

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем

Бакалаврська дипломна робота

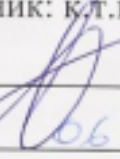
на тему:

**ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ
ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ**

Виконав: студент 4-го курсу, групи KOIC-206
спеціальності 152 – Метрологія та
інформаційно-вимірювальна техніка
за освітньою програмою «Комп'ютеризовані
оптико-інформаційні системи»

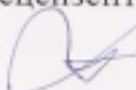
 Фащілін М.М.

Керівник: к.т.н., доц. каф. БМІОЕС

 Кожем'яко А.В.

«17» 06 2024 р.

Рецензент: к.т.н., доц. каф. ОТ

 Тарновський М. Г.

«17» 06 2024 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри  Я.Г. Коваль

«17» 06 2024 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
Галузь знань – 15 – автоматизація та приладобудування
Спеціальність – 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – комп'ютеризовані оптико-інформаційні системи

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІОЕС

 Коваль Л.Г.

«11» 03 2024 року

ЗАВДАННЯ НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Фащіліну Микиті Максимовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Оптико-електронна система контролю показників мікроклімату приміщень

керівник роботи Кожем'яко Андрій Вікторович, к.т.н., доцент
затверджені наказом ВНЗ № 80 від «11» березня 2024 року.

2. Термін подання студентом роботи: 15.06.2024

3. Вихідні дані до роботи:

3.1 Види оптико-електронних компонентів для контролю мікроклімату приміщень

3.2 Оптимізація температурного режиму у виробничих приміщеннях за допомогою багатоконтурних систем управління

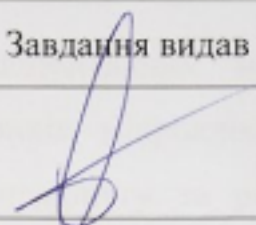
3.3 Перелік основних компонентів оптико-електронної системи.

4. Зміст текстової частини: : Вступ 1. Аналіз характеристик оптико-електронної системи та оптимальні параметри контролю показників мікроклімату приміщень

2. Математична складова оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату приміщень 3. Розробка структурної схеми оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату приміщень Висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): 1. Структурна схема контролю показників мікроклімату приміщення 2. Модельована схема терморегуляції

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина	Кожем'яко А.В., к.т.н., доц, каф. БМІОЕС		

7. Дата видачі завдання «11» березня 2024 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва та зміст етапу	Термін виконання		Примітка
	початок	закінчення	
Вибір, узгодження та затвердження теми БДР	03.03.2024	11.03.2024	виконано
Аналіз літературних джерел. Попередня розробка основних розділів	12.03.2024	29.03.2024	виконано
Аналіз вирішення поставленої задачі на даному етапі	30.03.2024	05.05.2024	виконано
Розробка методу і структури системи	06.05.2022	17.05.2024	виконано
Розробка програмних модулів аналізу та класифікації системи	18.05.2024	24.05.2024	виконано
Експериментальні дослідження системи	24.05.2024	31.05.2024	виконано
Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	01.06.2024	07.06.2024	виконано
Нормоконтроль	05.06.2024	09.06.2024	виконано
Попередній захист БДР, доопрацювання, рецензування БДР	11.06.2024	16.06.2024	виконано
Захист БДР ЕК	19.06.2024	20.06.2024	виконано

Студент

Керівник роботи
(підпис)


(підпис)


М.М. Фацілін

А.В. Кожем'яко

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 65 сторінки формату А4, містить 6 рисунків та 1 таблицю, список використаної літератури містить 20 джерел.

Метою роботи є розширення функціональних можливостей оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату приміщень, що поєднує в собі передові технології моніторингу та регулювання з метою створення неповторних, комфортних та екологічно чистих умов для проживання та роботи.

В роботі було проаналізовано характеристики різних датчиків температури, вологості, освітленості та виявлення руху. Створено структурну схему системи, яка дозволяє зчитувати та обробляти дані з цих датчиків для подальшого автоматичного регулювання мікроклімату. Проведено тестування системи з використанням мікроконтролерів ESP32-S3 та ESP-01 для віддаленого моніторингу та керування. Оцінено ефективність роботи системи в реальних умовах.

Ключові слова: оптико-електронна система, контроль мікроклімату, датчики температури, вологості, освітленості, виявлення руху, мікроконтролери, автоматизація.

ABSTRACT

The bachelor thesis consists of 65 pages of A4 format, contains 6 figures and 1 table, the list of used literature contains 20 sources.

The purpose of the work is to expand the functionality of the optical-electronic system for controlling indoor microclimate indicators, which combines advanced monitoring and regulation technologies with the aim of creating unique, comfortable and ecologically clean conditions for living and working.

The work analyzed the characteristics of various temperature, humidity, illumination and motion detection sensors. A structural diagram of the system was created, which allows reading and processing data from these sensors for further automatic regulation of the microclimate. The system was tested using ESP32-S3 and ESP-01 microcontrollers for remote monitoring and control. The effectiveness of the system in real conditions was evaluated.

Keywords: optical-electronic system, microclimate control, sensors of temperature, humidity, illumination, motion detection, microcontrollers, automation.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ТА ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ	9
1.1 Створення комфортного мікроклімату, основні принципи та фактори	9
1.2 Оптимальні параметри мікроклімату приміщення для людини	12
1.3 Оптимальні параметри мікроклімату приміщення для зберігання стану об'єктів	13
1.4 Види оптико-електронних компонентів для контролю мікроклімату приміщень	14
2 МАТЕМАТИЧНА СКЛАДОВА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ	20
2.1 Оптимізація температурного режиму у виробничих приміщеннях за допомогою багатоконтурних систем управління	20
2.2 Математика та методика оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату приміщень.	22
2.3 Регулювання мікроклімату у приміщеннях.....	34
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ	38
3.1 Ознайомлення з базовими потребами розробки у програмному додатку...	38
3.2 Перелік основних компонентів оптико-електронної системи.....	40
3.3 Створення структурної схеми та результат роботи.....	50
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
Додаток А (Терморегулятор)	58
Додаток Б (Схема електрична функціональна).....	59
Додаток В (Блок-схема алгоритму).....	60
Додаток Г (Програмна складова системи).....	61

ВСТУП

У сучасному світі, де стрімко розвиваються технології та зростає увага до якості життя, створення оптимального мікроклімату у приміщеннях стає не лише проблемою комфорту, а й питанням здоров'я та продуктивності. Комфортні умови перебування, включаючи температуру, вологість, чистоту повітря та інші параметри, відіграють критичну роль у нашому повсякденному житті, впливаючи на наше фізичне та психічне самопочуття. Важливою складовою також є вплив цих факторів на професійно-технічних підприємствах, завдяки кліматичному регулюванню стану приміщення можна досягти сприятливих умов для функціональної експлуатації виробництва.

Одним із ключових аспектів забезпечення комфортного мікроклімату є наявність та ефективне використання систем контролю, що спрямовані на стеження та регулювання параметрів повітряного середовища. У цьому контексті оптико-електронні системи контролю виявляються особливо перспективними, оскільки вони забезпечують точний та неперервний моніторинг показників мікроклімату та можуть автоматично втручатися для підтримки оптимальних умов.

Актуальність цієї теми обумовлена зростаючою потребою в забезпеченні здорових та продуктивних умов праці, та проживання в умовах зростаючої урбанізації та змін клімату. Інноваційні підходи до контролю мікроклімату стають все більш необхідними для збереження енергії та зниження негативного впливу на навколишнє середовище.

Проте, розвиток таких систем та їх впровадження потребують більш глибокого розуміння фізичних процесів, які відбуваються у приміщеннях, а також інноваційних технологій для забезпечення їх ефективності та енергоефективності.

Мета бакалаврської дипломної роботи полягає в розширенні функціональних можливостей системи контролю показників мікроклімату приміщень за рахунок застосування оптико-електронних елементів, що поєднує

в собі передові технології моніторингу та регулювання, що дозволить створити комфортні та екологічно чисті умови для проживання та роботи.

Для досягнення цієї мети необхідно виконати наступні **задачі**:

- охарактеризувати фактори створення комфортного мікроклімату;
- аналізувати систему та визначити оптимальні параметри показників мікроклімату в приміщенні;
- провести математичні розрахунки;
- виконати комп'ютерне моделювання системи.

Новизна роботи полягає у розробці інноваційної оптико-електронної системи, яка об'єднує сучасні методи моніторингу та регулювання параметрів мікроклімату приміщень. Дана система впроваджує новітні технології сенсорів та мікроконтролерів, що дозволяють забезпечити високоточний контроль і автоматичне регулювання показників мікроклімату, таких як температура, вологість, освітленість та наявність руху. Це сприяє створенню комфортних та екологічно чистих умов для проживання та роботи, а також зменшує енергоспоживання та негативний вплив на навколишнє середовище.

Об'єктом дослідження є процес розробки оптико-електронних систем для контролю показників мікроклімату приміщень, що забезпечує моніторинг та регулювання температури, вологості, освітленості та інших параметрів з метою створення комфортних та екологічно чистих умов для проживання і роботи.

Предметом дослідження є методи використання багатоконтурної система управління на основі спеціально підібраних компонентів контролю показників для оптимізації температурного режиму у виробничих приміщеннях.

Використання такої системи в різного типу приміщеннях дозволить забезпечити надійну роботу систем опалення, кондиціонування, освітлення та вентиляції. З її допомогою можна буде запобігти порушенню комфортності та безпеки перебування людей і зниженню темпів їх продуктивності, що також сприятиме екологічній чистоті нашого оточення.

1 АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ТА ОПТИМАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

1.1 Створення комфортного мікроклімату, основні принципи та фактори

Мікроклімат у приміщенні є основним фактором здорового життя та визначається багатьма фізичними аспектами, такими як температура, вологість, концентрація шкідливих речовин, швидкість руху повітря (вітру). Ці чинники визначають, чи відчуває людина «тепловий комфорт», тобто відчуття тепла чи холоду. Комфорт настає тоді, коли організму не потрібен механізм терморегуляції, тобто не виникає тремору та потовиділення, а кровотік може підтримувати постійну швидкість у периферичних органах. Цей стан відповідає термонеutralній зоні. Чотири фізичні фактори певною мірою взаємозамінні щодо почуття комфорту та потреб у терморегуляції. Іншими словами, відчуття холоду, спричинене подачею низькотемпературного повітря, може бути зменшене відповідно до температурного випромінювання теплих стін. Якщо у повітрі відчувається задуха, відповідне відчуття можна полегшити за рахунок зниження температури або вологості повітря. Нарешті, якщо температура випромінювання низька (холодні стіни), потрібне підвищення температури.

Тепловий комфорт визначається як стан, у якому виражається задоволеність температурою навколишнього середовища. Для цього впливають фізичні та фізико-біологічні фактори.

Важко описати загальні умови, які повинні дотримуватись для забезпечення теплового комфорту, оскільки у різних ситуаціях виникають різні умови експлуатації. Навіть для однієї і тієї ж роботи, яку виконують різні люди, можуть знадобитися різні умови. Організм людини постійно виділяє тепло залежно від його фізичної активності.

Наприклад, спокійна спляча доросла людина виділяє в середньому близько 80 Вт, а при великих фізичних навантаженнях - близько 300 Вт. Технічні

нормативи температурного режиму, необхідного для комфорту, застосовуються не для всіх регіонів через різні кліматичні умови та одяг.

Температура та вологість у приміщенні – найважливіші параметри, що визначають стан комфорту.

В останні роки дослідники, екологи та архітектори все більше цікавляться тепловими характеристиками будівель влітку. Цей інтерес в основному спрямований на два основні аспекти: енергоспоживання та тепловий комфорт. Підвищення рівня життя, глобалізація сучасної архітектури, міські острови тепла та глобальна зміна клімату, а також доступність кондиціонування повітря призвели до різкого збільшення попиту на енергію для охолодження. Дослідження показали, що на охолодження та кондиціонування повітря припадає близько 15% загального споживання електроенергії у світі. З іншого боку, тепловий комфорт у сучасних будівлях як з автономним управлінням, так і з кондиціонуванням повітря має тенденцію бути поганим.

Поганий архітектурний дизайн може унеможливити використання пасивного охолодження для забезпечення теплового комфорту влітку, у той час як постійне використання кондиціонерів призводить до створення некомфортних умов через погану якість навколишнього середовища в приміщенні.

Кліматичні особливості можуть суттєво впливати на характеристики забудованого середовища з погляду теплового комфорту та енергоспоживання. Якщо розглядати просторовий масштаб, клімат можна розділити на макромасштаб, мезомасштаб, локальний масштаб та мікромасштаб. Суворого кордону між різними масштабами немає. При міському плануванні та архітектурному проектуванні основна увага приділяється місцевому клімату та мікроклімату.

Біокліматичний дизайн – це підхід, заснований на місцевому кліматі. В результаті цих методів створюються будівлі, які реагують на кліматичні умови навколишнього середовища, здатні їх модифікувати і таким чином сприяють збереженню ресурсів з максимальним комфортом. Проектування штучного

середовища може змінювати клімат у різних масштабах, особливо у масштабі мікроклімату. Отже, при проектуванні біокліматичної будівлі, варто привертати увагу до створення та розташування приладів контролю показників мікроклімату в приміщенні, що забезпечить комфорт та працездатне середовище, дуже важливо спочатку проаналізувати місцевий клімат та мікроклімат, дії якого піддаються до будівлі, та вивчити, як мікроклімат можна змінити та покращити, щоб забезпечити гарні експлуатаційні характеристики будівлі. Розглянемо фактори, що впливають на мікроклімат:

1. Будівельні конструкції та матеріали.

Теплоізоляційні властивості будівельних конструкцій та матеріалів значно впливають на мікроклімат у приміщенні. Використання теплоізоляційних матеріалів дозволяє зменшити втрати тепла взимку та знизити нагрівання влітку. Важливими показниками є коефіцієнти теплопроникності стін, дахів та підлог.

2. Зовнішні кліматичні умови.

Зовнішні кліматичні умови, такі як температура, вологість, швидкість вітру та сонячна радіація, безпосередньо впливають на мікроклімат у приміщенні. Сезонні зміни клімату потребують відповідного регулювання систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

3. Теплові джерела в приміщенні.

Наявність теплових джерел, таких як електроприлади, освітлювальні прилади, люди та тварини, також впливає на мікроклімат. Вони виділяють тепло, яке повинно враховуватися при проектуванні системи мікроклімату для забезпечення комфортних умов.

4. Людський фактор.

Індивідуальні особливості людей, такі як вік, стать, рівень фізичної активності та стан здоров'я, також впливають на сприйняття мікроклімату. Тому важливо враховувати ці фактори при налаштуванні системи мікроклімату для досягнення оптимальних умов для всіх мешканців приміщення.

Таким чином, створення комфортного мікроклімату є комплексним завданням, яке вимагає врахування багатьох факторів та застосування сучасних

технологій. Це забезпечує здорові та продуктивні умови для проживання та роботи, сприяє збереженню енергії та покращує загальну якість життя.

1.2 Оптимальні параметри мікроклімату приміщення для людини

Щоб охарактеризувати мікроклімат в різних типах приміщень, його прийнято ділити на два основних види:

1. Динамічний. Передбачає можливість швидкої зміни параметрів через сторонні чинники.

2. Монотонний. Спостерігається в приміщеннях, де немає факторів, здатних привести до різких змін.

Розглянемо основні чинники впливу мікроклімату на людину:

1. Температура.

В залежності від призначення приміщення і пори року, дані показники можуть змінюватися. Так, в літню пору року необхідно підтримувати показник термометра в межах 23-25 градусів. Він вважається комфортним для нормальної життєдіяльності людини. З приходом холодів тіло починає пристосовуватися до більш низьких температур, тому нормою вважається 20-22 градуси вище нуля.

Коли температура навколишнього середовища знижена, активується хімічна терморегуляція — зростає кількість тепла, яке виробляє організм. Одночасно звужуються шкірні судини. Через це зменшується віддача тепла у навколишнє середовище.

2. Вологість повітря.

Від вологості повітря багато в чому залежить відчуття температури навколишнього середовища. Тому вона теж повинна змінюватися, підлаштовуючись під поточну пору року. Так, влітку допускається показник в 30-60 відсотків, взимку ж нижня планка залишається такою ж, а верхня повинна бути знижена до 45 відсотків.

3. Швидкість повітря.

Для різних підприємств встановлюються власні нормативи, в залежності від того, чи використовуються їх працівниками засоби індивідуального захисту.

Однак при цьому є єдиний стандарт, що стосується швидкості руху повітря. Так, в літню пору року допускається переміщення повітряних мас зі швидкістю не більше 0,25 метрів в секунду, взимку ж даний показник повинен бути знижений до 0,15 метрів в секунду.

4. Вміст CO₂.

Стандарт вмісту вуглекислого газу (CO₂) в приміщенні зазвичай рекомендується на рівні до 1000 parts per million (ppm), щоб забезпечити здорове та комфортне середовище для перебування людей.

Проте, рівень комфорту може варіюватися в залежності від конкретних умов та вимог. Наприклад, у деяких випадках рекомендується стримувати рівень CO₂ нижче, особливо у приміщеннях зі значними кількостями людей або обмеженою вентиляцією.

1.3 Оптимальні параметри мікроклімату приміщення для зберігання стану об'єктів

Основними параметрами мікроклімату в приміщенні є: температура, відносна вологість, світло, повітря та фізичні аспекти. Ці фактори не більше того компоненти того, що називається «мікрокліматом», і з цієї причини, їх баланс є вирішальним для того, щоб гарантувати збереження та охорону творів мистецтва. Встановлено, що багато церков, соборів та загальних місць зберігання різного роду пам'яток тривалий час не опалювалися штучно у минулому, тому зберегли в належному стані свою інтер'єрну мистецьку спадщину майже до початку використання опалення, що глибоко вплинуло на стан їх збереження.

Було опубліковано багато робіт про ефективність систем опалення, встановлених у контексті художніх і архітектурної спадщини, але для прикладу, порівняно з історичними церквами кількість проаналізованих прикладів була досить низькою, це свідчить про важливість встановлення засобів контролю мікроклімату не тільки для виробничих, житлових приміщень для комфорту, працездатності людини, але й для збереження історичних пам'яток. Розглянемо в таблиці 1.1 для наочності певні характеристики структурних об'єктів, які можуть

бути використані за основу будівлі, використаємо умовні значення.

Таблиця 1.1 – Теплопроникність будівельних елементів.

Структура	Матеріал	Товщина[м]	Коефіцієнт теплопроникності U [Вт/м ² К]
Вікно	Скло	0.04	2.700
Підлога	Мармур	0.16	2.814
Стеля	Дерево	0.17	0.916
Стіна	Цегла	0.35	2.060
Заповнювач	Бетон	0.22	7.750

Досить важливо контролювати усі зовнішні та внутрішні фактори впливу, для забезпечення кращих умов перебування різного роду цінностей, та й зберігання загальної цілісності будівлі, для цього нам і знадобиться система контролю показників мікроклімату в приміщеннях, яка зможе збалансувати певні фактори та чинники впливу на об'єкти.

1.4 Види оптико-електронних компонентів для контролю мікроклімату приміщень

Усі сенсори в системі працюють за однаковим принципом. Вони постійно реагують на параметри оточуючого середовища, інформація з яких використовується для коригування умов середовища та уникнення надзвичайних ситуацій.

Оптико-електронні компоненти застосовуються у різних сферах для контролю мікроклімату приміщень:

Системи розумного дому: Автоматизують управління освітленням, вентиляцією та опаленням для підвищення комфорту та енергоефективності.

Промислові будівлі: Забезпечують оптимальні умови для збереження товарів та матеріалів, а також для ефективної роботи обладнання.

Медичні заклади: Контролюють параметри мікроклімату для створення

безпечного та комфортного середовища для пацієнтів і медичного персоналу.

Комерційні приміщення: Підтримують комфортні умови для відвідувачів та працівників, що підвищує продуктивність і задоволеність.

На сьогоднішній день існує безліч різних варіантів реалізації таких систем за допомогою передових технологій контролю та сенсорів, надалі розглянемо деякі з них:

1. Система моніторингу температури та вологості.

Включає датчики температури на рисунку 1.1 (наприклад, DS18B20) і вологості на рисунку 1.2 (наприклад, SHT31). Ці сенсори забезпечують точне вимірювання відповідних параметрів, дозволяючи системі автоматично коригувати роботу кондиціонерів та зволожувачів повітря. Використання таких датчиків дозволяє підтримувати оптимальні умови для комфорту людей та збереження матеріалів, що можуть бути чутливі до змін клімату.

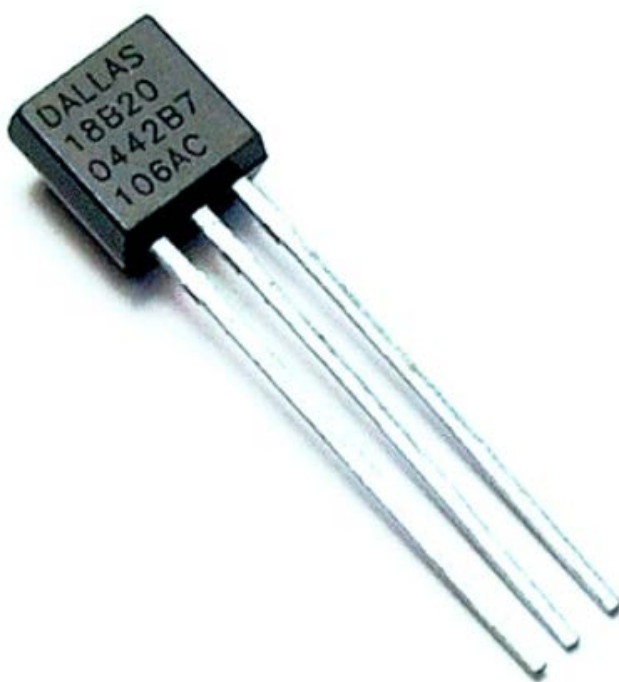


Рисунок 1.1 – Датчик температури DS18B20

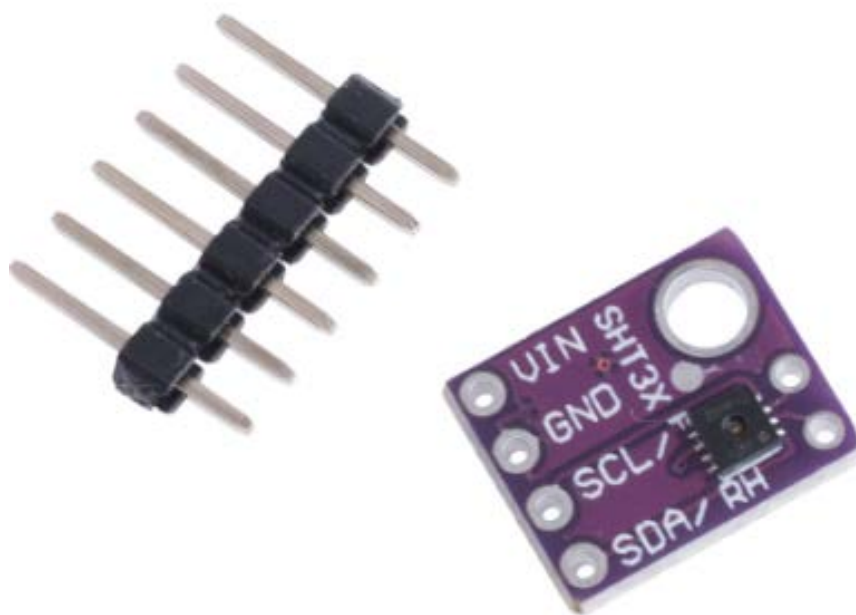


Рисунок 1.2 – Датчик вологості SHT31

2. Система контролю освітленості.

Датчики освітленості на рисунку 1.3, такі як BH1750, вимірюють рівень природного та штучного світла в приміщенні. На основі отриманих даних система може автоматично регулювати інтенсивність освітлення, що дозволяє зекономити енергію та забезпечити оптимальні умови для роботи чи відпочинку. Такі системи особливо корисні в офісних будівлях та навчальних закладах.



Рисунок 1.3 – Датчик освітленості BH1750

3. Система виявлення руху.

Фотодіоди, такі як BPW34 на рисунку 1.4, можуть використовуватися для

виявлення руху в приміщенні. Вони можуть бути інтегровані з іншими системами безпеки або автоматичного освітлення. Коли сенсор виявляє рух, система може включити освітлення або активувати сигнал тривоги, забезпечуючи безпеку та комфорт.



Рисунок 1.4 – Фотодіод BPW34

4. Система віддаленого моніторингу та керування.

Використання мікроконтролерів, таких як ESP32-S3(рисунок 1.5) або ESP-01 (рисунок 1.6), дозволяє створювати системи, що можуть передавати дані в реальному часі на віддалені сервери або мобільні додатки. Це дає змогу користувачам контролювати кліматичні умови в приміщенні навіть знаходячись далеко від нього, а також отримувати сповіщення про будь-які аномалії чи надзвичайні ситуації.



Рисунок 1.5 – Мікроконтролер ESP32-S3

5. Інтерфейси для користувача.

Дисплеї, такі як UG-2864HSWEG01 (OLED дисплей) зображений на рисунку 1.6, можуть використовуватися для відображення поточних параметрів середовища та стану системи. Це забезпечує зручність в користуванні, дозволяючи швидко отримати необхідну інформацію та здійснити налаштування системи.



Рисунок 1.6 – Дисплей UG-2864HSWEG0

6. Енергетична ефективність.

Сучасні системи також включають компоненти для енергетичної ефективності, такі як RAC02-05SC (рисунок 1.7) для перетворення напруги. Це дозволяє системі працювати стабільно та ефективно навіть при змінних умовах живлення.



Рисунок 1.7 – Перетворювач напруги RAC02-05SC

7. Система виявлення CO₂.

Датчик MH-Z19B який зображено на рисунку 1.8 є одним з популярних

датчиків для вимірювання концентрації вуглекислого газу (CO₂) у повітрі. Його можна підключити до мікроконтролерів, таких як Arduino або Raspberry Pi, використовуючи UART або PWM інтерфейс. Датчик передає дані у вигляді цифрового сигналу, що дозволяє легко інтегрувати його у ваші проекти.

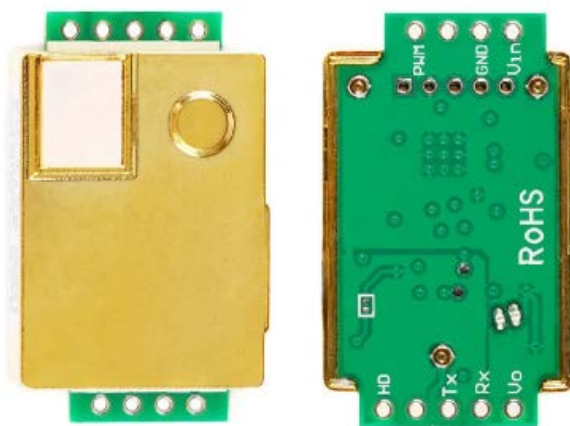


Рисунок 1.8 – Датчик MH-Z19B

У сукупності, ці технології створюють інтегровані системи контролю мікроклімату, що здатні забезпечити оптимальні умови для будь-яких потреб, від комфорту мешканців до збереження чутливих матеріалів. Впровадження таких систем сприяє підвищенню рівня автоматизації та енергоефективності, що є важливим кроком до створення розумних будинків та інтелектуальних будівель.

Компоненти з яких складаються оптико-електронні системи для контролю мікроклімату приміщень постійно вдосконалюються, інтегруючи новітні технології та методи для підвищення точності, надійності та енергоефективності.

Більш детально ці компоненти будуть розглянуті у третьому розділі з використанням програми DipTrace.

2 МАТЕМАТИЧНА СКЛАДОВА ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

2.1 Оптимізація температурного режиму у виробничих приміщеннях за допомогою багатоконтурних систем управління

Комфортні температурні умови в будь-якому приміщенні забезпечують системи опалення, теплоізоляційні властивості огорожувальних конструкцій, умови зовнішнього середовища. Практичний досвід, аналіз літератури свідчать про те, що існуючі системи регулювання температури у виробничих приміщеннях мають недоліки. Усунення можливо за рахунок використання багатоконтурної функціональної структури управління, що дозволяє знизити інерційність системи терморегуляції за рахунок врахування зовнішньої температури, впливу природного освітлення на температуру всередині виробничого приміщення.

Для його роботи необхідна практично орієнтована математична модель, яка дозволяє з мінімальним запізненням врахувати вплив великої кількості зовнішніх факторів на температурний режим. Розроблено математичну модель для використання в якості програми в пристроях промислової електроніки для прогнозування, корекції температурного поля, регулювання температурного режиму у виробничих зонах приміщення в будь-якій точці.

На підставі експериментальних даних аналіз результатів адекватності математичної моделі показує, що значення температури, отримані математичною моделлю прогнозування, корекції температурного режиму, знаходяться в довірчому інтервалі та знаходяться в межах стандартного відхилення. Запропоновано механізм технічної реалізації та показано перспективи його використання.

Забезпечення комфортного температурного режиму у виробничих приміщеннях дозволяє підвищити продуктивність праці. Багато досліджень присвячено пошуку оптимальних значень температури за певних умов праці. Результати цих досліджень складають основу нормативного та технічного

документацію, відповідно до якої роботодавець зобов'язаний забезпечити температурний режим у виробничих приміщеннях. Комфортні температурні умови в будь-яке приміщення забезпечується системою опалення, теплоізоляційними властивостями огороження конструкцій, а також зовнішніх умов середовища рис. 2.1.

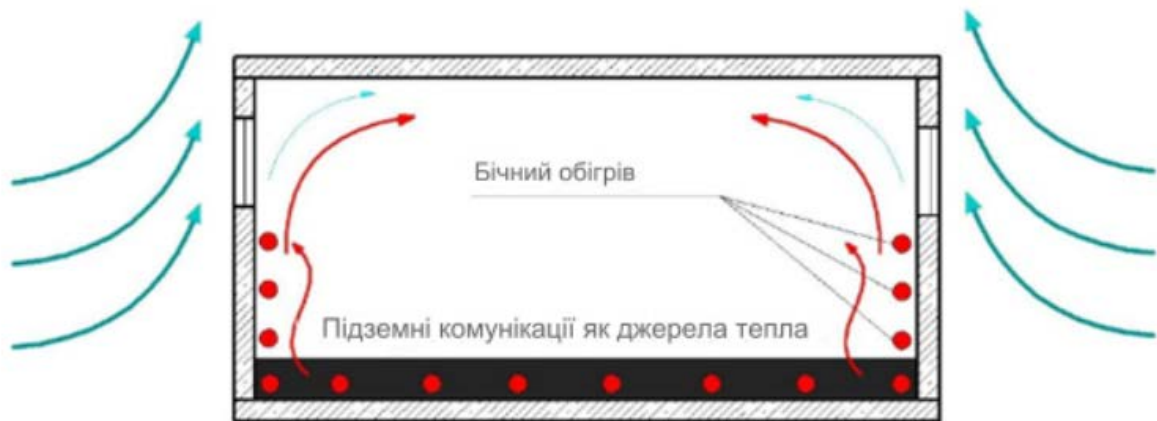


Рисунок 2.1 – Умови забезпечення температурного режиму

Контроль температури у виробничих приміщеннях здійснюється за допомогою автоматики системи. До таких систем відносяться: джерело тепла, теплова мережа, що забезпечує подачу теплоносіїв від джерела до конструкції, частотно-регульований електропривод циркуляції насоси і пристрій керування. Як керуючий пристрій використовуються програмовані логічні контролери. Ці промислові електронні пристрої, засновані на даних температури навколишнього середовища температуру в прямому і зворотному трубопроводах, регулюють температуру всередині приміщення.

Практичний досвід і аналіз літератури показують, що існуючий контроль температури Системи в промислових приміщеннях мають наступні недоліки.

По-перше, конструкція регулювання температури є інерційною. Це пов'язано з тим, що виробничі потужності мають великого робочого об'єму і при різкі зміні зовнішніх умов середовища: а різке зниження температури зовнішнього повітря, високі значення природного сонячного опромінення, дійсн

температурні показники у виробничих приміщеннях тривалий час не відповідають необхідним. Це негативно позначається на безпеці умов праці.

По-друге, температура контроль теплоносія здійснюється шляхом зміни перетину подаючого трубопроводу.

На сьогоднішній день є багато уніфікованих систем автоматичного контролю параметрів мікроклімату розроблено, основними з яких є температура, освітленість і вологість. Звичайно, існує взаємозв'язок між цими параметрами мікроклімату, як всередині виробничих приміщеннях і в зовнішньому середовищі, що необхідно враховувати при обчислення. На жаль, у методичних рекомендаціях до розрахунку в параметри мікроклімату, на цей фактор не звертають уваги.

2.2 Математика та методика оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату приміщень.

Усунути зазначені вище недоліки можна за допомогою багатоконтурної функціональної структури управління. Така конструкція дає можливість зменшити інерційність система регулювання температури з урахуванням зовнішньої температури, впливу природне освітлення на температуру всередині виробничого приміщення. Основний елемент системи є пристроєм керування.

Для його функціонування є практично орієнтована математична модель необхідні, що дозволяє врахувати вплив великої кількості зовнішніх факторів на температурний режим з мінімальною затримкою.

Крім того, ця модель повинна бути програмною адаптивний продукт, реалізований сучасними мовами програмування в промисловій електроніці пристроїв.

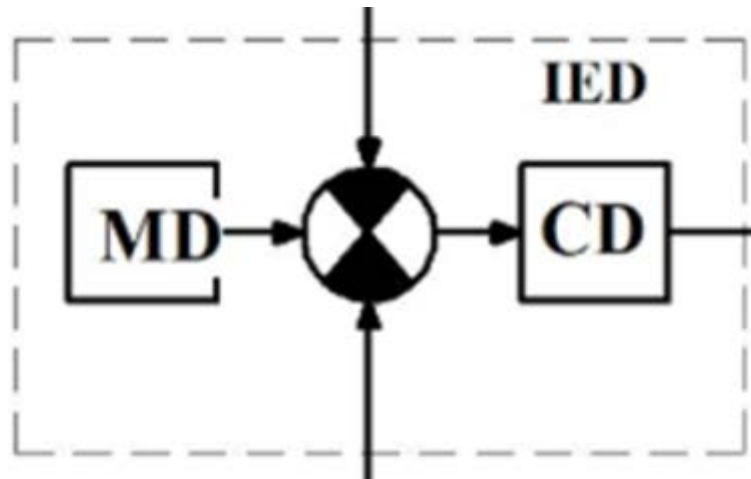


Рисунок 2.2 – Функціональна структура терморегулятора: MD – ведучий пристрій; CD – контроль пристрій; IED – пристрій промислової електроніки.

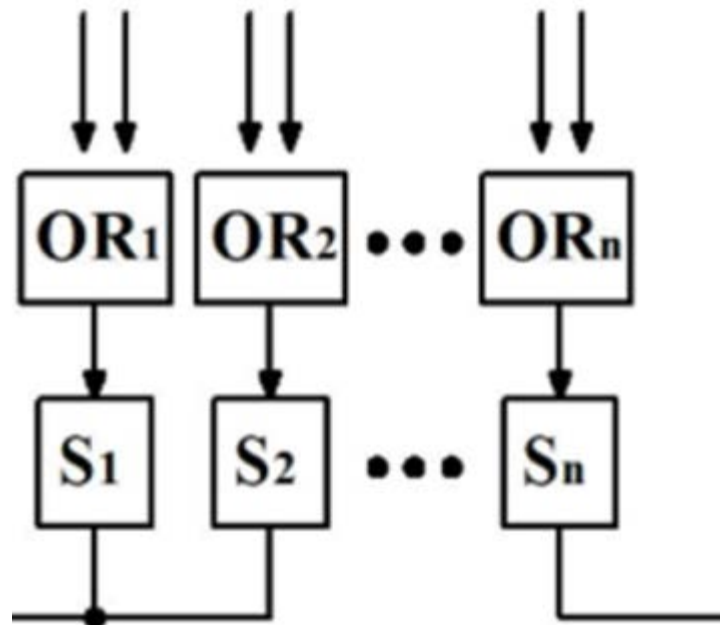


Рисунок 2.3 – Друга частина функціональної структури терморегулятора: OR – об'єкти регулювання; S – датчики, що враховують параметри мікроклімату.

Неможливо відобразити дійсність математичною моделлю з урахуванням усіх факторів, що впливають на температуру у виробничому приміщенні. Виходячи з цього факту, ми зробимо наступні припущення: огорожувальні конструкції виготовлені з матеріалу, що має один теплоізоляційна здатність, їх поверхні вважаються абсолютно плоскими у евклідовому просторі зміну температури можна представити у вигляді взаємного добутку перпендикулярні

градієнти векторів температури у формулі (2.1).

$$T' = T'_x T'_y T'_z \quad (2.1)$$

Аналіз наукових праць, присвячених безпеці та продуктивності праці, показує, що до 70% вартості будь-яких товарів та послуг, що виробляються у помірних кліматичних умовах, становить витрати на опалення виробничих приміщень. Таким чином, промислові будинки на цих територіях знаходяться в умовах охолодження. Всі виробничі приміщення знаходяться в умовах охолодження, так як температура навколишнього середовища, яка буде нижчою за температуру всередині будівлі, температурного поля по будь-якій просторовій вісь можна описати наступним чином, наприклад, уздовж осі x виразом (2.2).

$$T'_x = \left[\frac{t_{int} - t(x, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = f(X', Bi_x, F_{0x}), \quad (2.2)$$

де t_{int} – температура повітря у виробничих приміщеннях, що вимірюється термопарою на початковий час, °C;

t_{ext} – температура довкілля;

$t(x, \tau)$ – температура у просторовій координаті x та в момент τ .

У той же час поле температури є функцією, яка залежить від безрозмірної величини: просторова координата X , число Біо і число Фур'є. Безрозмірний просторова координата X' визначається виразом (2.3):

$$X' = \frac{x}{L}, \quad (2.3)$$

де x – просторова координата, тобто відстань від початку координат до точки, в якій воно знаходиться необхідно визначити значення температури;

L – лінійний розмір виробничого приміщення, тобто ширина.

Біочисло характеризує співвідношення між температурою тіла і теплом умови перенесення на його поверхню. Визначимо за виразом (2.4).

$$Bi = \frac{\alpha \times L}{\lambda_w}, \quad (2.4)$$

де α – коефіцієнт конвективного повернення повітря, дорівнює 500 Вт/м²·°С;

λ_w – коефіцієнт теплопровідності, для повітря дорівнює 0,027 Вт/м·°С.

Число Фур'є, який характеризує зв'язок між фізичними властивостями та розмірами тіла і швидкість зміни температурних полів у ньому, розраховується за формулою (2.5).

$$Fo = \frac{a \times T}{L^2}, \quad (2.5)$$

де a – коефіцієнт ізобарної теплопровідності, який для повітря становить 18,88*10⁶, м²/с.

Якщо в розрізі по осі абсцис споруда захищеного ґрунту представлена як частина, необмежену плоску пластину в умовах охолодження, потім одновимірне температурне поле, використовуючи диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності, можна описати як з рівністю (2.6).

$$\frac{\delta t_{int}}{\delta x} = a_v \times \frac{\delta^2 t_{int}}{\delta x^2} + \frac{Q_v}{p \times c_v} \quad (2.6)$$

де a_v – коефіцієнт теплопровідності, м²/с;

x – координата, м;

Q_v – об'ємний щільність джерел тепла, Вт/м³;

c – теплоємність, Дж/(кг·°С);

p – щільність, кг/м³.

Другий член правої частини виразу (2.6) для повітря є несуттєвим, тому рівняння нестационарна теплопровідність для будівництва захищеного ґрунту має вигляд рівності (2.7).

$$\frac{\delta t_{int}}{\delta x} = a_v \times \frac{\delta^2 t_{int}}{\delta x^2} \quad (2.7)$$

Температура та швидкість вітру навколишнього середовища з часом впливають на температурне поле у виробничих приміщеннях. Тому описати температурне поле в них і розв'язати рівняння (2.7), можна використовувати нестационарний теплообмін з граничними умовами.

У загальному рішенні для цього випадку доцільно використовувати метод розділення змін. Важливо, що охолодження має значний вплив на температурне поле і, отже, температурне поле під гребенем теплиці обмежене усіченим напівциліндром. У цьому випадку температура t_v представляється як добуток двох функцій (2.8).

$$t_{int} = L \times T \quad (2.8)$$

де $L^*=f(x)$ залежить тільки від x , $T^*=f(\tau)$ залежить тільки від τ .

Отже виконується формула (2.9).

$$\frac{\delta t_{int}}{\delta t} = L \times \frac{\delta T}{\delta t}, \quad \frac{\delta t_{int}}{\delta x} = T \times \frac{dL}{dx}, \quad \frac{\delta^2 t_{int}}{\delta x^2} = T \times \frac{d^2 L}{dx^2}. \quad (2.9)$$

Підставляючи ці значення у вираз (2.7), отримуємо (2.10).

$$\frac{1}{a \times T} \times \frac{dT}{d\tau} = \frac{1}{L} \times \frac{d^2 L}{dx^2} \quad (2.10)$$

Позначимо цю функцію як $-\beta^2$, ми отримуємо (2.11-2.12).

$$\frac{1}{a \times T} \times \frac{dT}{d\tau} = -\beta^2 \quad (2.11)$$

$$\frac{1}{L} \times \frac{d^2L}{dx^2} = -\beta^2 \quad (2.12)$$

Математичне рішення рівняння матиме вигляд (2.13).

$$T = A \times e^{-a \times \beta^2 \times \tau} \quad (2.13)$$

У застосуванні до диференціальних рівнянь із частинними похідними метод розділення змінних призводить до знаходження рішення у вигляді ряду або інтеграла Фур'є, що дозволяє розв'язати теплові рівняння у вигляді тригонометричних рядів.

$$L = B \times \cos \beta_x + D \times \sin \beta_x \quad (2.14)$$

На огорожувальних конструкціях промислових споруд теплообмін відбувається згідно закону Ньютона. Оскільки задача симетрична, беремо ширину конструкції L і розміщуємо вісь z в її центрі. Враховуючи симетричність $\cos$ як функції, вираз (2.14) набуде вигляду $L = B \times \cos \beta_x$, і температура повітря в захищеній наземній споруді $t_{int} = L \times T$ (2.15).

$$t_{int} = C \times e^{-a \times \beta^2 \times \tau} \times \cos(\beta_x) \quad (2.15)$$

З огляду на вирази (2.11), (2.12) і (2.13) отримуємо (2.16).

$$t_{int} = C \times e^{-(L \times \beta)^2 \times F_0} \times \cos(L \times \beta \times x) \quad (2.16)$$

де значення $L \times \beta = \mu$ можна знайти з відповідного рівняння (2.17).

$$ctg\mu = \frac{\mu}{Bi} \quad (2.17)$$

Рівняння (2.16) розв'язується графічно та має незліченну кількість коренів μ , сума окремих розв'язків дає підсумок у такому вигляді (2.18).

$$T_x = \left[\frac{t_{int} - t(x, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = \sum_{i=1}^{\infty} C_i \times \cos(\mu_i \times x) \times e^{-\mu_i^2 \times F_0} \quad (2.18)$$

Значення константи C_i визначаються з початкових умов ($\tau=0$; $t_{int}=t_0$) (2.19).

$$C_i = (t_{ext} - t_0) \times \frac{2\sin\mu_i}{\mu_i + \sin\mu_i \times \cos\mu_i} \quad (2.19)$$

Підставляючи значення константи C_i в рівняння (2.18), отримуємо остаточний вираз для поля температури в просторовій координаті x (2.20).

$$T_x = \left[\frac{t_{int} - t(x, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = \sum_{i=1}^{\infty} \frac{2\sin\mu_i \times \cos(\mu_i \times x)}{\mu_i + \sin\mu_i \times \cos\mu_i} \times e^{-\mu_i^2 \times F_0} \quad (2.20)$$

Виробниче приміщення в поперечному перерізі за просторовою координатою x може бути розглядається необмежена пластина з граничними умовами третього роду. Для визначення меж технологічної зміни температури по ширині x необхідно врахувати, що ряд збіжний. Тому при $F_0 \geq 0,3$ ми отримуємо (2.21).

$$T_x = \left[\frac{t_{int} - t(x, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = \frac{2\sin\mu_i \times \cos(\mu_i \times x)}{\mu_i + \sin\mu_i \times \cos\mu_i} \times e^{-\mu_i^2 \times F_0} \quad (2.21)$$

У кожній точці виробничого приміщення по ширині x його температура залежить від виразів (2.4) і (2.5). Внутрішній тепловий опір виробничих приміщень у порівнянні із зовнішнім тепловий опір середовища високий, тобто

$Bi \rightarrow \infty$, отже, граничні умови третього роду переходять у граничні умови першого роду. За цих умов ($Bi \rightarrow \infty$ і $F_0 \geq 0,3$) з рівняння (2.21) отримуємо (2.22).

$$T_x = \left[\frac{t_{int} - t(x, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = \frac{4}{\pi} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times x\right) \times e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \quad (2.22)$$

Такі математичні операції дають змогу визначити температурне поле в виробничі потужності по координаті у можна представити так (2.23).

$$T_y = \left[\frac{t_{int} - t(y, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = \frac{4}{\pi} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times y\right) \times e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \quad (2.23)$$

Вздовж осі z температурне поле можна описати аналогічно процесам нагрівання, тобто за аналітичним виразом:

$$T_z = \left[\frac{t_{int} - t(z, \tau)}{t_{int} - t_{ext}} \right] = 1 \times \frac{2 \times a \times a \times \tau}{\lambda_w \times r} \times e^{\frac{-1}{4 F_0}} \quad (2.24)$$

де r - радіус циліндра, що дорівнює висоті z від поверхні підлоги до точки де необхідно визначити температуру.

Розрахунок температури поля за просторовою координатою z, тобто за висотою, необхідно враховувати геометричні особливості виробничого приміщення (2.25).

$$k_r = \frac{2 \times z}{d} \quad (2.25)$$

Враховуючи вирази (2.1), (2.22), (2.23), (2.24) і (2.25), отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{t_{int} - t}{t_{int} - t_{ext}} = & \left[\frac{4}{\pi} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times x\right) \times e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \right] \times \left[\frac{4}{\pi} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times y\right) \times e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \right] \\ & \times \left[\frac{2 \times z}{d} - \frac{4 \times a \times a \times r}{d \times \lambda_w \times z} \times e^{\frac{-1}{4 F_0}} \right] \end{aligned}$$

де $Y' = y/d$ – просторова координата;

t – це температура в просторовій координаті система x, y, z , у з урахуванням габаритних розмірів виробничого приміщення на даний момент τ .

Виразимо t , і отримаємо кінцевий вираз для визначення температури в будь-якій точці робочого об'єму конструкції (2.26).

$$t = t_{int} - \left[\frac{16}{\pi^2} \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{x}{L}\right) \times \cos\left(\frac{\pi}{2} \times \frac{y}{d}\right) \times e^{-\frac{\pi^2}{4} F_0} \right] \times \left[\frac{2 \times z}{d} - \frac{4 \times a \times a \times r}{d \times \lambda_w} \times e^{\frac{-1}{4 F_0}} \right] \times [t_{int} - t_{ext}] \quad (2.26)$$

Вираз (2.26) можна використовувати на практиці як програму в пристроях промислової електроніки для прогнозування та корекції температурного поля та регулювання температурного режиму в виробничій зоні приміщення. Результати та обговорення Будівництво огорожувальних конструкцій промислового, житлового та сільськогосподарського призначення споруди необхідно зменшити вплив таких зовнішніх кліматичних параметрів, як температура, вологість і природна сонячна радіація.

Для аналізу середнього зовнішнього значення температури у великих промислових центрах України ми використали архівні дані та провели наші власні експерименти [2.10-2.18]. Аналіз даних середньої температури, а також даних про кількість сонячних днів і природної сонячної радіації в середній широті України дозволяє зробити наступний висновок.

Застосування математичної моделі запропонований вираз (2.26) як програма в пристроях промислової електроніки для регулювання температурного режиму у виробничих приміщеннях також буде дуже актуальним для забезпечення безпечної праці умови.

Крім того, ми експериментально підтвердили взаємовплив клімату на параметри. Наприклад, аналіз температурних показників на кількох

виробництвах об'єкти показали його залежність від природного сонячного освітлення. Результати показано на рисунку 2.3.

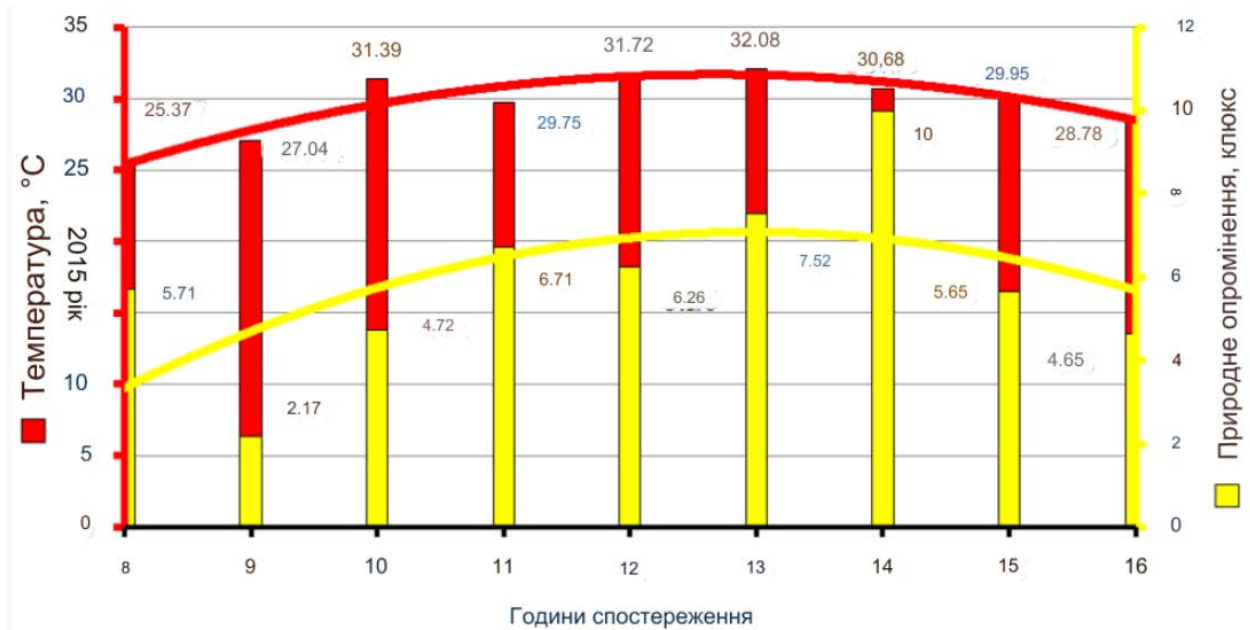


Рисунок 2.3 – Середні значення температури та природного сонячного освітлення

Аналіз рисунку 2.3, на якому наведені середні значення температури в контрольних точках виробничих приміщень в літній період без використання системи кондиціонування, показує що в яскравий сонячний день температура у виробничих приміщеннях підвищується незалежно від роботи джерел опалення за рахунок парникового ефекту. Вплив зовнішнього повітря,

температури і температурного режиму виробничого приміщення добре вивчені, і представлені в температурних графіках котелень. Наші експерименти також підтвердили вплив температури на вологість. Для вимірювання температури, вологості та рівня природного підсвічування використовувався універсальний прилад марки «ТКА-РКМ» 41 серії. Як контроль приладу використовувався цифровий анемометр-термометр марки ISP-MG4. Всі інструменти на момент експерименту дані були перевірені.

Для підтвердження використано отримані експериментальні значення параметрів мікроклімату адекватність математичної моделі прогнозування та корекції температурного регулювання в промислових приміщеннях. За

допомогою методу найменших квадратів визначення стандартної похибки експерименту та стандартне відхилення експериментальних значень мікроклімату параметрів в робочому обсязі виробничих приміщень ми отримали результат, наведений на рисунку 2.4.

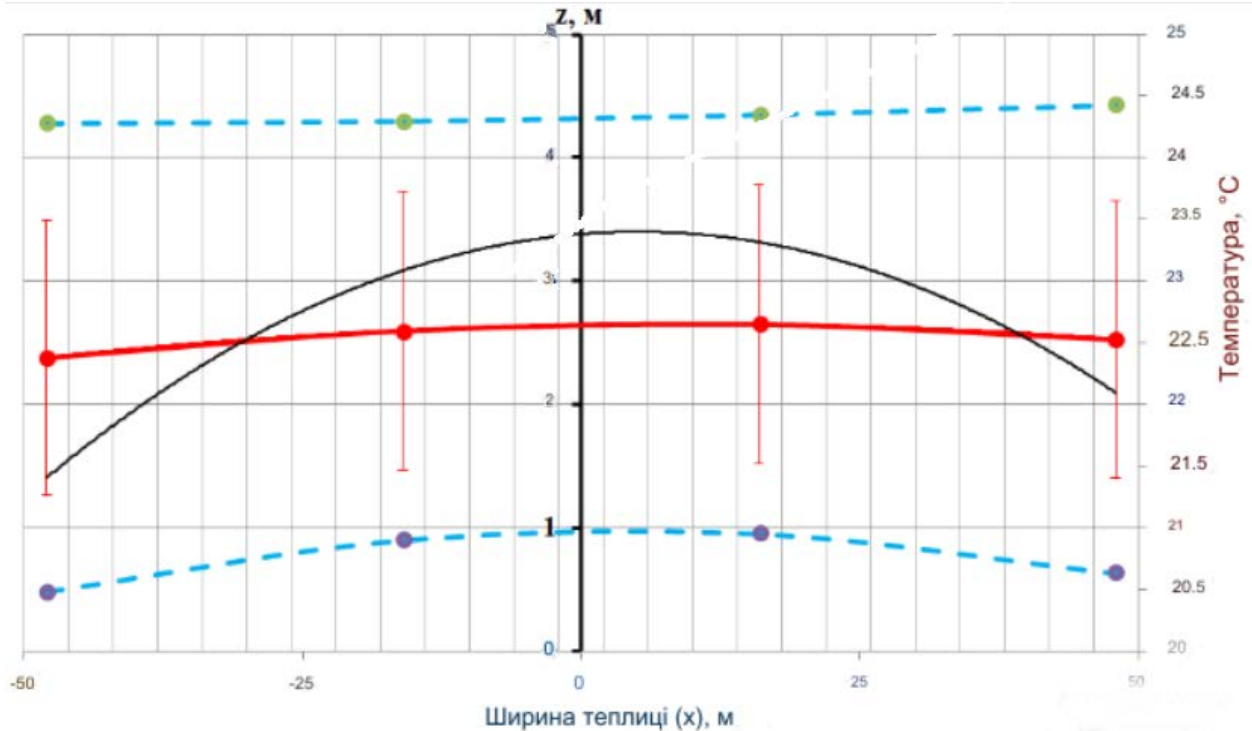


Рисунок 2.4 – Визначення адекватності математичної моделі: експериментальна температура значеньзначень отримані за математичною моделлю та стандартне відхилення.

Аналіз отриманих результатів показує адекватність математичної моделі, що значення температури отримані за математичною моделлю прогнозування та корекції температурного режиму знаходяться в певному інтервалі та знаходяться в межах стандарту відхилення. Тому запропонована нами модель є адекватною і може бути використана для розрахунку значення температури в будь-якій точці об'єму приміщення.

Існуючі системи створення температурного режиму в виробничих приміщеннях досить прості. Принцип їх дії полягає в підтримці необхідного значення температури теплоносія в системі опалення в залежності від значень зовнішньої температури, тобто відповідно до температурного графіка, який

записується як програма в промисловій електроніці пристрій, наприклад, термостат.

Робота таких систем добре описана в каталогів організацій-постачальників опалювального обладнання і не розкриває їх потенціал на енергозбереження паливно-енергетичних ресурсів повністю. Це обладнання давно і міцно зайняли своє місце на ринку, але більшість принципів управління в них побудовано за простою одноконтурною структурною схемою для регулювання будь-якого мікроклімату параметр без урахування впливу на нього інших параметрів і не робить прогнозувати зміни цих параметрів у часі внаслідок їх взаємного впливу.

Операція такого обладнання базується на системі керування, що отримує показники від одного датчика а певний параметр. Очевидно, що робота таких систем контролю безпечна забезпечення температурного режиму у виробничих приміщеннях не є ідеальним і повинно бути модернізований.

Досліди по впливу природного сонячного світла на температуру промислових приміщень, представлена на рисунку 2.3, дозволяє зробити висновок, що, як в навколишньому середовищі, так і в промисловому об'єктів основним параметром, який помітно впливає на всі інші, є природне опромінення.

Також слід мати на увазі, що в виробничих приміщеннях цей параметр не регламентується. можна усунути цей недолік в існуючих пристроях управління обладнанням для створення мікроклімату у виробничих приміщеннях за допомогою математичної моделі безпечного прогнозування та корекція температурного режиму в межах технологічного діапазону в алгоритмі експлуатації, так як температура є одним з основних параметрів мікроклімату, на який в залежать безпечні умови праці персоналу.

Для цього призначений одноконтурний блок управління діаграму в програмованих логічних контролерах необхідно перетворити на схему, показану на рисунку 2.2. Як видно тут, блок математичної обробки температурного режиму монтується у зворотному зв'язку. Також цей блок формує базу даних

взаємопов'язаного мікроклімату параметри: природне сонячне освітлення і температура.

Крім того, доцільно буде передбачити постійний огляд датчиків освітленості та температури в системі керування з частота синхронізації мікропроцесора, який є основним елементом в програмований логічний контролер. Зі збільшенням природного освітлення мікроконтролер подає керуючі дії на електропривод циркуляційних насосів в системі опалення зменшує швидкість їх обертання і розраховує підвищення температури в робочому об'ємі виробничого приміщення через парниковий ефект.

2.3 Регулювання мікроклімату у приміщеннях

Життєдіяльність будь-якого біологічного об'єкта, до якого відноситься і людина, залежить від процеси теплообміну з навколишнім середовищем, отже, безпечне забезпечення температур умов у приміщеннях, де люди проводять до 8 годин на добу, має значний вплив на продуктивність праці і, зрештою, на собівартість продукції. В той самий час, з економічної точки зору важливо планомірно знижувати витрати на енергоносії забезпечити необхідний температурний режим протягом року при відповідності значень зовнішнього повітря температура і природна сонячна радіація коливаються в широкому діапазоні.

У наукових працях, присвячених вказано вплив температури повітря у виробничому приміщенні на організм людини що різким для організму людини вважається зниження температури на 4 °С, але при цьому це дозволяє істотно знизити витрати на опалення. Крім того, зменшення в температури від нормованих значень під час вакцинації та боротьби з вірусними сезонні захворювання можуть призвести до зниження імунітету працівників. Надалі доцільним буде розвиток за допомогою математичного апарату та визначити цільову функцію впливу температури у виробничому приміщенні на продуктивність праці та здоров'я працівників з метою визначення з економічної

точки зору переглянути баланс витрат на паливно-енергетичні ресурси та безпечне регулювання температури режим у виробничих приміщеннях.

Визначимо декілька параметрів для цільової функції енергозатратності та впливу на продуктивність і здоров'я:

1. Температура в приміщенні (внутрішня температура, T_{in}).
2. Температура зовнішнього повітря (зовнішня температура, T_{out}).
3. Витрати на підтримання температури $E(T_{in})$.
4. Вплив температури на продуктивність праці $P(T_{in})$.
5. Вплив температури на здоров'я працівників $H(T_{in})$.

Визначення цільової функції (2.27), цільова функція може включати витрати на енергоносії та вплив на продуктивність і здоров'я.

$$F(T_{in}) = C(E(T_{in})) + W(P(T_{in}), H(T_{in})) \quad (2.27)$$

де C – вартість енергії;

W – вагова функція, яка враховує вплив температури на продуктивність і здоров'я.

Розглянемо модель витрат на енергію (2.28).

$$E(T_{in}) = k(T_{in} - T_{out})^2 \quad (2.28)$$

де k – коефіцієнт пропорційності, що залежить від ізоляції будівлі та інших факторів.

Модель продуктивності праці (2.29) припустимо, що продуктивність праці знижується при відхиленні температури від оптимального значення T_{opt} .

$$P(T_{in}) = P_{max} - a | T_{in} - T_{opt} | \quad (2.29)$$

де P_{max} — максимальна продуктивність при оптимальній температурі;

a – коефіцієнт зниження продуктивності при відхиленні від оптимальної температури.

Модель впливу на здоров'я (2.30) здоров'я працівників погіршується при відхиленні температури від комфортного значення, припустимо T_{comf} .

$$H(T_{in}) = H_{max} - b | T_{in} - T_{comf} | \quad (2.30)$$

де H_{max} – максимальне здоров'я при комфортній температурі;

a, b – коефіцієнт погіршення здоров'я при відхиленні від комфортної температури.

Оптимізація цільової функції: необхідно знайти таке значення внутрішньої температури T_{in} , яке мінімізує цільову функцію $F(T_{in})$ (2.31).

$$\begin{aligned} \min F(T_{in}) = \min [& C(k(T_{in} - T_{out})^2) + \\ & + W(P_{max} - a | T_{in} - T_{opt} |, H_{max} - b | T_{in} - T_{comf} |)] \end{aligned} \quad (2.31)$$

Забезпечення оптимального температурного режиму у виробничих приміщеннях є важливим фактором, що впливає на продуктивність праці та здоров'я працівників, а також на економічні витрати підприємства на енергоносії. За допомогою математичних моделей ми можемо оцінити вплив внутрішньої температури на продуктивність праці та здоров'я працівників, а також на витрати на підтримання цієї температури.

Обрахувавши математичну модель можна зазначити важливість контролювання мікроклімату в приміщеннях, цього можна досягти завдяки використанню різних приладів, розглянемо деякі з них:

Кондиціонери – це пристрої, які охолоджують повітря в приміщенні, видаляючи з нього тепло. Вони є одним із найефективніших способів регулювання мікроклімату в приміщеннях у спекотну та вологу погоду.

Вентилятори не охолоджують повітря, але вони можуть допомогти циркулювати його по кімнаті, що може зробити вас прохолоднішим. Їх також

можна використовувати для витягування гарячого повітря з кімнати та заміни його прохолодним повітрям ззовні.

Зволожувачі повітря додають вологу в повітря, що може бути корисно в сухий клімат. Вони також можуть допомогти полегшити симптоми застуди та алергії.

Осушувачі повітря видаляють вологу з повітря, що може бути корисно в умовах вологого клімату. Вони також можуть допомогти запобігти утворенню цвілі та цвілі.

Під'єднавши ці пристрої до нашої мікросхеми, вони змогли би приймати показники датчиків та автоматично контролювати стан мікроклімату в приміщенні.

Контроль мікроклімату у виробничих приміщеннях за допомогою математичних моделей та сучасних технологій, таких як кондиціонери, вентилятори, зволожувачі та осушувачі повітря, є ключовим для забезпечення оптимальних умов праці, підвищення продуктивності, збереження здоров'я працівників та економії енергоресурсів. Автоматизація цього процесу через систему датчиків дозволяє ефективно регулювати параметри мікроклімату в реальному часі.

З РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПОКАЗНИКІВ МІКРОКЛІМАТУ ПРИМІЩЕНЬ

3.1 Ознайомлення з базовими потребами розробки у програмному додатку

DipTrace — це потужний і зручний інструмент для проектування електронних схем і друкованих плат (PCB). Вона пропонує повний набір інструментів для створення професійних проектів від початкового етапу до готової плати.

Її історія розпочинається на початку 2000-х років, коли була створена перша версія програмного забезпечення. Програма швидко здобула популярність серед інженерів і любителів електроніки завдяки своїм можливостям та зручному інтерфейсу. Перша версія DipTrace була випущена в цей період, хоча точна дата першого релізу не завжди вказується в офіційних джерелах. Програмне забезпечення було розроблено компанією Novarm, яка базується в Україні.

Протягом наступних років DipTrace активно розвивався, додаючи нові можливості та інструменти для проектування. Програма отримала позитивні відгуки за простоту у використанні, що зробило її популярною серед інженерів та студентів. DipTrace почав завойовувати ринки за межами України, завдяки перекладам на різні мови та підтримці міжнародних стандартів. Це дозволило програмі стати відомою в різних країнах і отримати визнання в інженерних спільнотах по всьому світу.

Кожна нова версія DipTrace приносила з собою покращення в інтерфейсі користувача, нові функціональні можливості, підтримку нових компонентів та інтеграцію з іншими програмними інструментами. Програма стала більш гнучкою та потужною, зберігаючи при цьому свою простоту та зручність.

Сьогодні DipTrace є одним із провідних інструментів для проектування друкованих плат, який використовують як професійні інженери, так і аматори.

Програма підтримує великий набір компонентів, має можливості для 3D-моделювання та дозволяє інтеграцію з іншими CAD/EDA інструментами.

Schematic Capture (Редактор схем):

- використовується для створення електричних схем;
- містить велику бібліотеку компонентів;
- інтуїтивний інтерфейс для додавання і редагування компонентів;
- можливість створення і використання власних компонентів.

PCB Layout (Редактор друкованих плат):

- використовується для розробки друкованих плат на основі схем, створених у Schematic Capture;
- підтримка багатошарових плат;
- автоматичне та ручне розведення доріжок;
- функції перевірки правил проектування (DRC).

Component Editor (Редактор компонентів):

- використовується для створення та редагування компонентів, які можна використовувати у схемах;
- інструменти для малювання схематичних символів і створення корпусів.

Pattern Editor (Редактор корпусів):

- використовується для створення корпусів компонентів, які будуть використовуватися в PCB Layout;
- інструменти для точного розташування падів і малювання корпусів.

DipTrace є потужним інструментом для проектування електронних схем і друкованих плат, пропонуючи інтуїтивний інтерфейс, що робить процес проектування швидким і ефективним. Однією з головних переваг є велика бібліотека компонентів, що містить тисячі готових елементів, а також можливість імпорту додаткових бібліотек і створення власних компонентів.

Це забезпечує гнучкість і дозволяє користувачам легко знаходити або створювати необхідні деталі для своїх проектів. Автоматичне розведення

доріжок на друкованій платі значно спрощує процес проектування, дозволяючи швидко з'єднувати компоненти. Для більш складних проектів підтримується ручне розведення доріжок, що дає змогу користувачам точно налаштовувати плату відповідно до своїх вимог. Інструмент перевірки правил проектування (DRC) автоматично перевіряє плату на відповідність правилам проектування, попереджаючи про помилки та конфлікти, що допомагає уникнути помилок на ранніх етапах розробки.

DipTrace також підтримує імпорт та експорт файлів у різних форматах, включаючи Gerber, DXF, N/C Drill, PADS, Altium і Eagle, що забезпечує зручність інтеграції з іншими системами та передачі файлів до виробників друкованих плат. Вбудований 3D переглядач дозволяє візуалізувати плату перед виготовленням, що допомагає користувачам переконатися в правильності розташування компонентів і загальному вигляді плати. Крім того, є можливість імпорту 3D моделей компонентів, що ще більше підвищує точність візуалізації.

Загалом, DipTrace є відмінним вибором для проектування електронних схем і друкованих плат, завдяки своїм широким можливостям, інтуїтивному інтерфейсу та великій бібліотеці компонентів. Він підходить як для новачків, так і для досвідчених інженерів, забезпечуючи всі необхідні інструменти для створення професійних проектів.

3.2 Перелік основних компонентів оптико-електронної системи

Для початку нам потрібно буде створити власну бібліотеку, щоб додати туди потрібні компоненти (рисунки 3.1).

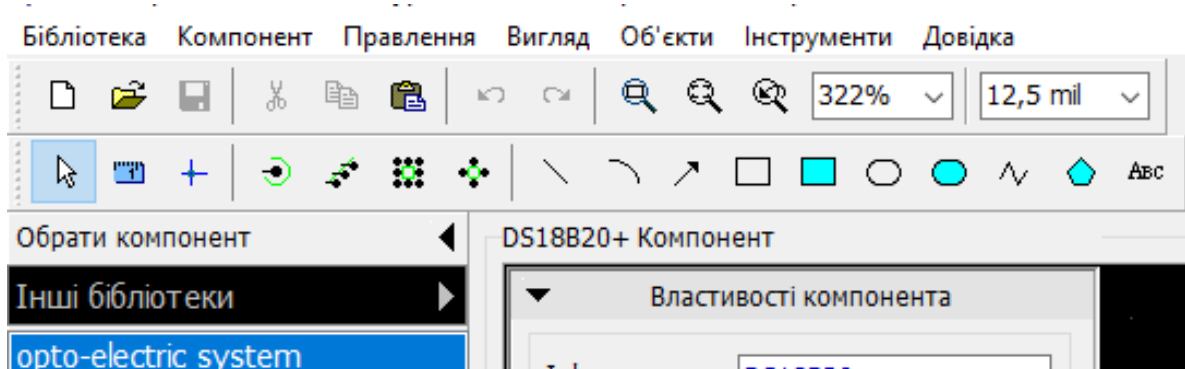


Рисунок 3.1 – Бібліотека компонентів

Для цього нажимаємо у верхньому правому кутку кнопку «Бібліотека», далі «Нова», та створюємо файл у папці diptrace, де іменуємо його, та зберігаємо.

Після цього нам потрібно буде додати певні компоненти з пошукової бази. Раджу використовувати додаток snapEDA, в ньому більший вибір для знаходження потрібних пристроїв, ніж у стандартному пошуку компонентів.

Надалі розглянемо основні складові оптико-електронної системи контролю мікроклімату приміщень (рисунок 3.2).

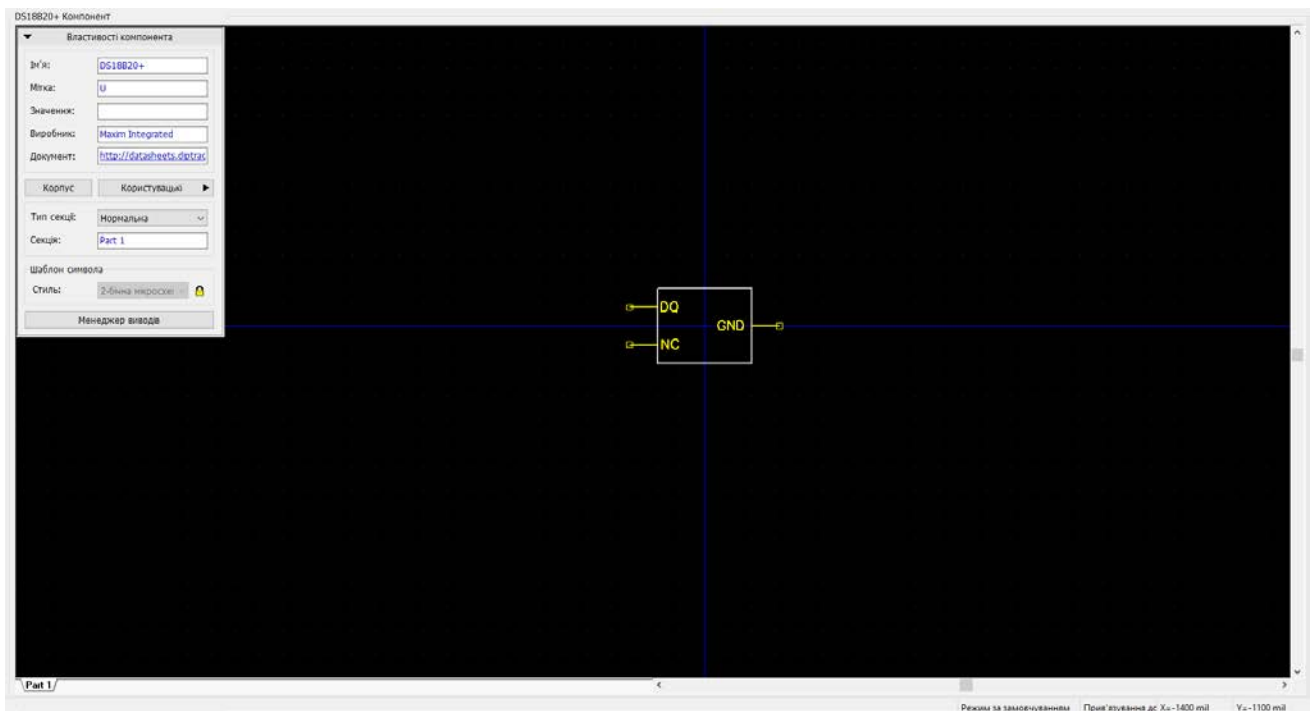


Рисунок 3.2 – Температурний датчик

Датчик який дозволить виміряти температуру оточення DS18B20+, має наступні характеристики:

- діапазон вимірюваної температури: -55...125 °C;
- напруга живлення: від 3 В до 5,5 В;
- точність: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (в межах -10...85 °C);
- споживаний струм при опитуванні: 1 мА.

Також досить вагомі переваги над іншими датчиками, а саме: низьку вартість, малий розмір, простоту у використанні, високу точність, широкий діапазон вимірювання температури, низьке споживання енергії. Але є і певні

недоліки: Необхідність додаткового компонента для підключення до мікроконтролера (наприклад, резистора), швидкість зчитування даних обмежена.

Для визначення вологості використаємо датчик SHT31-DIS-F2.5KS (рисунок 3.3).

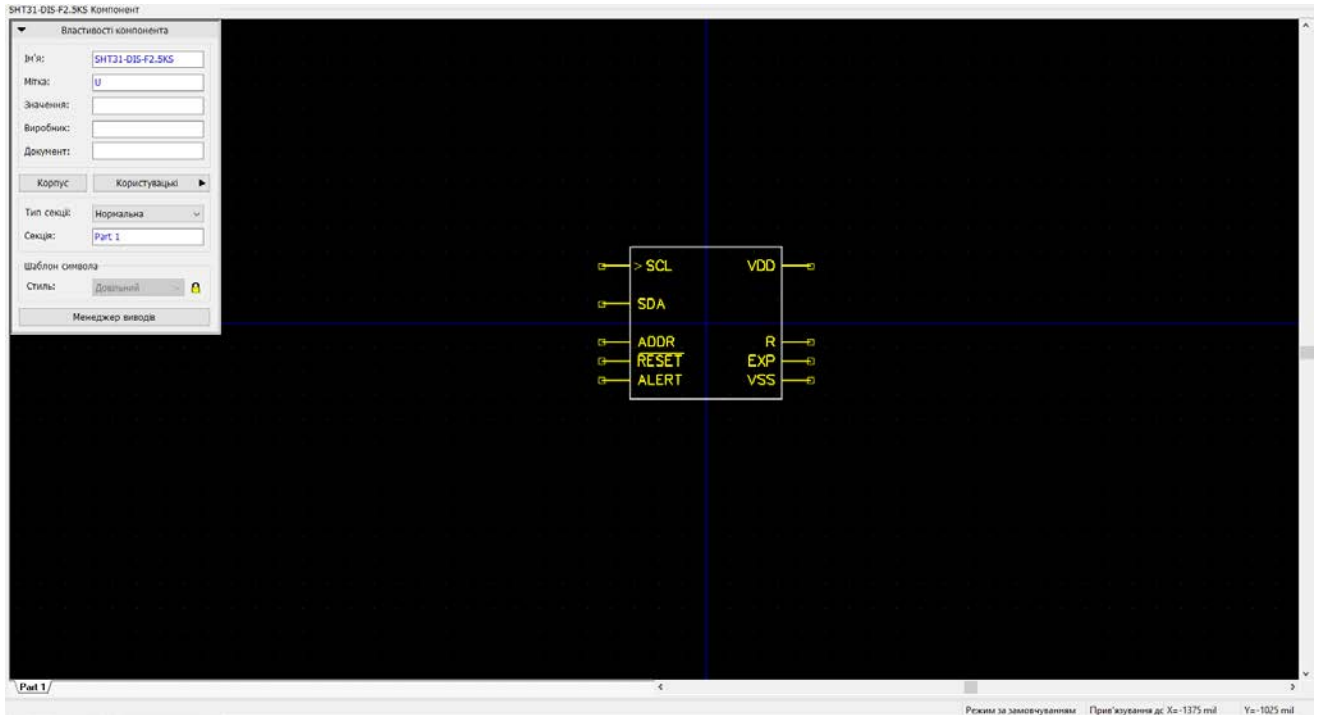


Рисунок 3.3 – Датчик вологості

SHT31-DIS-F2.5KS – це цифровий датчик який використовується для вимірювання температури та вологості навколишнього середовища.

Характеристики:

- діапазон вимірювання температури: $-40^{\circ}\text{C} \dots +125^{\circ}\text{C}$;
- діапазон вимірювання вологості: $0\% \dots 100\%$;
- напруга живлення: $2,15\text{V} \dots 5,5\text{V}$;
- температура: $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$;
- вологість: $\pm 2\%\text{RH}$;
- споживаний струм: 10 мА (максимальний);
- інтерфейс: I2C;
- корпус: DFN8.

У цього датчика аналогічні переваги та недоліки в зрівнянні з іншими, а саме: низька вартість, малий розмір, простоту у використанні, високу точність, широкий діапазон вимірювання температури, низьке споживання енергії.

Недоліки: необхідність додаткового компонента для підключення до мікроконтролера (наприклад, резистора), швидкість зчитування даних обмежена.

BPW34 – це фотодіод (рисунок 3.4), який використовується для виявлення та вимірювання інтенсивності світла. Він має широкий діапазон спектральної чутливості від 400 нм до 1100 нм, що робить його придатним для використання в різних застосунках, таких як датчики наближення, датчики перешкод, лічильники обертів та системи автоматичного регулювання освітлення.

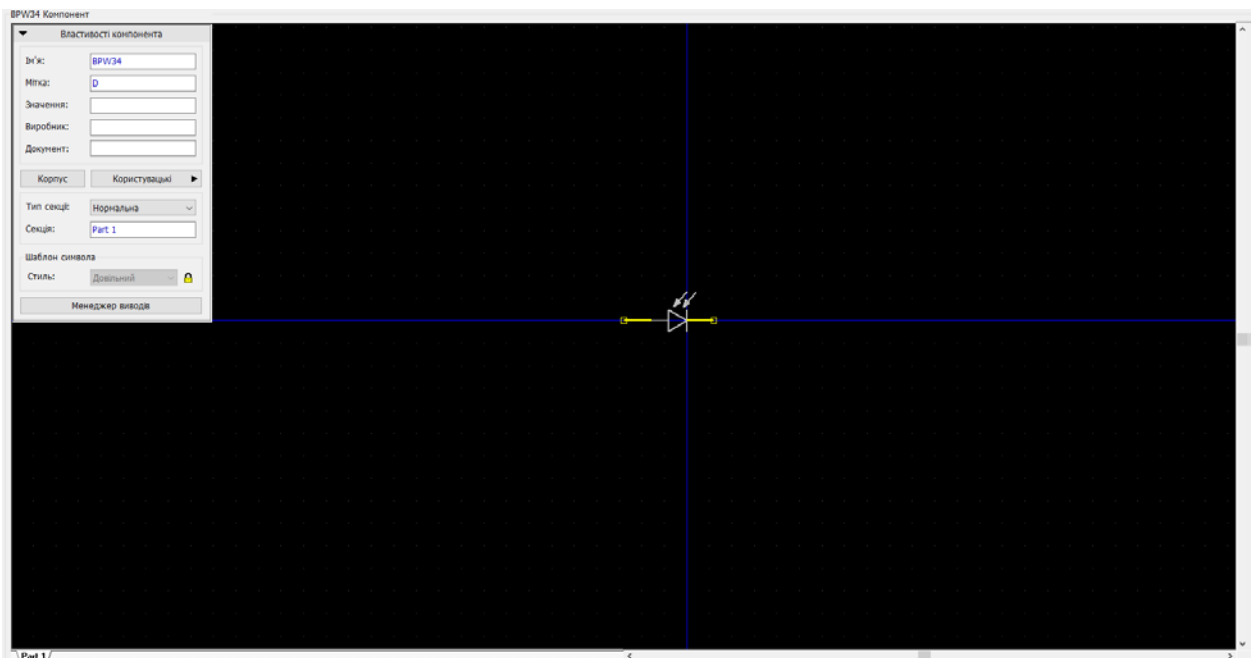


Рисунок 3.4 – Оптичний датчик

Характеристики:

- спектральна чутливість: 400 нм...1100 нм;
- максимальна потужність розсіювання: 75 мВт;
- максимальна робоча напруга: 60 В;
- температурний діапазон: -40°C...+70°C;
- час відгуку: 0,1 мкс;
- чутливість: 0,25 мА/мВт;

- корпус: DIP-2.

Переваги: низька вартість, малий розмір, простий у використанні, широкий діапазон спектральної чутливості, швидкий час відгуку, висока чутливість.

Недоліки: необхідність додаткових компонентів для підключення до мікроконтролера (наприклад, резисторів), відносно низька максимальна потужність розсіювання.

ESP32-S3 (рисунок 3.5) – це енергоефективний мікроконтролер з Wi-Fi та Bluetooth, розроблений компанією Espressif Systems.

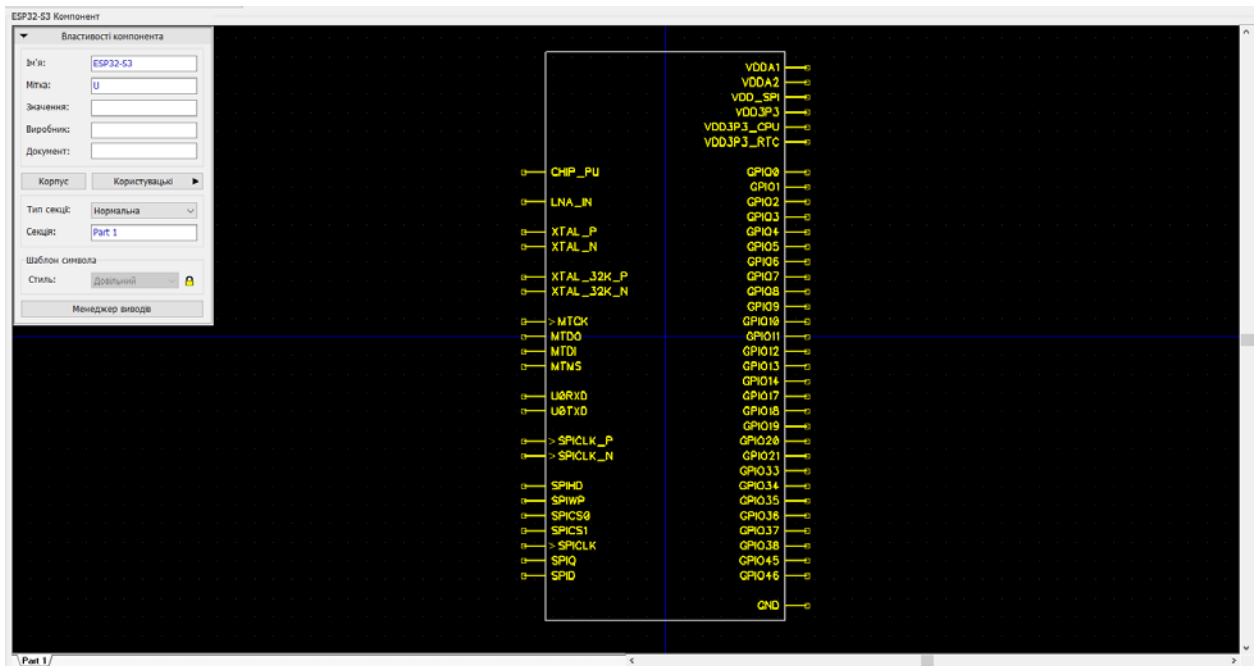


Рисунок 3.5 – Мікроконтролер з Wi-Fi та Bluetooth

Він є наступником популярного ESP32 і пропонує ряд покращень, включаючи такі характеристики:

- подвійне ядро Xtensa LX7: ESP32-S3 має два 32-бітні ядра Xtensa LX7, які можуть працювати на тактовій частоті до 240 МГц. Це робить його вдвічі потужнішим за ESP32;
- вбудований Wi-Fi та Bluetooth: ESP32-S3 має вбудований Wi-Fi 802.11 b/g/n та Bluetooth 5.0 LE, що робить його ідеальним для створення IoT-пристроїв та інших пристроїв з підключенням до мережі;

- робоча температура: $-40^{\circ}\text{C} \dots +80^{\circ}\text{C}$;
- температура зберігання: $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$;
- вологість: $0\% \dots 90\% \text{ RH}$ (без конденсації).

Переваги: широкий спектр застосування, низька вартість, малі розміри, висока надійність, простота використання.

Недоліки: складність використання, швидке старіння.

LM358PW – це подвійний операційний підсилювач (рисунок 3.7) загального призначення, який використовується в широкому спектрі електронних схем.

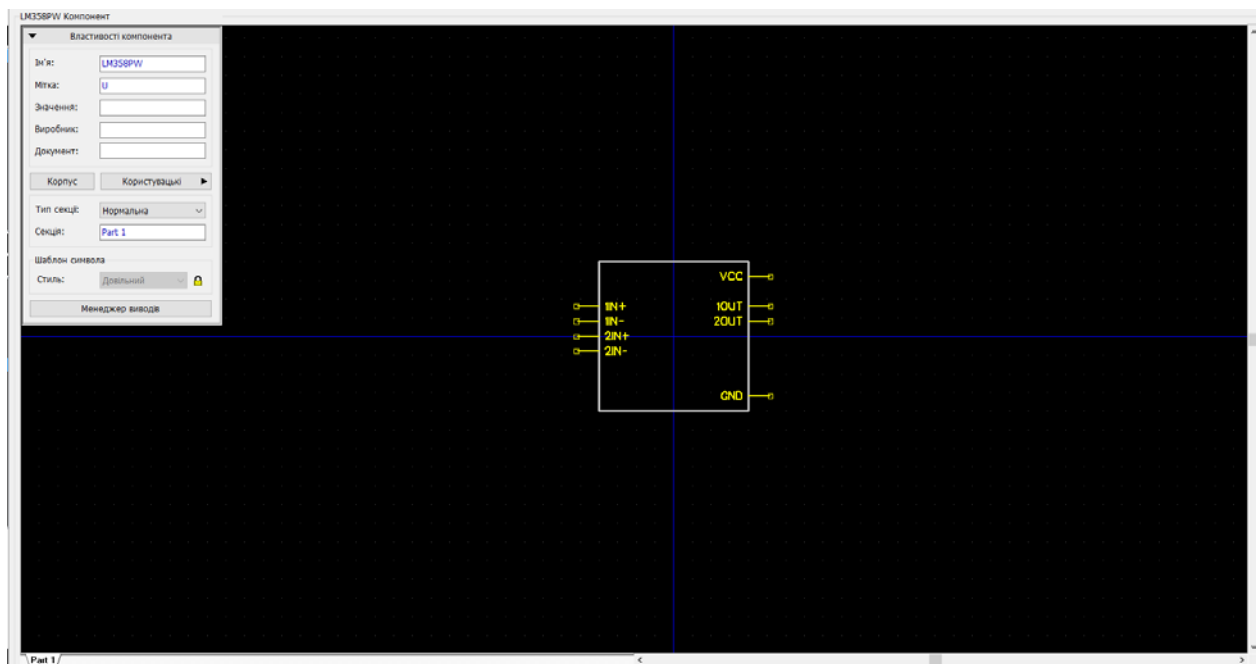


Рисунок 3.7 – Операційний підсилювач

Характеристики:

- подвійний операційний підсилювач;
- типове посилення по напрузі: 100 дБ;
- типова пропускна здатність: 700 кГц;
- типова швидкість наростання вихідної напруги: 0,3 В/мкс;
- діапазон живлення: $\pm 1,5 \text{ В} \dots \pm 16 \text{ В}$;
- споживання струму: 0,8 мА (типове);
- робоча температура: $0^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$;

- корпус: TSSOP8;
- виробник: Texas Instruments.

Переваги: низька вартість, малий розмір, низьке споживання енергії, високе посилення по напрузі, широка пропускна здатність, швидке наростання вихідної напруги, широкий діапазон живлення, простий у використанні.

Недоліки: необхідність додаткових компонентів, відносно низька швидкість наростання вихідної напруги, не підходить для застосунків з високим шумом.

ESP-01 – це недорогий модуль Wi-Fi, розроблений компанією Espressif Systems. Він використовує мікросхему ESP8266, яка забезпечує потужні можливості Wi-Fi та Bluetooth за низькою ціною (рисунок 3.8).

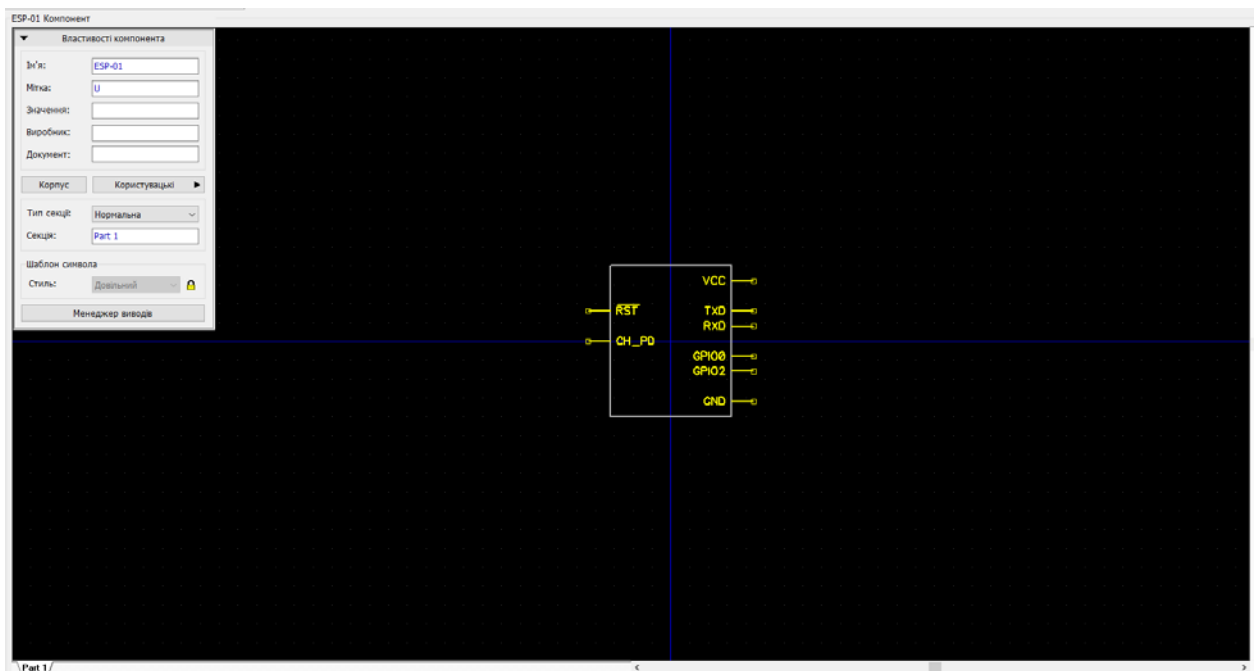


Рисунок 3.8 – Wi-Fi модуль (для ESP32)

ESP-01 широко використовується в проектах Інтернету речей (IoT), завдяки своїй простоті використання, компактності та низькому споживанню енергії.

Переваги: низька вартість, малий розмір, низьке споживання енергії, потужні можливості Wi-Fi, підтримка Bluetooth, програмованість, широке співтовариство.

Недоліки: обмежена пам'ять, відсутність вбудованого АЦП, складність налаштування.

Основні характеристики:

- мікроконтролер: Tensilica Xtensa LX106 @ 80 МГц;
- пам'ять: 80 КБ флеш-пам'яті, 32 КБ SRAM;
- бездротове підключення: Wi-Fi 802.11 b/g/n (2,4 ГГц), Bluetooth Low Energy (BLE) (деякі версії);
- інтерфейси: UART, SPI, I2C, GPIO;
- напруга живлення: 3,3 В;
- максимальний струм споживання: 215 мА.

RAC02-05SC – це компактний модуль живлення (рисунок 3.9) AC/DC, розроблений компанією RECOM Power.

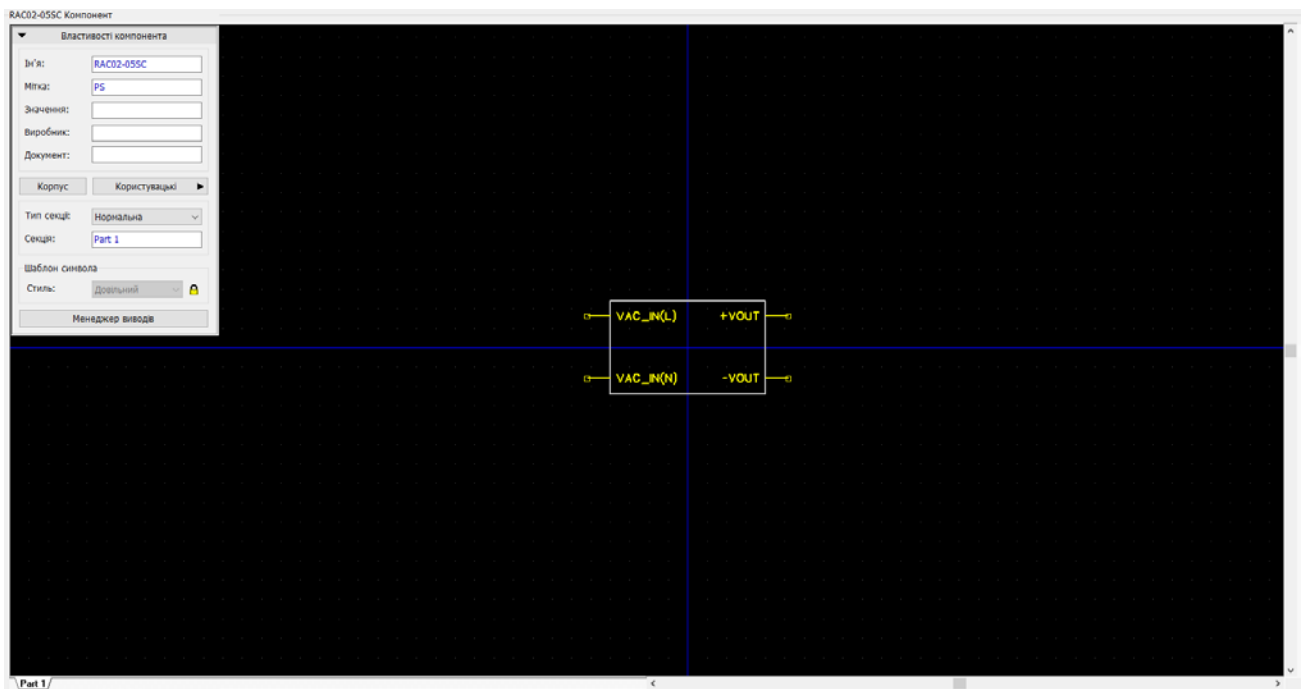


Рисунок 3.9 – Модуль живлення

Характеристики:

- тип: AC/DC модуль живлення;
- потужність: 2 Вт;
- вхідна напруга: 80-264 В змінного струму;
- вихідна напруга: 5 В;

- струм: 400 мА;
- ефективність: 70%;
- розмір: 25 x 15 x 11 мм;
- вага: 5 г;
- робоча температура: -40°C до +85°C;
- захист: Від короткого замикання, від перевантаження, від перенапруги;
- сертифікати: CE, UL, CSA, TUV.

Переваги: низька вартість, малий розмір, легка вага, висока ефективність, широкий діапазон вхідної напруги, захист від короткого замикання, перевантаження та перенапруги, відповідність стандартам CE, UL, CSA, TUV.

Недоліки: невелика вихідна потужність, відсутність додаткових функцій, таких як регулювання вихідної напруги або контроль струму.

B4B-PH-K – це 4-контактний роз'єм типу "штекер-розетка" (рисунок 3.10) для друкованих плат, розроблений компанією JST Sales America Inc.

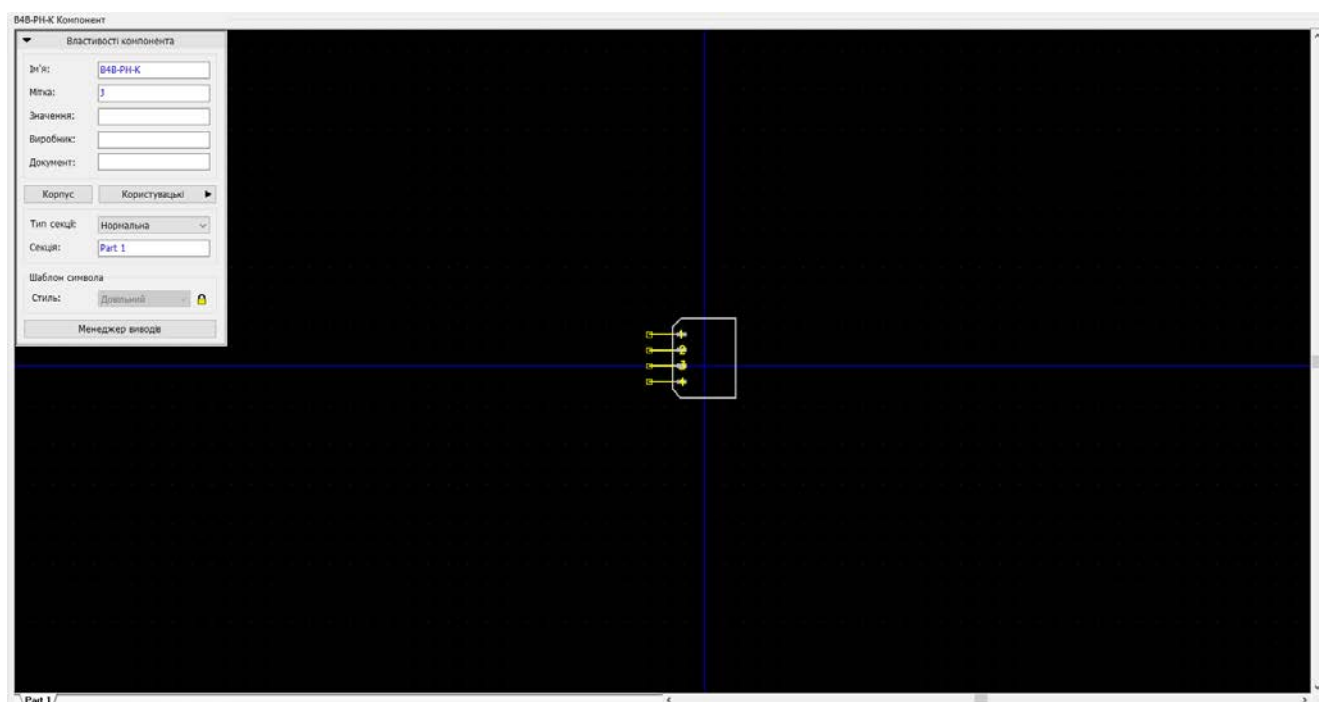


Рисунок 3.10 – З'єднувач

Він використовується в широкому спектрі електронних пристроїв, включаючи комп'ютери, телекомунікаційне обладнання та побутову техніку.

Характеристики:

- тип: Роз'єм типу "штекер-розетка" для друкованих плат;
- кількість контактів: 4;
- крок: 2,00 мм;
- номінальний струм: 2 А;
- номінальна напруга: 100 В;
- діапазон робочих температур: -25°C до +85°C;
- матеріал корпусу: Поліамід (РА66);
- матеріал контакту: Латунь.

Переваги: низька вартість, компактний розмір, легка вага, висока надійність, стійкість до вібрацій, проста установка, відповідність стандарту RoHS.

Недоліки: невеликий крок контактів, відсутність додаткових функцій, таких як герметизація або захист від роз'єднання.

3.3 Створення структурної схеми та результат роботи

Для створювання структурної схеми, потрібно розглянути модель підключення компонентів для загального функціонування системи, що зображено в додатку Б.

Маючи всі необхідні компоненти для створення структурної, оптико-електронної схеми контролю показників мікроклімату приміщення можна сформулювати наступну схему рисунок 3.11.

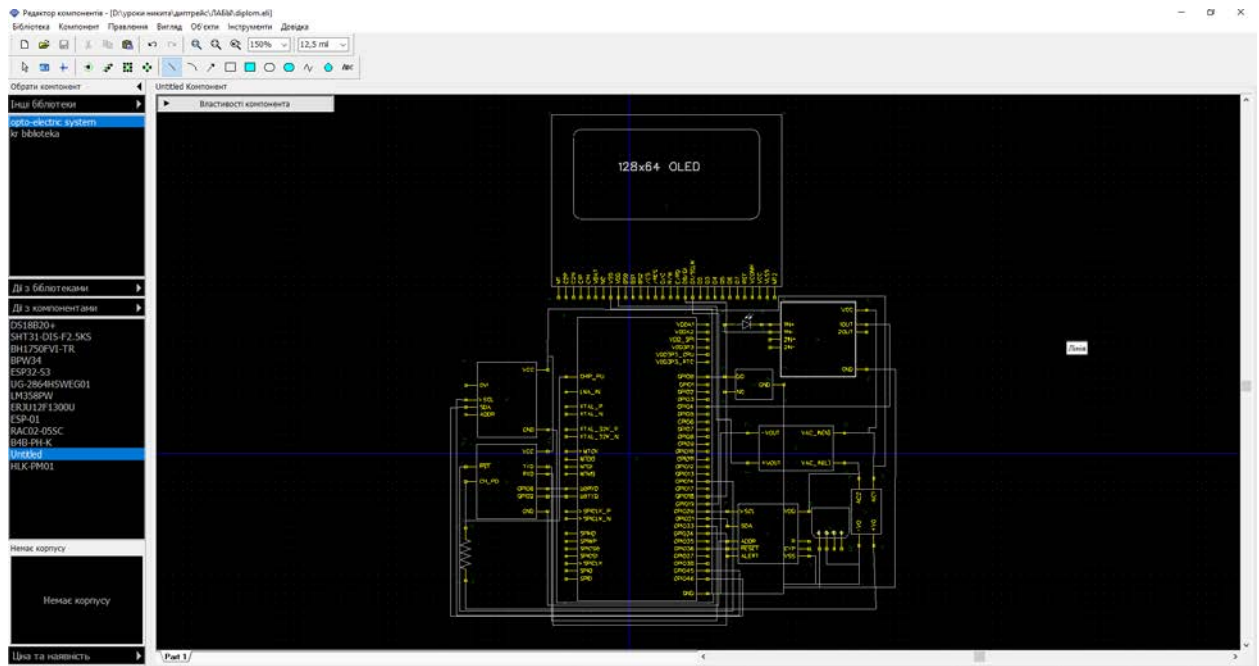


Рисунок 3.11 – Структурна схема контролю показників мікроклімату приміщення

Всі датчики підключаються до відповідних контактів мікроконтролера ESP32-S3 для зчитування даних. Дисплей підключається для відображення інформації, а модуль Wi-Fi ESP-01 для забезпечення можливості віддаленого моніторингу та управління. Операційний підсилювач може бути використаний для обробки аналогових сигналів від датчиків. Блок живлення забезпечує живлення всіх компонентів системи, а роз'єм використовується для зручного підключення та відключення компонентів.

За допомогою плати мікроконтролерів з відкритим кодом Arduino Uno, створено макет модельованої схеми контролю показників мікроклімату в приміщенні, на схемі зображені показники температури приміщення. При підключенні додаткових компонентів та датчиків можна варіювати результат роботи схеми.

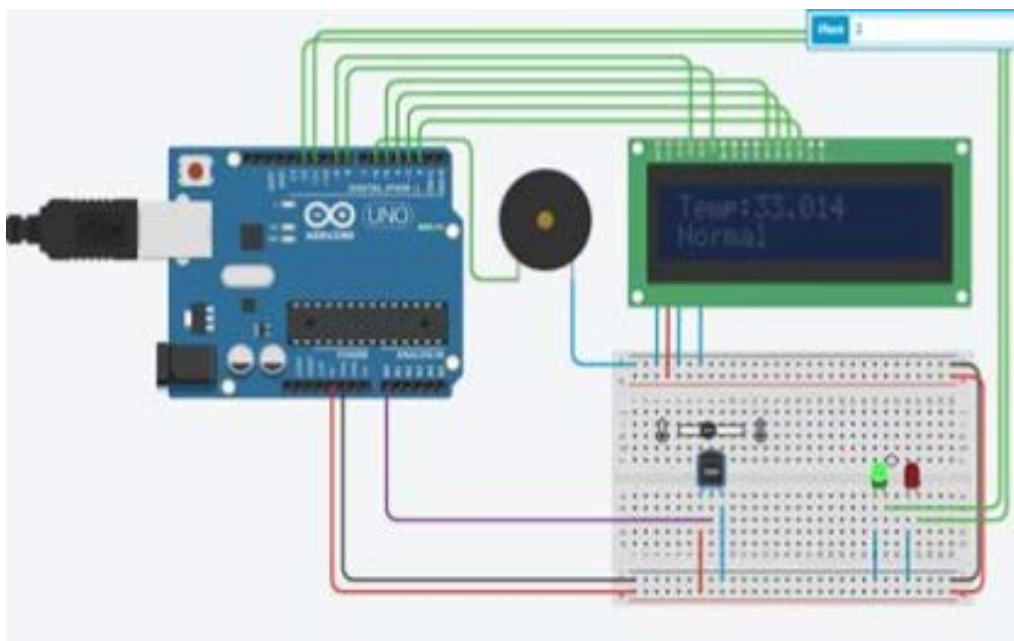


Рисунок 3.12 – Результат роботи модельованої схеми терморегуляції

Звісно можна вдосконалювати отриману схему, підключаючи до неї потрібні компоненти контролю мікроклімату приміщень, завдяки підтримці програмної складової системи зазначеною у додатку Г, досягти конструктивної роботи схеми зі всіма компонентами не буде проблемою.

Отримання функціонально повноцінної системи, дозволить повністю автоматизувати контроль різних кліматичних чинників у спорудах, та забезпечити сприятливі умови перебування в них.

ВИСНОВКИ

Під час написання цієї дипломної роботи були досліджені та розроблені методи та підходи до оптимізації температурного режиму у виробничих приміщеннях за допомогою багатоконтурних систем управління на основі оптико-електронних систем контролю мікроклімату.

У ході виконання роботи було проведено аналіз існуючих систем створення температурного режиму у виробничих приміщеннях. Було встановлено, що більшість з них базуються на простих одноконтурних структурах, які не враховують взаємний вплив різних параметрів мікроклімату, таких як температура, вологість та природне освітлення. Внаслідок цього такі системи не можуть ефективно прогнозувати та корегувати зміни параметрів мікроклімату у часі, що обмежує їх потенціал для забезпечення комфортних і безпечних умов праці.

Запропонована математична модель, розроблена у рамках цієї роботи, дозволяє прогнозувати та корегувати температурний режим у виробничих приміщеннях з урахуванням впливу природного сонячного освітлення та інших зовнішніх кліматичних параметрів. Використання методу найменших квадратів для визначення стандартної похибки експерименту та стандартного відхилення експериментальних значень підтвердило адекватність моделі.

Результати експериментальних досліджень показали, що запропонована модель дозволяє ефективно регулювати мікроклімат у виробничих приміщеннях, забезпечуючи комфортні умови для працівників та оптимізуючи споживання енергетичних ресурсів. Це, у свою чергу, сприяє підвищенню продуктивності праці та зменшенню витрат на енергію.

Розроблена структурна схема оптико-електронної системи контролю показників мікроклімату передбачає використання програмованих логічних контролерів, які дозволяють реалізувати багатоконтурне управління зворотного зв'язку. Це забезпечує можливість оперативного реагування на зміни параметрів мікроклімату та їх корекцію у режимі реального часу.

Запропонована модель також може бути використана для розрахунку значення температури в будь-якій точці об'єму приміщення, що робить її універсальною для застосування у різних типах виробничих об'єктів. Впровадження цієї моделі в існуючі системи управління мікрокліматом дозволить значно підвищити їх ефективність та забезпечити більш високий рівень енергозбереження.

Таким чином, результати дипломної роботи свідчать про перспективність використання багатоконтурних систем управління на основі оптико-електронних систем контролю для оптимізації температурного режиму у виробничих приміщеннях. Впровадження запропонованої моделі дозволить забезпечити комфортні та безпечні умови праці, зменшити споживання енергії та підвищити ефективність виробничих процесів.

Дослідження, проведені в рамках цієї роботи, створюють підґрунтя для подальших розробок у сфері автоматизації управління мікрокліматом у виробничих приміщеннях. Подальше вдосконалення моделей та алгоритмів управління, а також їх адаптація до конкретних умов виробництва, дозволить досягти ще більш високих показників ефективності та енергозбереження.

Запропонована система також може бути адаптована для використання у житлових та громадських будівлях, що відкриває нові можливості для забезпечення комфортного мікроклімату у різних сферах людської діяльності. Це підкреслює актуальність та важливість дослідженої теми, а також практичну значущість отриманих результатів для широкого кола споживачів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оптико-електронні системи контролю: підручник / Л. А. Булавін, О. В. Гонтаренко. – Київ: Либідь, 2019. – 320 с.
2. Основи оптичного вимірювання: навч. посіб. / В. Ю. Грабовський. – Львів: Львівська політехніка, 2018. – 288 с.
3. Мікроклімат приміщень: методи вимірювання та контролю / В. П. Демченко. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 352 с.
4. Вимірювальні прилади для контролю мікроклімату / В. М. Євтушенко, О. С. Іванов. – Одеса: ОНУ, 2021. – 304 с.
5. Оптико-електронні технології в екологічному моніторингу / В. І. Журба. – Київ: Наукова думка, 2022. – 296 с.
6. Основи теорії оптичних вимірювань: навч. посіб. / С. Г. Іванченко. – Дніпро: ДНУ, 2019. – 280 с.
7. Системи контролю мікроклімату приміщень: сучасні технології / С. М. Карасьов. – Запоріжжя: ЗНУ, 2020. – 314 с.
8. Оптичні методи вимірювання параметрів мікроклімату / А. І. Лебедєв, І. С. Мартинов. – Київ: КНУБА, 2021. – 290 с.
9. Вимірювання температури та вологості в приміщеннях / О. О. Мельник. – Вінниця: ВНТУ, 2018. – 260 с.
10. Контроль параметрів мікроклімату в будівлях / В. Ф. Нечай. – Львів: НУ «Львівська політехніка», 2020. – 322 с.
11. Оптичні сенсори в системах контролю мікроклімату / Т. С. Олексієнко. – Донецьк: ДонНТУ, 2019. – 280 с.
12. Інформаційні технології в оптико-електронних системах / О. В. Палієнко. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 308 с.
13. Методи аналізу мікроклімату приміщень / М. І. Радченко. – Полтава: ПНТУ, 2020. – 296 с.
14. Сенсорні технології в екологічному моніторингу / Г. П. Сидоренко. – Харків: ХНУ, 2018. – 268 с.

15. Інтегровані системи контролю мікроклімату / І. В. Тарасенко. – Київ: НАУ, 2021. – 310 с.
16. Оптичні системи для вимірювання параметрів мікроклімату / В. С. Устименко. – Рівне: НУВГП, 2019. – 276 с.
17. Системи контролю температури та вологості / О. А. Федорченко. – Київ: ІЕЗ ім. Є. Патона, 2020. – 288 с.
18. Методи та засоби контролю мікроклімату в приміщеннях / С. П. Хоменко. – Житомир: ЖДТУ, 2021. – 282 с.
19. Оптико-електронні прилади для екологічного моніторингу / Ю. М. Чайка. – Київ: КНУ, 2022. – 300 с.
20. Контроль показників мікроклімату: методи та прилади / В. К. Шевченко. – Луцьк: СНУ, 2020. – 270 с.

Додаток Ж
(обов'язковий)
ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НА ПЛАГІАТ
БАКАЛАВРСЬКОЇ ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Оптико-електронна система контролю показників мікроклімату приміщень»

Тип роботи: бакалаврська дипломна робота

Підрозділ: кафедра БМІОЕС

Науковий керівник: Кожем'яко А.В., к.т.н., доцент каф. БМІОЕС

Показники звіту подібності:

Unicheck	
Оригінальність	96.42%
Схожість	3.58%

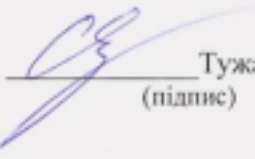
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

- ☐ 1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
- ☐ 2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ 3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи

Автор  Фащілін М.М.
(підпис)

Опис прийнятого рішення Робота допускається до захисту

Особа, відповідальна за перевірку  Тужанський С.Є.
(підпис)

Додаток Б

Терморегулятор. Схема електрична структурна

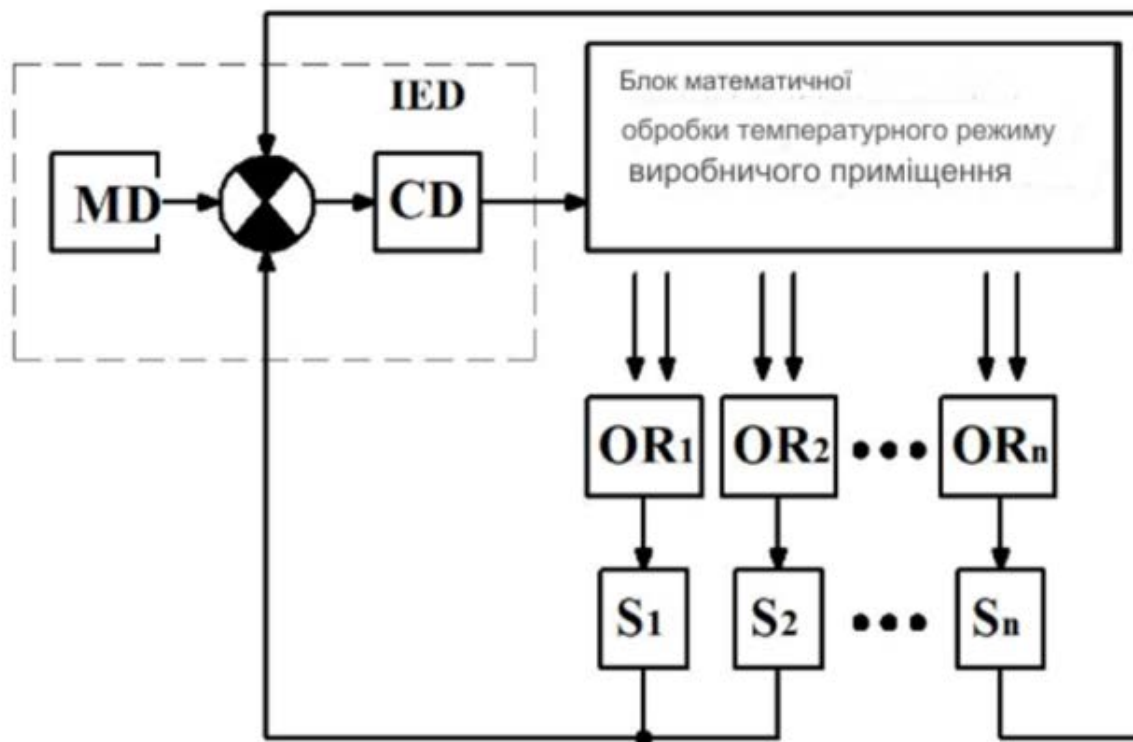


Рисунок А.1 – Схема

Додаток В

Терморегулятор. Схема електрична функціональна

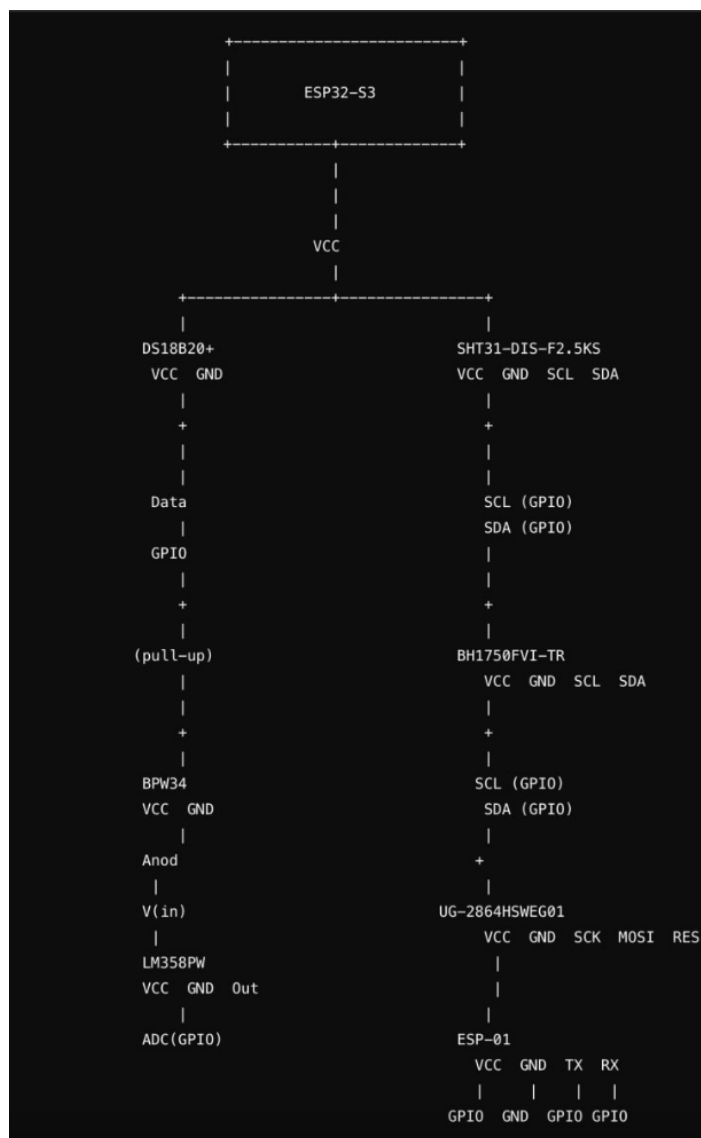


Рисунок Б.1 – Схема

Додаток Г

Блок-схема алгоритму



Додаток Г

Лістинг програми для зчитування даних з датчика МН-Z19В за допомогою
Arduino

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(2, 3); // RX, TX

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
  byte cmd[9] = {0xFF, 0x01, 0x86, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x79};
  byte response[9];

  mySerial.write(cmd, 9);
  mySerial.readBytes(response, 9);

  int CO2 = (response[2] * 256) + response[3];
  Serial.print("CO2: ");
  Serial.print(CO2);
  Serial.println(" ppm");

  delay(2000);
}
```

Код для датчик освітленості BH1750

```
#include <Wire.h>
#include <BH1750.h>

BH1750 lightMeter;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  lightMeter.begin();
  Serial.println("BH1750 Test");
}

void loop() {
  uint16_t lux = lightMeter.readLightLevel();
  Serial.print("Light: ");
  Serial.print(lux);
  Serial.println(" lx");
  delay(1000);
}
```

Код дозволяє зчитувати дані з датчика температури DS18B20

```
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

// Пін, до якого підключений DATA вивід DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 2

// Налаштування шини 1-Wire
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Налаштування сенсора температури DallasTemperature
DallasTemperature sensors(&oneWire);

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  Serial.println("DS18B20 Temperature Sensor Test");
}

void loop() {
  sensors.requestTemperatures(); // Запитати температуру з датчика
  float temperatureC = sensors.getTempCByIndex(0); // Отримати температуру в
  градусах Цельсія

  Serial.print("Temperature: ");
  Serial.print(temperatureC);
  Serial.println(" °C");

  delay(1000);
}
```

Код дозволяє зчитувати дані з датчика вологості SHT31

```
#include <Wire.h>
```

```
#include "Adafruit_SHT31.h"
```

```
Adafruit_SHT31 sht31 = Adafruit_SHT31();
```

```
void setup() {
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  if (!sht31.begin(0x44)) { // Адреса I2C за замовчуванням
```

```
    Serial.println("Couldn't find SHT31");
```

```
    while (1) delay(1);
```

```
  }
```

```
  Serial.println("SHT31 test");
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
  float temperature = sht31.readTemperature();
```

```
  float humidity = sht31.readHumidity();
```

```
  if (!isnan(temperature)) { // Перевірка на помилку
```

```
    Serial.print("Temp: ");
```

```
    Serial.print(temperature);
```

```
    Serial.print(" *C");
```

```
  } else {
```

```
    Serial.println("Error reading temperature!");
```

```
  }
```

```
  if (!isnan(humidity)) { // Перевірка на помилку
```

```
Serial.print("\tHumidity: ");  
Serial.print(humidity);  
Serial.println(" %");  
} else {  
    Serial.println("Error reading humidity!");  
}  
  
delay(1000);  
}
```