: термостат (містить дані з датчиків, а також поточну дату та час значень).

На основі цієї сутності спроектуємо таблицю бази даних «thermostat» з наступними полями (рисунок 3.9):

- id (int) – ідентифікатор пристрою;
- temp_out (double) – температура зовнішнього повітря;
- temp_in (double) – температура в приміщенні;
- temp_radiator (double) – температура радіатора опалення;
- position_thermal (double) – становище термоголівки;
- date (datetime) – поточна дата показань.


<input type="checkbox"/>	1	id 	int(11)	UNSIGNED	Нет	Нет
<input type="checkbox"/>	2	temp_out	double		Нет	Нет
<input type="checkbox"/>	3	temp_in	double		Нет	Нет
<input type="checkbox"/>	4	temp_radiator	double		Нет	Нет
<input type="checkbox"/>	5	position_thermal	double		Нет	Нет
<input type="checkbox"/>	6	date	datetime		Нет	Нет

Рисунок 3.9 – Таблиця «thermostat» бази даних

В апаратній частині було реалізовано ПД регулятор, який контролює температуру в приміщенні на вказане значення.

ПД-регулятор роками показує, що він вирішує задачу підтримки необхідної температури, але хотілося б досягти оптимуму в приміщенні. Для цього була поставлена задача підтримки оптимальної температури в приміщенні за розкладом.

Для побудови алгоритму необхідно визначати час нагрівання повітря в приміщенні від якоїсь початкової температури до заданої температури дозadanого моменту часу. Також необхідно розраховувати час нагріву від початкової температури до необхідної.

Для вирішення завдання було реалізовано нейронна мережа, яка дозволяє обчислювати час нагріву в приміщенні від початкової температури до необхідної температури до певного моменту часу.

Алгоритм для управління температурним режимом в приміщенні був збудований на базі двох нейронних мереж: багатошаровий персептрон (MLP) і рекурентної нейронної мережі з довгою короткостроковою пам'яттю (LSTM).

Для отримання даних з сервера була реалізована функція «get_data» представлена в Додатку А. В функції визначаються дані, передані датчиків в базу даних.

Для вирішення поставленого завдання було реалізовано тестову нейронну мережу виду MLP.

Лістинг тестової нейронної мережі виду MLP:

```
def create_my_mlp ( load _ = True, num=0):
    if load:
        json_file = open( './ models/ model.json ', 'r')
        loaded_model_json = json_file.read ()
        json_file.close ()
        model = model_from_json ( loaded_model_json )
        model.load _weights ( './models/model.h5')
        print("Loaded model from disk")
    else:
        model = Sequential( )
```

```

model.add ( Dense(256, input_shape = (num,)))
model.add ( BatchNormalization ())
model.add ( LeakyReLU ())
model.add ( Dense(1))
model.summary ()
return model

```

Мережа складається з 256 повно зв'язкових нейронів, на виході з яких застосовується пакетна нормалізація даних «BatchNormalization» і функція активації «LeakyReLU». Далі оскільки необхідно отримати одне єдине значення час нагріву або охолодження на виході нейронної мережі використовується один нейрон, який дає значення.

Точність прогнозу для нейронної мережі обчислюється пропорційно середньої абсолютної помилки по формулі (3.1). Точність прогнозу в відсотках дорівнює $100\% - MAPE$

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \frac{|Z(t) - \hat{Z}(t)|}{Z(t)} \cdot 100\% , \quad (3.1)$$

де $Z(t)$ – фактичне значення часового ряду;

$\hat{Z}(t)$ – прогнозне значення часового ряду.

Дана нейронна мережа за даними дослідженнями показала точність всього 50%, тому було прийнято рішення модифікувати нейронну мережу.

Для цього була реалізована нейронна мережа MLP з нормалізацією (регуляризацією) і поділом мережі на два шари по 64 і 16 повно зв'язкових нейронів.

Лістинг тестової нейронної мережі виду MLP з нормалізацією:

```

def create_best_mlp ( load = True, num=0):
    if load:
        json_file = open( './ models/ best_mlp.json ', 'r')
        loaded_model_json = json_file.read ()
        json_file.close ()

```

```

model = model_from_json ( loaded_model_json )
model.load_weights ( "./models/best_mlp.h5" ) print("Loaded model from disk")
    else:
model = Sequential( )
model.add (Dense(64,input_shape=(num,),
activity_regularizer =regularizers.l2(0.01)))
model.add ( BatchNormalization ( ))
model.add ( LeakyReLU ( ))
model.add ( Dense(16, activity_regularizer =regularizers.l2(0.01)))
model.add ( BatchNormalization ( ))
model.add ( LeakyReLU ( ))
    model.add (Dense(1))
model.add (Activation('linear'))
model.summary ( )
return model

```

В нейронну мережу доданий процес регуляризації «regularizers» для обмеження ваг нейронної мережі, щоб не було великого розкиду в значеннях для виключення ефекту перенавчання.

Дана нейронна мережа за результатами дослідження показала точність вихідних даних 65%.

Для порівняння кількох моделей алгоритму була реалізована тестова функція нейронної мережі виду LSTM.

Лістинг тестова нейрона мережа виду LSTM:

```

def create_my_lstm ( load = False, num=0, prop=1):
    if load:
        json_file = open( './ models/ model.json ', 'r'
        )loaded_model_json = json_file.read ( )
        json_file.close ( )
        model = model_from_json ( loaded_model_json )
model.load_weights ( "./models/model.h5" )
        print("Loaded model from disk")
    else:
        model = Sequential( )

```

```

model.add (LSTM(6,input_shape =( num,prop ,return_sequences = False))
model.add (Dense(24))
##model.add(Activation('relu'))

model.summary ()
return model

```

Модель "Sequential" представляє собою лінійний стек шарів .Наступні шари додаються з допомогою методу «.add()» з опцією «return_sequence = False», по якій утворюється одиничний вихідний вектор.

Функції візуалізації і навчання нейронній мережі представлені в Додатку А.

На рисунку 3.10 представлений приклад роботи нейронної мережі LSTM, на якому видно середньоквадратичну помилку «val_loss», яка початково висока, проте з кожною епохою навчання нейронної мережі вона зменшується.

```

Train on 427 samples, validate on 107 samples
Epoch 1/30
427/427 [=====] - 3s 7ms/step - loss: 200.7186 - val_loss: 243.7071
Epoch 2/30
427/427 [=====] - 0s 89us/step - loss: 130.2738 - val_loss: 172.7188
Epoch 3/30
427/427 [=====] - 0s 97us/step - loss: 86.9109 - val_loss: 123.9527
Epoch 4/30
427/427 [=====] - 0s 97us/step - loss: 58.5707 - val_loss: 91.3879
Epoch 5/30
427/427 [=====] - 0s 98us/step - loss: 41.0577 - val_loss: 68.7715
Epoch 6/30
427/427 [=====] - 0s 97us/step - loss: 30.9307 - val_loss: 53.7192
Epoch 7/30
427/427 [=====] - 0s 98us/step - loss: 25.0882 - val_loss: 44.5493
Epoch 8/30
427/427 [=====] - 0s 97us/step - loss: 22.1689 - val_loss: 38.9246
Epoch 9/30
427/427 [=====] - 0s 98us/step - loss: 20.8058 - val_loss: 35.9207
Epoch 10/30
427/427 [=====] - 0s 99us/step - loss: 20.3621 - val_loss: 34.2123
Epoch 11/30
427/427 [=====] - 0s 101us/step - loss: 20.1909 - val_loss: 33.4018
Epoch 12/30
427/427 [=====] - 0s 94us/step - loss: 20.1781 - val_loss: 32.6290
Epoch 13/30
427/427 [=====] - 0s 98us/step - loss: 20.1422 - val_loss: 32.8353
Epoch 14/30
427/427 [=====] - 0s 91us/step - loss: 20.1181 - val_loss: 32.6664
Epoch 15/30
427/427 [=====] - 0s 98us/step - loss: 20.0899 - val loss: 33.2220

```

Рисунок 3.10 – Приклад роботи нейронної мережі LSTM

На рисунках 3.11-3.13 представлені співвідношення реальних даних та передбачених нами нейронний мережею в архітектурі LSTM. На графіку по

горизонталі вказані дані передбачення часу в нормальній формі в діапазоні від $-0,15$ до $0,15$, по вертикалі вказані часові періоди вимірювання.

На рисунку 3.11 представлена перша епоха з гіперпараметрами, підібраними випадковим чином.

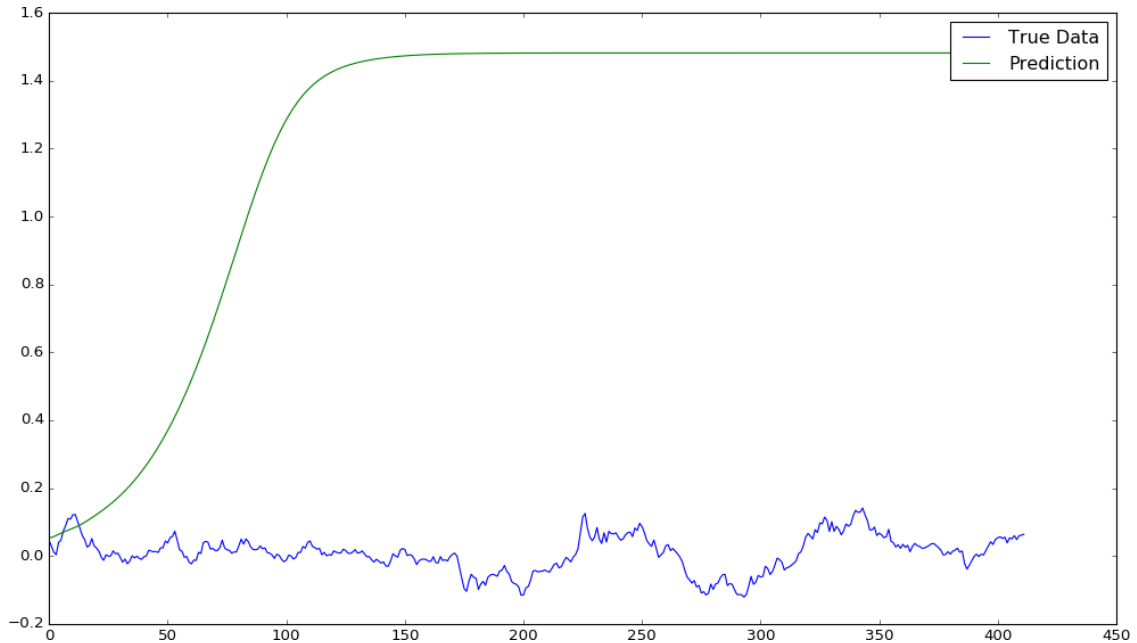


Рисунок 3.11 – Перша спроба навчання

На рисунку 3.12 представлена 100 епоха навчання з гіперпараметрами підібраними випадковим чином.



Рисунок 3.12 – Друга спроба навчання

На рисунку 3.13 представлена 500 епоха з гіперпараметрами підібраними експериментальним шляхом.

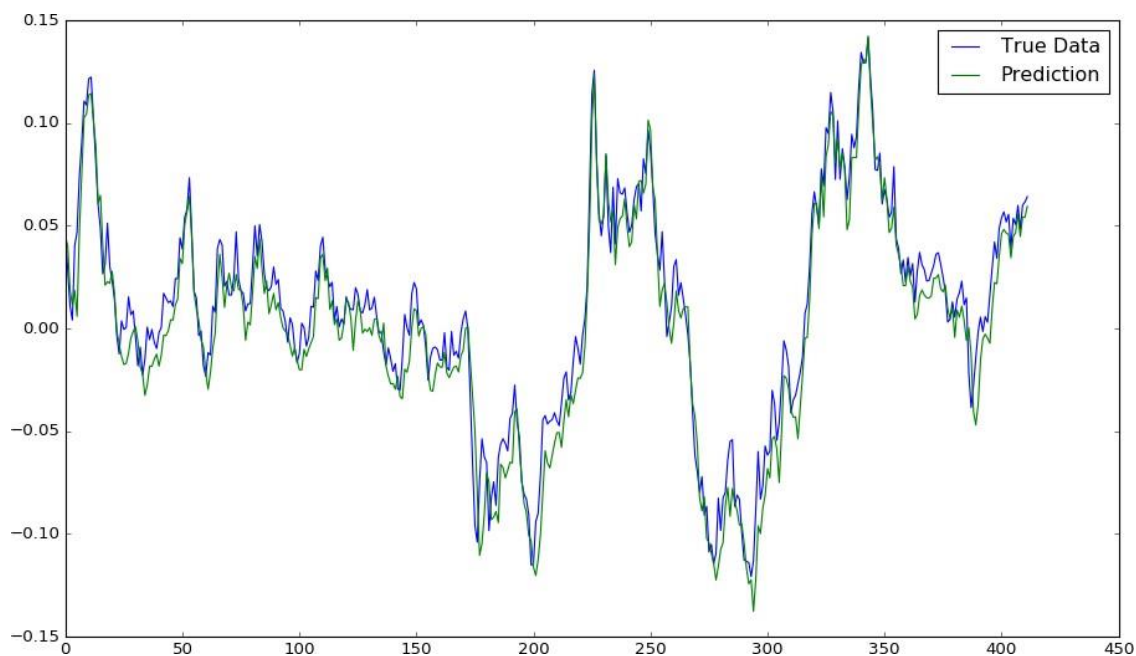


Рисунок 3.13 – Третя спроба

Дана нейронна мережа за результатами дослідження показала найкращий результат, точність передбачення по експериментальним даними склала 78%.

З розглянутих раніше нейронних мереж найкращий результат показала рекурентна нейронна мережа з довгою короткостроковою пам'яттю. Однак у роботі також було розглянуто алгоритм на основі аналітичного рішення рівняння теплопровідності, який показав схожий результат обчислення по експериментальним даними 75%.

Для інтелектуальної системи управління температурою в приміщенні може бути використаний, як алгоритм на основі аналітичного рішення рівняння теплопровідності, так і алгоритм, заснований на базі нейронної мережі. Алгоритм, заснований на аналітичному рішенні, може бути надійним у постійній підтримці параметрів, однак нейронна мережа з кожною наступною епохою навчання може дати результати з більш високим відсотком передбачення або ж перейти в стадію перенавчання.

Для однозначного вибору алгоритму необхідний тривалий термін для експериментів. Також бажано розглянути температурні режими в приміщеннях інших будівель.

3.5 Безпека життєдіяльності та охорона праці

Забезпечення охорони праці на робочому місці має найвищий пріоритет для забезпечення благополуччя та безпеки працівників. Ефективні заходи з охорони праці не лише забезпечують захист фізичного та психічного здоров'я працівників, але й сприяють загальній продуктивності та задоволенню роботою. Відповідальність за створення безпечного та здорового робочого середовища лежить на роботодавцях, які повинні впроваджувати відповідні протоколи безпеки, забезпечувати необхідне навчання, регулярно моніторити та усувати потенційні небезпеки.

В Україні діє закон про охорону праці [28], який гарантує захист прав працівників та їх безпеку. У цьому законі містяться докладні вказівки щодо безпеки на робочому місці, запобігання небезпеці та забезпечення благополуччя працівників. Ці закони встановлюють правові рамки, в межах яких роботодавці зобов'язані діяти, вимагаючи від них дотримання певних стандартів для забезпечення фізичного та психічного благополуччя своїх працівників.

Сповіднення та оновлення програми повинні бути доставлені працівникам у реальному часі для забезпечення їх безпеки та ефективної роботи. Дотримання такої принципової вимоги сприяє своєчасному повідомленню про можливі небезпеки, оновленнях безпекових протоколів та інших важливих інформаційних матеріалів.

При роботі з комп'ютером та безпроводними сенсорними пристроями також необхідно вживати заходів безпеки. Деякі з них включають:

- користування ергономічною робочою станцією: регулювання стільця, монітора, клавіатури та миші для забезпечення комфортної позиції тіла, попередження напруги м'язів та уникнення травм;

- регулярні перерви: рекомендується робити короткі перерви для зняття напруги з м'язів, особливо шиї, спини та очей;
- користування антибліковими фільтрами: встановлення спеціальних фільтрів на монітори, які зменшують вплив шкідливого синього світла на очі;
- правильне освітлення: забезпечення достатнього освітлення робочого простору, уникнення бліку на екрані монітора та запобігання напруженням очей;
- застосування захисних екранів та фільтрів конфіденційності: для забезпечення конфіденційності та захисту від несанкціонованого доступу до конфіденційної інформації;
- регулярне очищення робочого простору: підтримання чистоти та порядку на робочому столі, усунення перешкод та небезпек, які можуть спричинити травми або пошкодження обладнання;
- забезпечення безпеки мережі та даних: використання надійних паролів, шифрування даних та встановлення антивірусного програмного забезпечення для захисту від потенційних загроз безпеки.

Загалом, забезпечення охорони праці на робочому місці, включаючи роботу з комп'ютером та безпроводними сенсорними пристроями, вимагає впровадження відповідних заходів безпеки та дотримання встановлених протоколів. Регулярне навчання працівників щодо безпеки та своєчасний моніторинг є важливими аспектами для забезпечення їхнього благополуччя та ефективної праці.

3.6 Висновки до розділу

У третьому розділі описано реалізацію алгоритму для предикції температури на базі нейронних мереж. А також представлено опис реалізації апаратної та програмної частини інтелектуальної системи. Також було розглянуто питання охорони праці, включаючи організацію безпечного робочого середовища.

ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи проведено аналіз предметної області, побудовано ієрархічну структуру роботи, розглянуто фактори, що визначають кліматичні умови в складському приміщенні і методику розрахунку тепловтрат. Проведено дослідження сучасних засобів регулювання температури в приміщенні та розглянуті алгоритми для управління температурним режимом в приміщенні, засновані на математичному аналізі і на базі нечіткої логіки.

Крім цього була побудована архітектура проекту і визначено інструменти реалізації.

Для інтелектуальної системи керування температурним режимом в складському приміщенні був розроблений алгоритм на базі двох нейронних мереж. А також була реалізована апаратна і програмна частини інтелектуальної системи.

Апаратна частина була реалізована за допомогою плати NodeMCU з вбудованим модулем ESP8266, та підключених до неї інтегральних датчиків температури DS18B20. Пристрій програмувалося в середовищі Arduino IDE.

Програмна частина була реалізована у вигляді веб-сервісу та підключеної до ній бази даних. Веб-сервіс був реалізований при використанні фреймворку «Flask». База даних була реалізована серед MySQL. Як веб-сервер для розгортання веб-сервісу обраний Nginx.

Таким чином, ціль роботи, а саме розробка інтелектуальної системи керування температурою в складському приміщенні – було досягнуто, поставлені задачі – виконано.

Результати роботи можуть застосовуватися в промислових приміщеннях з встановленими приладами опалення, кондиціонування і вентиляції для підтримки оптимальних умов мікроклімату при мінімальних енергетичних витратах.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки. структура та правила оформлення. Введ. 2015-06-22. К. Держстандарт України, 2017. 29 с.
2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійних програм: «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. Харків: ХНУРЕ, 2023. 49 с.
3. Положення про академічну доброчесність [Електронний ресурс]: Наказ ХНУРЕ від 02 лютого 2021 р. No 50. – Режим доступу: https://nure.ua/wp-content/uploads/Main_Docs_NURE/polozhennja-pro-akademi-chnu-dobrochesnist.pdf.
4. Безугла Л.С., Юрченко Н.І., Ільченко Т.В., Пальчик І.М., Воловик Д.В. Логістика: навч. посіб. Дніпро: Пороги, 2021. 252 с.
5. Невлюдов І.Ш. Виробничі процеси та обладнання об'єктів автоматизації: підручн. Кривий Ріг: Криворізький коледж НАУ, 2017 р. 444 с.
6. Особливості автоматизації фармацевтичного складу [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://kapelou.com/blog/statti/sklad>.
7. Пристрій та принцип роботи терморегулятора [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tproekt.com/ustrojstvo-i-princip-raboty>.
8. Нейро-нечітка система контролю температури повітря в приміщенні з використанням Fuzzy controller [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://topuch.ua/kurovaya-rabota-nejro-nechetkaya-sistema-kontrolya-m>.
9. Siemens REA23manual [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10075730>.
10. Honeywell vs. Nest: the battle for the smart thermostat [Електронний ресурс].- Режим доступу: [https:// www.predictingourfuture.com/12-honeywell-vs-nest-the](https://www.predictingourfuture.com/12-honeywell-vs-nest-the)

battle-for-the-smart-thermostat /

11. Nest Learning Thermostat v.3. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://smart-home.market/>.

12. Honeywell vs. Nest [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <https://blog.iridi.com/ua/honeywell-vs-nest-bitva-za-umnyj-termostat/>

13. T9 Smart Thermostat [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://t9.honeywellhome.com/>

14. The best smart thermostats of 2019 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.cnet.com/news/top-smart-thermostats-of-2019-ecobee-smartthermos/>

15. Development of the temperature prediction algorithm for smart thermostat [Електронний ресурс]. - Режим доступу : <http://hdl.handle.net/10995/94223>.

16. Forsythe G E, Malcolm M A and Moler C B 1977 Computer Methods for Mathematical Computations (Prentice Hall Professional Technical Reference).

17. Пристрій та принцип роботи терморегулятора – [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.tproekt.com/ustrojstvo-i-princip-raboty-> (дата останнього звернення 22.10.2024).

18. Нейро-нечітка система контролю температури повітря в приміщенні з використанням Fuzzy controller - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://topuch.ua/kurosova-ya-rabota-nejro-nechetkaya-sistema-kontrolya-m/>(дата останнього звернення 01-10-2024).

19. Siemens REA23manual [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=A6V10075730> (Дата останнього звернення 25- 10-2024).

20. Honeywell vs. Nest: the battle for the smart thermostat - [Електронний ресурс]- Режим доступу: <https://www.predictingourfuture.com/12-honeywell-vs-nest-the-battle-for-the-smart-thermostat/> (дата останнього звернення 12-11-2024)

21. Nest Learning Thermostat v.3 - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <https://smart-home.market/> (дата останнього звернення 01-11-2024)

22. Honeywell vs. Nest - [Електронний ресурс] - Режим доступу:

[https://blog.iridi.com/ua/honeywell -vs-nest- bitva -za- umnyj - termostat /](https://blog.iridi.com/ua/honeywell-vs-nest-bitva-za-umnyj-termostat/) (Дата останнього звернення 17-10-2024).

23. T9 Smart Thermostat – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://t9.honeywellhome.com/>(дата останнього звернення 15-10-2024).

24. The best smart thermostats of 2019 – [Електронний ресурс] – Режим доступу: [https://www.cnet.com/news/top-smart-thermostats-of-2019-ecobee-smartthermos /](https://www.cnet.com/news/top-smart-thermostats-of-2019-ecobee-smartthermos/) (дата останнього звернення 26-10-2024).

25. Development of the temperature prediction algorithm for smart thermostat - [Електронний ресурс] - Режим доступу : <http://hdl.handle.net/10995/94223> (Дата останнього звернення 10-10-2024)

26. Forsythe G. E., Malcolm M. A. and Moler C. B. Computer Methods for Mathematical Computations (Prentice Hall Professional Technical Reference). 1977.

27. DS18B20 - датчик температури з інтерфейсом 1-Wire - [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://mypractic.ua/ds18b20-datchik-temperature-s-interfejsom-1-wire-opisanie-na-russkom-yazyke.html> (Дата останнього звернення 05-12-2024).

28. Про охорону праці [Електронний ресурс]: Закон України від 14.10.1992 р. № 2694-ХІІ: станом на 31 берез. 2023 р. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>.