

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 621.577:681.5

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

« ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

02.06.-КМР.2059"С".2024.11.18.013.ПЗ

на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ І УДОСКОНАЛЕННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ “РОЗУМНИЙ БУДИНОК”»

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ (підпис)

Т.І. Лендел, к.т.н., доцент
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав

_____ (підпис)

Д.М. Нестеренко
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи

_____ (підпис)

С.А. Шворов, д.т.н., проф.
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка
О.О. Опришко

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Нестеренку Дмитру Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи «**ДОСЛІДЖЕННЯ І УДОСКОНАЛЕННЯ
КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ
КЛІМАТОМ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ
ТЕХНОЛОГІЇ “РОЗУМНИЙ БУДИНОК”**»,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.11.2024 року №2059«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 14.11.2025 року

Вихідні дані (Матеріали та Джерела):

Робота має ґрунтуватися на таких ключових джерелах:

1. Офіційна настанова (завдання) від кафедри щодо змісту та обсягу магістерської роботи.
2. Чинні державні та галузеві нормативні документи, стандарти та правила, що стосуються проектування та впровадження систем автоматизації.
3. Зібрані та проаналізовані матеріали попередніх досліджень та аналітичних звітів.
4. Відповідна наукова та технічна література за темою магістерського проекту.

Дата видачі завдання «19» листопада 2024 року

Керівник магістерської роботи

_____ (Підпис)

Шворов С.А.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

_____ (Підпис)

Нестеренко Д.М.
(Прізвище та ініціали)

Анотація

Магістерська робота містить опис системи автоматичного керування температурою в інтелектуальному приміщенні (Smart-будинку), що є частиною загального процесу управління кліматичними умовами. Створено комплексну, комп'ютерно-інтегровану систему керування температурним режимом, реалізовану на базі мікроконтролерів Arduino. Надано структурний та функціональний опис технологічного процесу. Виконано техніко-економічні розрахунки, що включали вибір та обґрунтування необхідного обладнання та засобів автоматизації. Доведено оптимальність прийнятих проектних рішень та економічну доцільність впровадження розробленої системи.

Annotation

The master's thesis contains a description of the automatic temperature control system in an intelligent room (Smart-house), which is part of the general process of climate control. A complex, computer-integrated temperature control system has been created, implemented on the basis of Arduino microcontrollers. A structural and functional description of the technological process has been provided. Feasibility studies have been performed, which included the selection and justification of the necessary equipment and automation tools. The optimality of the adopted design decisions and the economic feasibility of implementing the developed system have been proven.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ТА ОСНОВНИХ ВИМОГ ДО НИХ	8
1.1. Класифікація систем вентиляції	8
1.2. Основні складові систем вентиляції	10
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ	20
2.1. Вимоги до систем автоматизації	20
2.2. Вибір параметрів внутрішнього повітря	21
2.3. Розрахунок теплового балансу приміщення в будинку	23
2.4. Розробка функціональної схеми автоматизації	26
3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТА	28
3.1 Розробка структурно-алгоритмічної схеми КІС керування температурою повітря	28
3.2. Вибір алгоритму керування	28
3.3. Вибір виконавчого механізму	30
3.4. Вибір первинного перетворювача	31
3.5. Вибір керуючого елемента	32
3.5. Цифрова система керування	34
4. РОЗРОБКА СХЕМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	41
4.1 Вибір пускозахисної апаратури	41
4.2 Вибір проводів і кабелів	43
4.3. Розробка принципової схеми	44
4.4. Розробка схеми електричних з'єднань	45
4.5. Розробка схеми електричних підключень	46
4.6. Розробка щита управління	47
4.7. Розрахунок показників надійності системи	49

5. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ	51
5.1. Розробка структури комп'ютерно-інтегрованої системи	51
5.2. Розробка алгоритму і програмного забезпечення	51
5.3. Розробка інтерфейсу системи керування	55
5.4. Реалізація дистанційного режиму керування кліматичними умовами у Smart-будинку	59
6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ	65
ВИСНОВОК	68
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	69
ДОДАТКИ	70
Додаток 1	70
Додаток 2	74
Додаток 3	75
Додаток 4	76

ВСТУП

На сьогодні вимоги до умов експлуатації системи подачі повітря досить вимогливі, оскільки якість повітря сильно впливає на ефективність роботи персоналу та якість їх важливих рішень. Якість повітря, що подається до будівель, повинна відповідати певним стандартам якості. Вентиляція поділяється на два типи: природна вентиляція і штучна. Завдяки своїй високій ефективності механічна вентиляція стала домінуючою в проектуванні виробничих та приватних приміщень у будівлях, вона поділяється на часткову, загальнообмінну та аварійну.

Одним із пріоритетних напрямків енергозбереження в промислових та цивільних будівлях є підвищення енергоефективності вентиляційної системи, що є одним із пріоритетних напрямків енергозбереження в промислових та цивільних будівлях. Одним з найбільших покупців термоелектрики є вентиляція. Оцініть його енергоефективність протягом періоду проектування.

Система подачі повітря повинна не лише підтримувати гігієнічні норми та створювати комфортні умови для робітників на робочому місці, а й технічно управляти тиском та надзвичайними ситуаціями, оскільки використання класичних ПДД-регуляторів є найскладнішим для вирішення надзвичайних ситуацій. Кількість факторів, що впливають на мікроклімат та складність їх взаємозв'язків, є основними труднощами у створенні та впровадженні систем управління. Коли зміна одного фактора призводить до зміни іншого фактора або зміни не пов'язаних факторів, можна побачити, що встановити ПДД-контролер досить складно.

Фактори, які впливають на середовище мікроклімату приміщень, є:

- температура (t),
- швидкість руху повітряної маси (v),
- тиск (P),
- концентрація шкідливих домішок в повітрі робочих зон (K),
- вологість повітря (φ),

Електричний привід повітрорудвки та витяжного вентилятора є головним приводом у системі вентиляції, і його функція безпосередньо впливає на загальний стан системи. Його регулювання може не тільки підтримувати нормальні умови мікроклімату в повсякденній зоні, але й запобігати або обходити небезпечні умови внутрішньої атмосфери.

Актуальність роботи. У системах вентиляції будівель, де працюють люди, їх енергоефективність стає все більш необхідною. Найбільш значне поліпшення енергетичних даних досягається за рахунок забезпечення проміжних процесів з мінімальними динамічними помилками на початкових координатах, тим самим зменшуючи витрати на управління енергією. Це досягається за рахунок інтеграції алгоритмів управління, що відповідає тимчасовим стандартам якості.

Метою роботи є розробка комп'ютерно-інтегрованої системи керування температури повітря в приміщенні Smart-будинку.

Для досягнення мети необхідно:

1. Розробити макет контуру регулювання температури повітря, з урахуванням динамічних якостей системи.
2. Реалізувати цифрову систему керування, з урахуванням обмежень на додаткові виміри повітря.
3. Дослідити динамічні властивості контуру регулювання температури за присутності збурень методом цифрового моделювання та надати порівняльну оцінку отриманих результатів.
4. На базі комплексу технічних засобів Arduino розробити комп'ютерно-інтегровану систему керування температури повітря.

Об'єктом дослідження є процес керування температурою за допомогою кількісного способу переміни параметрів повітря.

Предметом дослідження є алгоритм керування системою припливної вентиляції, що використовується за кількісним принципом керування температурою повітря

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНИХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ І КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ТА ОСНОВНИХ ВИМОГ ДО НИХ

1.1. Класифікація систем вентиляції

Вентиляція – це система заходів і пристроїв, для обміну повітря в приміщеннях будинків, що забезпечують нормальний повітрообмін. Існує багато типів систем вентиляції та кондиціонування, що використовуються в приміщеннях управління, які поділяються на:

- природна і штучна (за способом тиску і переміщення повітря);
- припливна, витяжна і припливно-витяжна (за призначенням);
- місцева і загальнообмінна (за зоною обслуговування);
- канална і безканална (по конструкції каналів передачі повітря).

Докладно пояснивши кожен тип, ви можете описати основні переваги та недоліки, що використовуються у системі вентиляції. Необхідно вивчити класифікацію вентиляційного обладнання та застосовувати їх відповідно до необхідних параметрів для підтримки необхідного мікроклімату.

Природна вентиляція.

Природна вентиляція є найдавнішим прикладом вентиляції в будь-якому приміщенні. Застосування знань з фізики для руху холодного повітря в районах з різними значеннями тиску є основою природної вентиляції, яка проходить природним шляхом без будь-якого професійного обладнання. Через різницю температур та атмосферного тиску відбувається повітрообмін, створюючи сприятливий мікроклімат за певних умов. За допомогою вітру чисте повітря примушується до адміністративних чи промислових об'єктів, а повітря, забруднене вуглекислим газом та іншими неприємними запахами, скидається. Для організації цього процесу використовуються повітроводи, які підходять для проекту під час будівництва будівлі.

Слід пам'ятати, що нормальна активність природної вентиляції залежить від матеріалу із якого цю будівля побудовано. Порівняно з бетоном,

повітропроникність цегляної стіни або стіни дерев'яної конструкції набагато краща, а велика кількість шпаклівки, ґрунтовки та шару фарби ще більше зменшує повітропроникність. Покращити процес повітрообміну з необхідним мікрокліматом, відкривши вікна в приміщенні.

Несанкціонована - це природна вентиляційна система, в якій повітряні маси можуть потрапляти та усуватися лише під впливом природних умов.

Організована система природної вентиляції повітряного потоку гарантується за рахунок отворів. Вони спеціально розташовані на різній висоті і мають різні розміри. Крім того, організована вентиляція поділяється на стратифіковану, гравітаційну та вентиляцію.

Система природної вентиляції не вимагає стабільного обслуговування, не вимагає використання проблемного обладнання та не вимагає великих витрат на електроенергію. Однак ефективність цих систем залежить від постійно мінливих факторів, таких як вологість і температура, напрямок вітру та швидкість вітру, а також незначні значення перепаду тиску в процесі вентиляції, які не можуть вирішити всі складні та різноманітні проблеми. Це повинні вирішити сучасні вентиляційні системи.

Механічна або штучна вентиляція.

Для будівель з промисловим значенням, коли потужності природної вентиляції недостатньо для забезпечення необхідних параметрів, також може використовуватися штучна вентиляція. Її робота забезпечується застосуванням обладнання для підготовки повітряної маси та подальшим транспортуванням. Для кінцевого споживача важливою особливістю цього типу систем є обробка повітря, що надходить у приміщення. Відповідно до необхідних умов повітря можна очищати, нагрівати, охолоджувати та зволожувати. При проектуванні такої вентиляційної системи необхідно сформулювати технічну, гігієнічну, економічну та технічну раціональність, тому процес вимагає багато часу.

Але потрібно розуміти, що застосування такої системи створить найкращий мікроклімат.

Переваги та недоліки штучної системи вентиляції.

Перш за все слід відзначити, що на якість вентиляції сезон не впливає. Крім того, на мікроклімат у приміщенні можуть повністю впливати різні методи (фільтрація, зволоження, осушення, нагрівання та охолодження).

Порівняно з природою, недоліками цих систем є велике споживання енергії та висока вартість. Багато разів, щоб компенсувати переваги та недоліки різних систем, використовуються змішані варіанти.

Припливна і витяжна вентиляція.

Вентиляційні системи поділяються за призначенням на 3 частини: припливні, витяжні і комбіновані.

Система подачі повітря є неповним випадком реалізації механічної вентиляції. Його принцип роботи полягає у примусовому надходженні свіжого повітря з необхідними температурними характеристиками на робочі та неробочі місця. Вихлопні гази транспортуються назовні цих місць через природні вентиляційні системи.

У більшості випадків витяжну систему можна використовувати для поліпшення роботи природної вентиляції та швидшого скидання вихлопних газів. Витяжні вентилятори та вентиляційні решітки, а також повітроводи, що складають всю систему вентиляційних каналів, зазвичай є частиною витяжної вентиляції через ці канали, щоб витягнути повітря назовні.

1.2. Основні складові систем вентиляції

1.2.1. Повітряні клапани

Повітряний клапан є одним із компонентів повітряної мережі. Застосовується для зміни потоку повітря, незалежно від того, знаходиться він у двопозиційному режимі управління "відкриття / закриття" (зупинний клапан) та відносному керуванні (регулюючий клапан), нормоване значення витоків припливного повітря при закритому режимі є максимальним тиском, що надається в мережі під державою. Вентиляційний повітряний клапан прямокутного перерізу та круглого перерізу подано на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Повітряні клапани з круглим та поперечним перерізом

У вентиляційній системі повітряний клапан використовується як замикаючий і регулюючий пристрій для зміни потоку повітря. Клапани різної конструкції та характеристик використовуються для виконання завдань, поставлених перед системою вентиляції, та характеристик об'єкта, до якого буде реалізована система подачі повітря.

Повітряні клапани за типом виконання поділять:

- загальний клапан виконання;

Він використовується для вирішення більшості будівельних завдань, не має особливих характеристик і не вимагає використання в галузі експлуатації промислового обладнання.

- клапани спеціального виконання;

Він використовується для прийняття рішень щодо спеціальних проблем промислового проектування та будівництва у вузькому розумінні для досягнення точної мети, яка має більше переваг.

- зворотний клапан;

Застосовується для запобігання зміні напрямку потоку (повернення) газоподібного середовища у вентиляційній системі.

- клапан надлишкового тиску;

Призначений для механічного скидання надлишків парогазоподібного середовища із зони обслуговування для відновлення нормального тиску, і він автоматично контролюється надлишковим тиском.

- відсічний клапан;

Він використовується для зупинки фактичного потоку у вентиляційній мережі, щоб запобігти його потраплянню в зону обслуговування, а також для роботи з такими клапанами від електричних або ручних приводів.

- регулюючий клапан;

Застосовується для регулювання вимірювання потоку повітря та газу в працюючій вентиляційній мережі, змінюючи витрату, він регулюється електричним або ручним приводом.

Класифікація повітряних клапанів за обсягами протікання відповідно до ДСТУ 65131-98.

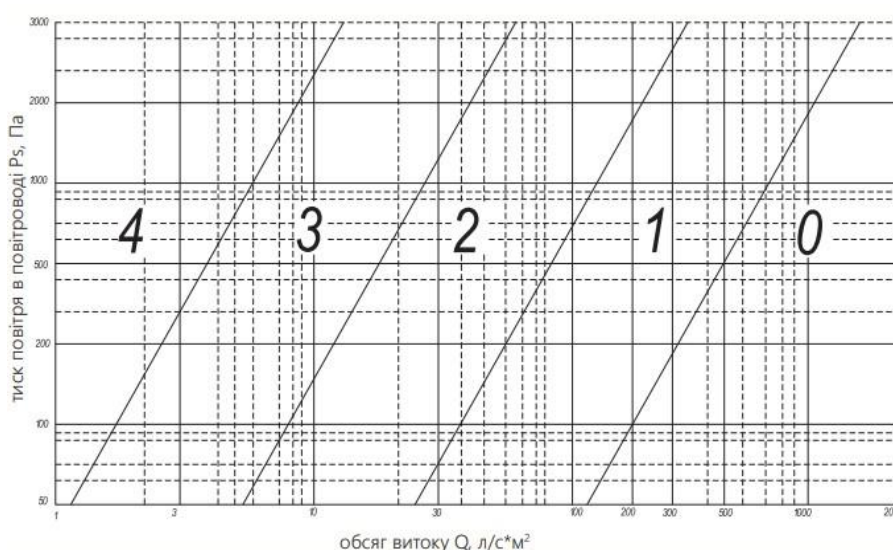


Рисунок 1.2. Діапазон обсягу протікання клапанів

Нормована швидкість потоку згідно з ДСТУ класифікується на 0, 1, 2, 3 та 4 у всьому діапазоні. Значення від 0 до 4 вказують на те, що максимальний витрата (л / с * м²) через закрити лопатку клапана перевищується як активний статичний тиск у трубопроводі, в Па (рис. 1.2). Мінімальний рівень витоків дорівнює нулю, і немає вимог до витоків.

Регулюючий клапан - повітряний клапан, який можна використовувати для закриття для регулювання потоку повітря в програмі "відкрити / закрити" та / або для рівномірного регулювання обсягу повітря в мережі.

Для шарового клапана важливою особливістю є рівень потоку в закритому стані: чим вищий рівень потоку (від 0 до 4), тим вищі показники

герметизації клапана в закритому стані. Зворотний клапан використовується лише як запірний клапан для закриття повітропроводу, коли подача повітря переривається при вимкненому вентиляторі.

Відповідно до призначення повітряний клапан може бути загальнопромисловим, вибухобезпечним, корозійно стійким або іншими варіаціями своїх властивостей та їх комбінацій. Важливо розуміти обмежені можливості загальнопромислового впровадження та обережно використовувати його для вирішення особливих проблем. Використання певних клапанів у професійних цілях повинно мати розумну логічну основу.

Робочий тиск клапана - це робочий тиск повітряної трубопроводної мережі, де встановлений клапан. Незважаючи на те, що всі виробники дали гарантії, межа споживання більшості загальноприйнятих клапанів, що сьогодні представлені на ринку, закінчується на рівні 1500 Па. Робочого тиску 1500 Па досить для вирішення більшості проблем у промислових та цивільних будівлях. Робочий тиск в трубопроводній мережі, яка може використовувати професійні клапани, може досягати 3000 Па або більше, і вона працює у спеціальному виконанні.

Електричний клапан може бути оснащений повітряним клапаном механізму, нестабільним струмом живлення (230 В або 24 В), ручним механізмом управління або зворотного механізму, як окрема категорія (що працює за інерцією або силою тяжіння) повітряний потік або сила тяжіння.

Значення безкомпромісності класифікується за варіантом відкривання леза - симетричним або паралельним.

Лопатки відкриваються симетрично, і потік поступово регулюється без гідравлічного удару; паралельне відкриття лопатей спричинить "поріг" і турбулентність повітряного потоку, що призведе до зменшення швидкості повітряного потоку на виході з клапана.

Схематичне зображення відкриття лопасті клапану представлено на рис. 1.3 [7].

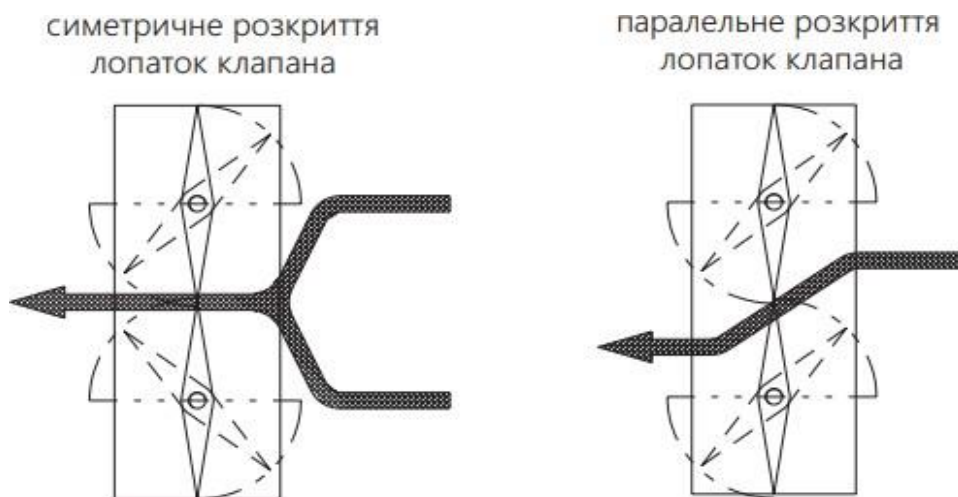


Рисунок 1.3 Варіанти розкриття лопасті клапану

Незалежно від напрямку простору та будь-якого напрямку руху повітря, більшість приводних повітряних клапанів підтримують свої ефективність.

Для зворотних клапанів просторова орієнтація є критичною для забезпечення нормальної роботи. Промисловість також використовує певні типи зворотних клапанів, призначених для роботи на вертикальних або горизонтальних ділянках вентиляційної мережі із заздалегідь визначеними напрямками повітряного потоку.

Клапани, що виробляють світові виробники можуть бути всякого кліматичного виконання відповідно з стандартів ДСТУ 15150-89.

1.2.2 Теплообмінники

Теплообмінники з пластинчастими ребрами можуть використовуватися у вентиляційних системах для нагрівання та охолодження повітря. Поверхня теплообміну складається з трубки і натиснутої на неї пластини. Матеріал ребра труб і пластин може бути виготовлений з будь-якого матеріалу, залежно від типу теплообмінника.

Теплообмінник поділяється на нагрівач і охолоджувач. Теплоносієм є вода. Якщо ви хочете розмістити його на відкритому повітрі або завжди в холодному місці, використовуйте в якості теплоносія незамерзаючу суміш (наприклад, розчин гліколю).

На рис. 1.4. показано водяний каналний теплообмінник [7].



Рисунок 1.4 – Водяний каналний охолоджувач

Також існують теплообмінники, в яких в якості холодоагенту виступає фреон марки: R22, R407C, R410A, тощо. Здатність теплообмінника продовжувати працювати в будь-якому положенні. Перед теплообмінником необхідно встановити фільтр, щоб запобігти пошкодженню. Якщо нагрівач встановлений перед вентилятором, розрахуйте потужність нагрівача так, щоб температура повітря, що рухається, не перевищувала максимально можливого значення, встановленого для вентилятора.

Якщо використовується фреоновий холодоагент, то передумовою є те, що вода використовується як теплоносій, а компресор-конденсатор і блок змішування води використовуються для регулювання циркуляції теплоносія. фільтр. Також використовується у вентиляційних системах: панелі, кишені, компактні фільтри, металеві сітчасті фільтри, вугільні фільтри та високоточні фільтри HEPA.

1.2.3. Електричні нагрівачі

Призначені для нагрівання повітря без пилу. Нагрівальний елемент (TEN) виготовлений із стандартної сталі і має низьку температуру нагрівання поверхні. У частині електричного нагрівача використовуються трубчасті ребристі електричні нагрівачі (десять штук), з'єднані між собою "зіркою", і їх можна розділити на три-шість ступенів відповідно до сили електронагрівача

та розміру нагрівача. Секція електричного нагрівача, керованого тиристором, використовується для рівного регулювання температури повітря різних рівнів потужності електричного нагрівача. Це силовий пристрій з повними функціями управління електронагрівачем.

Основні переваги відносно зі ступінчастим (дискретним) управлінням:

- дотримуйтесь встановленої температури більш точно ($\pm 1^{\circ}\text{C}$);
- енергоспоживання завжди відповідає необхідній потужності;
- збільшити термін служби контактора.

На рис. 1.5 зображено електричний каналний повітрянагрівач прямокутного перерізу.



Рисунок 1.5 – Електричний каналний нагрівач

Всі електронагрівачі оснащені термостатом захисту від перегріву. Коли температура корпусу електронагрівача досягає 60°C [7], спрацьовує термостат.

1.2.4. Типи вентиляторів та їх детальний опис.

Осьові або аксіальні вентилятори.

Практичні лопаті обертаються навколо осі і пропускають потік повітря через пристрій. Унікальною особливістю є легкість конструкції, тому вона дуже популярна і часто використовується в побутовій техніці: наприклад, охолоджувачі та фени в системних блоках ПК. Ефективність висока, оскільки опір осьового пристрою потоку повітря досить низький, і витрати на тертя майже відсутні. За своєю структурою вони схожі на колесо, складене з

консольних лопатей, які жорстко закріплені під прямим кутом до потоку повітря, а потік повітря завжди паралельний осі обертання пристрою. Для отримання кращих аеродинамічних характеристик виробу на вході, будь ласка, встановіть спеціальний колектор, щоб збалансувати або направити потік. Будова виробу з осьовим потоком надзвичайно проста: оболонка має отвір, який можна міцно закріпити в робочому місці, двигун встановлений всередині пристрою, а робоче колесо щільно встановлено на валу електроприводу. Тиск і втрати потоку регулюються відстанню між лопатями.

Радіальні.

У цьому типі обладнання крильчатка розміщена в спеціальному спіральному корпусі.

Таким чином, під час обертання потік повітря захоплюється каналом розташованим між лопатками і рухаючись до периферійної частини, на шляху спостерігається незначне стиснення. Тому відцентрова сила спочатку виштовхує повітря в спеціальний корпус, а потім через повітропровід потрапляє в приміщення. Основним елементом є циліндр, в якому лопаті закріплені по колу на однаковій відстані і згинаються уздовж або проти руху відповідно до прямого призначення пристрою. Їх головна особливість - вихідний потік повітря завжди знаходиться під вертикальним кутом до вхідного повітряного потоку.

Діагональні вентилятори.

Вони лише візуально відрізняються від осьових вентиляторів: напрямок впуску однаковий, але вихідний напрямок має спеціальну діагональ. Справжня кінчна форма корпусу сприяє збільшенню витрати повітря, але якщо порівняти їх з осьовими пристроями подібних розмірів і характеристик, рівень шуму в цьому варіанті буде набагато нижчим.

Вентилятори цього типу складаються з корпусу, що має нешаблонну конструкцію виходу і входу: дифузор і патрубок відповідно циліндра, форма якого більше скидається барабан з паралельними робочими елементами, які трохи загнуті по ходу обертання. Вся хитрість функціональної особливості

полягає в дворазовому і перехресному проходженні повітря крізь робоче колесо.

Різниця з тангенціальними вентиляторами полягає в тому, що аеродинамічні параметри досить високі і вони підходять для створення так званих площинних конфігурацій відносно великих потоків. Порівняно з іншими вентиляторами, відмінністю цього типу вентиляторів є висока компактність та висока ефективність установки. Вони використовуються для охолодження або обігріву обладнання будинку, а також теплоізоляційні штори, що використовуються в торгових центрах, супермаркетах та входах магазинів взимку.



Рисунок 1.6 – Діаметральний переріз діагонального вентилятора

Необхідно звернути увагу на їх цілком практичну установку та можливість відведення з будь-якої сторони відповідно до технічних потреб.

Прямоточні вентилятори.

У спеціально сконструйованому вентиляторі повітряний потік формується спеціальною турбіною, розташованою внизу виробу - вона забезпечує стислий потік повітря через досить вузький спрямований отвір. Він захоплює сусідні шари повітряної маси відповідно до законів аеродинаміки.

На спині утворюється тонка смужка, де поглинається повітряна маса.

Вражаючим результатом цього ефекту є те, що повітря, яке прокачується через різні конфігурації рами, майже в 20 разів більше, ніж повітря, що виробляється вбудованою турбіною. Обертаючи раму в різних напрямках, напрямок потоку можна орієнтувати, а форму рами можна обробити від ідеального кола до сильно витягнутого еліпса.

Перевагою цієї системи є те, що вона забезпечує 100% безпеку у використанні без зовнішніх обертових деталей, але недоліком є шум, який сильно впливає на навколишнє середовище, і повітря прискорюється до 90 км / год.

Основні типи вентиляторів, які можна використовувати для вентиляції промислових об'єктів, державних установ, ресторанів та їдалень, а також житлових багатоповерхових будинків, встановлені на тильній або верхній частині плоского даху в непомітному місці. Існує також потужне обладнання, яке може забезпечити надійну вентиляцію об'єктів одночасно за допомогою декількох повітроводів.

РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Вимоги до систем автоматизації

Основним приводом у вентиляційній системі є електропривод повітрорудки та витяжного вентилятора, робота якого ненавмисно впливає на загальний стан системи. Регулювання може не тільки підтримувати нормальні умови мікроклімату в робочій зоні, але також запобігати або уникати небезпечних умов у внутрішній атмосфері.

Для точного управління системою управління вентиляцією система повинна включати наступне обладнання автоматики та електроприводи.

Вимоги, яким повинні відповідати системи автоматизації кондиціонування повітря

Вимоги до систем автоматизації умовно можна розділити:

- загальні вимоги для всіх систем автоматизації;
- вимоги, що враховують специфіку систем кондиціонування повітря;
- вимоги які визначаються системою кондиціонування повітря.

Загальні вимоги для всіх систем автоматизації, незалежно від об'єкта управління, визначаються рядом загальнодержавних, нормативних документів. Головним з них є: ДСТУ БА 2.4.- 3-95 (ГОСТ 21.4.08-93), СНиП 3.05.07.85

«Системи автоматизації», «Правила улаштування електроустановок (ПУЕ)» і ДНАОП 0.00-1.32-01.

В ДСТУ Б А 2.4.-3-95 (ГОСТ 21.4.08-93) викладені норми і правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів.

Збірник норм і правил СНиП 3.05.07-85 визначає порядок і правила виконання всіх робіт, пов'язаних з виробництвом, монтажем і налагодженням систем автоматизації технологічних процесів та інженерного обладнання.

У ПУЕ дано визначенні і загальні вказівки з влаштування електроустановок, вибору провідників і електричних апаратів за способом їх захисту.

У ДНАОП 0.00-1.32-01 наведені правила пристроїв електрообладнання спеціальних установок, в тому числі в розділах 2 і 3 – електрообладнання житлових, громадських, адміністративних, спортивних і культурно видовищних будівель і споруд, тобто об'єктів, де установка системи кондиціонування повітря обов'язкова.

2.2. Вибір параметрів внутрішнього повітря

Для кондиціонування і вентиляції використовуються оптимальні значення параметрів внутрішнього повітря, які приймаються відповідно до СНиП-2.04.05-91*, а також СНиП-2.08.02-89*.

У теплий період року температура притоку:

$$t_{\text{прит}}^T = t_{\text{наружн}}^T = 23,7^\circ\text{C}., \quad (3.1)$$

Розрахункова температура в теплий період року:

$$t_{\text{расч}} = t_{\text{прит}}^T + 2^\circ\text{C} = 23,7 + 2 = 25,7^\circ\text{C}., \quad (3.2)$$

Температура повітря в холодний період року в робочій зоні:

$$t_{\text{р.з.}} = 20^\circ\text{C}., \quad (3.3)$$

Результати вибору наведено в табл. 2.1, де ν -відносна вологість повітря, %.

Таблиця 2.1. Рекомендовані значення параметрів повітря залежно від пори року

Період року	t, C	I, кДж/кг	d, г/кг	V _в , м/с	ν , %
Теплий	25,7	62	14	0,3	60
Холодний та перехідні умови	20	42,5	9	0,2	60

Надходження тепла від сонячної радіації залежить від роду і

структури матеріалу зовнішніх огорожень, стану та кольору їх поверхні, кута, під яким сонячні промені падають на поверхню, орієнтації поверхні по сторонах світу.

Найбільше надходження тепла від сонячної радіації відбувається через засклені зовнішні поверхні: вікна, ліхтарі.

Кількість тепла прямої $q_{\text{п}}$ та розсіяної $q_{\text{р}}$ сонячної радіації в липні, що надходить в приміщення через одинарне скління зі склом товщиною 2,5-3,5 мм вертикального і горизонтального заповнення світлових отворів для м. Києва (52° пн.ш.) і південної сторони об'єкта наведені в табл. 3.4.

Найбільша кількість тепла, що надходить через скління, знаходиться в проміжку з 11 год до 13 год і становить: $q_{\text{п}}=296$ кДж/(год*м²) та $q_{\text{р}}=78$ кДж/(год*м²).

Кількість тепла, що надходить в приміщення через заповнення світлових отворів за рахунок сонячної радіації визначається за формулою, кДж/ч:

$$Q_{\text{солн.рад.}} = (q' \cdot F' + q'' \cdot F'') \cdot k_{\text{отн.п.}}, \quad (3.13)$$

де q' и q'' – кількість тепла, кДж / (год*м²), що надходить в приміщення в липні через одинарне скління світлових отворів;

F' та F'' – площа заповнення світлового отвору (згідно з вихідними даними $F'=F''=2.25$ м²);

$k_{\text{отн.п.}}$ – коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації через заповнення світлового отвору, що відрізняється від одинарного засклення зі склом товщиною 2,5-3,5 мм (з [2], для подвійного скління приймаємо $k_{\text{отн.п.}}=0.9$; при наявності жалюзі $k_{\text{отн.п.}}=0.53$).

Значення q' та q'' для розрахункової години (за дійсним сонячним часом) слід визначати за формулами:

$$q' = (q_{\text{п}} + q_{\text{р}}) \times k_1 \times k_2, \quad (3.14)$$

$$q'' = q_{\text{р}} \times k_1 \times k_2, \quad (3.15)$$

де k_1 – коефіцієнт, що враховує затінення скління світлових прорізів палітурками і забруднення атмосфери (з [2], приймаємо $k_1=0,9$); k_2 – коефіцієнт, що враховує забруднення скла (з [2], для незначного забруднення приймаємо $k_2=0,95$);

$$2q' = (q_{\text{п}} + q_{\text{р}}) \times k_1 \times k_2 = (296 + 78) \times 0,9 \times 0,95 = 319,77 \text{ кДж}/(\text{год} \cdot \text{м}^2), \quad (3.16)$$

$$q'' = q_{\text{р}} \times k_1 \times k_2 = 296 \text{ кДж}/(\text{год} \cdot \text{м}^2), \quad (3.17)$$

Теплопостачання від сонячної радіації через засклені поверхні, орієнтовані на північ, не враховуються.

Наведену математичну модель реалізовано в вигляді імітаційної схеми в середовищі MATLAB (рис. 2.1).

2.3 Розрахунок теплового балансу приміщення в будинку

Розрахунок теплового балансу для приміщення, що кондиціюється, проводиться методами, прийнятими в опалювально-вентиляційній техніці будинків. Тут повинні бути враховані всі фактори, що впливають на зміну стану повітряного середовища приміщення будинку [1].

Для складання теплового балансу приміщення необхідно визначити баланс тепла в приміщенні. Тепловиділення від людей. Надходження тепла від людей залежить від інтенсивності виконуваної роботи і параметрів навколишнього повітря. Розрахунок проводиться за формулою, кВт :

$$Q_{\text{л}} = k \cdot \Sigma(n \cdot q_{\text{л}}), \quad (3.4)$$

де k – коефіцієнт одночасності присутності (для установ коефіцієнт приймається $k=0,95$, тобто кількість людей на 5% менше заявленої кількості) [2];

n – кількість людей у приміщенні (згідно табл. 3.1.);

$q_{\text{л}}$ – кількість тепловиділення від однієї людини (з [2], при температурі повітря в приміщенні $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ і легкому роді робіт, приймаємо $q_{\text{л}} = 0,1 \text{ кВт}$).

Для столової:

$$Q_{\text{л}} = k \cdot \Sigma(n \cdot q_{\text{л}}) = 0,95 \cdot 25 \cdot 0,1 = 2,375 \text{ кВт} , (3.5)$$

Тепловиділення від обладнання. Для приміщень, в яких мають місце теплоприпливи, що виникають за рахунок оргтехніки, розрахунок ведеться за наступною формулою, кВт:

$$Q_{\text{оргтехніки}} = n \cdot q_{\text{об}} = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ кВт} , (3.7)$$

$$Q_{\text{оргтехніки}} = n \cdot q_{\text{об}} , (3.6)$$

Де, n-кількість ПК, що знаходяться у приміщенні (згідно табл. 3.1);
 $q_{\text{об}}$ – в середньому береться 300 Вт на 1 комп'ютер у повній комплектації.

Для приміщення №1:

$$Q_{\text{оргтехніки}} = n \cdot q_{\text{об}} = 3 \cdot 0,3 = 0,9 \text{ кВт} , (3.7)$$

Теплоприпливи від інфільтрації. Інфільтрація, або проникнення зовнішнього повітря під дією вітру і різниці температур через нещільність зовнішніх огорожувальних конструкцій, є чинником, яким не можна нехтувати.

Масова кількість повітря, інфільтрує через щілини, визначається за формулою:

$$M = \Sigma(a \cdot m \cdot l) , (3.8)$$

де, a – коефіцієнт, що залежить від характеру щілин, для вікон з двійним дерев'яним плетінням, приймаємо рівним $a=0,5$ [2];

m – питома кількість повітря, проникаюча через 1 пог. м довжини в залежності від швидкості вітру (з [2] приймаємо $m=18$ для скляних вікон і дверей зі щілинами до 3 мм);

l – довжина щілини ($l=1$ м).

Витрати тепла на підігрів повітря, що поступає за рахунок інфільтрації, кВт.

$$Q_{\text{инф}} = M \cdot c_{\text{в}} , (3.9)$$

де, M – масова кількість повітря, інфільтруючого через щілини; C_e – теплоємність повітря ($C_e = 0.28 \text{ кДж/кг} \cdot \text{°C}$) [1]. Для столової:

$$Q_{\text{инф}} = 378 \cdot 0.28 \cdot \frac{4.1868}{3600} = 0.123 \text{ кВт} , (3.10)$$

$$Q_L = \eta \cdot \Sigma N_{\text{осв}} , (3.11)$$

де η – коефіцієнт переходу електричної енергії в теплову (при використанні люмінесцентних ламп

$\eta = 0.4 \div 0.5$, при використанні ламп

розжарювання ($\eta = 0.95$) [1], при використанні ламп на світлодіодах $\eta = 0.3$;

$N_{\text{осв}}$ – установочна потужність ламп (згідно пункту 3.1.). Для столової:

$$Q_L = \eta \cdot \Sigma N_{\text{осв}} = 0.3 \cdot 14 \cdot 0.032 = 134 \text{ кВт} , (3.12).$$

Інтенсивність сонячного випромінювання залежить від широти місцевості і варіюється в залежності від пори року і часу доби.

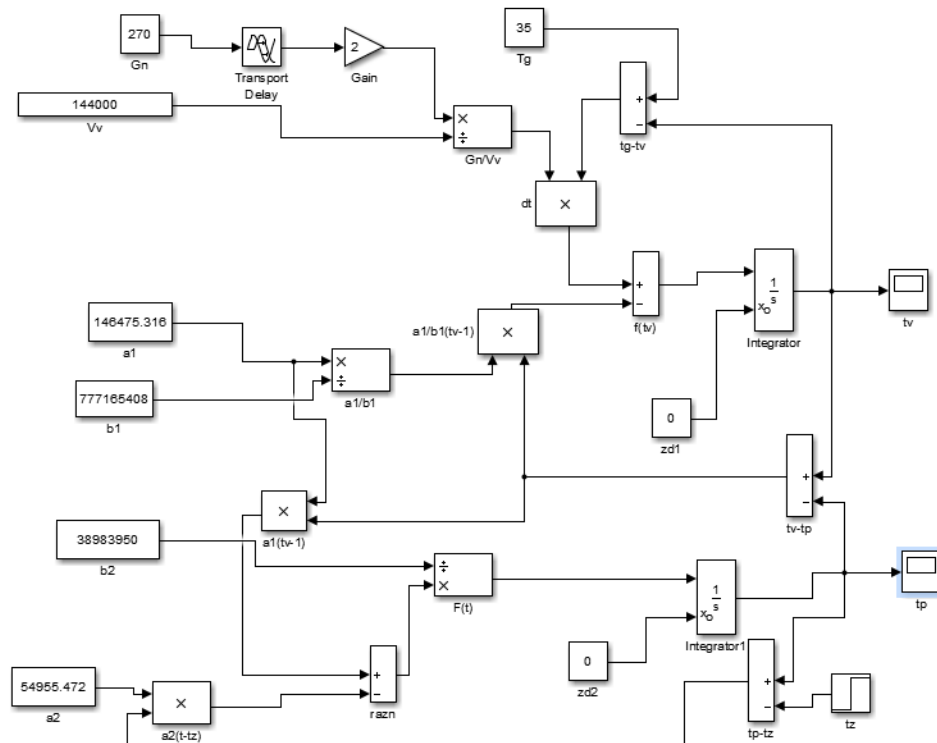


Рисунок 2.1. Імітаційна модель по каналу температури повітря

2.2) З імітаційної схеми виведено розгінну криву об'єкта керування (рис.

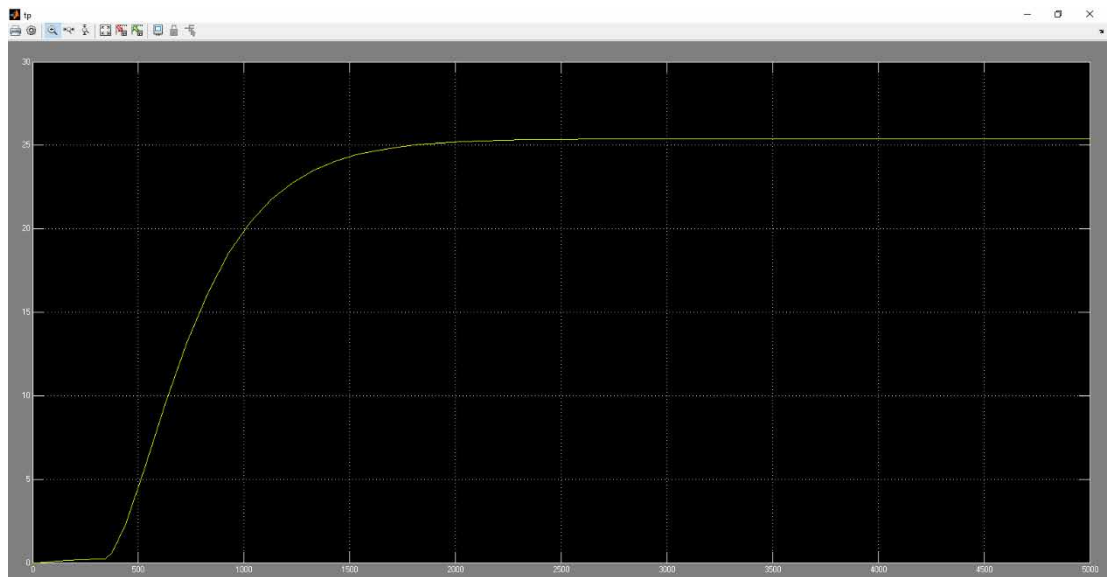


Рисунок 2.2 Розгінна характеристика температури повітря в приміщенні

Отримавши графік перехідного процесу температури повітря в приміщенні можемо вивести передаточну функцію об'єкта керування:

- час запізнення $\tau=400\text{с}$
- постійна часу об'єкту $T=580\text{ с}$
- коефіцієнт передачі $K=0.117$

Визначена передаточна функція матиме вигляд:

$$W_{oy}(s) = \frac{0.117 \cdot e^{-400 \cdot s}}{580 \cdot s + 1} .$$

2.4. Розробка функціональної схеми автоматизації

Проект функціональної схеми автоматизації регулювання температурою в приміщенні наведено на рис 2.4. Центральним пристроєм керування, збору інформації та регулювання служить мікроконтролер Arduino.

Регулювання температури в теплиці здійснюється за наступними каналами регулювання: температура теплоносія нижнього та верхнього

рівня, регулювання швидкості вентиляторів .

Інформація від усіх сприймаючих елементів надходить на мікроконтролер Arduino після обробки інформації видає необхідний сигнал управління на виконавчий механізм.

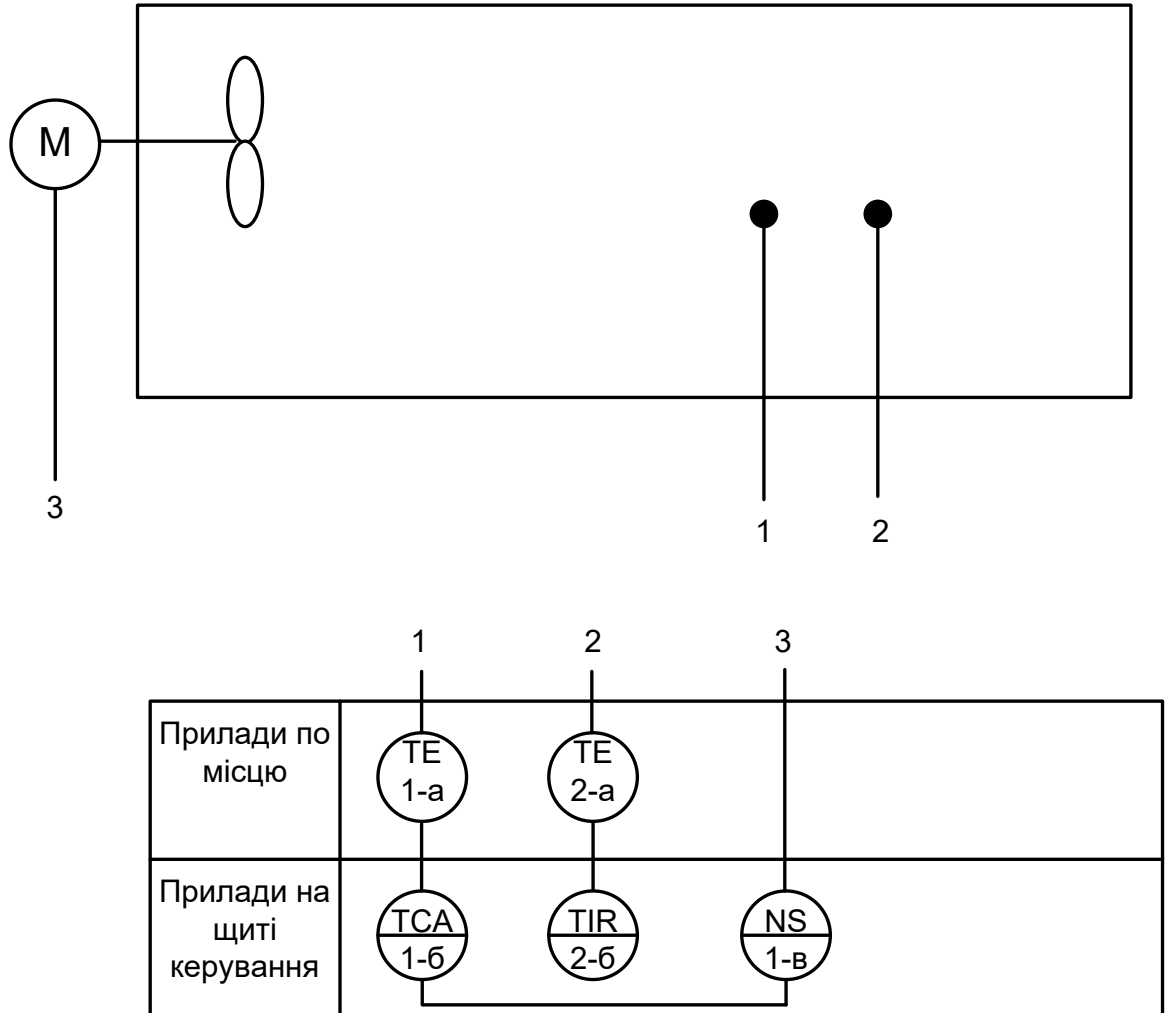


Рисунок 2.4. Функціональна технологічна схема системи керування температури повітря

Складові функціональної схеми:

TE – датчик температури

NS – передача керуючого імпульсу

TIRCA – регулятор (індикація, сигналізація, контроль температури повітря).

РОЗДІЛ 3. РЕАЛІЗАЦІЯ АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ОБ'ЄКТА

3.1. Розробка структурно-алгоритмічної схеми КІС керування температурою повітря

Проведено аналіз підсистем керування після чого визначено котрі саме складові складають підсистему для забезпечення керування температурним режимом повітря в приміщенні. Для цього розроблено проєкт структурно-алгоритмічної схеми комп'ютерно-інтегрованої системи (КІС) керування температурою повітря в теплці (рис. 3.1).

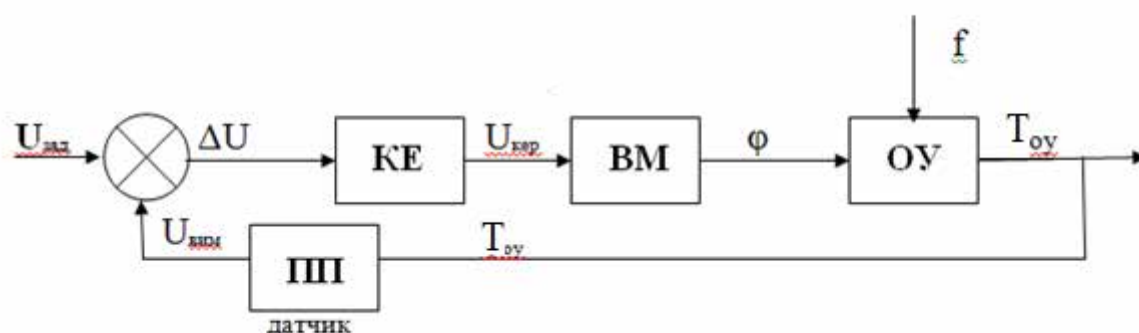


Рисунок 3.1. Структурна функціональна схема КІС керування температурою повітря

КЕ- керуючий елемент (контролер Arduino); ВМ- виконавчий механізм (електричний двигун); ОУ- об'єкт управління (приміщення); ППІ – первинний перетворювач (датчик)

3.2. Вибір алгоритму керування

Для визначення алгоритму керування визначимо динамічні властивості об'єкта та показники якості, які повинні бути забезпечені по технологічним вимогам. Регулятор обирають за величиною відношення часу запізнення до постійної часу об'єкта керування:

$0,2 \leq \tau/T \leq 1$ лінійний алгоритм керування;

$\tau/T > 1$ імпульсний алгоритм керування;

$\tau/T < 0,2$ позиційний алгоритм керування.

$$\frac{\tau}{T} = \frac{400}{580} = 0,67. \quad (3.1)$$

За розрахунками підходить лінійний алгоритм керування.

Динамічний коефіцієнт регулювання дає змогу обрати найкращий алгоритм для конкретного об'єкта керування.

Методика вибору найкращого алгоритму керування полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання. Для статичних об'єктів:

$$R_d = y_1 / (K_0 u_{max})' \quad (3.2)$$

де: y_1 – максимальне динамічне відхилення

K_0 – коефіцієнт передачі об'єкта керування

u_{max} – максимально можливе значення збурення по навантаженням.

За даними нашого об'єкта визначаємо динамічний коефіцієнт регулювання:

$$R_d = 1.5 / (0.117 \cdot 595) = 0.02.$$

Далі за графічними залежностями (дістають алгоритм керування.

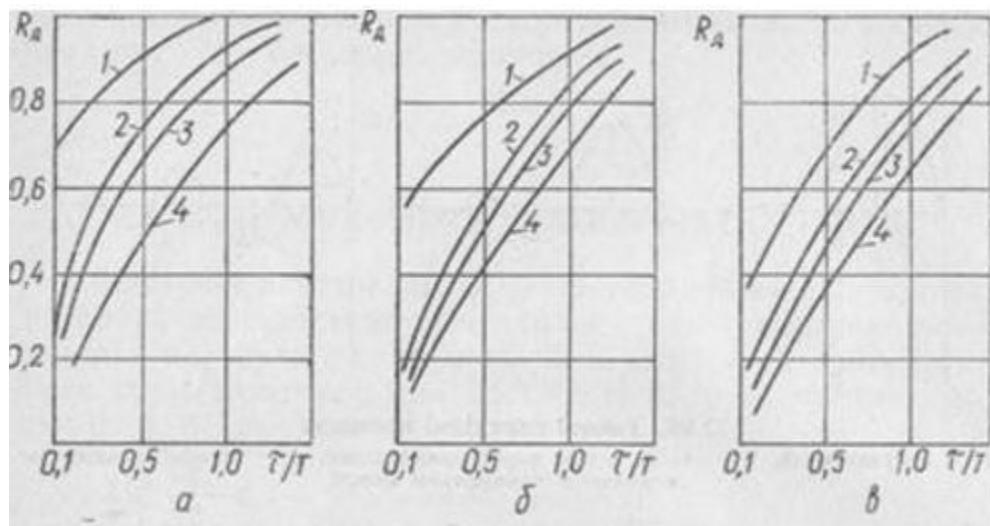


Рис3.2 Залежність динамічного коефіцієнта регулювання від динамічних властивостей об'єкта керування;

(а – для типового аперіодичного перехідного процесу; б – для типового перехідного процесу з 20% перерегулюванням; в – для типового перехідного

процесу з мінімальним інтегральним показником якості.)

Обираємо для даного об'єкта аперіодичний перехідний процес. За рис.3.1 обираємо пропорційний алгоритм керування. Перевіримо, чи забезпечується при цьому потрібний час регулювання: за таблицею 3.1 беремо $\Psi=4.5$, тоді $tr_{п}=4.5 \cdot 0.5=2.25$. Оскільки $tr_{п}<tr$, тобто $2.25<595$, перевіримо виникнення при цьому статичної похибки. Визначаємо $\Delta=K_o \cdot u_{\max} \cdot 0.37=25.75$.

Таблиця 3.1

Відносний час регулювання

Алгоритм керування	Об'єкт	Відносний час регулювання		
		аперіодичний	із 20% перерегулюванням	із мінімальним інтегральним показником
Пропорційний	Статичний	4,5	6,5	9,0
	Астатичний	6,0	8,0	-
Пропорційно-інтегральний	Статичний	8,0	12,0	16,0
	Астатичний	14,0	16,0	18,0
Пропорційно-інтегральний-диференціальний	Статичний	5,5	7,0	10,0
	Астатичний	9,0	12,0	13,0

Оскільки $0.3<20.52$, то П-алгоритм керування не задовольняє всіх вимог. Для ПІ-регулятора $tr_{ПІ}=8.0 \cdot 0.5=4$. Оскільки, $tr_{ПІ}<tr$, то ПІ-алгоритм керування забезпечує час регулювання, який вимагається.

3.3 Вибір виконавчого механізму

Для контролю температури використаємо вентилятор

Таблиця 3.2 Технічні характеристики вентилятора

Модель	Напруга V	Потужність W	Оберти об/хв	Продуктивність м ³ /ч
Вентилятор 400	380	190	1450	4600

Регулюючим органом вентилятора є двигун з серії АІР 80 В4



Рисунок 3.4. Двигун АІР 80 В4

Передатна функція

$$W_{\text{в.м}}(s) = \frac{1}{22s+1}$$

3.4 Вибір первинного перетворювача

Для отримання інформації про температуру повітря обрано датчик серії DS18B20 котрий за технічними характеристиками відповідає умовам використання у заданому об'єкті керування.

Таблиця 3.4

Характеристики датчика

Наруга:	Робоча температура	Теплова інерція ,с	Точність: С	Тип інтерфейса:
3-5.5В	-40 до +125 град.°С	0.75	+/- 0.5% С	I2С

Згідно розрахунків передатна функція сприймаючого елемента приймає вигляд:

$$W(s) = \frac{0.044}{8s+1}$$

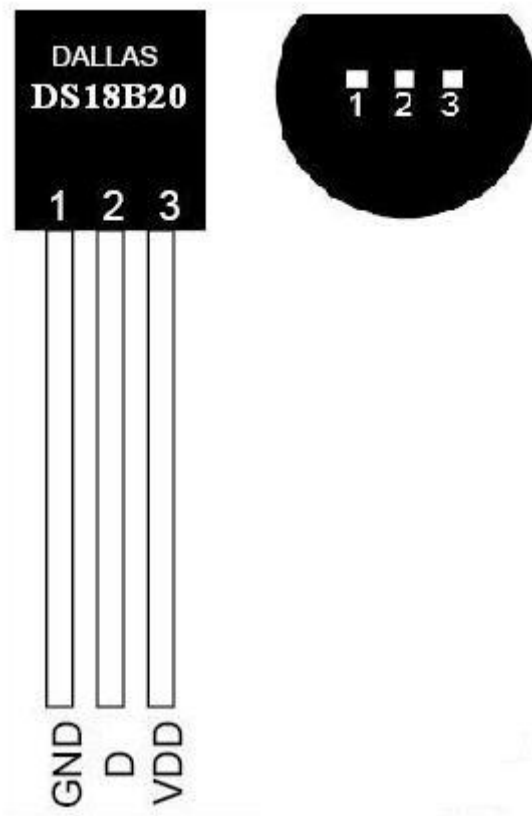


Рис. 3.5 Датчик температури

3.5. Вибір керуючого елемента

Для комп'ютерно-інтегрованої системи керування температурним режимом як керуючий елемент регулятора температури обрано мікроконтролер ATmega2560, що виконаний на базі платформи Arduino, а саме моделі Arduino Mega 2560. Даний контролер має 54 цифрових входів/виходів (14 з яких можуть використовуватися як виходи широтно-імпульсної модуляції), 16 аналогових входів, 4 послідовні порти протоколу UART, кварцовий генератор 16 МГц, USB(тип b) конектор, роз'єм живлення, роз'єм ICSP і кнопка перезавантаження. Для роботи необхідно підключити платформу до комп'ютера за допомогою кабелю USB(b) або подати живлення за допомогою адаптера (AC/DC), або акумуляторною батареєю. Arduino Mega 2560 сумісна з усіма платами розширення, розробленими для платформ Uno або Duemilanove.

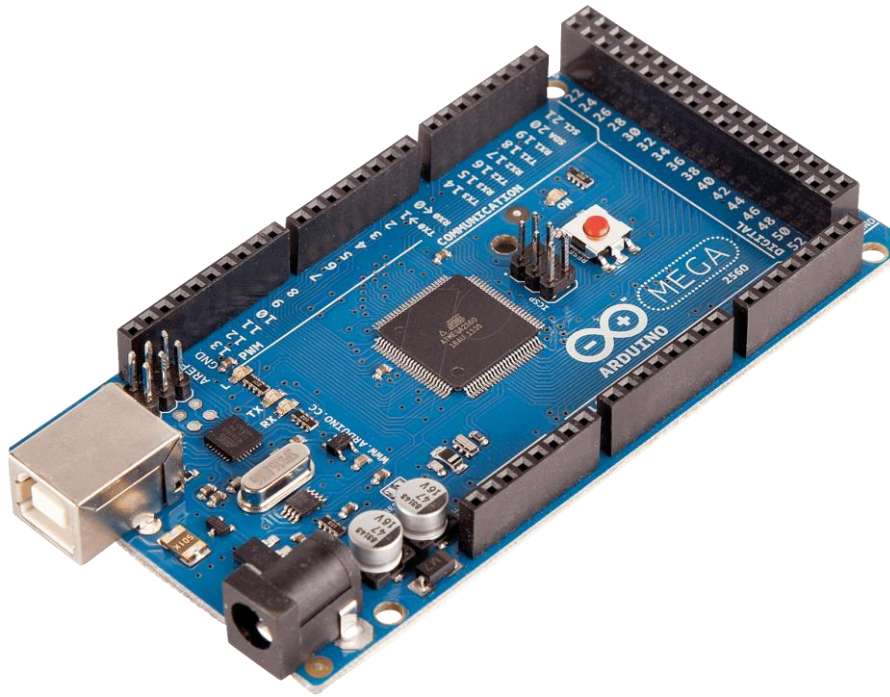


Рисунок 3.12. Arduino Mega 2560

До контролера входить мікросхема ATmega2560, для якої робоча напруга рівна 5В (рекомендована) та 7-12В вхідна напруга (гранична). Постійний струм для виведення контакту 3.3 рівний 50 mA. Флеш-пам'ять контролера рівна 256 KB (з яких 8 KB використовуються для завантажувача), при цьому ОЗУ - 8 KB та енергонезалежна пам'ять 4 KB.

Arduino Mega може отримувати живлення як через підключення по USB(b), так і від зовнішнього джерела живлення, при цьому джерело живлення вибирається автоматично.

Зовнішнє живлення (не USB) може подаватися через перетворювач напруги AC/DC (блок живлення) або акумуляторною батареєю. Перетворювач напруги підключається за допомогою роз'єму 2.1 мм з позитивним полюсом на центральному контакті. Дроти від батареї підключаються до пінів (контактів) Gnd і Vin, роз'єму живлення (POWER). Платформа може працювати при зовнішньому живленні від 6 до 20 В. При напрузі живлення нижче 7, пін 5V може видавати менше 5 В, при цьому платформа може працювати нестабільно. При використанні напруги не вище 12 В регулятор напруги може перегрітися і пошкодити плату. Рекомендований діапазон від 7

до 12 В. Плата Mega2560, на відміну від попередніх версій плат, не використовує FTDI USB мікроконтролер. Для обміну даними з USB використовується мікроконтролер Atmega8U2, запрограмований як конвертер USB-to-serial (універсальний приймач-передавач даних).

3.6. Цифрова система керування

Цифрові системи керування (ЦСК) – це системи, в яких безперервні сигнали перетворюються в цифрові коди і керування здійснюється з використанням алгоритмів обробки цифрової інформації.

ЦСК передбачають перетворення безперервних сигналів у цифрові коди та зворотне перетворення цифрових кодів у безперервні сигнали. Дані системні перетворення здійснюються аналогово-цифровими перетворювачами (АЦП) і цифро-аналоговими перетворювачами (ЦАП). У вказаних перетворювачах здійснюється квантування (дискретизація) як за часом так і за рівнем вихідного сигналу.

3.5.1. Визначення періоду квантування цифрової системи керування

Дискретизація (квантування) – заміна неперервного сигналу тими чи іншими дискретними значеннями.

Задача вибору раціонального періоду квантування T_k є однією з основних проблем реалізації ЦСК. При зменшенні часу керування точність керування цифровою системою збільшується, але при цьому зростає завантаження мікроЕОМ. При збільшенні часу квантування втрачається важлива інформація про сигнал, що може призвести до неможливості відтворення вихідного сигналу за дискретними вибірками. Тому виникає проблема пошуку раціонального часу квантування T_k , який задовольнив би такі суперечливі вимоги.

Згідно з теоремою Котельникова для можливості безпомилкового відтворення сигналу, як показує аналіз амплітудних спектрів імпульсної

системи, найменша частота квантування повинна дорівнювати $2\omega_c$, де ω_c – найвища частота вихідного сигналу, яка має місце в амплітудно-частотній характеристиці неперервної частини системи.

Теорема стверджує: якщо сигнал не містить в собі частот вище, ніж ω_c рад/с, він повністю описується своїми значеннями, вимірними у дискретні моменти часу за інтервалом $T_k = \pi/\omega_c$.

Визначаємо передаточну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s) = \frac{K_6}{T_6s+1} \frac{K_0}{T_0s+1} \frac{K_6K_0}{T_6T_0s^2+(T_6+T_0)s+1}. \quad (3.3)$$

Визначасмо передаточну функцію неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}^{\text{н.ч.}} = \frac{W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)}{1+W_{\text{роз.}}^{\text{н.ч.}}(s)} = \frac{K_6K_0}{(T_6T_0s^2+(T_6T_0)s+1)+K_6K_0}. \quad (3.4)$$

Визначення амплітудно-частотної характеристики неперервної частини замкненої системи:

$$W_{\text{зам.}}(j\omega) = \frac{K_6K_0}{(T_6T_0(j\omega)^2+(T_6T_0)(j\omega)+1)+K_6K_0}. \quad (3.5)$$

У результаті розв'язання рівняння :

$$A(\omega) = \frac{K_6K_0}{\sqrt{(-T_6T_0\omega^2+1+K_6K_0)^2+(T_6T_0)^2\omega^2}} = 0.01. \quad (3.5)$$

Отримаємо значення частоти:

$$\omega_c = 0.0171.$$

і значення часу квантування:

$$T_k = \frac{\pi}{\omega_c} = 180.5 \text{ с.}$$

3.5.2 Реалізація ПІ-регулятора цифрової системи керування

Аналогічно з неперервними системами в цифрових системах можна реалізувати ПІ закон.

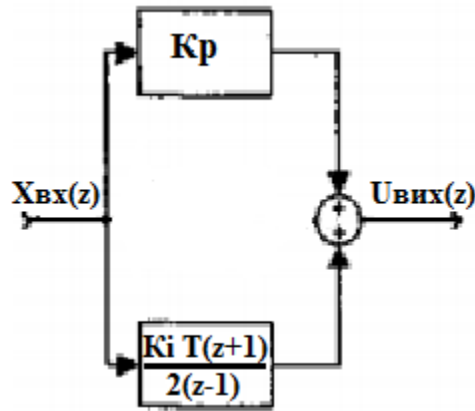


Рисунок 3.6. Структурно-алгоритмічна схема ПІ-регулятора ЦСК

До структурно-алгоритмічної схеми цифрового ПІ-регулятора входять:

K_p – параметр пропорційної складової ПІ-регулятора;

K_i – параметр інтегральної складової ПІ-регулятора.

Синтез ПІ-регулятора полягає у знаходженні параметрів K_p, K_i з розрахованим часом квантування і проведеними z -перетвореннями.

Інтегральна складова керуючого елемента (ПІ-регулятора) залежить від добротності за швидкістю K_v неперервної частини та визначається за формулою 3.1:

$$K_i = K_v \lim_{z \rightarrow 1} W_{н.ч.}(z)$$

Вказаний показник K_v визначається в залежності від постійної часу об'єкта (таб. 3.4).

Таблиця 3.4 Відношення добротності за швидкістю від сталої часу об'єкта керування

T_o, c	K_v
~1	3...10
~10	0,3...1
~100	0,01...0,04
~1000	0,004...0,012

Згідно з таблицею $K_v=0,01$, оскільки $T_o=595$ с. Для визначення передаточної функції $W_{н.ч.}(z)$ застосовуємо пакет програм MATLAB (рис

3.7.). Для цього вводимо в консоль програмування MATLAB операції:

- завдання передаточної функції неперервної системи:
 $w=tf([K_0],[T_B \cdot T_0 \ T_B+T_0 \ 1]);$
- перетворення неперервної передаточної функції на дискретну
 $wz=c2d(w,T),$

де w – змінна виразу неперервної передаточної функції, T – крок квантування, с.

```

W =

      8.9e-07
-----
s^2 + 0.047 s + 8.5e-05

Continuous-time transfer function.

>> c2d(W,181.5)

ans =

      0.002708 s + 0.0003232
-----
s^2 - 0.7107 s + 0.0001974

Sample time: 181.5 seconds
Discrete-time transfer function.

```

Рисунок 3.7. Визначення передатної функції $W_{н.ч.}(z)$

При синтезі ПІ-регулятора ми нехтуємо малою постійною часу W_M , оскільки ПІ-регулятор компенсує лише один полюс Z -перетворення неперервної частини.

Тоді

$$K_i := \frac{0.01}{\left(\frac{0.002708 \cdot 1 + 0.0003232}{1^2 - 0.7107 \cdot 1 + 0.0001974} \right)}$$

Після знаходження K_i параметр K_p визначаємо таким чином, щоб

компенсувати полюс Z-перетворення неперервної частини системи.

Передаточна функція ПІ-регулятора має вигляд:

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ПІ}}(z) &= \frac{K_i \times T z + 1}{2(z-1)} = \frac{2 \times K_p \times z - 2 \times K_p + K_i \times T \times z + K_i \times T}{2z - 2} = \\
 &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T)z + (K_i \times T - 2 \times K_p)}{2(z-1)} = \\
 &= \frac{(2 \times K_p + K_i \times T) \left[z + \frac{K_i \times T - 2 \times K_p}{2 \times K_p + K_i \times T} \right]}{2(z-1)}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3.8. Передаточна функція ПІ-регулятора

Для компенсації полюсу необхідно знайти такий K_p , який би задовольняв рівняння:

Параметр знаходимо за допомогою програми Mathcad (рис. 3.9).

$$K_i := \frac{0.01}{\left(\frac{0.0027081 + 0.003232}{1^2 - 0.71071 + 0.0001974} \right)} = 0.487$$

Given

$$\frac{K_i \cdot T - 2 \cdot K_p}{K_i \cdot T + 2 \cdot K_p} = 0.0001974$$

$$\text{Find}(K_p) = 0.244$$

Рисунок 3.9. Скрін екрану знаходження параметру K_p та K_i за допомогою програми Mathcad

Для дослідження показників якості роботи системи використовуємо модель у програмному середовищі MATLAB/Simulink (рис. 3.9).

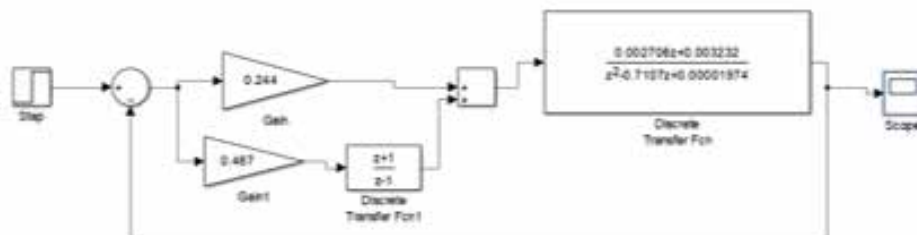


Рисунок 3.9. Simulink-модель цифрової КІС

Після отримаємо перехідний процес системи з ПІ-регулятором.

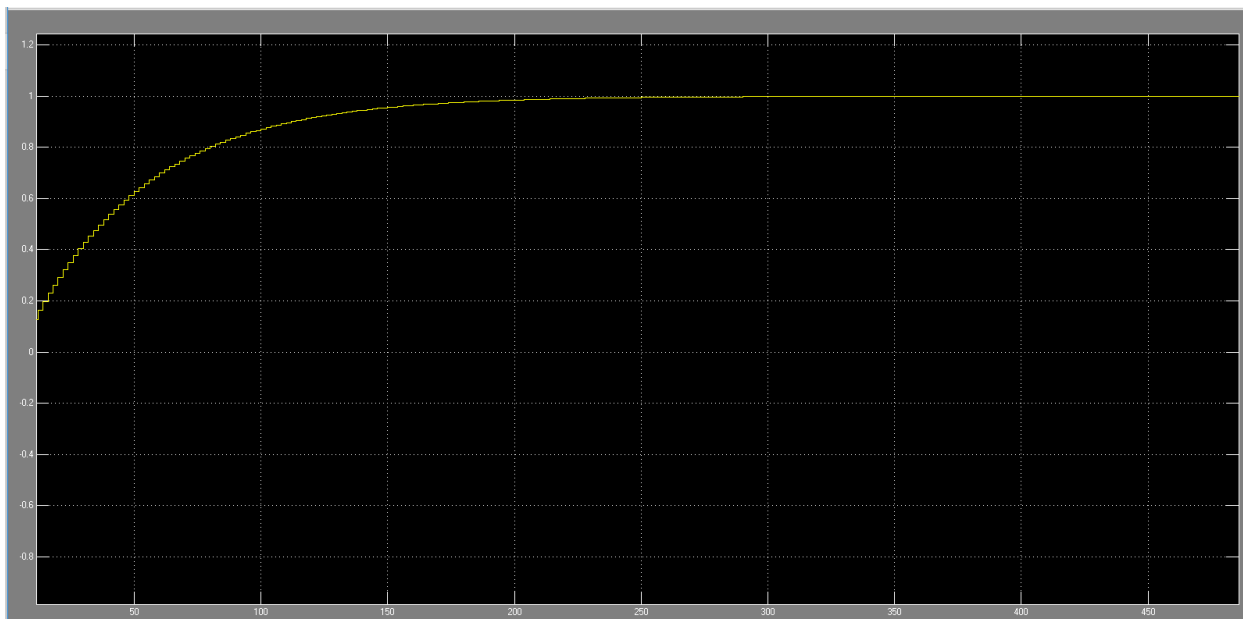


Рисунок 3.10. Перехідний процес КІС з ПІ-регулятором

3.5.3 Дослідження системи на стійкість та якість

Використовуючи розімкнуту передаточну функцію цифрової системи $W_{роз}(z)$, знайдемо $W_{зам}(z)$, розв'яжемо рівняння та знайдемо характеристичні корені.

$$W_{рег}(z)W_{зам} = \frac{0.975z-0.001}{2z-2} * \frac{0.002708z+0.003232}{z^2-0.707z+0.0001974}. \quad (3.5)$$

У результаті було отримано наступне характеристичне рівняння:

$$2z^3 - 3.4214z^2 + 1.4217948z - 0.003948$$

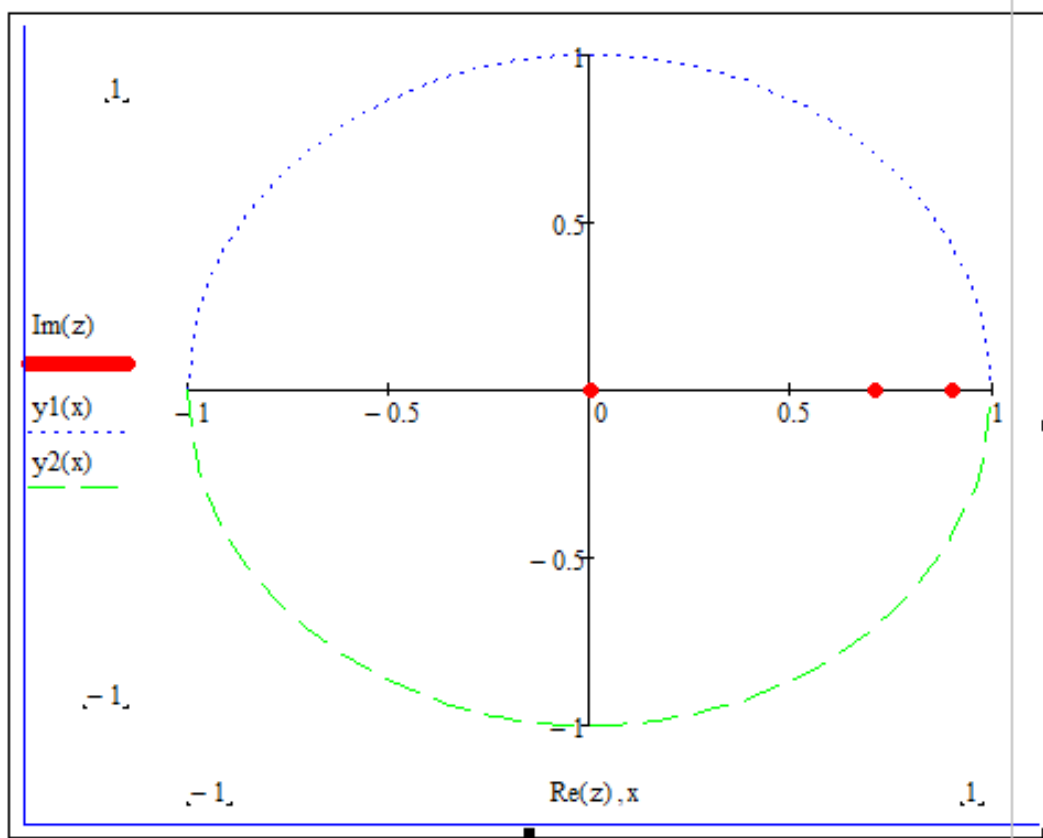


Рисунок 3.11. Корені характеристичних рівняння на площині.

Згідно рис. 3.10 визначаємо:

- час регулювання $tp=270c$;
- перерегулювання $\sigma=0$;
- коливальність $n = 0$.

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ЕЛЕКТРИЧНИХ СХЕМ

4.1. Вибір пускозахистної апаратури

Розрахуємо струми, які споживають елементи електричної схеми:

1. АИР 80 В4: $U_H=380$ В, $P=1.51$ кВт, $I_H=6.0$ А, $I_H=3.6$ А

2. Innovert IPD302P43В: $U_H=380$ В, $P=3$ кВт, $I_H=6.8$ А

Електромагнітний пускач КМ1 вибираємо за:

- за струмом $I_{п.ном.} \geq I_{част}$
- за напругою 380 В
- за конструкцією і виконанням

За даними характеристиками нам підходить магнітний пускач ПММ-1/
12А 380В :



Рис. 4.1 Магнітний пускач

Теплове реле захисту двигуна вибираємо :

- за струмом
- за напругою 380 В
- за конструкцією і виконанням

За даними характеристиками нам підходить Теплове реле на

пускатель 7-10А

$$I_{ном} = 7..10 \text{ А}$$

$$U_{ном} = 380 \text{ В}$$

Автоматичний вимикач вибираємо QF1:

$$I_{ном} > I_M + I_{FU} + I_{PC} + I_{HL} + I_{GU}$$

Автоматичний вимикач ВА47-29 4Р 20 А х-ка В, ІЕК

Номінальна напруга частотою 50 Гц, В 230/400

Номінальний струм I, А 20

Характеристика спривання електромагнітного розчеплювача В

Число полюсів 4

Умови експлуатації УХЛ4

Ступінь захисту вимикача IP20

Автоматичний вимикач ВА47-29 4Р 6 А х-ка С, ІЕК, 6А QF2:

Номінальна напруга частотою 50 Гц, В 230/400

Номінальний струм I, А 6

Характеристика спривання електромагнітного розчеплювача В

Число полюсів 4

Умови експлуатації УХЛ4

Ступінь захисту вимикача IP20.

Блок живлення імпульсний PROLUM 60W 12V (IP20,5A)

Standard

PL-S-60-12 (Рис5.2):

Вхідна напруга: 220 В

Вихідна напруга: 12 В

Вихідний струм: 5 А

Ступінь захисту: IP20



Рис 4.2 PROLUM 60W 12V (IP20,5A) Standard PL-S-60-12

4.2. Вибір проводів і кабелів

Монтаж в щиті будемо здійснювати за допомогою одного типу проводу. Провід вибиратимемо за найбільшим струмом. Найбільший тривало допустимий струм протікатиме про проводі №1, $I_{ном.}=10A$.

Тому провід вибираємо так щоб виконувалась умова:

$$I_{тр.доп.} \geq I_{роз.}, \text{ де } I_{роз.} = 10A.$$

Провід повинен бути вибраний по поперечному перерізу по способу прокладання. Таким проводом є ЗЗЦМ ПВ-1 1.0 мідний. Площа поперечного перерізу

$$S=0.5 \text{ мм}^2, I_{тр} < 10A.$$

Відповідно до схеми підключень, будемо застосовувати такі провода і кабелі:

1.
 - $I_{тр.доп} \geq I_{ном}$
 - $U_{ном} = 380 \text{ В}$
 - Кількість жил — 4

З каталогу вибираємо ЗЗЦМ ПВС 4x1.0, площа поперечного перерізу

$$S=1 \text{ мм}^2, I_{\text{тр.доп.}} \leq 14 \text{ А}$$

2.

Проводи живлення електродвигуна AIP160 S6.

$$I_{\text{н}}=3.6 \text{ А}$$

- $I_{\text{тр.доп.}} \geq I_{\text{ном}}=7.2$
- $U_{\text{ном}}=380 \text{ В}$
- Кількість жил — 3

З каталогу вибираємо ЗЗЦМ ПВС 3x0.5, площа поперечного перерізу $S=1 \text{ мм}^2$, $I_{\text{тр.доп.}} \leq 4 \text{ А}$

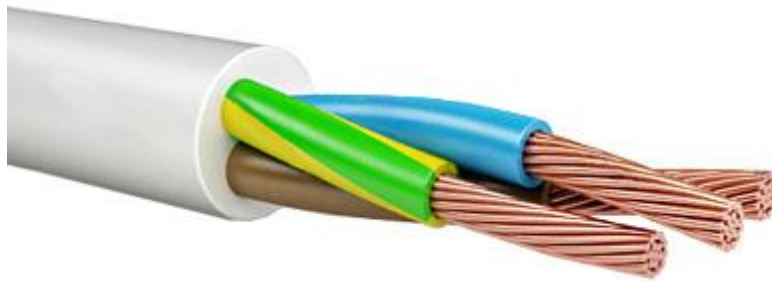


Рисунок 4.3. ЗЗЦМ ПВС 3x0.5

Кабель до датчика ВК1

- $I_{\text{тр.доп.}} \geq I_{\text{ном}}=3 \text{ А}$
- $U_{\text{ном}}=12 \text{ В}$
- Кількість жил – 2

З каталогу вибираємо ЗЗЦМ ПВС 2x0.5, площа поперечного перерізу $S=0.5 \text{ мм}^2$.

4.3. Розробка принципової схеми

Принцип роботи електрично-принципової схеми регулювання температурою у приміщенні полягає у наступному. При ввімкненні автоматичного вимикача QF1 напруга надходить на 1 магнітні пускач, який вмикає двигун (вмикає вентилятор).. Після трьохпозиційного перемикача вмикаємо QF 2 напруга подається на мікроконтролер, до

якого підключено датчики температури. Для захисту двигунів від перевантажень маємо 1 теплове реле (КК1).

Схема електрична принципова представлена на Листі . Схеми підключень і з'єднань розроблені у відповідності до електрично принципової схеми представлені на Листі .

4.4. Розробка схеми електричних з'єднань

Згідно з ГОСТ 2.702-751 «Правила выполнения электрических схем» схеми електричних з'єднань – це схеми, на яких зображують контакти і з'єднання складових частин установки та розробляються на основі принципових схем живлення. Дані схеми використовуються під час виконання монтажних і налагоджувальних робіт.

Схеми з'єднань виконана на підставі таких загальних правил:

- схеми з'єднань розроблена на щит керування якому розміщено всі комутуючі пристрої.

- усі елементи, як: GU,МК,КМ, KV, КК Фбуло розміщено на задній панелі щита керування згідно ГОСТ 2.702-75 «Правила выполнения электрических схем» ;

При розробці схеми було використано адресний спосіб і дотримано таких вимог:

- Щит керування зображено одній площині, показуючи лише:

- Передню панель, на якій розміщено авт. вимикачі QF1 QF2, сигнальні лампи HL1. На лівій бічній панелі розміщено клемник ХТ який служить розв'язкою між елементами які розташовані на передній і задній панелі,.

– Вивід затискачів кожного елемента зображено колами, у середині яких показують їхнє заводське маркування; якщо у вивідних апаратів заводського маркування немає, то їх маркують умовно арабськими цифрами, що зумовлено пояснювальними надписами.

Адресний спосіб є найбільш поширеним і полягає в тому, що лінії зв'язку між окремими елементами апаратів, які встановлюють на щиті, не показують, а замість цього у місці приєднання проводу на кожному апараті або елементі проставлено цифрову або літерно-цифрову адресу того апарата або елемента, з яким він електрично має бути зв'язаний (позиційне позначення згідно з принциповою схемою) або порядковий номер елемента. Це не загромаджує схему лініями зв'язку, що дає змогу її легко читати.

4.5. Розробка схеми електричних підключень

Згідно з ГОСТ 2.702-75, схеми вмикання показують зовнішнє підключення апаратів, установок щитів, пультів і т.д. Схеми електричних з'єднань виконують на підставі принципів схем живлення, специфікацій приладів і обладнання а також креслень виробничих приміщень із розміщенням технологічного обладнання та трубопроводів.

Практично використовують дві побудови схем підключень: графічну та табличну. Більш поширеною є графічна. При цьому умовними графічними позначеннями зображають: первинні перетворювачі; позащитові прилади та засоби автоматизації; з'єднувальні та протяжні коробки, вільні коробки кінців терморпарі, електропроводки та кабелі, що прикладаються поза щитами; забірну апаратуру, елементів для з'єднання та відгалуження; комутаційні

затискачі, розміщені поза щитами.

Шафи, пульти, окремі прилади та апарати зображають у вигляді прямокутників або кіл, у середини яких розміщують відповідні надписи.

На лініях зв'язку, що означають проводи або кабелі, вказують номер проводки (підключення), переріз та довжину проводів і кабелів (якщо проводка виконана в трубі, то необхідно вказати також характеристику труби).

Схеми підключень виконують без збереження масштабу у вигляді, зручному для користування.

4.6. Розробка щита управління

Щити і пульти систем автоматизації призначені для розміщення на них засобів контролю та управління технічними процесами, контрольно-вимірювальними приладами, сигнальними пристроями, арматури управління, захисту, блокування і т.д.

Вибір конструкції залежить від кількості, що встановлюється в нього обладнання, його типові параметри, компонування. Щит управління є зв'язуючою ланкою щита управління об'єктом управління і персоналом. Виконує функцію поста управління. Габарити щита визначають розрахунками сумарних монтажних зон апаратів, встановлюваного на задній панелі щита ящика і на його двері. Для визначення типу габариту щита визначаємо монтажні зони апаратів встановлюваних в щиті. Розмір зон апарату визначається його габаритними розмірами, а також додатковими відстанями, необхідними для приєднання до апарату провідників, розміщення маркування на їх кінцях, а також для зручності обслуговування апаратів. Вибір ящиків виробляють згідно сумі монтажних зон, які будуть розташовані в ньому.

Таблиця 4.5. Габаритні розміри апаратів встановлених у щиті

Тип апарату	Кількість	Розміри зон,мм	Варіант кріплень
Магнітний пускач ПММ-1/12 12А 380В	1	44x73x75	35 mm DIN рейка
Arduino Mega 2560 АТmega 2560-16AU	1	75x60x1	
PROLUM 60W 12V (IP20,5A)	1	82x99x30	35 mm DIN рейка
Тепловое реле на пускатель 7-10А	1	125x84.5x113x,3мм	35 mm DIN рейка



Рисунок 4.4. Щит автоматизації ЩМУ-1-1

Визначаємо необхідну монтажну зону ящика управління, необхідну для розміщення апаратів захисту і управління:

$$84 * 54 + 75 * 60 + 82 * 99 + 125 * 84.5 + 44 * 90 = 3.168 * 10^4,$$

Попередньо приймаємо щит ЩМУ-1-1 рис.4.17. з розмірами:1300/800/250.

Визначимо корисну монтажну зону ящика управління:

$$S_y = (1300 - 2 \times 50) \times (800 - 2 \times 50) = 8.4 \times 10^5 \text{ мм}^2.$$

Отже, щит вибрано правильно, оскільки $S \leq S_y$.

4.7. Розрахунок показників надійності системи

Для розрахунку надійності системи керування ми спочатку складаємо таблицю складових системи та визначаємо результуючу інтенсивність на відмови.

Таблиця 4.2. Інтенсивність відмов

№	Найменування	Кількість	Інтенсивність	Рез. інтенсивність
1	Контакти	25	0.25	6.25
2	Автоматичні вимикачі	2	0.13	0.26
3	Інтегральна плата	1	6.25	6.25
4	Електро двигуни	1	5.24	5.24
5	Реле	1	0.25	0.25
			Заг.	16.12

Результуюча інтенсивність відмови всіх елементів буде становити:

$$\lambda_p = 16.12 * 10^{-6}, \text{ год}^{-1}.$$

Беремо, що термін експлуатації системи становитиме $i=16.12*10^3$ год, тобто результуючу ймовірність безвідмовної роботи системи визначимо за виразом

$$P := e^{-1 \cdot 16.12 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.851 .$$

Видно, що $P_3(t)=0,96 < P_{рез}(t)=0,851$. Щоб підвищити надійність схеми, що розглядаємо, застосовуємо метод навантаженого резервування. Резервувати будемо не всю схему, а лише її частину.

$$p_3(t) = p_1(t) - p_2(t) \quad (4.1)$$

де: $p_1(t)$ - імовірність безвідмовної роботи схеми, що резервується;
 $p_2(t)$ - те саме, але тієї частини схеми, що резервуванню не підлягає.

Аналізуючи схему, знаходимо:

$$P_{\text{рез}} := e^{-1(2 \cdot 0.26 + 0.25) \cdot 10^{-6} \cdot 10^4} = 0.992, \quad (4.2)$$

$$p_1(t) = p_3(t) / p_2(t) = 0.96 / 0.99 = 0.97.$$

Пам'ятаючи, що навантажене резервування - це паралельне з'єднання однотипних елементів, матимемо:

$$\lambda_1 = (25 \cdot 0.25 + 1 \cdot 10.25 + 1 \cdot 5.24) \cdot 10^{-6} = 2.174 \cdot 10^{-5} \quad (4.3)$$

де λ_1 - сумарна інтенсивність відмов елементів тієї частини схеми, що підлягає резервуванню.

Отже, щоб забезпечити задану надійність для всієї схеми, досить трьох однотипних елементів (для К,М), з'єднаних паралельно.

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ В ОФІСНОМУ ПРИМІЩЕННІ

5.1. Розробка структури комп'ютерно-інтегрованої системи

На рис. 5.1 показано код програми щодо підключення термостату до інтегрованої плати Arduino Uno. Код виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті. На основі цих даних в майбутньому буде створена система яка автоматично регулюватиме температуру та вологість, на основі мікроконтролера "Arduino".

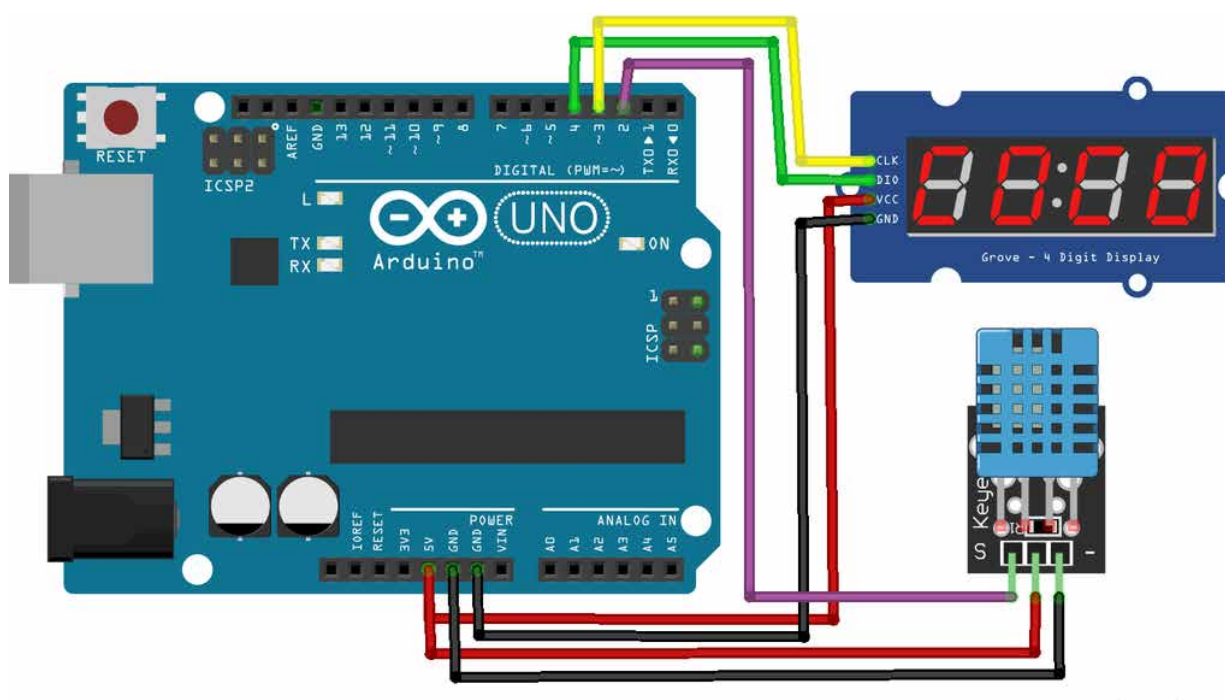


Рисунок 5.1. Підключення датчика і індикатора до інтегрованої плати Arduino Uno.

5.2. Розробка алгоритму і програмного забезпечення

Алгоритм управління термостатом реалізований через цикл переривання таймера 0 (кожні 25 мкс) та основний цикл (рис. 5.3). Цикл переривання таймера відповідає за швидке та точне керування вихідним сигналом, що подається на нагрівальний елемент. Він включає декремент лічильників STCNT та URCNT, перевірку їх переповнення, встановлення вказівника

PHASE, завантаження значень та заборону/дозвіл переривань INTO (INT 1). Основний цикл обробляє команди від користувача, такі як "REW" (перемотка), "STOP" (зупинка) та "FFD" (швидкий вперед), які встановлюють бажане значення VR. Цей цикл також коригує "швидкість" VC, яка впливає на тривалість імпульсів або період керування нагріванням через змінну T, що розраховується як $T=256000/VC1$. Таким чином, T безпосередньо контролює частоту або шпаруватість імпульсів, що подаються на нагрівач, регулюючи середню потужність нагріву та температуру. Загалом, алгоритм реалізує пропорційно-інтегрально-диференціальне (ПІД) або схоже регулювання.

Наданий код є програмою для мікроконтролера Arduino, написаною мовою C++, яка призначена для зчитування даних з датчика температури та вологості DHT (ймовірно, DHT11 або DHT22) та їх відображення. Програма починається з підключення необхідних бібліотек: DHT.h та DHT_U.h для роботи з датчиками DHT, а також TM1637.h для взаємодії з модулем 7-сегментного дисплея TM1637 (рис. 5.6).

Далі визначаються константи та ініціалізуються об'єкти. Піни для підключення дисплея TM1637 визначені як CLK (пін 3) та DIO (пін 2). Хоча в коді є потенційна помилка з DHTPIN, припускається, що датчик DHT підключений до піна 11, а його тип визначений як DHT11. Створюються об'єкти dht (для роботи з датчиком) та tm1637 (для роботи з дисплеєм).

Функція setup(), яка виконується один раз при запуску мікроконтролера, ініціалізує послідовний порт для зв'язку з комп'ютером на швидкості 9600 бод. Це дозволяє виводити показання датчиків для моніторингу та відладки. Також ініціалізуються датчик DHT та дисплей TM1637.

Основна функція loop() виконується безперервно. Вона починається із затримки в 1 секунду (1000 мілісекунд), щоб уникнути занадто частого зчитування даних з датчика. Потім зчитуються значення вологості (h) та температури (t) з датчика DHT. Програма перевіряє, чи є зчитані значення числовими; якщо вони не є числами (NaN), це свідчить про помилку зчитування, і на послідовний порт виводиться повідомлення "Помилка

зчитування!", після чого поточна ітерація функції завершується.

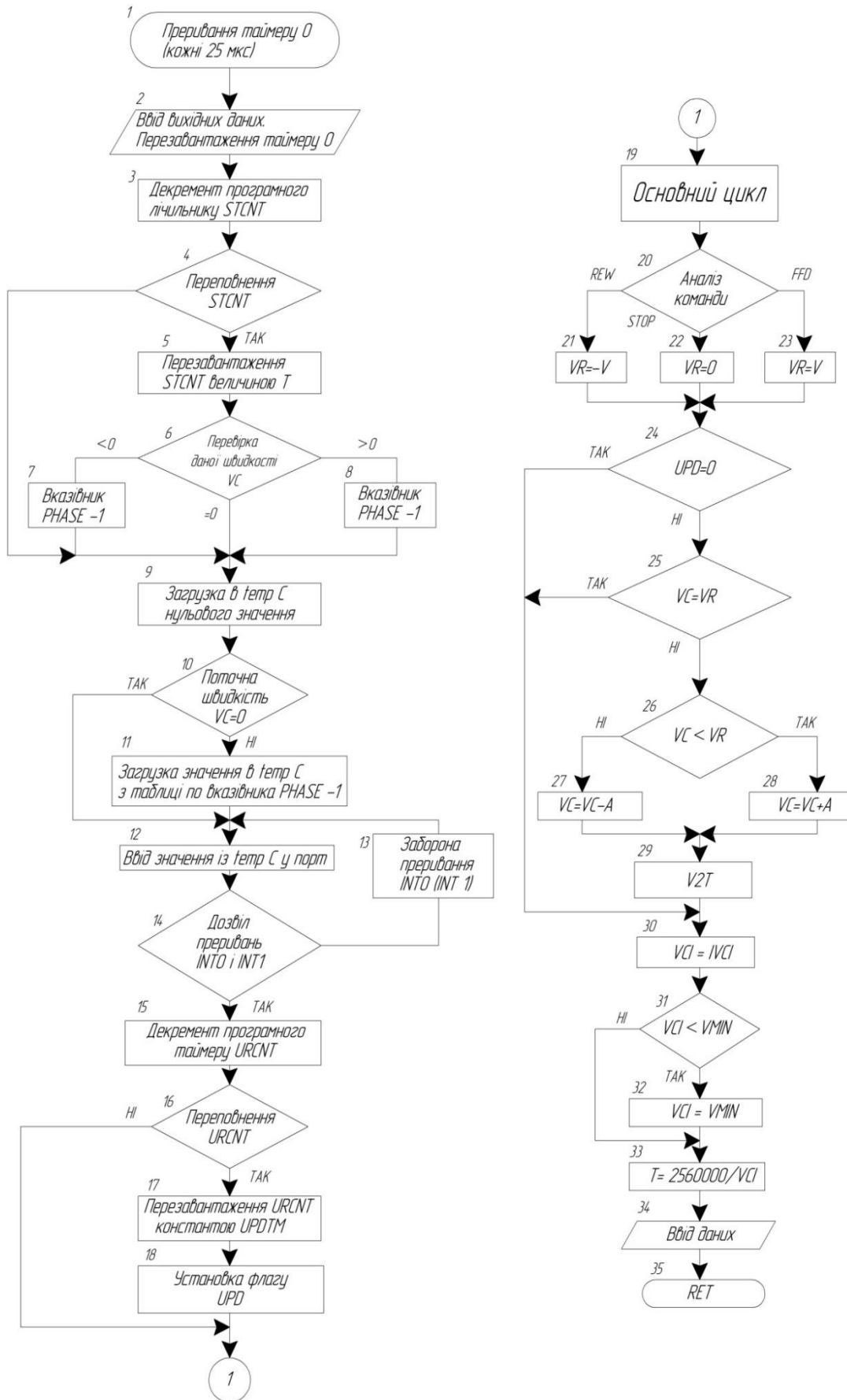


Рисунок 5.2. Блок - схема алгоритму управління термостатом.

У разі успішного зчитування, програма виводить на послідовний порт мітки "Вологість: " та "Температура: ", а також відповідні значення h та t. Також виводиться символ "C ". Наприкінці коду є рядок `tm1637.display(h)`, який, ймовірно, призначений для виведення даних на 7-сегментний дисплей, але його реалізація може бути невірною, оскільки функція `display()` зазвичай вимагає масиву чисел. Цей код є базовим компонентом для системи управління термостатом, оскільки дозволяє зчитувати ключові параметри довкілля.

```
work.ino
1  #include <DHT.h>
2  #include <DHT_U.h>
3  #include "TM1637.h" // Підключаем бібліотеку для роботи з модулем
4
5  #define CLK 3
6  #define DIO 2
7  #define DHTPIN 2 // Тот самий номер пина, з яким упоминалось вище
8  TM1637 tm1637(CLK, DIO);
9
10 DHT dht(DHTPIN, DHT11);
11 void setup() {
12   Serial.begin(9600);
13   dht.begin();
14 }
15 void loop() {
16   delay(1000); // 2 секунди задержки
17   float h = dht.readHumidity(); //Измеряем влажность
18   float t = dht.readTemperature(); //Измеряем температуру
19   if (isnan(h) || isnan(t)) { // Проверка. Если не удастся считать показания, выводится «Ошибка считывания», и программа завершает работу
20     Serial.println("помилка");
21     return;
22   }
23   Serial.print("Влажность: ");
24   Serial.print(h);
25   Serial.print(" %\t");
26   Serial.print("Температура: ");
27   Serial.print(t);
28   Serial.println(" *C "); //Вывод показателей на экран
29 }
```

Output Serial Monitor x

Рисунок 5.3. Код програми щодо підключення термостату до інтегрованої плати Arduino Uno.

Після підключення датчику, на цифровий індикатор було виведено значення температури та вологості повітря в середині термостату. Даний код виконує заміри температури та вологості в тепловому агрегаті. На основі цих даних в майбутньому буде створена система яка автоматично регулюватиме температуру та вологість, на основі мікроконтролера Arduino.

Таким чином, на даному етапі роботи було розроблено комп'ютерно-інтегровану систему моніторингу температури у термостаті з виведенням

інформації на екран ноутбуку і на індикатор термостату. Подальшими дослідженнями будуть моніторинг вологості та управління параметрами термостату для визрівання насіння різних культур.

5.3.. Розробка інтерфейсу системи керування

Алгоритм роботи системи керування наведено на Рисунку 7. Система працює наступним чином:

- 1) після пред'явлення джерела живлення вся система ініціалізується, вводиться критичне значення часу t_k ;
- 2) ефективне значення часу t порівнюється з критичним значенням часу t_k (час, протягом якого відбувається весь технологічний процес);
- 3) вимірювання технологічних параметрів;
- 4) перевірити бездротове з'єднання, призначити IP-адресу;
- 5) при підключенні через бездротовий зв'язок виміряне значення відображається;
- 6) очікування команди; перейти до пункту 2;
- 8) при відсутності бездротового зв'язку система переходить в автоматичний режим;
- 9) після передачі керуючої дії на виконавчі механізми дані передаються на персональний комп'ютер загальної системи управління; перейти до пункту 2.
- 11) при досягненні критичного часу програма завершується.

Однією з найважливіших особливостей ESP8266 (Espressif Systems, Китай) є те, що він може не тільки підключатися до існуючої мережі Wi-Fi і діяти як веб-сервер, але також може налаштувати власну мережу, дозволяючи іншим пристроям безпосередньо підключатися до нього та отримувати до нього доступ. на веб-сторінки. Це можливо, тому що ESP8266 може працювати в трьох різних режимах: режимі станції, режимі точки доступу та обох перших режимах одночасно. Рисунок 8 деталізує формування керуючих впливів – вмикання реле.

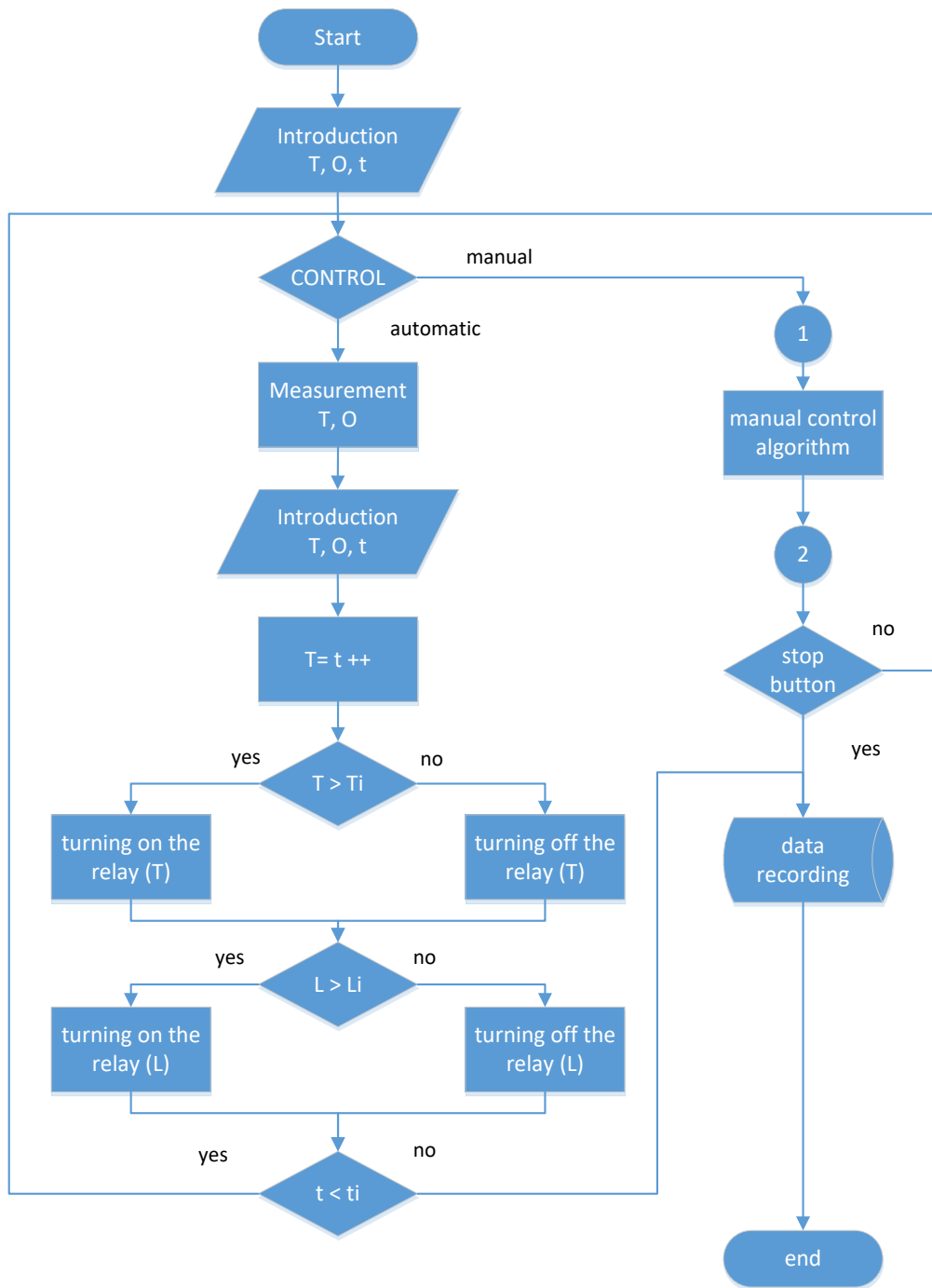


Рисунок 5.4. Алгоритм дистанційного вимірювання температури (Т)

Опис алгоритму:

Після ініціалізації системи вводяться початкові значення. Потім вибір режиму управління: автоматичний або ручний. При виборі автоматичного керування спочатку активується таймер роботи (t). Далі система керування вимірює технологічні параметри, після чого вимірне значення порівнюється

із заданими. Після кожного порівняння реле приводу вмикається або вимикається (реле Т, реле L). В автоматичному режимі після кожної виконаної операції час системного таймера збільшується на одну хвилину. Автоматичний режим виконується до досягнення заданого часу керування ($t > t_i$).

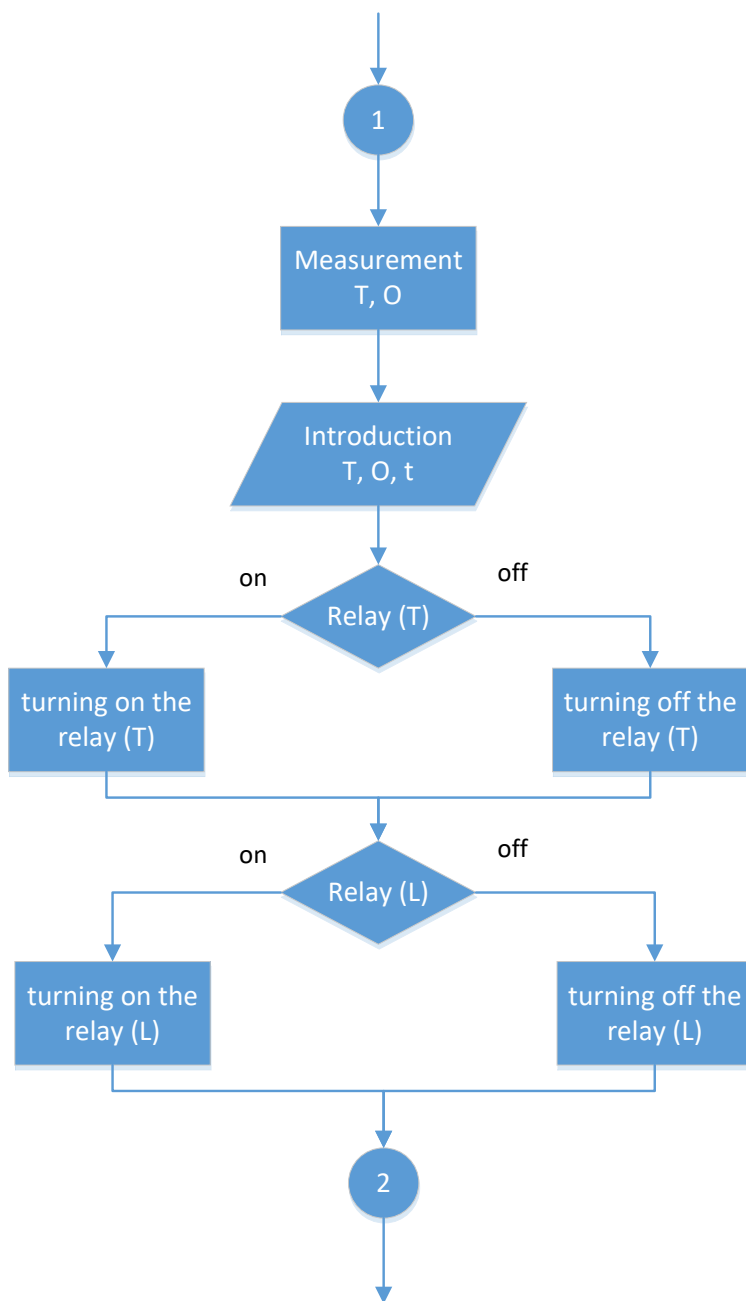


Рисунок 5.5. Підпрограма формування керуючих впливів

У ручному режимі керування вимірюються технологічні параметри, а

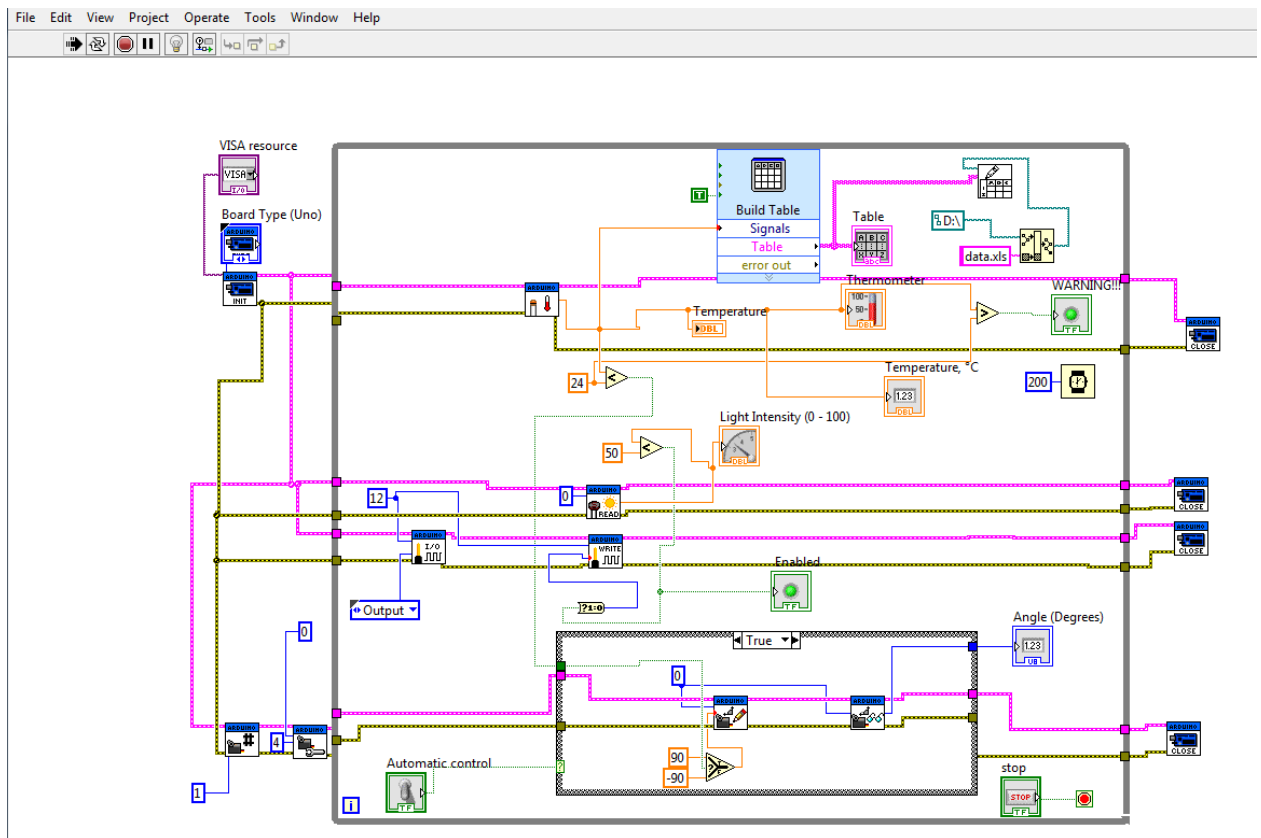


Рисунок 5.7. Блок-діаграма системи управління в пакеті LabVIEW

Блок-схема роботи КІС керування температурою повітря в приміщенні наведена в додатках. В блок-схемі передбачено вимірювання, порівняння виміряного значення температури ($T_{\text{вим}}$) з заданим значенням ($T_{\text{зад}}$) і відповідно до цього формування керуючої дії. Процес керування діятиме до тих пір поки час керування не буде рівний заданому часу (t_f).

Програмне забезпечення реалізовано з використанням додатку Arduino IDE (рис. 5.13), текст програми наведено в додатках.

5.4. Реалізація дистанційного режиму керування кліматичними умовами у Smart-будинку

Важливою складовою керування кліматичними умовами у Smart-будинку є можливість дистанційного опитування сприймаючих елементів та виконання дистанційного керування виконавчими механізмами.

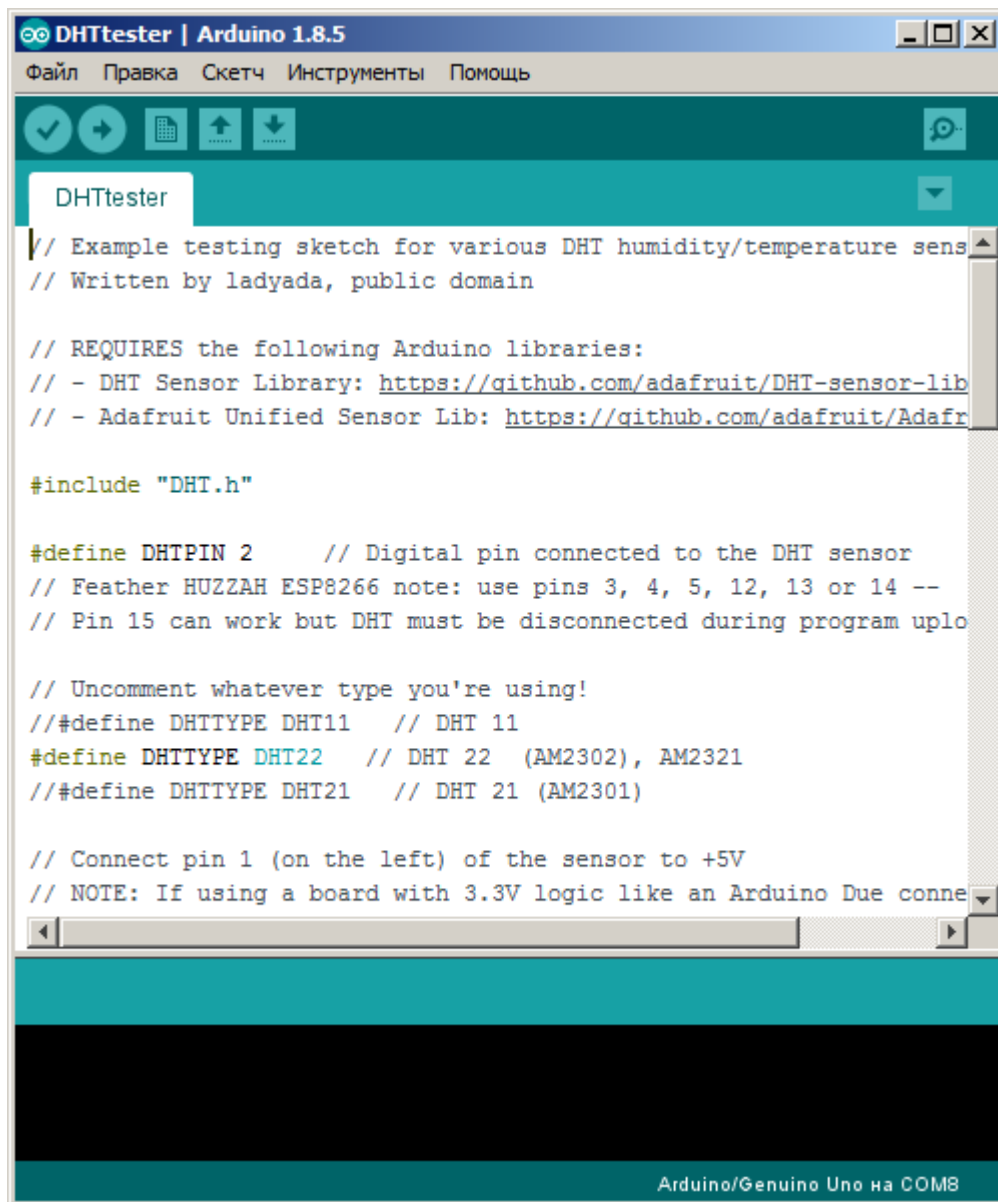


Рисунок 5.8. Програмне середовище Arduino IDE

Для реалізації дистанційного керування керуючий елемент Arduino Mega2560 доповнено пристроєм для створення комунікацій технології Ethernet. Таким є, як приклад, пристрій Ethernet Shield. Ethernet Shield – це мережевий контролер на базі чіпа Wiznet W5100. Дозволяє підключити плату до локальної мережі або Інтернет, використовуючи стандартну бібліотеку Ethernet. Також на платі розміщений роз'єм microSD.

Характеристики модуля Arduino LAN:

- Робоча напруга: 5 В (подається від плати Arduino).
- Контролер: Ethernet: W5100.

- Швидкість підключення: 10/100 МБ.
- З'єднання з Arduino через SPI порт.

Ethernet Shield працює з 10/100 Мбіт Ethernet, але не гарантується його робота з деякими 1000 Мбіт роутерами (підтримує протоколи передачі даних TCP і UDP).



Рисунок 5.9. Ethernet Shield

Wiznet W5100 підтримує стеки TCP and UDP в IP-мережі. Він підтримує до чотирьох одночасних підключень до сокета. Для створення скетчів, які підключаються до мережі за допомогою даної плати, використовуйте бібліотеку Ethernet. Дана плата з'єднується з платою Arduino за допомогою довгих штирів, що проходять через неї. Це дозволяє не змінювати розташування виводів та встановлювати інші плати поверх неї.

Плата Ethernet Shield має стандартний розмір RJ-45 з вбудованим лінійним трансформатором і опцією Power over Ethernet.

На платі встановлений роз'єм для карт Типпи micro-SD, який може використовуватися для зберігання файлів і роботи з ними по мережі. Вона сумісна з Arduino Uno і Mega (при використанні бібліотеки Ethernet library).

Кардрідер microSD доступний за допомогою бібліотеки SD Library. При застосуванні цієї бібліотеки вихід 4 використовується для сигналу SS (Slave Select).

Також є контролер скидання, який дозволяє бути впевненим у правильному перезапуску W5100 при запуску.

6-контактний раз'єм для послідовного програмування сумісний з кабелями і платами-перехідниками FTDI USB. Він підтримує автоматичне скидання, що дозволяє завантажувати скетчі без натискання кнопки скидання на платі. При підключенні через адаптер FTDI-USB, Arduino і Ethernet shield отримують живлення від адаптера.



Рисунок 5.10. З'єднання Arduino Mega2560 та Ethernet shield

Поточна версія плати підтримує підключення адаптера Power Over Ethernet (PoE) для отримання живлення від звичайної витोї пари 5 категорії.

Плата має кілька індикаторних світлодіодів:

- PWR: індикація наявності живлення плати;
- LINK: індикація наявності мережевої адреси, синхронізація при відправленні або отриманні даних;
- FULLD: індикація повнодуплексного з'єднання;
- 100M: індикація з'єднання на швидкості 100 Мб / с (на відміну від з'єднання на 10 Мб / с)
- RX: працює при отриманні платою даних;
- TX: працює при відправленні платою даних;

- COLL: блимає при мережевій колізії.

Мнемосхему роботи апаратного забезпечення при дистанційному керуванні показано на рисунку 5.11. При цьому в режимі роботи контролеру присвоюється ір-адреса за яким створюється обмін даними (рис.5.12). Веб сторінку наведено на рис. 5.13.

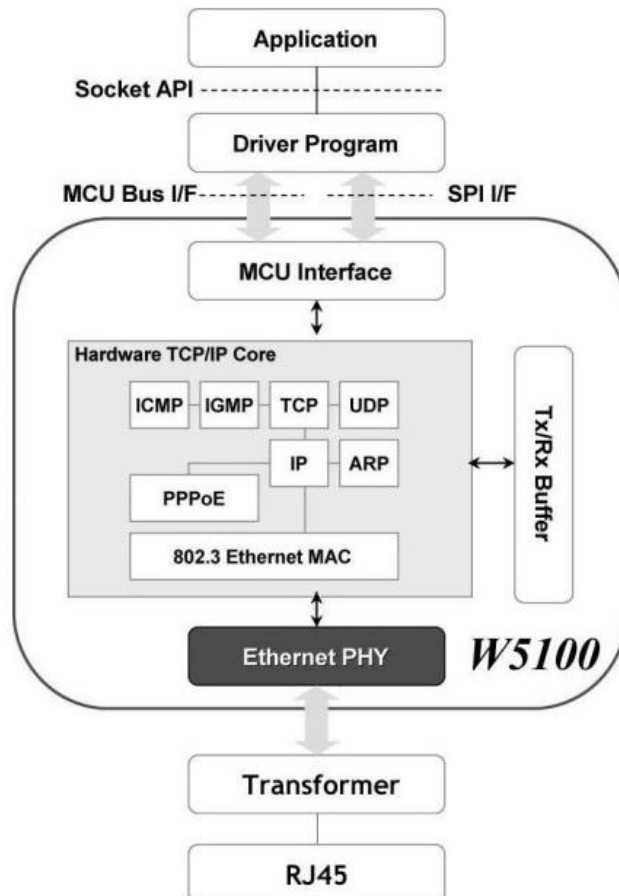


Рисунок 5.11 Мнемосхема обміну даними по локальній мережі

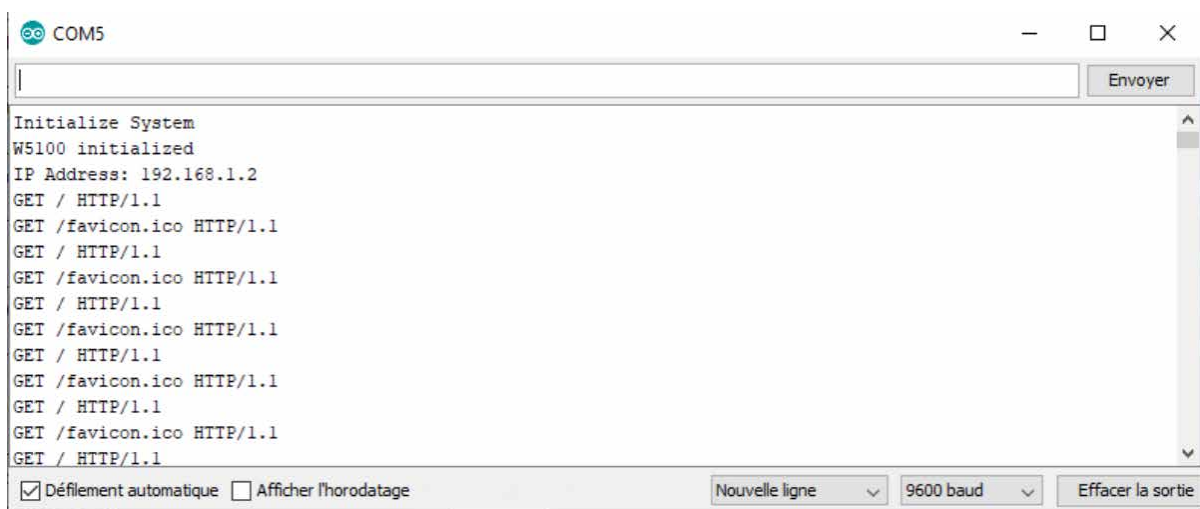


Рисунок 5.12. Ініціалізація ір-адреси

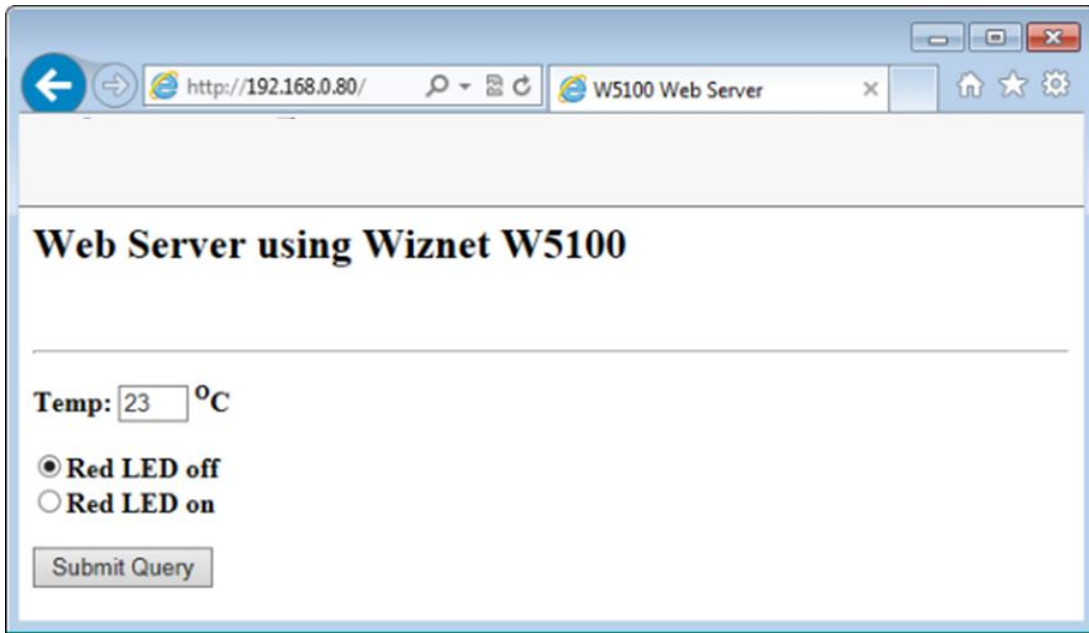


Рисунок 5.13. Веб-сторінка

Мнемосхема системи дистанційного керування наведена на рис. 5.19. Текст програми роботи системи наведено в додатках.

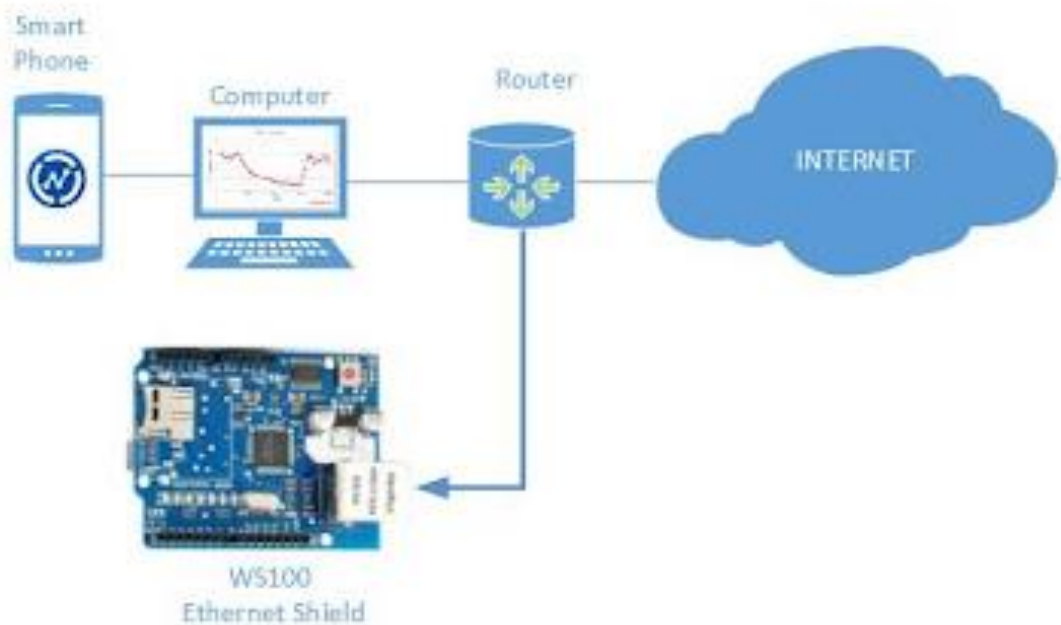


Рисунок 5.20. Структурна схема системи дистанційного керування

РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ

Економічна ефективність автоматизації вимірюється ступенем зменшення сукупної живої праці, що витрачається на виробництво одиниці продукції. Слід відзначити, що ефективність автоматизації виробництва характеризується сумарним скороченням затрат на виробництво одиниці продукції.

Загальна вартість для технічних засобів системи автоматичного управління:

$$K_z = K_{TO} + K_d + K_p + K_{щ}, \quad (6.1)$$

де: $K_{TO} = 21065$ грн. – вартість технологічного обладнання;

$K_d = 30$ грн. – вартість датчиків температури та вологості;

$K_p = 200$ грн. – контролер «Arduino»;

$K_{щ} = 600$ грн. – вартість щита керування.

Отже:

$$K_z = 21065 + 30 + 200 + 600 = 21895, \text{ грн.}$$

Торгівельно-транспортні витрати будуть становити:

$$K_{TT} = 0,11 * K_z, \quad (6.2)$$

$$K_{TT} = 0,11 * 21895 = 2319,56 \text{ грн.}$$

Витрати на монтаж технічних засобів автоматики КІС становлять:

$$K_M = 0,17 * K_z, \quad (6.3)$$

$$K_M = 0,17 * 21895 = 3\,439,32 \text{ грн.}$$

Витрати на прокладання проводу:

$$K_{PP} = K_{PP1} * L, \quad (6.4)$$

де: $K_{ПР1} = 16$ грн/м – вартість проводки КІС та її монтаж;

$L = 360$ м – довжина проводки КІС.

$$K_{ПР} = 16 * 360 = 5760 \text{ грн.}$$

Інші капітальні витрати будуть становити 2% від капітальних вкладен:

$$K_{KB} = 0,02 * 21895 = 419,92 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати визначаємо за формулою:

$$K = K_3 + K_{ТТ} + K_M + K_{ПР} + K_K \quad (6.5)$$

$$K = 21895 + 2319,56 + 3\,439,32 + 5760 + 419,92 = 33\,854,48 \text{ грн.}$$

Визначивши суму капіталовкладень, можна знайти відрахування на амортизацію

$$C_a = 0,142 * K, \quad (6.6)$$

$$C_a = 0,142 * 33\,854,48 = 4\,578,26 \text{ грн.}$$

Витрати на поточний ремонт будуть становити:

$$C_P = 0,18 * K, \quad (6.7)$$

$$C_a = 0,18 * 34\,354,48 = 6\,183,8 \text{ грн.}$$

Витрати на енергоресурси будуть становити :

$$C_e = P \cdot \Gamma \cdot 1,9. \quad C_e = P * \Gamma * 1,9, \quad (6.8)$$

де $P = 0,95$ кВт - потужність автоматизації;

$\Gamma = 253 \cdot 24 = 3\,672$ год. - кількість годин роботи системи.

Отже:

$$C_e = 0,95 * 3\,672 * 1,9 = 6\,627 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату праці персоналу, що пов'язаний з експлуатацією системи автоматизації становить:

$$C_3 = 1 * 60 * 8 * 153 = 73\,440 \text{ грн,} \quad (6.9)$$

де: 1 – кількість операторів;

60 грн/год. – ставка оператора;

8 - години роботи на добу;

153 - кількість діб роботи на рік.

Отже річні експлуатаційні витрати будуть становити:

$$C = 4\,878,26 + 6\,183,8 + 6\,627 + 73\,440 = 91\,128 \text{ грн.}$$

Розрахунок основних показників економічної ефективності.

Знайшовши річні експлуатаційні витрати і капітальні вкладення можна знайти зведені витрати:

$$V_{зв} = C + E_n * K, \quad (6.10)$$

$$V_{зв} = 73\,440 + 0,15 * 34\,354,48 = 78\,593 \text{ грн.}$$

Тоді чистий прибуток буде визначатись за формулою:

$$Ч_{пр} = \Delta C_3 + \Delta C_в, \quad (6.11)$$

$\Delta C_в$ - прибуток за рахунок економії електричної енергії;

$$\Delta C_3 = C_3 - (1,2 * \Gamma * 1,6), \quad (6.12)$$

$$\Delta C_3 = 73\,440 - (1,2 * 3\,672 * 1,6) = 66\,390 \text{ грн.}$$

$$\Delta C_в = C_e - (P * \Gamma * 1,6 * \Delta \Pi), \quad (6.13)$$

$$\Delta C_в = 6\,627 - (0,95 * 3\,672 * 1,6 * 0,4) = 4\,394,42 \text{ грн.}$$

$\Delta \Pi = 40\% = 0,4$ - економія часу енергоспоживання при автоматизації.

$$Ч_{пр} = 66\,390 + 4\,394,42 = 70\,784,42 \text{ грн.}$$

Термін окупності установки визначається за формулою:

$$T_{окуп} = K / Ч \quad (6.14)$$

$$T_{окуп} = 34\,353,47 / 70\,784,42 = 0,485 \approx 5 \text{ місяці.}$$

ВИСНОВОК

У випускній дипломній роботі розроблено комп'ютерно-інтегровану систему керування температурою повітря в виробничому приміщенні із використанням комплексу технічних засобів Arduino. Створено математичну модель об'єкта керування, де визначено його передатну функцію.

Розроблено цифрову систему керування для комп'ютерно-інтегрованої системи на основі ПІ-регулятора. Дослідив даний регулятор на стійкість за критерієм Джурі. Дослідивши перехідну характеристику, визначив показники якості:

- час регулювання $t_p=270c$;
- перерегулювання $\sigma=0$
- коливальність $n = 0$.

Проаналізувавши на дані показники визначено, що вона є стійкою, тобто її можна використовувати на практиці.

Було вибрано технічні засоби автоматики, які використовувались для захисту та керування, вибір магнітних пускачів, електротехнічних елементів, кабелів, проводів та способу їх прокладки, та наведено їх розрахунок.

Була розглянута функціональна схема автоматизації, яка включає датчики температури, виконавчі механізми (нагрівальні елементи), терморегулятор / ПЛК та елементи керування/індикації, що дозволяє підтримувати заданий температурний режим.

Описано алгоритм управління термостатом, який, ймовірно, реалізує ПІД-регулювання, використовуючи цикли переривання таймера для швидкого керування та основний цикл для обробки команд і коригування інтенсивності нагріву. Проаналізовано код програми для зчитування даних з датчика температури та вологості (DHT) та виведення їх на послідовний монітор та на 7-сегментний дисплей (TM1637), що є базовою складовою для моніторингу параметрів середовища термостата.

Проведено розрахунок термін окупності установки, що становить 5 місяців, отже, її можна використовувати на підприємстві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. І.І. Мартиненко, В.П. Лисенко, Л.П. Тищенко, І.М. Болбот. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК. – 2008. – 330 с.
2. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, С.А. Шворов, В.В. Коваль, Н.А. Заєць, Т.І. Лендел, К.В. Наконечна, А.І. Болбот. Основні методи та методики підготовки кваліфікаційної роботи магістрів. Навчальний посібник (для студентів зі спеціальності 174 - Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка). Київ, 2023. – 462 с.
3. Гольцев Д. Г. Розрахунок результативності системи управління якістю на підприємстві [Електронний ресурс] / Д. Г. Гольцев. – 2011 – Режим доступу: <http://gisap.eu/ru/rozrakhunok-rezultativnosti-sistemi-upravlinnya-yakistyu-na-pidpriemstvi>. (дата звернення 13.06.2013 р.). – Назва з екрана.
4. Державні будівельні норми України. ДБН В.2.2-2-95. – [Чинний від 1995-02-01]. – К.: Держкоммістобудування України, 1995. – 14 с. – (Державні будівельні норми України).
5. Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. Основи автоматики: теорія і практика (ч.1). Видання 2-е, перероблене і доповнене. / Лисенко В.П., Решетюк В.М., Цигульов І.Т. – К.: Освіта України, 2013. – 720 с.
6. Попович М. Г., Ковальчук О. В. П58 Теорія автоматичного керування: Підручник. — 2-ге вид.: Либідь, 2007. — 656 с.
7. Palacios, C. The Role of Nutrients in Bone Health, from A to Z . Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 2006. Vol. 46, № 8. P. 621–628. doi:10.1080/10408390500466174
8. Cox, B. G. Acids and Bases: Solvent Effects on Acid-Base Strength [Текст] / В. Cox. Oxford: Oxford University Press, 2013. 143 p. doi:10.1093/acprof:oso/9780199670512.001.0001
9. Liu, H. Rheological, texture and sensory properties of lowfat mayonnaise with different fat mimetics. LWT – Food Science and Technology, 2007. Vol. 40, № 6. P. 946–954. doi:10.1016/j.lwt.2006.11.007

ДОДАТКИ

Додаток А. Текст програми

```
//Libraries
#include <Ethernet.h>

//Parameters
String request ;
unsigned long refreshCounter = 0;
byte mac [6] = {0x54, 0x34, 0x41, 0x30, 0x30, 0x31};

//Objects
EthernetServer server(80);
IPAddress ip(192, 168, 1, 179);
EthernetClient client;

void setup() {
  //Init Serial USB
  Serial.begin(9600);
  Serial.println(F("Initialize System"));
  //Init W5100
  Ethernet.begin(mac, ip);
  while (!Ethernet.begin(mac)) {
    Serial.println(F("failed. Retrying in 5 seconds.));
    delay(5000);
    Serial.print(F("Starting W5100..."));
  }
  pinMode(2, OUTPUT);
  server.begin();
  Serial.println(F("W5100 initialized"));
  Serial.print(F("IP Address: "));
  Serial.println(Ethernet.localIP());
}

void loop() {
```

```

client = server.available();
clientRequest();
handleRequest();
}
void clientRequest() { /* function clientRequest */
  ///Get client request
  if (!client) {
    return;
  }
  // Wait until the client sends some data
  while (!client.available()) {
    delay(1);
  }
  request = client.readStringUntil('\r'); // Read the first line of the
request
  Serial.println(request);
  client.flush();
}
void handleRequest() { /* function handleRequest */
  ///Handle web client request
  if (request.indexOf('GET') >= 0) {
    {
      webpage(client);
      client.stop();
    }
  }
  if (request.indexOf("/dig2on") > 0) {
    {
      digitalWrite(2, HIGH);
    }
  }
}

```

```

    }
    if (request.indexOf("/dig2off") > 0) {
        {
            digitalWrite(2, LOW);
        }
    }
}

void webpage(EthernetClient client) { /* function webpage */
    ///Send webpage to client
    //output HTML data header
    client.println(F("HTTP/1.1 200 OK"));
    client.println(F("Content-Type: text/html"));
    client.println();
    //header
    client.print(F("<!DOCTYPE
HTML><html><head><title>AranaCorp</title>"));
    client.print(F("<meta http-equiv='content-type' content='text/html;
charset=UTF-8'>"));
    //meta-refresh page every x seconds
    client.print(F("<meta http-equiv='refresh' content='2'>"));
    client.print(F("</head><body bgcolor='black'><br>"));
    client.print(F("<hr/><hr>"));
    client.print(F("<h1 style='color : #3AAA35;'><center> Geekmatic -
Arduino Web Controller </center></h1>"));
    client.print(F("<hr/><hr>"));
    client.print("<center><p style='color:white;'>");
    client.print(F("Page refresh number : "));
    client.print(refreshCounter); //current refresh count
    client.print("</p></center><br>");
    client.print(F("<h2 style='color:green;'>Arduino Inputs</h2>"));

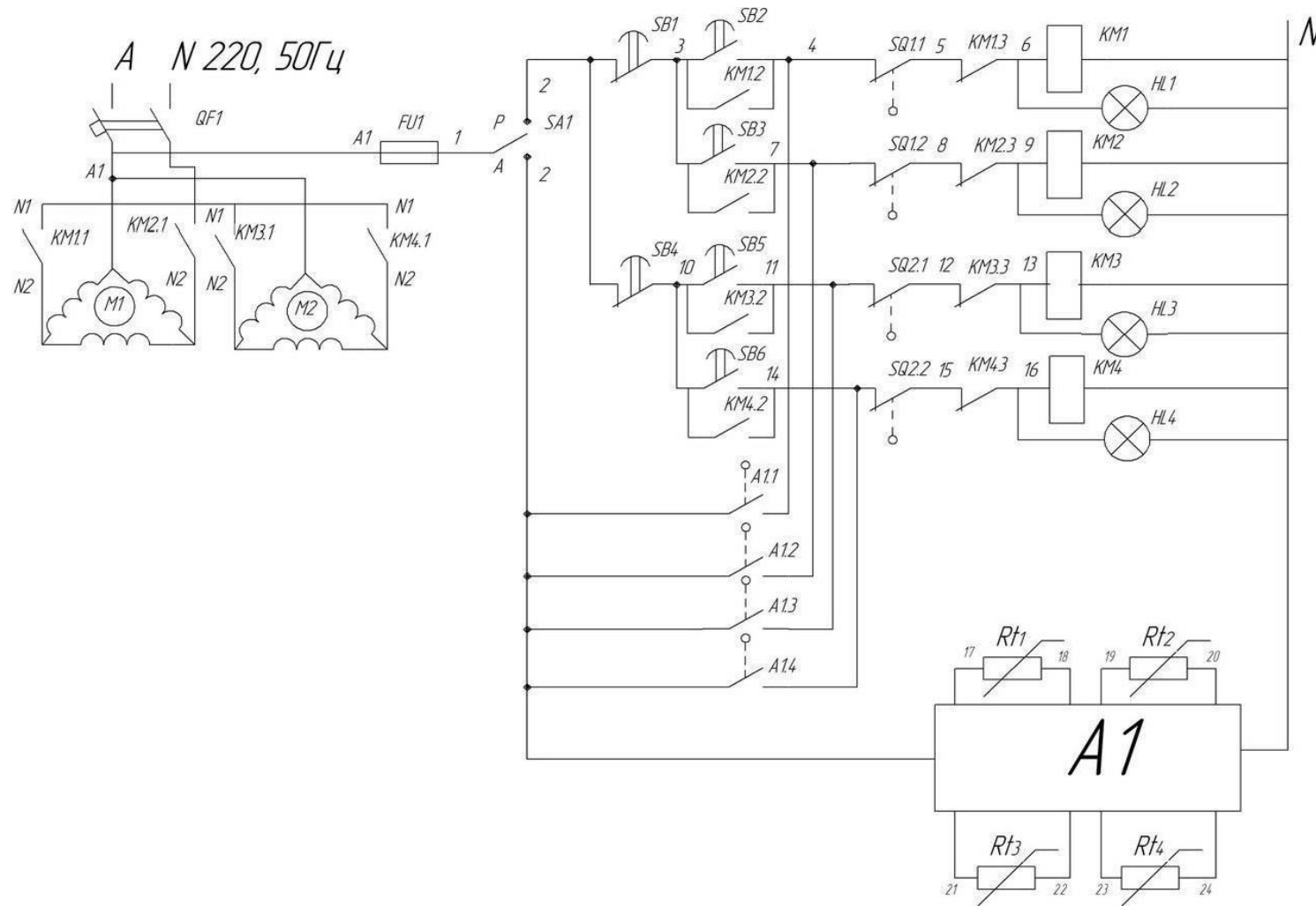
```

```

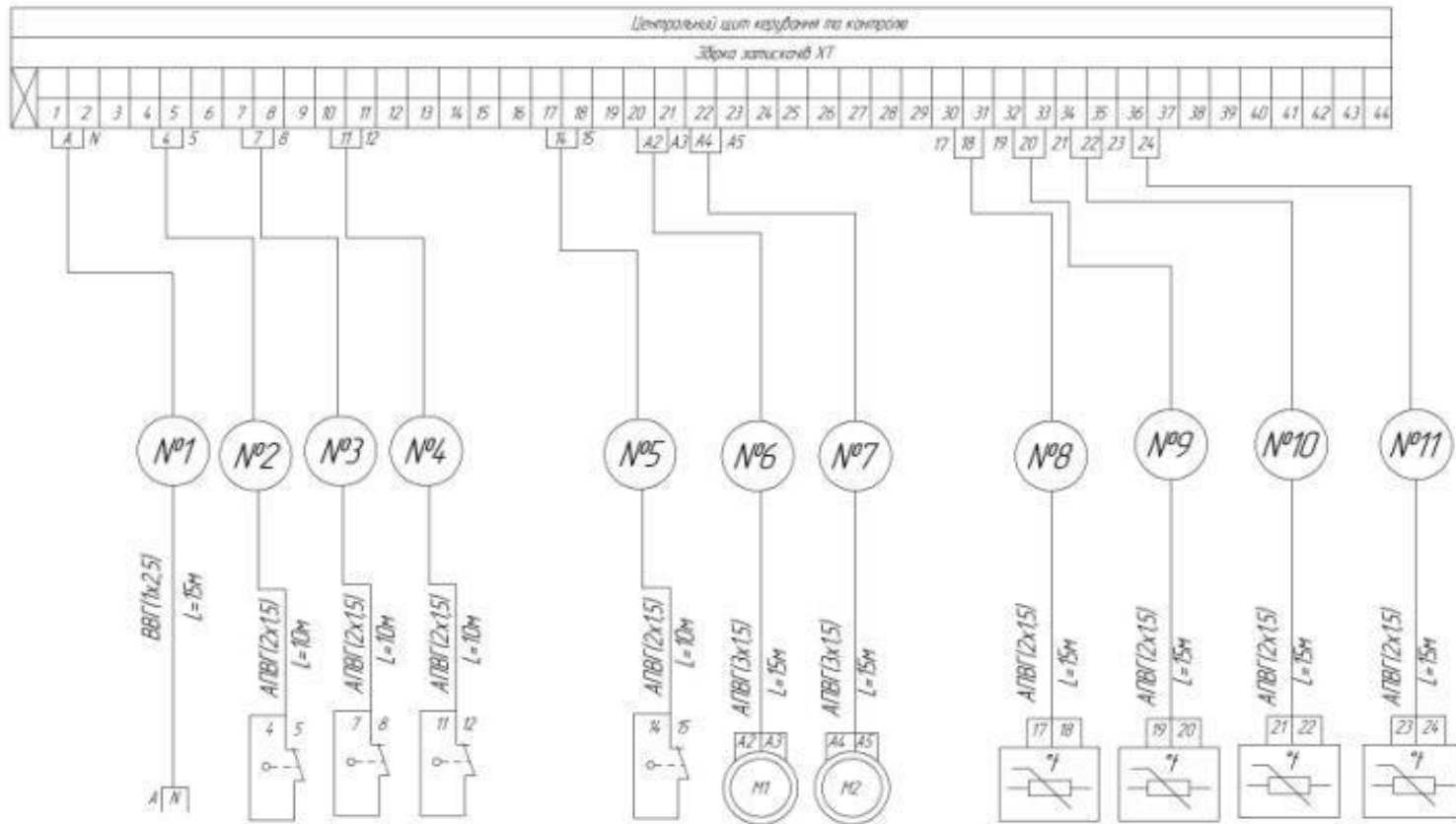
client.print("<p style='color:white;'>");
client.print("<br><br>");
//output analog input pin
for (int i = 0; i < 6; i++) {
  client.print("<b>Input A");
  client.print(i);
  client.print(" : </b>");
  client.print(analogRead(14 + i)); //A0=14, A1=15 ,etc.
  client.print(F("<br>"));
}
client.print(F("</p><br>"));
//digital output
client.print(F("<h2 style='color:green;'>Arduino Outputs</h2>"));
client.print(F("<p style='color:white;'>"));
client.print(F("<br><br>"));
client.print(F("<b>Digital output Pin 2 : </b>"));
client.print("<input  value=" + String(digitalRead(2)) + "
readonly></input>");
  client.print(F("<a href='/dig2on'><button>Turn On </button></a>"));
  client.print(F("<a href='/dig2off'><button>Turn Off
</button></a><br />"));
  client.print(F("</p><br>"));
//file end
client.print(F("<br></body></html>"));
refreshCounter += 1;
}

```

Додаток 2. Схема електрична принципова

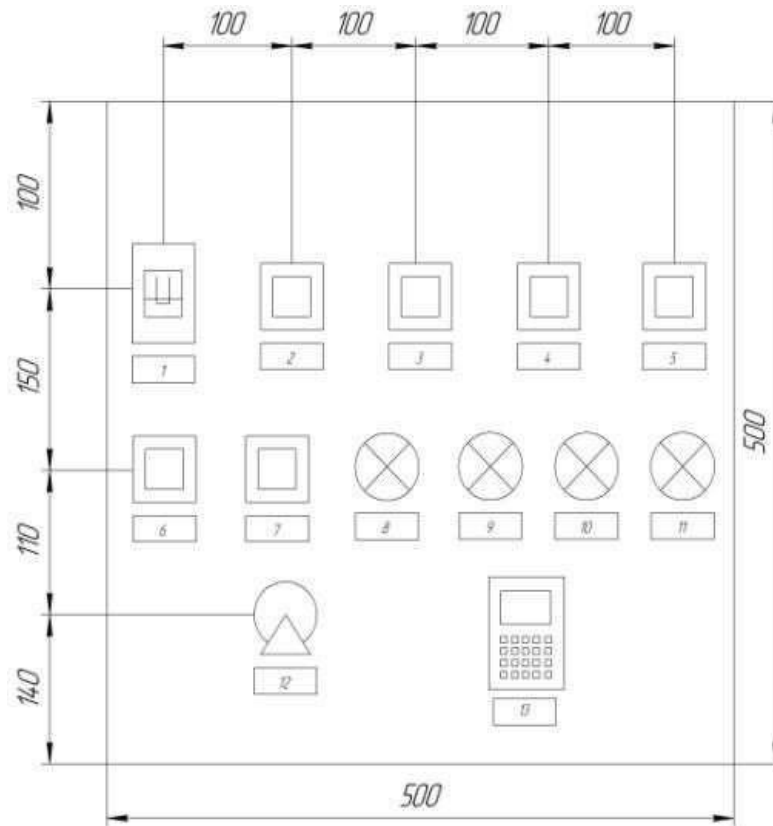


Додаток 3. Схема електрична підключень



Назва обладнання	Щит живлення	Кінцевий вимикач	Кінцевий вимикач	Кінцевий вимикач	Кінцевий вимикач	Грийд клапана та фланець	Додачі температури
Тип	ЩШ-30	GZ FT 135	GZ FT 135	GZ FT 135	GZ FT 135	АИР 80 В4	ТСМ - 50 М

Додаток 4. Зовнішній вигляд щита керування



Позначення	
1	Автоматичний ви...
2	Кнопки SB1 для з...
3	Кнопка SB2 відкриття заслінки
4	Кнопка SB3 закриття заслінки
5	Кнопка SB4 для зупинки двигуна 2
6	Кнопка SB5 відкриття фрамуг
7	Кнопка SB6 закриття фрамуг
8	Відкрита заслінка
9	Закрита заслінка
10	Відкриті фрамуги
11	Закриті фрамуги
12	Перемикач режимів
13	Регулятор

Загальний вигляд щита
1.jpg
Тип: JPEG-рисунок
Размер: 880 КБ
Разрешение: 4963 x 3511
точек