

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ

Група АКП-23-1К

Юрій Беркешук

2025

Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
Факультет автоматизації та енергетики
Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Беркешук Юрій Миколайович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК

681.53

(індекс)

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Інтелектуальна АСК установки кондиціонування

(назва роботи)

Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(назва освітньої програми)

174 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Нормоконтроль

доцент

(посада)

(підпис)

О.В. Кучмистенко

(дата)

(ініціали та прізвище)

Здобувач освітнього ступеня

АКП-23-1К

(шифр групи)

(підпис)

(дата)

Ю. М. Беркешук

(ініціали та прізвище)

Рецензент

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

В. С. Борин

(ініціали та прізвище)

Науковий керівник

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

М. І. Когутяк

(ініціали та прізвище)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

доцент

(посада)

(підпис)

(дата)

А.І. Лагойда

(ініціали та прізвище)

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Факультет автоматизації та енергетики

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Освітній рівень перший (бакалаврський)

Спеціальність _____

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АКІТ

«____» _____ 20__ року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Беркешуку Юрію Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Інтелектуальна АСК установки кондиціонування

керівник роботи Когутяк Мирослав Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 07 » 05 20 25 року № 52/8

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи Практичні матеріали, загальні технологічні вимоги, алгоритм регулювання температури, методичні вказівки, інтернет-ресурси.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

1. Аналіз технологічного процесу установки кондиціонування як об'єкта автоматичного контролю і керування.

2. Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування

3. Синтез та аналіз системи автоматичного керування

4. Розробка проєктної складової системи автоматичного керування

5. Загальні висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Лист 1 – Електрично-принципова схема – БР.АКП-35.00.00.000.01

Лист 2 – Функціональна схема об'єкта – БР.АКП-35.00.00.000.02

Лист 3 – Структурна схема об'єкта – БР.АКП-35.00.00.000.03

Лист 4 – Схема електричних з'єднань – БР.АКП-35.00.00.000.04

Лист 5 – Дизайн передньої панелі керування – БР.АКП-35.00.00.000.05

Лист 6 – Блок-схема алгоритм керування системою – БР.АКП-35.00.00.000.06

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 06.11.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу установки кондиціонування як об'єкта автоматичного контролю і керування	13.05.2025	Виконано
2	Математичне моделювання і ідентифікація об'єкта керування	20.05.2025	Виконано
3	Синтез та аналіз системи автоматичного керування	25.05.2025	Виконано
4	Розробка проєктної складової системи автоматичного керування	02.06.2025	Виконано
5	Загальні висновки	05.06.2025	Виконано

Студент _____
(підпис)

Беркешук Ю. М.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Когутяк М. І.

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська робота містить: 66 сторінок друкованого тексту, 24 рисунка, 8 таблиць, 13 переліків посилань на джерела.

Тема: «Інтелектуальна АСК установки кондиціонування»

Об'єкт дослідження: Процес підтримання параметрів температури та вологості за допомогою установки кондиціонування.

Мета роботи: розробка інтелектуальної автоматизованої системи керування установкою кондиціонування, яка забезпечує підтримання заданих параметрів, можливістю ручного та дистанційного керування.

Методи дослідження: побудова та моделювання системи експериментальним шляхом.

Результати бакалаврської роботи: в роботі досліджено автоматизовану систему керування установкою кондиціонування, проведено аналіз технологічного процесу, визначено основні вимоги до системи автоматичного регулювання. Побудовано математичні моделі основних об'єктів керування у вигляді аперіодичних ланок першого порядку. На основі цього моделювання виконано синтез системи автоматичного керування для стабілізації температури та регулювання вологості. Побудовано функціональну та принципову електричну схему системи, які включають в себе виконавчі механізми, датчики та користувацькі панелі для керування системою. Практична частина роботи виконана на основі мікроконтролерів Arduino та Node MCU. В системі передбачено ручне введення бажаних показників, а також можливість дистанційного керування та моніторингу. Описано програмне забезпечення для роботи системи, та складено алгоритм роботи. Проведено моделювання роботи системи в Matlab та проведено аналіз стійкості та її реакції на зовнішні збурення, що дало змогу оцінити надійність та ефективність даного проєкту.

Ключові слова: автоматизація, система кондиціонування, температура, Arduino, датчики, моделювання, керування.

ANNOTATION

The bachelor's thesis consists of 66 pages of printed text, 24 figures, 8 tables and 13 references.

Topic: "Intelligent control system for an air conditioning unit"

Object of the study: the process of maintaining temperature and humidity parameters using an air conditioning system.

Project goal: to develop an intelligent automated control system for an air conditioning unit that maintains specified parameters, with the possibility of both manual and remote control.

Research methods: experimental design and modeling of the system.

Results of the bachelor's thesis: the work examines an automated control system for an air conditioning unit. It includes an analysis of the technological process and determines the main requirements for an automatic control system. Mathematical models of the main control elements in the form of first-order aperiodic links have been developed. Based on these models, a control system for temperature stabilization and humidity control has been synthesized. A functional and basic electrical circuit diagram of the system has been created, including actuators, sensors and user control panels.

The practical part of the project is implemented using Arduino and NodeMCU microcontrollers. The system allows manual input of desired parameters, as well as remote control and monitoring. Software for the system has been developed and an algorithm for its operation has been created. The system's behavior has been modeled in the MATLAB environment with an analysis of the system's stability and response to external disturbances, which made it possible to evaluate the reliability and efficiency of the proposed solution.

Keywords: automation, air conditioning system, temperature, Arduino, sensors, modeling, control.

ЗМІСТ

	ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	8
	ВСТУП.....	9
1	АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ.....	10
	1.1 Призначення установки та суть процесу кондиціонування повітря.....	10
	1.2 Характеристика середовища, вимоги до температури та вологості.....	12
	1.3 Аналіз функціональної схеми установки кондиціонування.....	16
	1.4 Технічна характеристика обладнання.....	18
	1.5 Вибір та обґрунтування параметрів контролю і регулювання.....	19
	Висновки до розділу.....	22
2	МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ.....	24
	2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації.....	24
	2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації.....	25
	2.3 передавальні функції модуля нагрівача.....	25
	2.4 параметри зволожувача.....	26
	Висновки до розділу.....	28
3	СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	30
	3.1. Синтез одноконтурної системи автоматичного керування на основі ПД-регулятора.....	30

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Інтелектуальна АСК установки кондиціонування	Літ.	Арк.	Акрушів
		Беркешук Ю. М.					6	64
		Когутяк М. І.				АКП-23-1К ІФНТУНГ		
		Борин В. С.						
		Н. Контр. Кучмистенко О.В.						
		Лагойда А.І.						

3.2.Розширення до багатофункціональної системи керування (керування вологістю).....	34
3.3. Аналіз якості роботи САК.....	35
Висновки до розділу.....	36
4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК.....	38
4.1 Вибір технічних засобів автоматизації.....	38
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	46
4.3 Розробка структурної схеми автоматизації.....	48
4.4 Проектування схем живлення та електричних з'єднань.....	49
4.5Розробка програмного забезпечення.....	50
4.6 Розробка інтерфейсу для користувача.....	51
Висновки до розділу.....	52
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ НА ДЖЕРЕЛА.....	54
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматична система керування

ПІД – пропорційно-інтегрально-диференціальний

АЦП – аналогово-цифровий перетворювач

ПК – персональний комп'ютер

САК – система автоматичного керування

ПЛК – програмований логічний контролер

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

Забезпечення стабільних показників мікроклімату є важливим чинником не лише при повсякденному житті людини, але й для належного функціонування технологічного обладнання, зберігання матеріалів, продукції, або підтримки встановлених санітарно-гігієнічних норм. У зв'язку цим росте попит на автоматизовані системи кондиціонування які можуть не тільки підтримувати задані параметри а й працювати ефективно та економно.

Класичні системи кондиціонування повітря які функціонують на основі ручного керування або з використанням простих терморегуляторів не відповідають сучасним вимогам. Розвиток інформаційних технологій, інтернету речей, мікроконтролерів, датчиків та бездротових мереж створюють сприятливі умови для розвитку та переходу на автоматичне керування. Вони можуть адаптуватись до змін в навколишньому середовищі, ефективно змінювати параметри виконавчих механізмів та можуть бути оснащені елементами дистанційного керування та моніторингу.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка інтелектуальної автоматизованої системи керування установкою кондиціонування з можливістю керування повітрям та вологістю, інтеграцією інтернет-сервісів та веб інтерфейсів. Об'єктом дослідження є параметри мікроклімату приміщень вцілому, та підбір технічних та програмних засобів для їх регулювання.

Однією з особливостей проекту є використання веб-інтерфейсів для дистанційного моніторингу та керування в реальному часі з будь-якого пристрою та будь-якої точки світу, а також надає можливість інтегрування в інші системи.

Таким чином дана бакалаврська робота спрямована на вирішення актуального завдання, а саме – створення ефективною, зручною та надійною автоматизованої системи кондиціонування, яка поєднує загальноприйняті принципи регулювання з інноваційними цифровими технологіями.

Бакалаврська робота містить вступ, 4 розділи, загальні висновки, перелік літературних джерел та додатки.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ УСТАНОВКИ КОНДИЦІОНУВАННЯ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ І КЕРУВАННЯ

1.1 Призначення установки та суть процесу кондиціонування повітря

Кондиціонування повітря являє собою комплексний технологічний процес, спрямований на створення та підтримання оптимальних мікрокліматичних умов у приміщеннях різного призначення. Основна мета даного процесу полягає у забезпеченні комфортних умов для перебування людей, а також створенні необхідних параметрів повітряного середовища для технологічних процесів та збереження матеріальних цінностей. Кондиціонування повітря включає в себе регулювання температури, відносної вологості, швидкості руху повітря, його чистоти та хімічного складу.

Призначення установок кондиціонування повітря визначається специфікою об'єкта та вимогами до параметрів внутрішнього повітряного середовища. У житлових та офісних приміщеннях основною функцією є забезпечення теплового комфорту людини, що передбачає підтримання температури повітря в межах 20-24°C влітку та 18-22°C взимку при відносній вологості 40-60%. Для промислових об'єктів кондиціонування може мати технологічне призначення, коли параметри повітря повинні відповідати строгим вимогам виробничих процесів, наприклад, у фармацевтичній, електронній або харчовій промисловості.

Суть процесу кондиціонування повітря базується на термодинамічних принципах теплообміну та масообміну. Повітря, що надходить до приміщення, проходить через ряд послідовних обробок, кожна з яких змінює його фізичні властивості. Термодинаміка процесу описується за допомогою I-d діаграми вологого повітря, де відображаються зміни ентальпії та вологовмісту повітря під час різних видів обробки. Основні процеси включають нагрівання, охолодження, зволоження, осушення, змішування та фільтрацію повітря.

Класифікація систем кондиціонування повітря відбувається за декількома

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

критеріями. За способом обробки повітря розрізняють центральні та місцеві системи. Центральні системи передбачають обробку всього повітря в одному місці з подальшим розподілом по приміщеннях, тоді як місцеві системи здійснюють обробку безпосередньо в кондиціонованому приміщенні. За принципом дії системи поділяються на прямоточні, рециркуляційні та змішані, залежно від того, яка частка зовнішнього повітря використовується в системі.

Теплообмінні процеси в установках кондиціонування повітря реалізуються через спеціальні апарати - калорифери для нагрівання та випарники для охолодження. Калорифер являє собою теплообмінник, в якому теплоносієм (гаряча вода, пара або електричні нагрівачі) передає тепло повітрю, що проходить через нього. Випарник холодильної машини працює за зворотним принципом, відбираючи тепло від повітря за рахунок випаровування холодоагенту при низькій температурі та тиску.

Процеси вологообміну здійснюються через спеціальні пристрої зволоження та осушення повітря. Зволоження може відбуватися адіабатичним способом шляхом розпилення води або впорскування пари, або ізотермічним способом з використанням парогенераторів. Осушення повітря зазвичай відбувається конденсаційним методом, коли повітря охолоджується нижче точки роси, внаслідок чого надлишкова волога конденсується на поверхнях теплообмінника. Психрометричні розрахунки дозволяють точно визначити параметри повітря на кожному етапі обробки.

Очищення повітря є невід'ємною складовою процесу кондиціонування та здійснюється за допомогою різних типів фільтрів. Механічні фільтри затримують тверді частинки пилу, електростатичні фільтри використовують електричне поле для уловлювання дрібнодисперсних забруднень, а хімічні фільтри призначені для поглинання газоподібних домішок. Ефективність очищення характеризується коефіцієнтом фільтрації, який показує відношення концентрації забруднень на вході та виході з фільтра.

Автоматизація та регулювання систем кондиціонування повітря забезпечує точне підтримання заданих параметрів мікроклімату з мінімальними

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

енергетичними витратами. Система автоматичного регулювання включає датчики температури, вологості та тиску, регулюючі клапани, виконавчі механізми та контролер, який обробляє сигнали та формує керуючі впливи. Сучасні системи використовують мікропроцесорні контролери з можливістю програмування різних режимів роботи та дистанційного керування.

Енергетична ефективність установок кондиціонування повітря визначається коефіцієнтом енергетичної ефективності (EER) для режиму охолодження та коефіцієнтом опалення (COP) для теплових насосів. Ці показники характеризують відношення корисної холодопродуктивності або теплопродуктивності до споживаної електричної потужності. Підвищення енергоефективності досягається через використання змінних швидкостей обертання вентиляторів та компресорів, рекуперацію тепла витяжного повітря, оптимізацію режимів роботи залежно від навантаження.

Екологічні сторони кондиціонування повітря пов'язані з використанням озонобезпечних холодоагентів та зниженням викидів парникових газів. Сучасні системи переходять на природні холодоагенти, такі як аміак, вуглекислий газ та вуглеводні, які мають нульовий потенціал руйнування озонового шару та низький потенціал глобального потепління. Інтеграція відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних колекторів та геотермальних систем, дозволяє значно знизити вплив на навколишнє середовище та забезпечити сталий розвиток технологій кондиціонування повітря.

1.2 Характеристика середовища, вимоги до температури та вологості

Характеристика повітряного середовища у приміщеннях визначається комплексом фізичних параметрів, серед яких найважливішими є температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та його якісний склад. Ці параметри безпосередньо впливають на самопочуття людини, продуктивність праці та ефективність технологічних процесів. Мікроклімат приміщення формується під впливом зовнішніх кліматичних умов, внутрішніх джерел тепло- та вологовиділень, а також роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

повітря. Оптимальне поєднання цих факторів забезпечує комфортні умови перебування людей та належне функціонування обладнання.

Температурний режим приміщень регламентується санітарними нормами та технічними стандартами, які враховують призначення об'єкта, характер діяльності людей та технологічні вимоги. Для житлових приміщень оптимальна температура повітря взимку становить 20-22°C, влітку - 22-25°C з допустимими коливаннями $\pm 2^\circ\text{C}$. У робочих приміщеннях офісного типу рекомендована температура знаходиться в межах 20-24°C залежно від сезону та характеру трудової діяльності. Температурний комфорт визначається не лише абсолютним значенням температури повітря, але й рівномірністю її розподілу по висоті та площі приміщення (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Оптимальні параметри мікроклімату для різних типів приміщень

Тип приміщення	Температура повітря, °C	Відносна вологість, %	Швидкість повітря, м/с
Житлові кімнати	20-22 (зима), 23-25 (літо)	40-60	$\leq 0,15$
Офісні приміщення	20-24	40-60	$\leq 0,25$
Класні кімнати	18-20	40-60	$\leq 0,15$
Лікарняні палати	20-22	45-55	$\leq 0,15$
Спортивні зали	15-17	45-65	$\leq 0,5$
Торговельні зали	16-18 (зима), 20-22 (літо)	45-65	$\leq 0,3$

Вологісний режим повітря характеризується абсолютною та відносною вологістю, які визначають кількість водяної пари в повітрі. Абсолютна вологість показує масу водяної пари в одиниці об'єму повітря і вимірюється в г/м^3 , тоді як відносна вологість є відношенням фактичного вмісту водяної пари до максимально можливого при даній температурі і виражається у відсотках. Оптимальна відносна вологість для більшості приміщень становить 40-60%, що

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

забезпечує комфортні умови для людини та запобігає розвитку патогенних мікроорганізмів.

Фізіологічні сторони впливу температури та вологості на організм людини пов'язані з процесами терморегуляції та водно-сольового обміну. При підвищеній температурі та низькій вологості відбувається інтенсивне випаровування вологи з поверхні шкіри та слизових оболонок, що може призвести до зневоднення організму та подразнення дихальних шляхів. Навпаки, при високій вологості порушується природний процес охолодження організму через потовиділення, що викликає відчуття духоти та дискомфорту. Температурно-вологісний індекс (ТВІ) є комплексним показником, який враховує одночасний вплив температури та вологості на теплове самопочуття людини (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 - Класифікація теплового стану людини за температурно-вологісним індексом

Значення ТВІ, °С	Теплове відчуття	Фізіологічний стан
< 15	Холодно	Необхідність додаткового утеплення
15-20	Прохолодно	Комфортно при активній діяльності
20-26	Комфортно	Оптимальні умови
26-30	Тепло	Можливий легкий дискомфорт
30-35	Жарко	Зниження працездатності
> 35	Дуже жарко	Небезпека перегрівання

Технологічні вимоги до параметрів повітряного середовища в промислових приміщеннях часто є більш жорсткими порівняно з комфортними умовами для людини. У виробництві електронних компонентів, фармацевтичних препаратів, точних приладів та харчових продуктів підтримуються строго регламентовані значення температури та вологості з мінімальними відхиленнями. Класи чистоти повітря згідно з міжнародними стандартами ISO 14644 визначають максимально допустиму концентрацію частинок різних розмірів, що вимагає використання багатоступеневої системи фільтрації.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Вплив зовнішніх кліматичних умов на параметри внутрішнього повітряного середовища залежить від теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, орієнтації будівлі відносно сторін світу та сонячної радіації. У холодний період року основним джерелом тепловтрат є трансмісія через стіни, вікна, покрівлю та інфільтрація холодного повітря через нещільності. Влітку приміщення отримують надлишкове тепло від сонячної радіації через прозорі огороження, що вимагає відповідного збільшення холодопродуктивності систем кондиціонування (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 - Розрахункові параметри зовнішнього повітря для різних кліматичних зон України

Кліматична зона	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Тиск водяної пари, Па
	Зима	Літо	Зима
I (Полісся)	-22	+28	84
II (Лісостеп)	-20	+29	83
III (Степ)	-18	+31	82
IV (Південний берег Криму)	-5	+32	78

Внутрішні джерела тепло- та вологовиділень включають людей, освітлювальні прилади, електричне та технологічне обладнання, процеси приготування їжі та інші види діяльності. Тепловиділення від людини залежить від її фізичної активності та становить від 80 Вт у стані спокою до 500 Вт при важкій фізичній роботі. Вологовиділення від людини варіюється від 30 г/год у стані спокою до 300 г/год при інтенсивній діяльності. Сучасні світлодіодні джерела освітлення мають значно менші тепловиділення порівняно з лампами розжарювання, що дозволяє зменшити навантаження на системи кондиціонування.

Методи контролю та регулювання параметрів мікроклімату базуються на використанні автоматичних систем з датчиками температури, вологості та якості повітря. Пропорційно-інтегрально-диференціальні (ПІД) регулятори

										Арк.
										15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ					

забезпечують точне підтримання заданих параметрів з мінімальними коливаннями. Зонування приміщень дозволяє створювати різні мікрокліматичні умови в окремих зонах залежно від їх призначення та режиму використання. Інтелектуальні системи управління будинком (BMS) інтегрують всі інженерні системи та дозволяють оптимізувати енергоспоживання при забезпеченні комфортних умов для користувачів.

1.3 Аналіз функціональної схеми установки кондиціонування

Функціональна схема установки кондиціонування повітря представляє собою графічне зображення взаємозв'язку між основними елементами системи та послідовності технологічних процесів обробки повітря. Схема відображає принципові рішення щодо компонування обладнання, траєкторії руху повітря, точки контролю параметрів та місця розташування регулюючої арматури. Аналіз функціональної схеми дозволяє оцінити ефективність проектних рішень, виявити потенційні проблемні зони та оптимізувати роботу системи в цілому. Структурно схема включає повітрозабірну частину, блок обробки повітря, систему розподілу та повітровіддалення з відповідними комунікаціями та засобами автоматизації.

Повітрозабірна частина системи забезпечує подачу зовнішнього повітря до установки та включає повітрозабірні решітки, захисні жалюзі та первинні фільтри грубого очищення. Конструкція повітрозабірних пристроїв передбачає захист від атмосферних опадів, механічних забруднень та комах, а також можливість регулювання кількості зовнішнього повітря залежно від потреб системи та зовнішніх умов.

Центральний кондиціонер являє собою комплекс обладнання для багатоступеневої обробки повітря та розміщується в окремому технічному приміщенні або на покрівлі будівлі. Корпус кондиціонера виготовляється з оцинкованої сталі або алюмінію з теплоізоляційним шаром для зменшення тепловтрат та запобігання конденсації. Модульна конструкція дозволяє компонувати різні секції залежно від технологічних вимог: секції

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

вібрацій від вентилятора на будівельні конструкції.

Система розподілу повітря включає мережу повітропроводів, регулюючу арматуру та повітророзподільні пристрої, які забезпечують доставку обробленого повітря до кожного приміщення. Повітропроводи виготовляються з оцинкованої сталі або алюмінію і мають теплоізоляцію для запобігання тепловтратам та конденсатоутворенню. Аеродинамічний розрахунок мережі повітропроводів визначає їх діаметри та конфігурацію для забезпечення необхідних витрат повітря при мінімальних енергетичних витратах. Повітророзподільні пристрої - дифузори, решітки та сопла - формують характер повітряних потоків у приміщенні та впливають на ефективність вентиляції та комфортність умов.

1.4 Технічна характеристика обладнання

Технічна характеристика обладнання систем кондиціонування повітря включає комплекс параметрів, що визначають експлуатаційні можливості, енергетичну ефективність та надійність роботи всіх компонентів системи. Основними показниками є продуктивність по повітрю, холодопродуктивність, теплопродуктивність, споживана електрична потужність, робочий тиск, діапазон регулювання та ресурс роботи. Технічні параметри обладнання повинні відповідати розрахунковим навантаженням приміщень з урахуванням коефіцієнтів запасу та можливості роботи в змінних умовах експлуатації. Правильний підбір обладнання за технічними характеристиками забезпечує оптимальне співвідношення між капітальними та експлуатаційними витратами протягом всього життєвого циклу системи.

Система автоматизації включає контролери, датчики, виконавчі механізми та програмне забезпечення для управління роботою всіх компонентів системи кондиціонування. Програмовані логічні контролери (ПЛК) забезпечують обробку сигналів від датчиків температури, вологості, тиску та якості повітря з точністю 0,1-0,5% від діапазону вимірювання. Електропневматичні виконавчі механізми для регулюючих клапанів мають час спрацьовування 15-60 секунд та

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

контрольованими параметрами є температура повітря в приміщеннях, відносна вологість, концентрація вуглекислого газу, тиск у повітропроводах та електричні параметри обладнання. Система регулювання повинна забезпечувати підтримання заданих значень цих параметрів з мінімальними відхиленнями при змінних зовнішніх умовах та внутрішніх навантаженнях. Правильний вибір параметрів контролю дозволяє оптимізувати енергоспоживання системи та забезпечити високу якість мікроклімату в обслуговуваних приміщеннях.

Температурний контроль є найважливішим елементом регулювання систем кондиціонування та здійснюється на декількох рівнях технологічного процесу. Первинний контроль температури зовнішнього повітря необхідний для компенсації змін навантаження на систему та перемикання між сезонними режимами роботи. Контроль температури повітря після кожної секції обробки дозволяє оцінити ефективність роботи теплообмінників та своєчасно виявити відхилення від розрахункових параметрів. Температура приточного повітря регулюється для забезпечення необхідного теплового балансу приміщень з урахуванням внутрішніх тепловиділень та тепловтрат через огорожувальні конструкції. Зональний контроль температури в окремих приміщеннях або зонах дозволяє створювати індивідуальні мікрокліматичні умови залежно від призначення та режиму використання.

Контроль вологості повітря необхідний для забезпечення комфортних умов та запобігання конденсатоутворенню на внутрішніх поверхнях приміщень. Відносна вологість зовнішнього повітря впливає на вологісне навантаження системи та визначає необхідність увімкнення систем зволоження або осушення. Абсолютна вологість повітря після секції охолодження характеризує ефективність процесу осушення та дозволяє розрахувати кількість сконденсованої вологи. Контроль вологості приточного повітря забезпечує підтримання заданих параметрів мікроклімату незалежно від змін зовнішніх умов. Регулювання вологості здійснюється за допомогою систем зволоження з форсунками високого тиску або паровими зволожувачами з точністю $\pm 3-5\%$.

Моніторинг якості повітря включає контроль концентрації вуглекислого

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

газу, летючих органічних сполук та механічних забруднень для забезпечення належної вентиляції приміщень. Концентрація CO₂ є індикатором накопичення продуктів життєдіяльності людей та ефективності роботи вентиляції, при цьому допустимі значення становлять 800-1000 ppm для офісних приміщень та 600-800 ppm для житлових. Контроль забрудненості фільтрів здійснюється вимірюванням перепаду тиску на фільтрувальних елементах, що дозволяє своєчасно здійснювати їх заміну та підтримувати ефективність очищення повітря. Датчики якості повітря підключаються до системи управління для автоматичного регулювання витрати зовнішнього повітря залежно від фактичного навантаження.

Регулювання тиску в системах повітропроводів забезпечує стабільну подачу повітря до всіх приміщень незалежно від зміни аеродинамічного опору та положення регулюючих пристроїв. Статичний тиск у магістральних повітропроводах підтримується на рівні 200-800 Па залежно від протяжності мережі та кількості розгалужень. Система підтримання постійного тиску включає датчики тиску, регулюючі клапани з електроприводами та частотні перетворювачі для управління швидкістю вентиляторів.

Енергетичні параметри контролю включають споживану електричну потужність, коефіцієнт потужності та енергоефективність системи в цілому. Моніторинг електроспоживання компресорів холодильних машин дозволяє оцінити їх завантаження та виявити відхилення від номінальних характеристик. Контроль струму та напруги електродвигунів вентиляторів необхідний для діагностики технічного стану обладнання та попередження аварійних ситуацій.

Алгоритми регулювання визначають логіку роботи системи автоматизації та можуть включати пропорційне (П), інтегральне (І), диференційне (Д) регулювання або їх комбінації. ПІД-регулятор забезпечує найбільш точне підтримання заданих параметрів з мінімальними коливаннями та швидким досягненням усталеного режиму. Каскадне регулювання використовується для складних об'єктів з декількома взаємопов'язаними параметрами, коли зовнішній контур регулює основний параметр, а внутрішній - допоміжний. Адаптивне

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулювання дозволяє автоматично змінювати параметри регулятора залежно від умов експлуатації та характеристик об'єкта управління.

Система збору та обробки даних включає промислові контролери, мережеві інтерфейси та програмне забезпечення для моніторингу та управління всіма параметрами системи кондиціонування. SCADA-система забезпечує візуалізацію технологічного процесу, архівування даних, формування звітів та сигналізацію про аварійні ситуації. Протоколи зв'язку Modbus, BACnet або LonWorks дозволяють інтегрувати обладнання різних виробників в єдину систему управління. Веб-інтерфейс надає можливість дистанційного моніторингу та управління системою через Інтернет з будь-якого пристрою з браузером.

Оптимізація параметрів регулювання здійснюється на основі аналізу перехідних процесів, показників якості регулювання та енергетичної ефективності системи. Критерії оптимізації включають мінімізацію середньоквадратичного відхилення регульованого параметра, зниження енергоспоживання та забезпечення стійкості системи регулювання. Методи налаштування регуляторів включають емпіричні методи Циглера-Нікольса, розрахункові методи на основі математичних моделей об'єкта та адаптивні алгоритми самоналаштування. Програмне забезпечення для моделювання динамічних процесів дозволяє відпрацювати алгоритми регулювання на імітаційних моделях перед їх впровадженням на реальних об'єктах.

Висновки до розділу

Аналіз призначення установки та сутності процесу кондиціонування повітря показав, що кондиціонування являє собою складний комплексний технологічний процес, спрямований на створення та підтримання оптимальних умов у приміщеннях різного призначення. Основою процесу є термодинамічні принципи теплообміну та масообміну, що реалізуються через послідовні операції нагрівання, охолодження, зволоження, осушення, змішування та фільтрації повітря.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ І ІДЕНТИФІКАЦІЯ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору об'єкта автоматизації

В якості об'єкта автоматизації в даній роботі мною було обрано систему кондиціонування повітря, яка забезпечує підтримання заданих параметрів мікроклімату, а саме температури повітря та його відносну вологість. Вибір цієї установки зумовлено актуальністю забезпечення комфортних умов для перебування людини, а також чутливих до цих умов процесів.

Зараз системи кондиціонування є складними об'єктами, що включають нагрівачі, зволожувачі, вентилятори, засувки, тощо. Без використання автоматизованих систем керування ефективно управління такими установками є майже неможливим через постійну зміну показників та необхідність в своєчасній реакції на зовнішні чинники. Вибір даного об'єкту автоматизації зумовлено такими чинниками:

- Наявність явно виражених параметрів для керування, а саме температура та вологість повітря які відповідають нормам для комфортного перебування людини та предметів побуту.
- Частий вплив зовнішніх збурень на об'єкт, таких як погодні умови або кількість людей у приміщенні, що робить ручне керування неефективним.
- Можливість використання в проекті сучасних програмно-апаратних платформ, що дозволяє реалізувати дистанційне керування та моніторинг показників.

Реальну доцільність автоматизації цього об'єкта можна спостерігати на практиці. Автоматичне регулювання параметрів мікроклімату у приміщеннях є досить вагомим чинником при необхідності зниження енергоспоживання, продовження терміну роботи обладнання та забезпечення дотримання певних санітарних норм. В технологічних процесах зв'язаних з фармацевтикою або харчовою промисловістю параметри якості повітря мають бути стабільними в

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

можливістю відхилення всього на декілька відсотків, що можливо лише при автоматичному контролі.

2.2 Визначення характеристик об'єкта автоматизації

Об'єктом автоматизації виступає система кондиціонування повітря з функціями для регулювання температури та відносної вологості повітря. Система має складну динамічну поведінку що викликано високою інерційністю теплообміну а також сильним впливом зовнішніх чинників на систему в цілому. Для забезпечення ефективного керування необхідно визначити математичні характеристики основних модулів в системі – нагрівача та зволожувача.

2.3 Передавальна функція модуля нагрівача

Для розробки ПД-регулятора необхідно спочатку вивести передавальну функцію об'єкта керування, в даному випадку системи з нагрівачем та повітрям температура якого залежить від нього. Такий об'єкт буде інерційним тому, що температура повітря змінюється не одразу а після деякого часу взаємодії з нагрівачем.

Згідно з законами термодинаміки, рівняння теплового балансу виглядає так:

$$C \frac{dT(t)}{dt} = P(t) - \frac{T(t) - T_{\text{зовн.}}}{R};$$

де:

C - тепловмісність системи (повітря + матеріали)

R - термічний опір між об'єктом і середовищем в якому він знаходиться

T(t) - температура всередині об'єкта у момент часу

T зовн. - температура навколишнього середовища

P(t) - потужність, яку видає нагрівач у певний момент часу

Лінеаризація

Для полегшення подальшого аналізу вважатимемо що T зовн. дорівнює 0, тоді рівняння матиме вид:

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

$$\frac{dT(t)}{dt} + \frac{1}{RC}T(t) = \frac{1}{C}P(t);$$

Перетворення Лапласа

Використавши перетворення Лапласа отримуємо:

$$sT(s) + \frac{1}{RC}T(s) = \frac{1}{C}P(s);$$

Винесемо T(s) за дужки:

$$T(s) \left(s + \frac{1}{RC} \right) = \frac{1}{C}P(s);$$

Відношення виходу T(s) до входу P(s) виводить нам передавальну функцію об'єкта:

$$G(s) = \frac{T(s)}{P(s)} = \frac{1}{Cs + \frac{1}{R}};$$

Подамо у вигляді звичайної аперіодичної ланки першого порядку:

$$G(s) = \frac{K}{Ts + 1};$$

$K=R$, $T=RC$. Таким чином моделлю об'єкта є інерційна система першого порядку, де параметри K і T залежать від теплоємності та теплообміну середовища, надалі візьмо значення $K=1$ та $T=100$ як апроксимацію.

2.4 Параметри зволожувача

Для ефективного регулювання мікрокліматом в приміщеннях необхідно вести спостереження не лише за температурою, а й за вологістю. Тому в систему керування також буде додано контур керування вологістю.

Зволожувач в даній системі автоматизації буде відповідати з підтримання заданого рівня відносної вологості у приміщенні. В роботі використано ультразвуковий зволожувач, який генерує дрібний туман за допомогою вібрацій високої частоти. Цей тип зволожувачів є досить дешевим та ефективним.

Щоб описати поведінку зволожувача буде використана спрощена математична модель – аперіодична ланка першого порядку, це значить що зміна вологості в повітрі буде відбуватися з певною інерційністю (затримкою).

Передавальна функція такої ланки має вид:

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1};$$

де: К – коефіцієнт підсилення, Т – стала часу що характеризує інерційність процесу зміни вологості.

Таке подання дозволяє врахувати фізичну інерційність процесу, яке пов'язане з повільним накопиченням вологив повітрі.

Перехідна характеристика при увімкненні зволожувача описується формулою:

$$y(t) = K * U_0(1 - e^{-\frac{t}{T}});$$

де: U_0 – амплітуда керуючого сигналу, $y(t)$ – зміна відносної вологості з часом.

Змоделюємо поведінку зволожувача за допомогою matlab:

```
% Параметри системи
```

```
K = 0.1;      % коефіцієнт підсилення (зміна вологості, у відсотках).
```

```
T = 300;     % стала часу (секунди)
```

```
U0 = 1;      % ступінчастий вхід (повна потужність)
```

```
% Час моделювання (0 до 20 хвилин з кроком 1 секунда)
```

```
t = linspace(0, 20*60, 1200);
```

```
% Обчислення вихідної вологості y(t)
```

```
y = K * U0 * (1 - exp(-t / T));
```

```
% Побудова графіку
```

```
figure;
```

```
plot(t/60, y * 100, 'LineWidth', 2);
```

```
grid on;
```

```
xlabel('Час, хвилини');
```

```
ylabel('Зміна відносної вологості, %');
```

```
title('Модель аперіодичної ланки першого порядку для зволожувача');
```

За коефіцієнт підсилення візьмемо $K=0,1$; Стала часу $T=300$ секунд. Час проведення симуляції 20 хвилин. Результатом симуляції є графік який являє собою модель аперіодичної ланки першого порядку. На основі отриманого

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

графіка можна зробити висновок, що вологість зростає поступово та наближається до заданого значення, що підтверджує доцільність використання аперіодичної ланки для моделювання поведінки зволожувача в системі автоматичного керування.

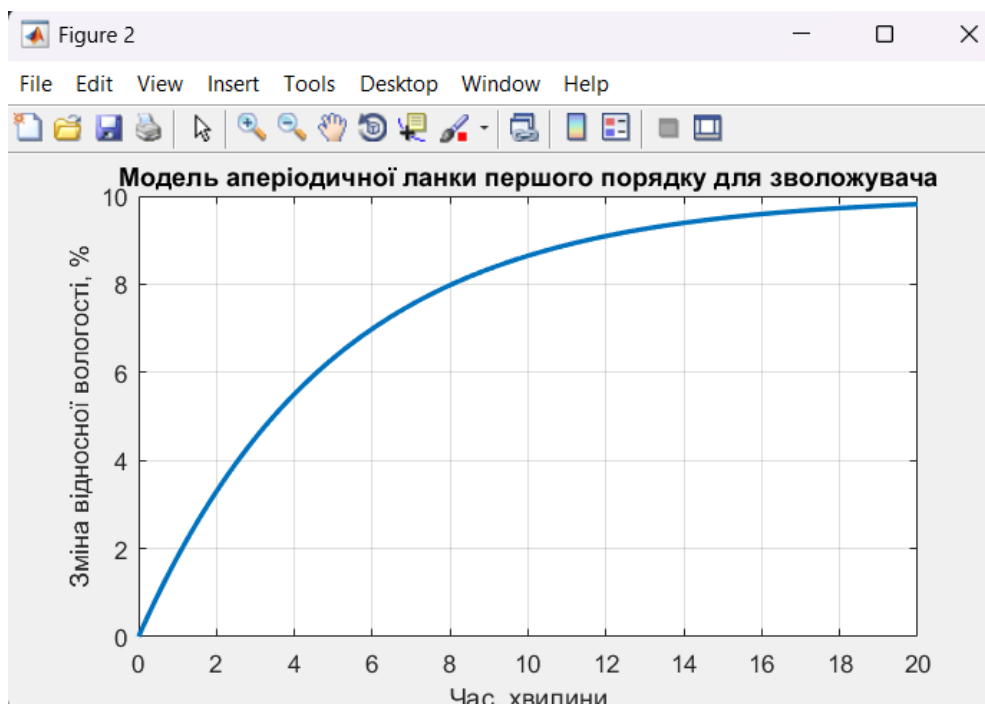


Рисунок 2.1 - Імітація роботи зволожувача

Висновки до розділу

В даному розділі мною було здійснено обґрунтування вибору об'єкта автоматизації а саме системи кондиціонування повітря, що регулює температуру та вологість. Проведено аналіз властивостей основних елементів в системі – нагрівачі та зволожувачі, встановлено що обидва елементи мають інерційні властивості, тому для їх моделювання доцільно використовувати аперіодичні ланки першого порядку.

Для нагрівача виведено математичну модель на основі рівняння теплового балансу, спрощену до передавальної функції інерційної ланки. Це дозволить використовувати стандартні методи аналізу та синтезу ПД-регуляторів в наступних розділах.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Для зволожувача було побудовано математичну модель у вигляді аперіодичної ланки. За допомогою matlab змодельовано перехідний процес.

Таким чином проведене моделювання надало змогу отримати моделі об'єктів керування, які будуть використані при подальшій розробці алгоритмів керування.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

3 СИНТЕЗ ТА АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1. Синтез одноконтурної системи автоматичного керування на основі ПД-регулятора

Системою автоматичного керування (САК) в даній роботі є модуль керування температурою повітря для її стабілізації. Завданням є підтримка заданої оператором температури в приміщенні шляхом регулювання потужності нагрівального елемента. Керування відбувається за допомогою фазо-імпульсного регулятора (диммера), який змінює потужність, яка йде до нагрівача. Для ефективної роботи системи використаємо ПД-регулятор.

ПД-регулятор – це алгоритм для автоматичного регулювання, який використовується для точного керування процесом в системі. Метою його використання є зменшення відхилень вихідного параметра від заданого значення. Вихідний сигнал ПД-регулятора визначається за такою формулою:

$u(t) = k_P * e(t) + k_I * \int e(t) dt + k_D * (e(t) - e(t-1))$, де:

- $e(t)$ – похибка (різниця між заданим значенням і фактичним)
- k_P – коефіцієнт пропорційної дії
- k_I – коефіцієнт інтегральної дії
- k_D – коефіцієнт диференціальної дії

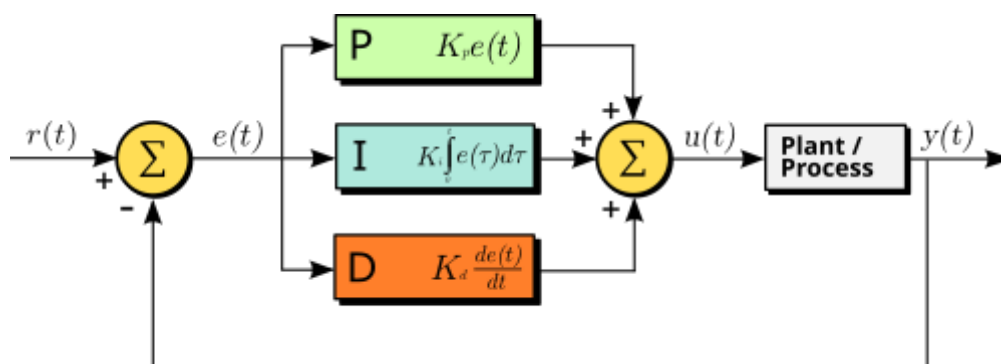


Рисунок 3.1 - Структура ПД-регулятора

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Наступним етапом для синтезу ПІД-регулятора є підбір коефіцієнтів. В даній роботі було використано практичний (емпіричний) метод підбору коефіцієнтів. Для зручності використаємо програму в середовищі matlab для побудови графіка.

Код програми:

```
clc; clear; close all;
K = 1;      % коефіцієнт підсилення
T = 100;    % стала часу
G = tf(K, [T 1]); % передавальна функція об'єкта:  $G(s) = K / (Ts + 1)$ 
% Налаштування ПІД-регулятора
Kp = 10;    % пропорційний коеф.
Ki = 1;     % інтегральний коеф.
Kd = 0.5;   % диференційний коеф.
PID = pid(Kp, Ki, Kd);
% Замкнена система: з'єднання PID і об'єкта через зворотний зв'язок
T_closed = feedback(PID * G, 1); % одиничний зворотний зв'язок
% Моделювання відповіді на одиничний стрибок (step input)
t = 0:0.1:50;
[y, t_out] = step(T_closed, t);
% Побудова графіка
figure;
plot(t_out, y, 'b', 'LineWidth', 2);
grid on;
xlabel('Час (с)');
ylabel('Вихід системи');
title('Відповідь системи з ПІД-регулятором');
legend('Вихід');
```

Почнемо з $K_p = 10$; $K_i = 0.2$; $K_d = 2$;

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

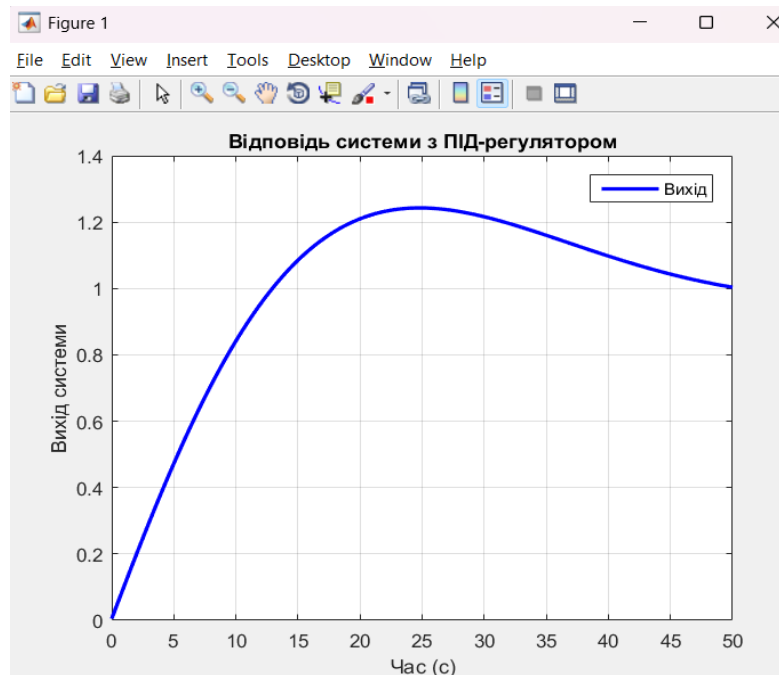


Рисунок 3.3 - Графік з вибраними коефіцієнтами

З графіка видно що система досить повільно виходить на оптимальне значення, а досягнувши його продовжує ще деякий час піднімати температуру, тому збільшимо K_p до 20 – це пришвидшить систему але збільшить перерегулювання, тому коефіцієнт K_d змінимо на 5, також для більш стабільної роботи збільшимо K_i до 0,5.

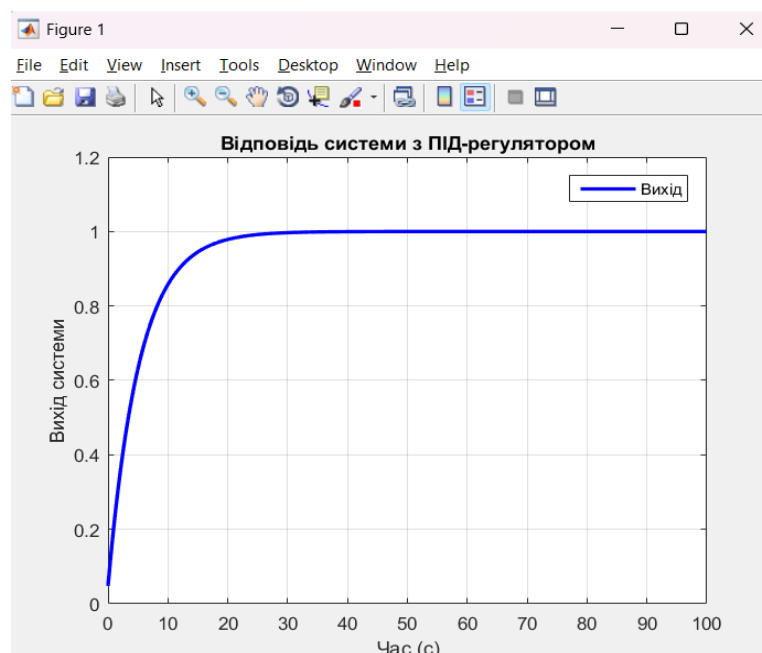


Рисунок 3.4 - Графік регулятора з підібраними коефіцієнтами.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Як видно на графіку, система досить швидко досягає заданого значення з подальшим його утриманням, тому зупинимось на коефіцієнтах $K_p = 20$, $K_i = 0.5$, $K_d = 5$. Обрані значення забезпечили:

- час встановлення близько 30 секунд;
- відсутність великого перерегулювання, після досягнення заданого значення, система не перевищує його більше ніж на 5%.
- високу точність утримання температури у вибраному режимі;

Таблиця 3.1 - Отримані параметри ПІД-регулятора експериментальним шляхом

Параметр	Позначення	Значення
Коефіцієнт пропорційності	K_p	20
Коефіцієнт інтегральної дії	K_i	0.5
Коефіцієнт диференціальної дії	K_d	5
Час виконання регулювання	-	30с.
Перерегулювання	-	$\leq 5\%$
Відхилення	-	$\leq 0.3\text{ }^\circ\text{C}$

Таким чином, ПІД-регулятор з заданими параметрами справляється з основним завданням – підтриманням заданої температури в межах $0.3\text{ }^\circ\text{C}$ від заданої. Застосування саме ПІД-регулятора є виправданим через наявність інерційного об'єкта з повільною реакцією на зміну керуючої дії, а також необхідністю зменшення похибки та забезпечення стійкості до зовнішніх чинників.

3.2 Розширення до багатфункціональної системи керування (керування вологістю)

Керування вологістю є частиною багатфункціональної системи кондиціонування, основне призначення якого є підтримка відносної вологості повітря в діапазоні від 40% до 60%, що є оптимальним діапазоном для

комфортного знаходження в приміщенні людини, а також збереження в належному стані електроніки та інших предметів побуту.

На відміну від регулювання температури де було використано регулювання за допомогою ПД-регулятора, система керування вологістю буде виконана з використання двопозиційного принципу (увімкнути/вимкнути) керування, що спростить реалізацію, але при цьому забезпечить ефективність такої системи на прийнятному рівні. Створимо функціональну схему.

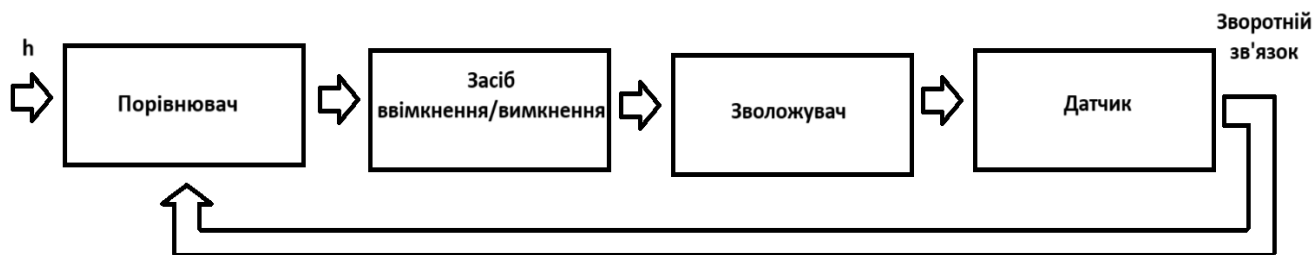


Рисунок 3.5 - функціональна схема системи керування вологістю

- h – поточне значення вологості у відсотках, отримане від датчика.
- Порівнювач – блок для перевірки, чи входить вологість у допустимий діапазон значень.
- Засіб ввімкнення/вимкнення – пристрій який вмикає або вимикає зволожувач.
- Датчик – пристрій для визначення поточного значення відносної вологості у відсотках.
- Зворотній зв'язок – надсилає значення вологості після регулювання для визначення наступних дій.

3.3 Аналіз якості роботи САК

У результаті моделювання замкненої системи керування температурою та вологістю було проаналізовано основні характеристики перехідного процесу, а саме:

- Час досягнення заданих значень – становить приблизно 30 секунд, що є хорошим результатом для високо-інерційних об'єктів таких як керування температурою.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

- Максимальне перегулювання – не перевищувало відмітки у 5 %, що свідчить про збалансованість роботи регулятора.

Також система демонструє легкий вихід на задані значення без великих коливань, що можна чітко побачити на графіках.

Графік моделювання роботи регулятора в середовищі matlab показує що обрані параметри ПД-регулятора забезпечують якісний перехідний процес без великого часу очікування для нормалізації, чи нестабільностей.

Стійкість системи було підтверджено аналітичним та емпіричним способами. Відсутність розгону або зростаючих коливань після зовнішніх збурень вказує на те, що корені характеристичного рівняння замкненої системи знаходяться у лівій півплощині комплексної площини, замкнена система має одиничний зворотній зв'язок а передавальна функція об'єкта є аперіодичною, що також сприяє стійкості системи.

При моделюванні ПД-регулятора також було змодельовано вплив зовнішніх збурень наприклад зміну температури навколишнього середовища або раптове зменшення потужності нагрівача. Система реагує на такі збурення у такий спосіб: може виникнути короткочасне відхилення від заданої температури (відхилення не більше 1 градуса). Протягом 10-15 секунд система повертається до заданого раніше значення.

Модуль керування вологістю також своєчасно реагує на вихід за допустимі значення, а використання гістерезису дозволяє уникнути частих перемикань, зберігаючи таким чином ресурс виконавчого механізму.

Висновки до розділу

В даному розділі мною було виконано розробку та подальший аналіз системи автоматичного керування температурою та вологістю з використання ПД-регулятора для температури, та двопозиційного керування для вологості.

Система керування температурою реалізована з використанням ПД-регулятора, що забезпечує відносно точне та стабільне керування об'єктом.

Розглянуто математичну модель теплообміну, лінеаризовано та отримано

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

передавальну функцію для об'єкта. Для синтезу регулятора мною було використано емпіричний метод налаштування параметрів, а результати підбору було розглянуто за допомогою середовища matlab. Вибрано такі коефіцієнти регулятора $K_p = 20$, $K_i = 0.5$, $K_d = 5$, при їх тестування було з'ясовано, що:

- час виходу системи на заданий режим становить приблизно 30 секунд.
- максимальне перегулювання – не більше 5%.
- система наділена високою точністю підтримання заданої температури, відхилення становлять не більше 0.3 градусів.

Аналіз перехідних характеристик довів, що система швидко стабілізується після впливу зовнішніх чинників, не демонструє сильних коливань та в загальному є стійкою.

Модуль керування вологістю було побудовано на основі двопозиційного принципу керування, такий метод дозволив максимально спростити реалізацію при збереженні достатньої ефективності. Розроблено функціональну схему, з використанням гістерезису для уникнення частих перемикань.

Взагальному побудована мною система автоматичного керування є ефективною та надійною, показала стабільне регулювання параметрів та хорошу реакцію на внутрішні та зовнішні збурення.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

4 РОЗРОБКА ПРОЕКТНОЇ СКЛАДОВОЇ САК

4.1 Вибір технічних засобів автоматизації

Arduino nano

Arduino - це відкрита платформа для розробки, яка включає в себе мікроконтролери та середовище розробки програмного забезпечення. Arduino має просту структуру та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє швидко створювати електронні пристрої різних рівнів складності, від простих пристроїв до складних систем автоматизації. За допомогою платформи Arduino можна створювати проекти різних типів, такі як робототехніка, смарт-дім, медичну техніку, іграшки, музичні інструменти та багато інших. Arduino також підтримується широкою спільнотою розробників, яка надає безкоштовні бібліотеки, кодові приклади та допомогу вирішенні проблем.



Рисунок 4.1 - Плата Arduino Nano

Плата Arduino nano складається з наступних частин:

- Мікроконтролер - це головний елемент плати Arduino, який відповідає за управління всіма функціями плати. В Arduino nano використовується мікроконтролер ATmega328P.
- USB-порт - це інтерфейс для підключення плати до комп'ютера або іншого пристрою для завантаження програм та передачі даних.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- Живлення - Arduino nano працює від джерела живлення 5 Вольт від USB, також є можливість підключення джерела живлення від 7 до 12 Вольт за допомогою внутрішнього регулятора напруги.
- Інтерфейси - на Arduino nano є ряд цифрових виводів, які можна використовувати для підключення різних пристроїв, таких як LED-індикатори, сенсори, мотори тощо. Є також входи для аналогового сигналу та можливість роботи з АЦП.
- Кварцовий резонатор - це елемент, який використовується для забезпечення точного розрахунку часу на платі Arduino.
- Кнопки - на платі є кнопка RESET для перезавантаження плати.

На рис.4.2 зображено розташування кожного компонента на платі та призначення для всіх пінів.

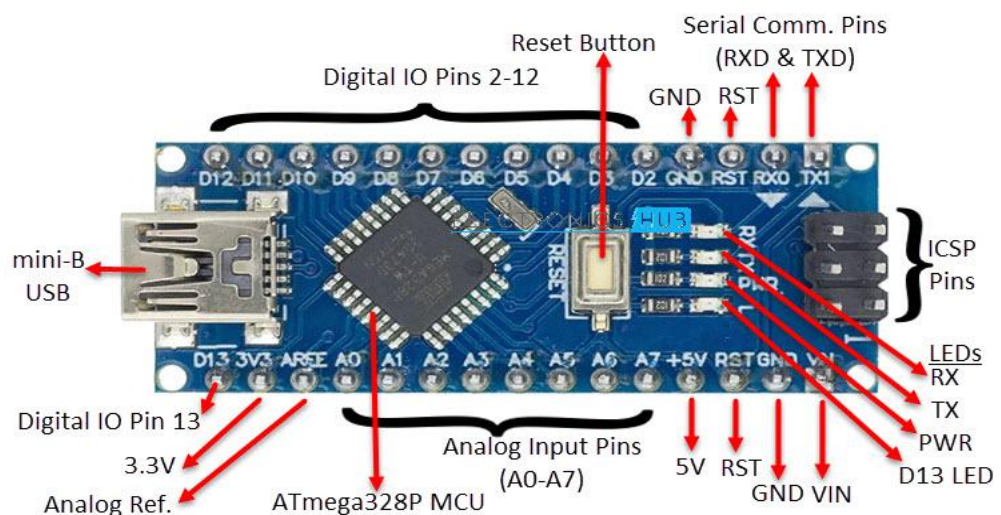


Рисунок 4.2 - Розташування компонентів на платі
Node MCU(Esp 8266)

ESP8266 є недорогим модулем для підключення різних пристроїв до мережі через Wi-Fi. Плата побудована на базі чіпа компанії Espressif, що відрізняється енергоефективністю та високим ступенем інтеграції, що дозволяє використовувати мінімум елементів обв'язування чіпа.

- Чіп **ESP8266** може використовуватися двома способами:

Цифровий датчик температури та вологості DHT11

Датчик DHT11 є цифровим температурним та вологостійким датчиком, який широко використовується в проектах зв'язаних з моніторингом температури та вологості. Основні характеристики датчика DHT11 описано в табл. 4.2:



Рисунок 4.4 - Цифровий датчик температури та вологості DHT11

Таблиця 4.2 - Основні характеристики датчика DHT11

Тип датчика	Цифровий температурний та вологостійкий
Робоча напруга	3.3-5.5 В
Вихідний сигнал	Цифровий сигнал (1-високий, 0-низький)
Діапазон вимірювання	Температура: 0-50 °С, Вологість: 20-90% RH
Точність температури	±2 °С
Точність вологості	±5% RH
Час вимірювання	2 секунди
Інтерфейс зв'язку	Однопровідний (сигнальний)
Розміри	15.5 x 12 x 5.5 мм

Датчик DHT11 простий у використанні та доступний за ціною, що робить його популярним у багатьох проектах, які потребують вимірювання температури та вологості. Важливо зазначити, що цей датчик має деякі обмеження, такі як менша точність порівняно з більш продуктивними датчиками та обмежений

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

діапазон вимірювання. Однак, для багатьох застосувань ці параметри виявляються достатніми.

Принцип роботи датчика DHT11 базується на вимірюванні температури та вологості в оточуючому середовищі. Датчик має вбудований терморезистор і вологовимірювач, які спільно вимірюють температуру і вологість повітря. Для підключення датчика DHT11 до мікроконтролера або контролера необхідно використати трьохпровідний інтерфейс. Цей інтерфейс включає в себе живлення (VCC), землю (GND) і сигнальний пін (Data). Живлення зазвичай підключається до джерела напруги 3.3-5.5 В. Процес вимірювання починається зі зчитування сигналу від датчика. Мікроконтролер надсилає сигнал запиту до датчика, а датчик відповідає, передаючи дані. Комунікація з датчиком здійснюється за допомогою однопровідного (сигнального) піна.

Дисплей LCD 1602 з модулем I2C

2x16 LCD з вбудованим I2C є зручним і популярним виводом для багатьох проектів, які вимагають відображення текстової інформації. Він складається з двох рядків по 16 символів кожен, що дозволяє відображати до 32 символів одночасно. Його особливістю є вбудований інтерфейс I2C (або ІІС), який спрощує підключення до мікроконтролерів та зменшує кількість необхідних контактів для зв'язку.

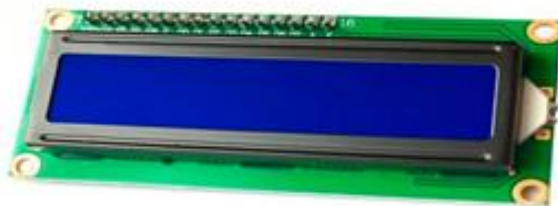


Рисунок 4.5 - 2x16 LCD дисплей з вбудованим I2C

Основні характеристики 2x16 LCD з вбудованим I2C:

- Розмір дисплею: 2 рядки по 16 символів кожен.
- Керування: Використовується контролер HD44780 або сумісний.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

- Інтерфейс зв'язку: I2C (або ІІС), що дозволяє передавати дані по двох проводах (SCL та SDA).
- Робоча напруга: Зазвичай 5 В, але деякі моделі можуть підтримувати 3.3 В.
- Заднє підсвічування: Біла або синя підсвічування LED (залежно від моделі).
- Контрастність: Зазвичай регулюється за допомогою потенціометра.
- Адреса I2C: Зазвичай 0x27 або 0x3F (може змінюватись в залежності від підключення).
- Додаткові функції: Може відображати спеціальні символи, включати курсор, прокручувати текст та інше.

Тактова кнопка

Тактова кнопка – це різновид кнопок які замикають або розмикають електричне коло тільки при натисненні. При натисканні мембрана яка знаходиться всередині прогинається та доторкається до поверхні, тим самим створюючи контакт який замикає електричне коло. Після завершення натискання кнопка повертається в початковий стан.

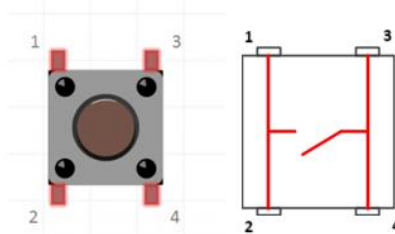


Рисунок 4.6 - Тактова кнопка

Модуль димера

Димер – це пристрій, який дозволяє регулювати потужність та навантаження. Димер працює змінюючи форму поданої на нього напруги, зазвичай обрізаючи синусоїду за допомогою симістора або тиристора.

Димер дозволяє керувати навантаженнями, підключеними в промислову мережу 220В потужністю до 2 кВт за допомогою контролера Arduino. Є бібліотеки для Arduino та ESP8266.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

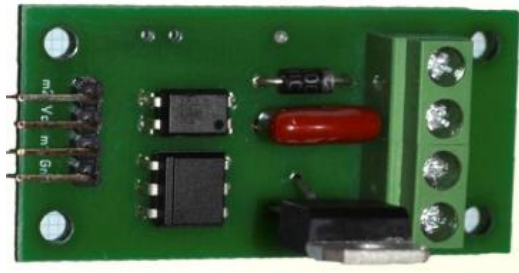


Рисунок 4.7 - Димер

Характеристики:

- Напруга: до 280 VAC / 50Hz
- Допустима потужність без радіатора: 100 Вт
- Допустима потужність з радіатором: 2000 Вт
- Максимальна потужність з радіатором: 3000 Вт (обов'язкове примусове охолодження)
- Напруга падіння на ключі $1\text{В} \pm 0,1$ (для активного навантаження методом димування півхвилі)

Схему підключення димера наведено на рисунку

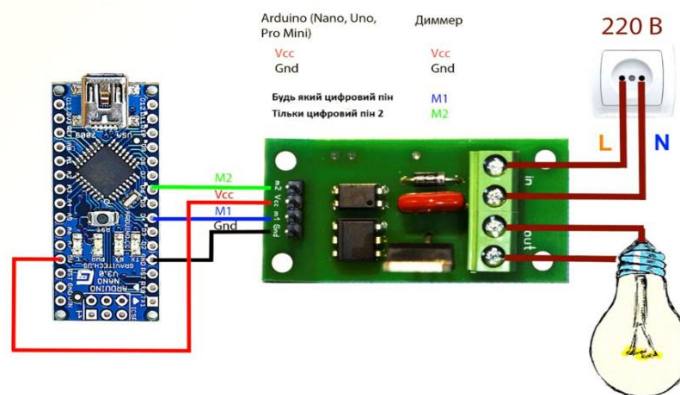


Рисунок 4.8 - Підключення до ардуіно

Модуль зволожувача

Для реалізації зволоження в системі було обрано ультразвукову плату міні-зволожувача. Вона має компактні розміри та працює від джерела постійного струму 5В.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44



Рисунок 4.9 - Ультразвуковий зволожувач повітря

Керування платою відбувається через транзисторний ключ, підключення наведено у схемі

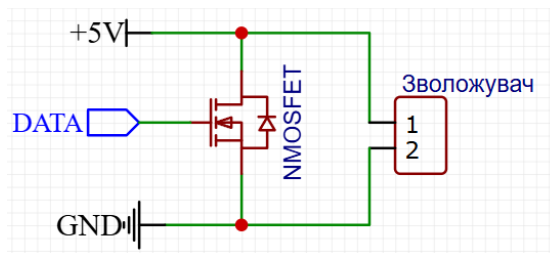


Рисунок 4.10 - Підключення зволожувача

Модуль нагрівача

Для виконання нагріву в системі кондиціонування обрано нагрівач на основі електричної спіралі з вентилятором для його обдуву. Нагрівач працює від мережі 220В, вентилятор від 12В. Конструкція нагрівача подано на рис. 4.11

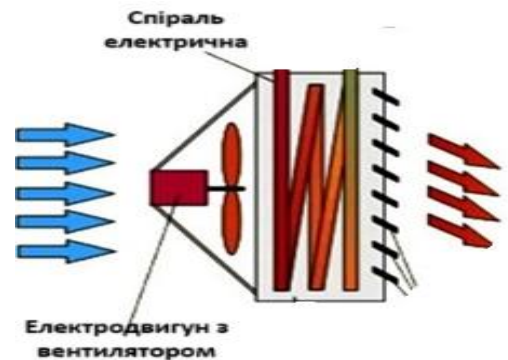


Рисунок 4.11 - Модуль нагрівача 1

Модуль MCP2515 для CAN зв'язку

CAN (Controller Area Network – мережа контролерів) - це протокол послідовного зв'язку, розроблений для промислових та автомобільних додатків. Використовується для зв'язку між безліччю пристроями. Модуль MCP2515 включає в себе CAN контролер MCP2515, який являє собою високошвидкісний CAN приймач-передавач.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

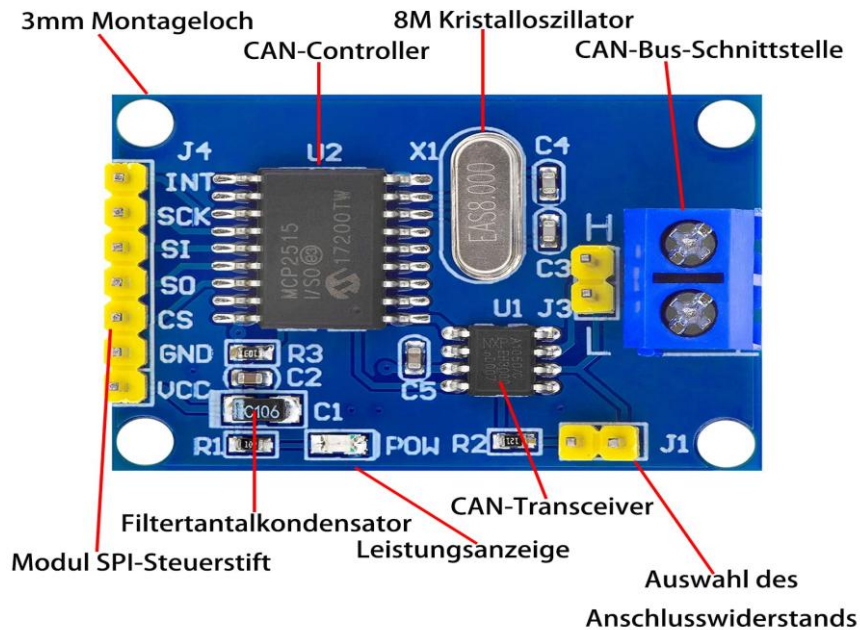


Рисунок 4.12 - модуль MCP 2515

Основні характеристики:

- Керування через SPI-інтерфейс з можливістю підключення до шини декількох пристроїв
- Кварцевий генератор сигналу на 8МГц.
- Енергоефективний в режимі очікування
- Підтримує швидкість передачі даних до 1 Мбіт/с.

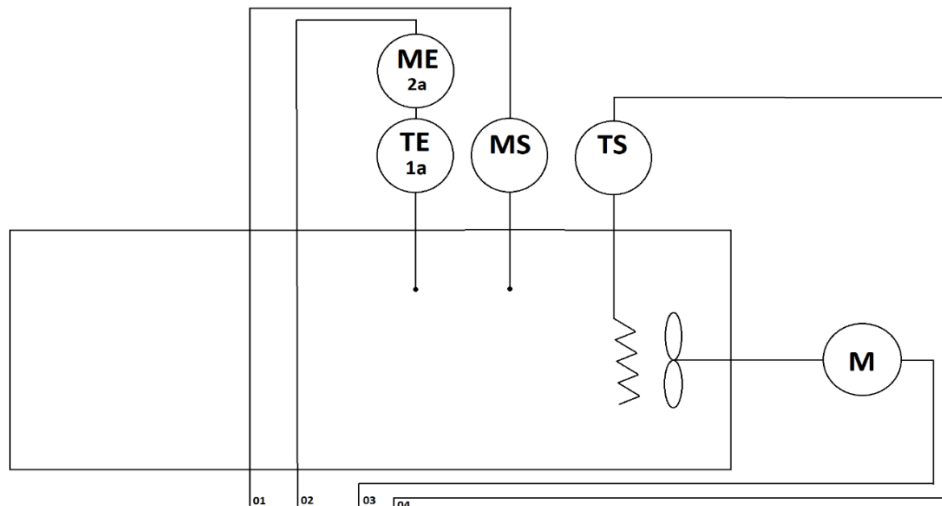
4.2 Розробка функціональної схеми автоматизації

Функціональна схема автоматизації (ФСА) – це один з найголовніших технологічних документів, який показує рівень автоматизації об’єкта. Це креслення на якому умовними позначеннями зображено елементи управління, технологічне обладнання, підключення.

В розробленій мною системі кондиціонування виконавчими механізмами виступають зволожувач повітря, термоелектричний нагрівач (ТЕН), та мотор з вентилятором. Для вимірювання керованих параметрів було вибрано комбінований датчик температури та вологості. Усі засоби підключимо до контролера.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

Функціональну схему системи кондиціонування зображено на рис. 4.13



Панель локального керування	Транзистор	01	02	03	04
	Димер				
	Arduino				
	ESP				
	Can				
	LCD				
Лабораторний шит керування	M172	Can			
		Et			
	ET6				
ARM					
WI-FI					

Рисунок 4.13 - Функціональна схема системи кондиціонування

TE – датчик температури, з дистанційною передачею показів.

ME – датчик вологості, з дистанційною передачею показів.

MS – зволожувач.

TS – термоелектричний нагрівач.

M – мотор з вентилятором.

На рис. 4.13 зображено функціональну схему АСК установки кондиціонування.

Нижче можна побачити структуру зв'язків між компонентами системи. Система реалізована на основі мікроконтролерів Arduino та ESP. Arduino бере на себе завдання з обчислення, контролер отримує дані з датчиків та на їх основі формує

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

керуючий сигнал для транзисторів та димера до яких підключено виконавчі механізми. ESP підключено до Arduino через I2C, та використовується для підключення до WIFI, забезпечуючи доступ до інтерфейсу керування через браузер або мобільний застосунок. Для виведення показів на локальну панель керування використовується LCD дисплей підключений до Arduino. Для зв'язку з контролером M172 та його користувацькою панеллю використано шина CAN зв'язку.

4.3 Розробка структурної схеми автоматизації

На рис. 4.14 зображено структурну схему системи кондиціонування.

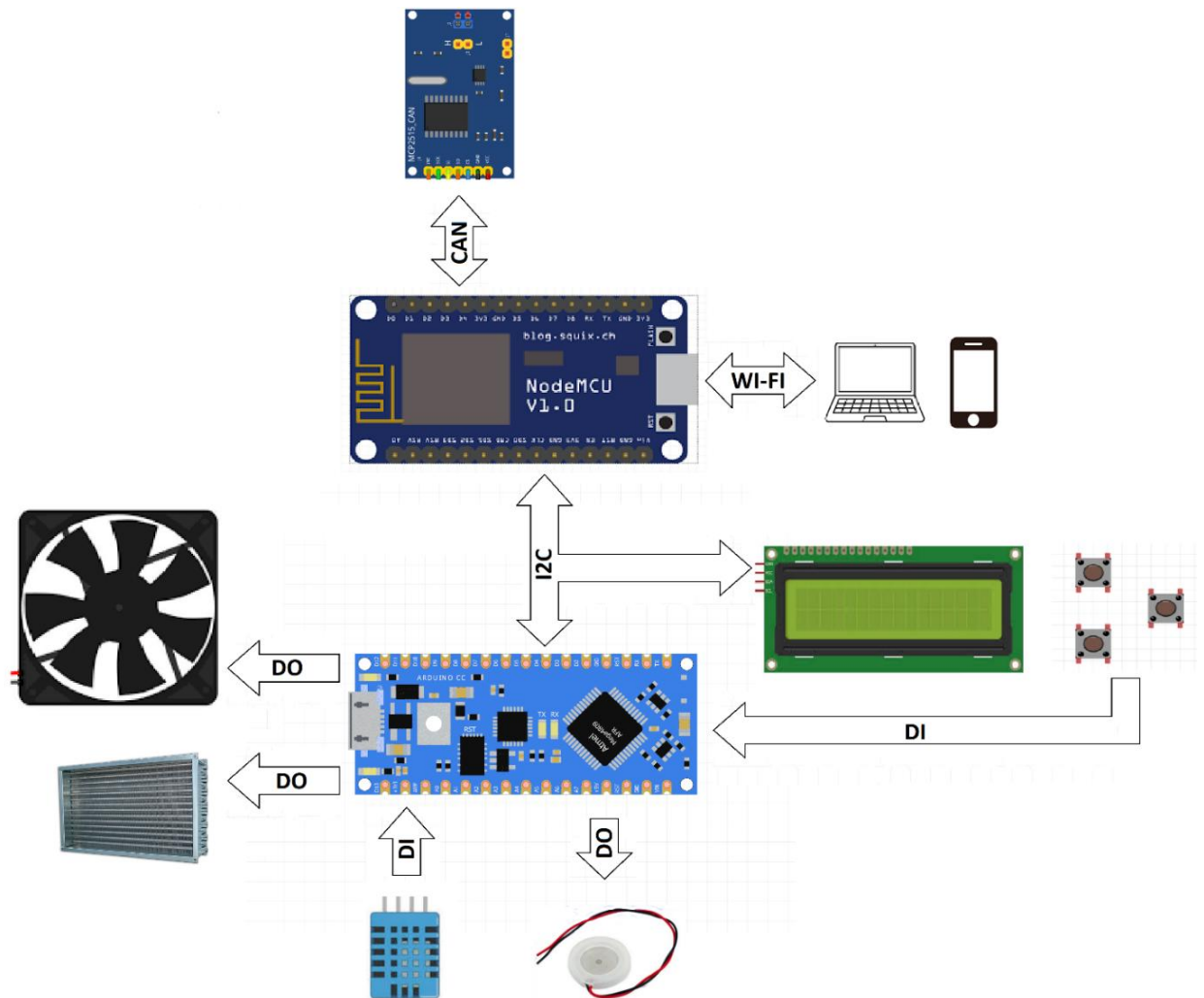


Рисунок 4.14 - Структурна схема установки кондиціонування

Основними елементами в даній схемі виступають контролер Arduino nano,

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

який безпосередньо керує системою на основі зібраних з датчиків температури та вологості даних, та WI-FI-модуль на базі мікроконтролера Esp 8266 підключеного по протоколу I2C до Arduino для постійного обміну даними, роль якого, в передаванні та обробці даних через інтернет, що дає можливість для дистанційного моніторингу та керування системою. Окрім цього на самому об'єкті присутня фізична панель керування у вигляді дисплею та кнопок навігації. Керування виконавчими механізмами відбувається за допомогою цифрового сигналу.

4.4 Проектування схем живлення та електричних з'єднань

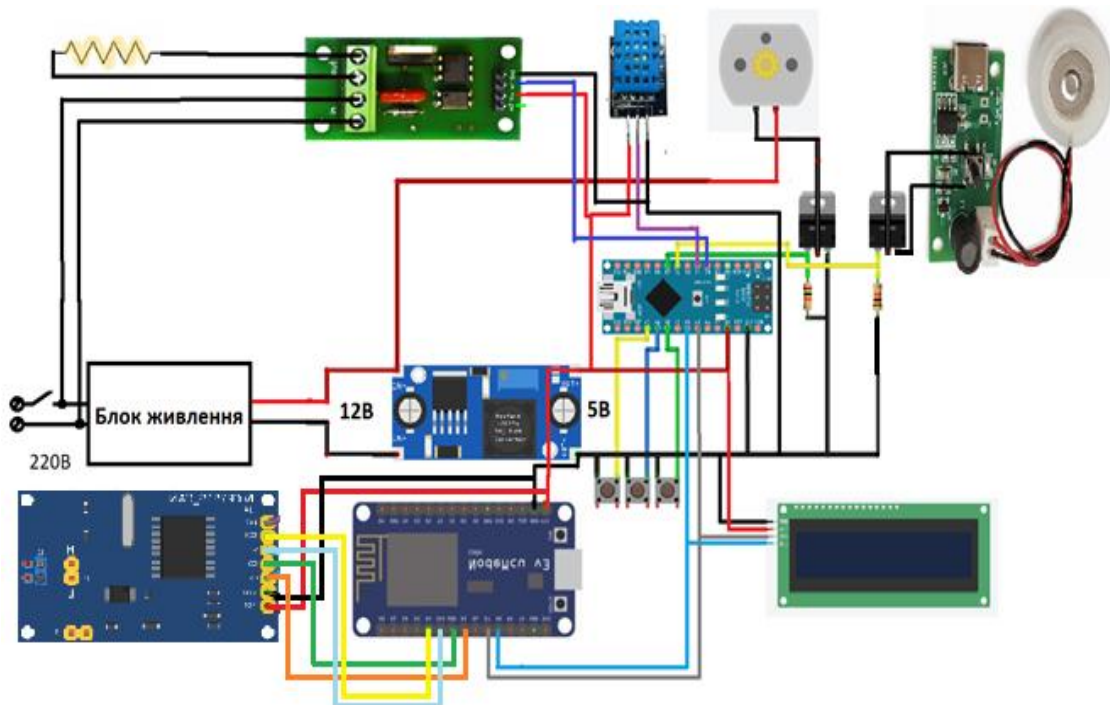


Рисунок 4.15 - Схема живлення

В даному розділі мною було виконано проектування схеми підключення всіх елементів системи. Система підключена до мережі 220В, для живлення вентилятора присутній блок живлення на 12В. Для живлення Arduino, esp8266, датчиків та дисплея присутній перетворювач який на виході видає напругу у 5В. Керування вентилятором та зволожувачем реалізовано за допомогою N-канальних транзисторів підключених до відповідних пінів arduino. Для керування нагрівачем до Arduino також підключено димер, сам нагрівач працює

										Арк.
										49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ					

від 220В. Модуль для підключення електронних пристроїв до CAN шин підключено до плати node mcu. Для виводу інформації присутній LCD дисплей, для задавання параметрів використовуються три кнопки.

4.5 Розробка програмного забезпечення

Для реалізації інтелектуальної АСК установки кондиціонування мною було розроблено алгоритм роботи програми керування. Алгоритм – це послідовна інструкція, за якою виконується поставлене програмі керування завдання. Алгоритм роботи установки кондиціонування зображено на рис. 4.16

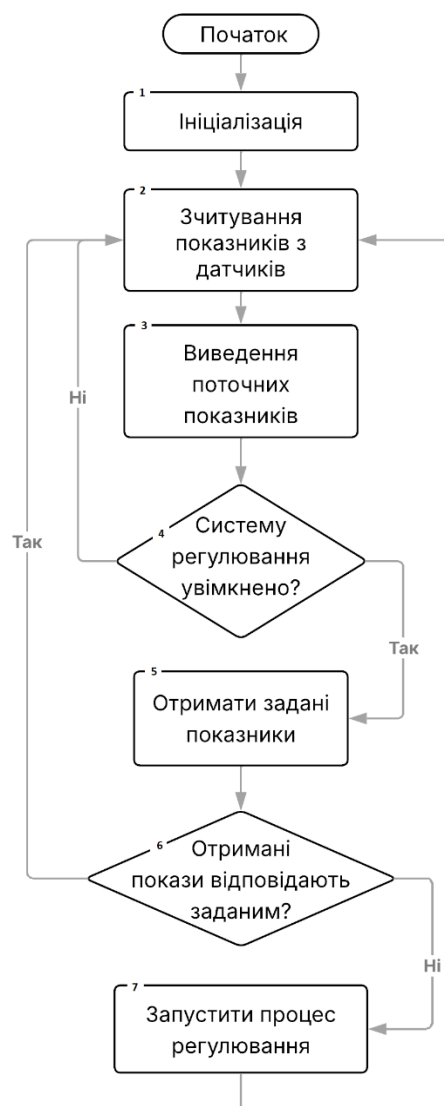


Рисунок 4.16 - Блок-схема алгоритм роботи програми керування

У першому блоці система виконує первинні налаштування для датчиків,

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

виконавчих механізмів та інших елементів, а також ініціює зв'язок між платами. В наступному блоці виконується зчитування поточних показників з датчиків. Після цього поточні показники виводяться на користувацьку панель та надсилаються на дистанційну панель керування. Потім поточні та задані покази виводяться на користувацькі панелі, після чого порівнюються для визначення необхідних дій для регулювання, якщо поточні показники відповідають заданим ніяких дій не передбачено, система продовжить зчитувати покази поки вони не зміняться. Якщо поточні покази не відповідають заданим то виконується регулювання яке визначене окремо для кожного параметра допоки значення не задовільняють умови. Система є замкнутою, тобто буде повторювати заданий алгоритм ввесь час роботи.

4.6 Розробка інтерфейсу для користувача

В даній системі реалізовано керування з передньої панелі, на якій розміщено три кнопки навігації та дисплей для виводу даних. Окрім цього на панелі присутнє схематичне зображення установки.

Одиночне натискання на кнопку menu вмикає або вимикає режим налаштувань. Тривалим утриманням

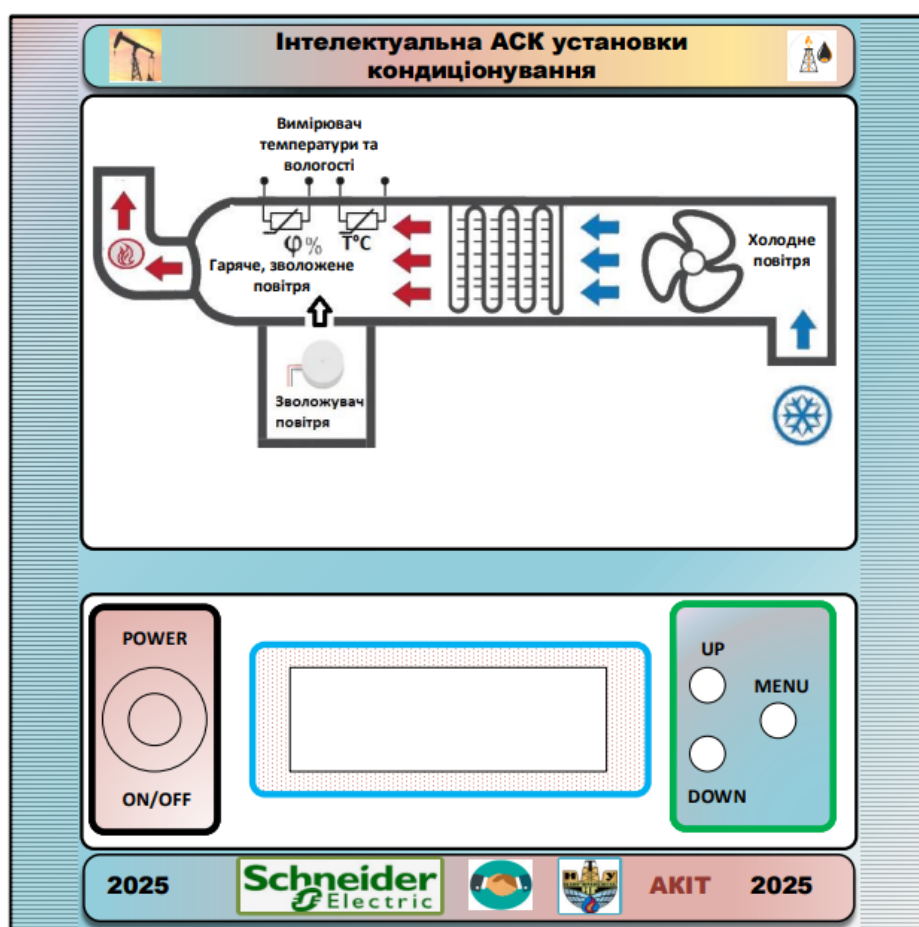


Рисунок 4.17 - Вигляд передньої панелі керування

цієї кнопки можна перемкнути вибраний параметр для його зміни. Кнопками

						БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			51

up/down можна задати власні значення для температури та вологості.

Окрім можливості задання показників безпосередньо на панелі, також додано можливість дистанційного моніторингу та можливості зміни параметрів, для цього використано можливості сервісу Vlynk. Vlynk це платформа інтернету речей, яка дозволяє створювати інтерфейси для дистанційного керування мікроконтролерами через інтернет. Задіявши потужності даного сервісу ми отримуємо можливість керування нашою системою з будь якої точки світу зі свого смартфона чи ПК.

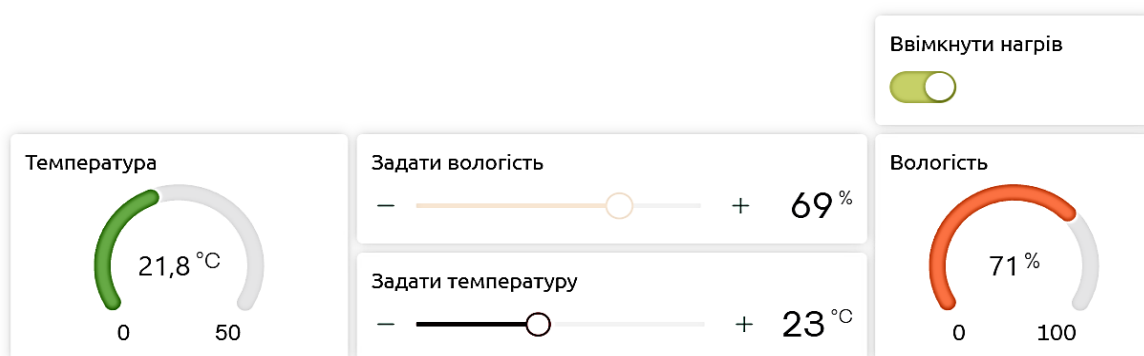


Рисунок 4.18 - Вигляд панелі дистанційного керування

Висновки до розділу

В цьому розділі мною було здійснено проєктування апаратної частини системи кондиціонування. Вибрано пристрої для здійснення автоматизації. Було розроблено функціональну схему автоматизації, складено схему електричних з'єднань, що забезпечує стабільну роботу всіх елементів системи. Окрім цього розроблено інтерфейс передньої панелі для зручного керування оператором. З передньої панелі надано можливість переглядати поточні, та змінювати задані показники температури та вологості, а також за потреби вимкнути систему повністю. Для дистанційного контролю розроблено панель керування з використанням додатка Vlynk.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання бакалаврської роботи було розроблено автоматизовану систему керування установкою кондиціонування з можливістю регулювання температури та вологості повітря. Робота включає в себе аналіз технологічного процесу, математичне моделювання, синтез системи автоматичного регулювання, вибір технічних засобів, побудову функціональних та електричних схем.

Було обґрунтовано вибір об'єкта автоматизації, а саме систему кондиціонування з підтриманням комфортних показників. Розглянуто вимоги до параметрів середовища, зокрема температури та вологості, встановлено їх вплив на стан людини, обладнання й ефективність технологічних процесів.

В результаті математичного моделювання для основних об'єктів керування – нагрівача та зволожувача, було побудовано моделі у вигляді аперіодичних ланок першого порядку. Це дозволило реалізувати ефективні алгоритми керування, для температури застосовано ПІД-регулятор, параметри якого було підібрано з урахуванням перехідних характеристик, а для вологості – двопозиційний алгоритм з гістерезисом.

Практична частина роботи включала в себе підбір комплектуючих, створення функціональної схеми автоматизації, а також проектування електричних схем. Також було реалізовано обмін даними між основними контролером та WI-FI модулем для дистанційної передачі даних та керування системою вцілому.

Отримані дані про стійкість та ефективність системи свідчать про доцільність реалізації системи, вона демонструє стабільну роботу, швидку реакцію на зміну умов, а також має потенціал до модернізації.

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Боженко М. Ф. Системи опалення, вентиляції і кондиціонування повітря будівель. 2019. [Електронний ресурс]. - URL: <https://ela.kpi.ua/bitstreams/53455317-4a55-485c-8d61-15c9903e4ce7/download> .
2. Гавриш В. О. Дослідження та удосконалення електропривода системи кондиціонування повітря. 2021. [Електронний ресурс]. - URL: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/13653> .
3. Героєва О. М. Автоматизована система кондиціонування повітря для приміщень підвищеного рівня вимог до чистоти. 2019. [Електронний ресурс]. - URL: <https://krs.chmnu.edu.ua/jspui/handle/123456789/540> .Горелік І. І. Автоматизована система технологічного кондиціонування повітря на основі нетрадиційних джерел енергії. 2024. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/items/bcdbfcd9-7c01-490a-95bc-973c08feff0c> .
4. Данилець О., Гусєв А. М. Проблеми кондиціонування повітря в приміщеннях. Проблеми охорони праці, промислової та цивільної безпеки. 2018. С. 104–107.
5. Івасюк А. Підвищення енергоефективності системи вентиляції при підготовці та розподілі повітря у житлових приміщеннях : дис. ... канд. техн. наук. Тернопіль : Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. [Електронний ресурс]. - URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/19053>
6. Ключко Д. С. Вентиляція та кондиціонування повітря інноваційного кампусу в м. Харків. 2023. [Електронний ресурс]. - URL: <https://ela.kpi.ua/items/7f038016-94f8-4836-91aa-7045586ed697>
7. Марченко С. А. Розробка системи автоматизації процесу кондиціонування повітря на базі ПЛК VIPA 100. 2020. [Електронний ресурс]. - URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/51b8262e-1881-454a-b208-4a0bbccf7f6e/content>
8. Марчук К. А. Автоматизована система управління установкою кондиціонування повітря в приміщенні. 2024. [Електронний ресурс]. - URL:

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

<https://dspace.wunu.edu.ua/bitstream/316497/51207/1/%d0%9c%d0%b0%d1%80%d1%87%d1%83%d0%ba.pdf>

9. Остапенко Є. Підвищення ефективності автоматичного керування кондиціонування приміщень : дис. ... канд. техн. наук. Одеса : ОНАХТ, 2021. [Електронний ресурс]. - URL: <https://card-file.ontu.edu.ua/items/7c04a731-f1ee-48ef-8195-5b3b49111fd9>

10. Тищенко О. О. Система вентиляції і кондиціонування повітря оздоровчого центру в м. Луцьк. 2021. [Електронний ресурс]. - URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/77739346-774c-4614-b0e7-bc752d8b78db/content>

11. Турчин В. С. Розробка програми підбору системи кондиціонування повітря будинку. 2019. [Електронний ресурс]. - URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/5956/1/Turchin_Rozrobka_programi_pid_boru_sist_kondiciuvannia_B_2019.pdf

12. Хандусь Я. С. Енергоефективне регулювання температури в системі кондиціонування з льодогенератором. 2021. [Електронний ресурс]. - URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/a12b8ada-3a17-4189-8bed-943b55084d1e/content>

13. Хімичева Г., Дзюба О. Вибір та обґрунтування механізмів та інструментів побудови системи контролю мікроклімату укріттів. Scientific review. 2023. № 3 (88). С. 19–36. [Електронний ресурс]. - URL: <https://www.naukajournal.org/index.php/naukajournal/article/view/2538>

					БР.АКП-35.00.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

ДОДАТКИ

Додаток А

Код програми для Arduino

```
#include <Wire.h>
#include <DHT.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <AC_Dimmer.h>

#define DHTPIN 4
#define DHTTYPE DHT11

#define fanPin 6
#define humidifierPin 7
#define heaterPin 3
#define Dimmer_1 0

#define MENU_BUTTON A1
#define UP_BUTTON A0
#define DOWN_BUTTON A2

DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

float targetTemp = 25.0;
float targetHum = 50.0;
bool systemOn = true;

float Kp = 20.0;
float Ki = 0.5;
float Kd = 5.0;

float integral = 0;
float lastError = 0;
int heatPower = 0;

float currentTemp = 0;
float currentHum = 0;

int menuIndex = 0;
```

```

const int menuItems = 4;
bool lastMenuPressed = false;
unsigned long lastChangeTime = 0;
unsigned long holdStartTime = 0;
const unsigned long debounceDelay = 150;
const unsigned long holdStep1 = 800;
const unsigned long holdStep2 = 1400;

unsigned long lastInfoSwitch = 0;
const unsigned long infoInterval = 8000;
bool showLiveData = true;

bool editMode = false;

byte flameIcon[8] = {
    B01001, B11011, B10010, B10010, B01001, B01001, B11011, B10010
};

byte dropIcon[8] = {
    B00100, B00100, B01010, B01010, B10001, B10001, B01110, B00000
};

void setup() {
    pinMode(fanPin, OUTPUT);
    pinMode(humidifierPin, OUTPUT);
    digitalWrite(fanPin, HIGH);
    digitalWrite(humidifierPin, LOW);

    pinMode(MENU_BUTTON, INPUT_PULLUP);
    pinMode(UP_BUTTON, INPUT_PULLUP);
    pinMode(DOWN_BUTTON, INPUT_PULLUP);

    dht.begin();
    lcd.init();
    lcd.backlight();

    lcd.createChar(0, flameIcon);
    lcd.createChar(1, dropIcon);

```

```

Dimmer_init_begin();
Dimmer_pin_assign(Dimmer_1, heaterPin);
Dimmer_init_end();

lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("System Starting");
delay(2000);
lcd.clear();

Wire.begin(8);
Wire.onRequest(sendDataToESP);
Wire.onReceive(receiveDataFromESP);
}

void loop() {
  handleButtons();

  currentHum = dht.readHumidity();
  currentTemp = dht.readTemperature();

  if (isnan(currentTemp) || isnan(currentHum)) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Sensor Error   ");
    return;
  }

  if (systemOn) {
    controlHeater(currentTemp);
    controlHumidifier(currentHum);
    digitalWrite(fanPin, HIGH);
  } else {
    Dimm_value(Dimmer_1, 0);
    digitalWrite(humidifierPin, LOW);
    digitalWrite(fanPin, LOW);
  }

  displayMenu();
  delay(100);
}

```

```

void handleButtons() {
    unsigned long now = millis();

    bool menuPressed = digitalRead(MENU_BUTTON) == LOW;
    bool upPressed = digitalRead(UP_BUTTON) == LOW;
    bool downPressed = digitalRead(DOWN_BUTTON) == LOW;

    if (menuPressed && !lastMenuPressed && now - lastChangeTime > debounceDelay) {
        if (!editMode) {
            menuIndex = (menuIndex + 1) % menuItems;
        } else {
            editMode = false;
        }
        lastChangeTime = now;
    }
    lastMenuPressed = menuPressed;

    if ((upPressed || downPressed) && now - lastChangeTime > getHoldSpeed(now)) {
        editMode = true;
        if (upPressed) {
            if (menuIndex == 1) targetTemp += 0.5;
            else if (menuIndex == 2) targetHum += 1.0;
            else if (menuIndex == 3) systemOn = true;
        } else if (downPressed) {
            if (menuIndex == 1) targetTemp -= 0.5;
            else if (menuIndex == 2) targetHum -= 1.0;
            else if (menuIndex == 3) systemOn = false;
        }
        lastChangeTime = now;
    }

    if (!upPressed && !downPressed) {
        holdStartTime = now;
    }
}

unsigned long getHoldSpeed(unsigned long now) {
    unsigned long heldFor = now - holdStartTime;

```

```

    if (heldFor > holdStep2) return 100;
    if (heldFor > holdStep1) return 300;
    return 600;
}

void controlHeater(float temp) {
    float error = targetTemp - temp;

    if (error > 3.0) {
        heatPower = 76;
        integral = 0;
        lastError = error;
    } else if (error > 0.2) {
        integral += error;
        float derivative = error - lastError;
        lastError = error;

        float output = Kp * error + Ki * integral + Kd * derivative;
        heatPower = constrain(output, 10, 76);
    } else {
        heatPower = 0;
        integral = 0;
        lastError = 0;
    }

    Dimm_value(Dimmer_1, heatPower);
}

void controlHumidifier(float hum) {
    if (hum < targetHum - 5) {
        digitalWrite(humidifierPin, HIGH);
    } else if (hum > targetHum + 5) {
        digitalWrite(humidifierPin, LOW);
    }
}

void displayMenu() {
    static int lastMenuIndex = -1;
    unsigned long now = millis();

```

```

if (!systemOn) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("T:");
    lcd.print(currentTemp, 1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C   ");

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(currentHum, 1);
    lcd.print("%   ");
    return;
}

if (menuIndex == 0) {
    if (now - lastInfoSwitch > infoInterval) {
        showLiveData = !showLiveData;
        lastInfoSwitch = now;
    }
}

if (menuIndex != lastMenuIndex || menuIndex == 0) {
    lcd.clear();
    lastMenuIndex = menuIndex;
}

switch (menuIndex) {
    case 0:
        if (showLiveData) {
            lcd.setCursor(0, 0);
            lcd.print("T:");
            lcd.print(currentTemp, 1);
            lcd.print((char)223);
            lcd.print("C");
            if (currentTemp < targetTemp) {
                lcd.setCursor(15, 0);
                lcd.write(byte(0));
            }
        }
    }
}

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("H:");
    lcd.print(currentHum, 1);
    lcd.print("%");
    if (currentHum < targetHum) {
        lcd.setCursor(15, 1);
        lcd.write(byte(1));
    }
} else {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Target Temp:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(targetTemp, 1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C ");

    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print(targetHum, 1);
    lcd.print("%");
}
break;

```

case 1:

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Set Temp:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(targetTemp, 1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C");
break;

```

case 2:

```

    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Set Humidity:");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print(targetHum, 1);
    lcd.print("%");
break;

```

```

    case 3:
        lcd.setCursor(0, 0);
        lcd.print("System:");
        lcd.setCursor(0, 1);
        lcd.print(systemOn ? "ON" : "OFF");
        break;
    }
}

void sendDataToESP() {
    Wire.write((byte *)&currentTemp, sizeof(float));
    Wire.write((byte *)&currentHum, sizeof(float));
    Wire.write((byte *)&targetTemp, sizeof(float));
    Wire.write((byte *)&targetHum, sizeof(float));
    Wire.write(systemOn ? 1 : 0);
}

void receiveDataFromESP(int byteCount) {
    if (byteCount >= 2 * sizeof(float) + 1) {
        Wire.readBytes((char *)&targetTemp, sizeof(float));
        Wire.readBytes((char *)&targetHum, sizeof(float));
        systemOn = Wire.read();
    }
}
}

```

Додаток Б

Код програми для Esp 8266

```
#define BLYNK_TEMPLATE_ID "TMPL4k4fdqd7p"
#define BLYNK_TEMPLATE_NAME "climat"
#define BLYNK_AUTH_TOKEN "XFECpyF3Dvi9b_nrCGrGNLLNwxKy1BPB"

#include <Wire.h>
#include <ESP8266WiFi.h>
#include <BlynkSimpleEsp8266.h>

char ssid[] = "The last of wi-fi";
char pass[] = "222444666";

#define ARDUINO_ADDR 0x08
// Віртуальні піни
#define VPIN_TARGET_TEMP V0
#define VPIN_HEATER_SWITCH V1
#define VPIN_STATUS_DISPLAY V2
#define VPIN_REFRESH_BTN V3

String lastStatus = "";

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();

  Blynk.begin(BLYNK_AUTH_TOKEN, ssid, pass);
  Serial.println("ESP8266 started. Connecting to Wi-Fi and Blynk...");
}

// Надсилання команди Arduino і зчитування відповіді
void sendToArduino(String cmd) {
  Serial.println("[ESP -> Arduino] " + cmd);

  Wire.beginTransmission(ARDUINO_ADDR);
  Wire.write(cmd.c_str());
  Wire.endTransmission();
  delay(100);
}
```

```

Wire.requestFrom(ARDUINO_ADDR, 64);
String response = "";
while (Wire.available()) {
    char c = Wire.read();
    response += c;
}
response.trim();

if (response.length() > 0) {
    Serial.println("[Arduino -> ESP] " + response);
    lastStatus = response;
    Blynk.virtualWrite(VPIN_STATUS_DISPLAY, response);
}
}

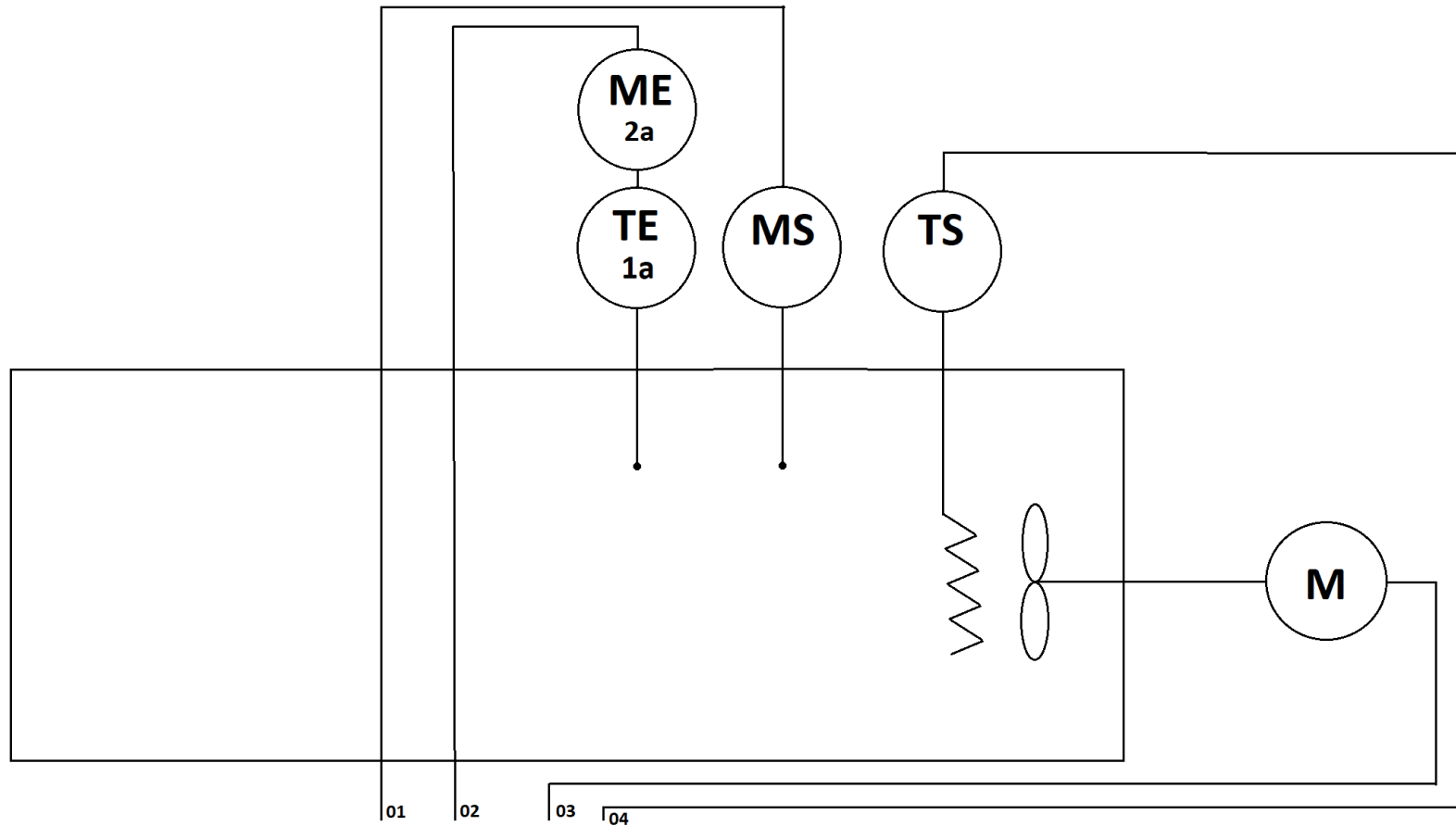
// Зміна цільової температури (Slider)
BLYNK_WRITE(VPIN_TARGET_TEMP) {
    float t = param.asFloat();
    Serial.println("[Blynk] Target Temp: " + String(t));
    sendToArduino("SETT:" + String(t, 1));
}

// Вкл/Викл системи (Switch)
BLYNK_WRITE(VPIN_HEATER_SWITCH) {
    bool on = param.asInt();
    String cmd = on ? "HEAT:ON" : "HEAT:OFF";
    Serial.println("[Blynk] Heater: " + cmd);
    sendToArduino(cmd);
}

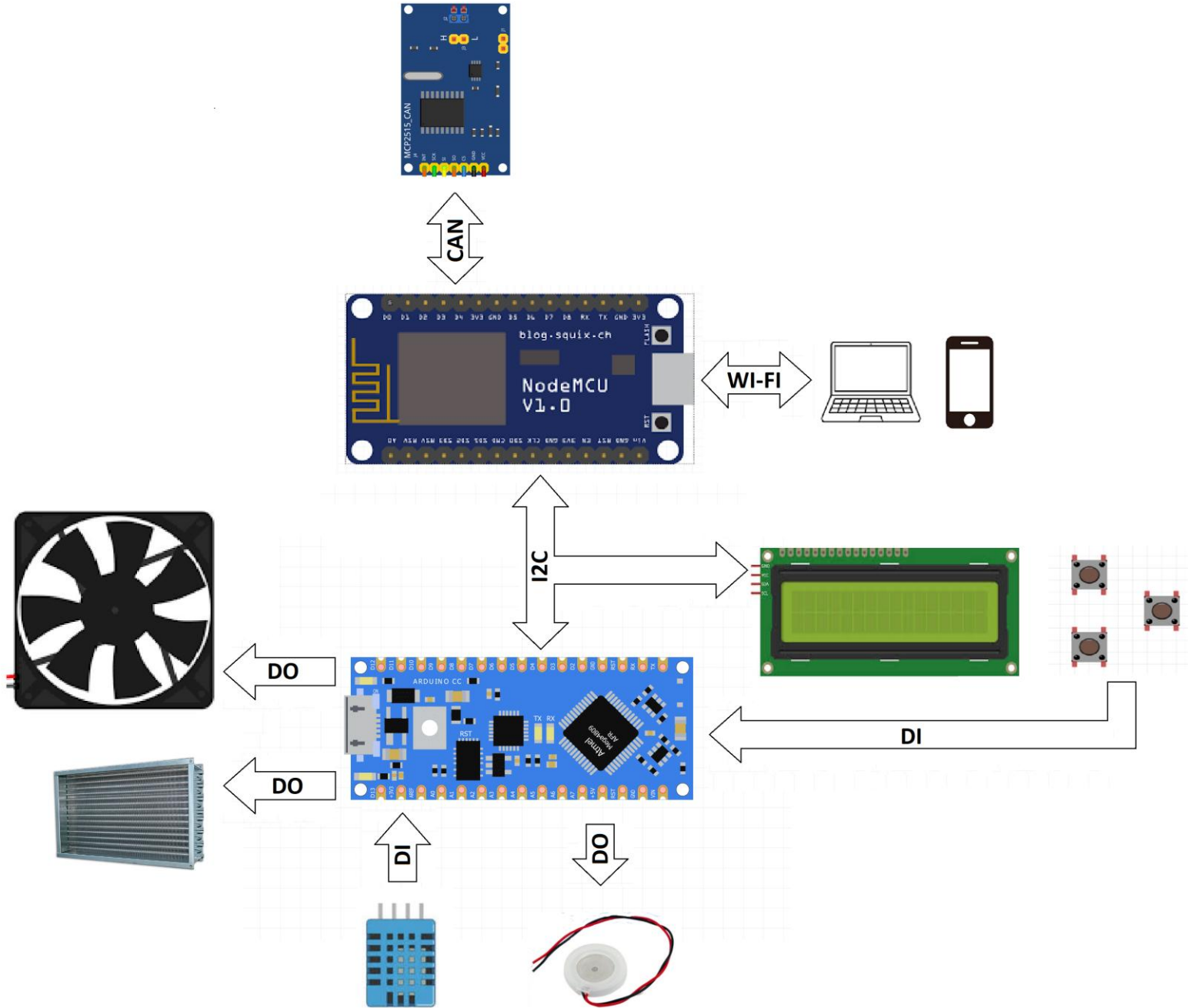
// Кнопка "Оновити" (Button)
BLYNK_WRITE(VPIN_REFRESH_BTN) {
    Serial.println("[Blynk] Refresh requested");
    sendToArduino("STATUS");
}

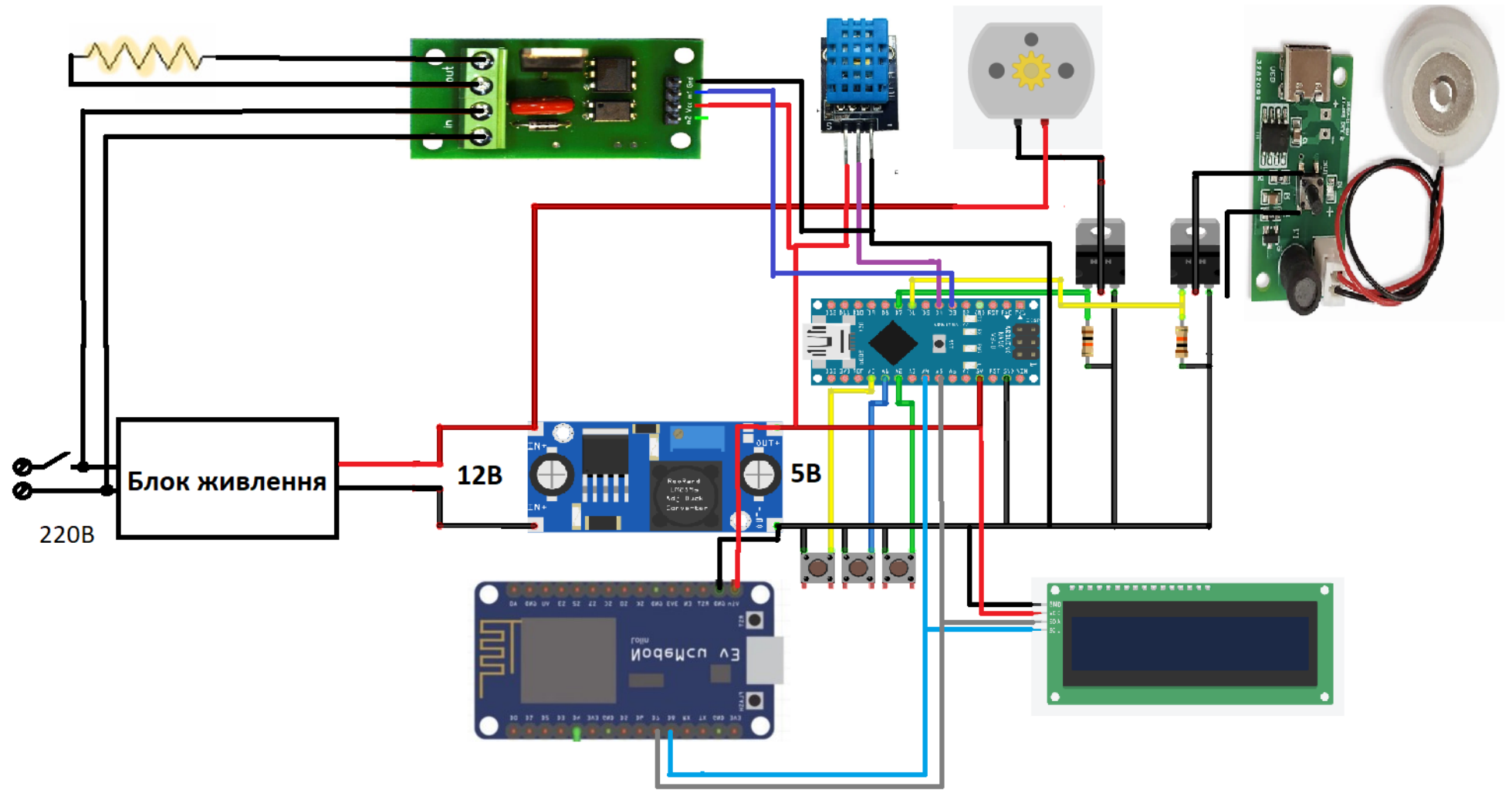
void loop() {
    Blynk.run();
}

```

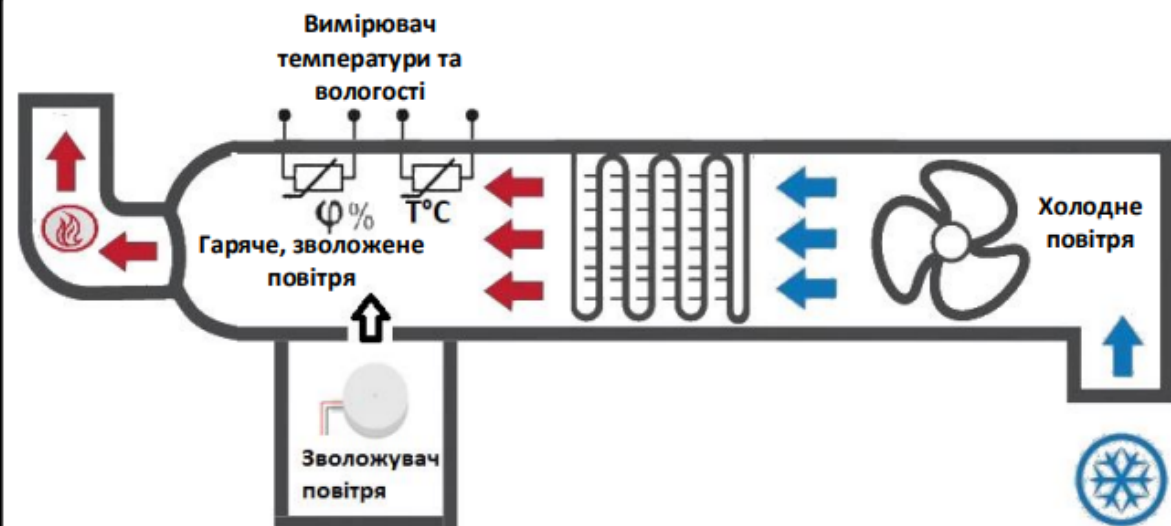
		01	02	03	04
Панель локального керування	Транзистор	•		•	
	Димер				•
	Arduino	•	•	•	•
	ESP				•
	Can				•
	LCD				•
Лабораторний щит керування	M172				•
	Can				•
	Et	•			
	ET6	•			
ARM		•			
WI-FI					•







Інтелектуальна АСК установки кондиціонування



POWER



ON/OFF



UP



MENU



DOWN



2025

Schneider
Electric



AKIT

2025

