

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри КСУ
_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Автоматизована система керування параметрами мікроклімату
сонячного вегетарію»

Здобувача групи СУ.мдн-21п **Яковенко Юрія Миколайовича**
Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ **Яковенко Юрій Миколайович**
(підпис)

Керівник: доцент каф. КСУ, доцент, к.ф.-м.н. Андрій ПАВЛОВ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант _____ _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ
_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти

Яковенко Юрію Миколайовичу
(Прізвище, ім'я, по-батькові повністю)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизована система керування параметрами мікроклімату сонячного вегетарію
- 1 затверджена наказом ректора СумДУ № 1227-VI від " 06 " 11 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 13 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Завдання кафедри, опис будови вегетарію, вимоги до параметрів мікроклімату вегетацію, вимоги до системи автоматизації вегетарію, звіт з переддипломної практики, джерела інформації відкритого доступу
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню):
 1. Будова сонячного вегетарію.
 2. Система автоматизованого управління вегетарію.
 3. Дослідження процесу керування опаленням вегетарію.
 4. Програмування IoT-модуля.
5. Перелік графічних матеріалів: 1. Система управління параметрами мікроклімату сонячного вегетарію. Схема функціональна автоматизації

6. Календарний план виконання роботи

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Підбір та аналіз джерел інформації	18.10.23- 29.10.23
2	Аналіз загальних відомостей про вегетарій	30.10.23- 03.11.23
3	Розробка системи управління вегетарію	04.11.23- 08.11.23
4	Дослідження процесу керування опаленням вегетарію	09.11.23- 12.11.23
5	Розробка програмного забезпечення для IoT-модуля	13.11.23- 15.11.23
6	Розробка графічної частини	25.11.23- 28.11.23
7	Оформлення та здача роботи керівнику	04.12.23- 14.12.23

7. Дата видачі завдання " 18 " 10 2023 р.

Керівник проекту:

доцент каф. КСУ, доцент, к.ф.-м.н.
(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Андрій ПАВЛОВ
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач:

студент гр. СУ_мдн-21п
(шифр групи)

(підпис)

Юрій ЯКОВЕНКО
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

АНОТАЦІЯ

Яковенко Юрій Миколайович. Автоматизоване керування побутовим газовим котлом в умовах ресурсозбереження. Кваліфікаційна робота магістра. Сумський державний університет. Суми, 2023 р.

Робота містить 73 сторінки, 63 рисунки, 10 таблиць, 5 додатків; конструкторську документацію, яка містить 1 креслення. При виконанні магістерської роботи було використано 20 літературних джерел.

В роботі наведені результати, що ілюструють принципи, реалізовані при розробці моделі процесу нагрівання сонячного вегетарію та керування процесом з урахуванням теплових втрат.

Представлені результати, які ілюструють загальні принципи створеної методики врахування предикції значень температури навколишнього середовища на основі інформації, отриманої з зовнішнього хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap без зміни адаптаційної характеристики. Адаптаційна характеристика необхідна при переведенні опорного алгоритму керування до його представлення у дискретній реалізації.

Ключові слова: вегетарій, регулятор, модуль, модель, температура, адапційна характеристика.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	4
ВСТУП.....	5
1 БУДОВА СОНЯЧНОГО ВЕГЕТАРІЮ	9
1.1 Освітлення вегетарію	9
1.2 Опалення вегетарію	13
1.3 Полив вегетарію	16
1.4 Особливості функціонування вегетарію в літній період.....	18
1.5 Підтримання параметрів мікроклімату вегетарію.....	19
1.6 Розташування вегетарію.....	21
1.7 Устаткування вегетарію.....	25
1.8 Загальні економічні переваги вегетарію.....	29
2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕГЕТАРІЮ.....	29
2.1 Огляд літературних джерел.....	29
2.2 Контур регулювання температури повітря у вегетарії	33
2.3 Контур регулювання вологості повітря в вегетарії.....	32
2.4 Контур контролю освітленості в вегетарії	35
2.5 Контур контролю вологості ґрунту.....	44
2.6 Керуючий пристрій на базі ESP8266.....	47
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОПАЛЕННЯМ ВЕГЕТАРІЮ.....	50
3.1 Формалізований опис об'єкта керування.....	50
3.2 Структурна схема системи керування опаленням вегетарію	51
3.3 Циклограма роботи електричного нагрівача в дискретному режимі	53
3.4 Моделювання процесу керування опаленням вегетарію.....	54
3.5 Аналіз результатів моделювання	58
4 ПРОГРАМУВАННЯ ІоТ-МОДУЛЯ	60
4.1 Серверна частина	60
4.2 Керуюча складова серверної частини.....	61

4.3 Підсистема алгоритму керування серверної частини.....	62
4.4 Предикційна складова серверної частини.....	63
4.5 Людино-машинний інтерфейс підсистеми керування нагріванням вегетарію.....	65
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	71
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АЦП – аналогово цифровий перетворювач

IoT - Internet of Things (інтернет речей);

OTA - Over The Air

HMI - human-machine interface (людино-машинний інтерфейс).

ВСТУП

Збільшення кількості населення, що проживають на планеті (кількість неухильно наближається до семи мільярдів), а також складна геополітична ситуація в світі, і, зокрема, в нашій країні, призводить до все більш зростаючого попиту на продукти харчування.

Кількість родючих земель у світі розподілена нерівномірно, а із впливом природних чинників їх кількість зменшується. Вплив атмосферних факторів викликає ерозії та знижує родючість ґрунту.

Зміна кліматичних умов на планеті, глобальне потепління, зміна напрямків вітрів, тощо призводить не тільки до зміни умов для вирощування рослин агропромислового сектору, а і до втрати частини врожаю через погодні катаклізми.

Крім того вирощування рослин в природному середовищі є процесом мало прогнозованим, оскільки ніхто не здатний забезпечити умови для вирощування, що хоча б віддалено нагадують ідеальні (певна кількість тепла і освітленості, вологи, інших чинників, що сприяють якісному вирощуванню рослин, збереженню врожаю).

Так, дійсно, в природних умовах таких умов створити неможливо, можливо лише намагались адаптувати процес вирощування рослини до впливу зовнішніх факторів. Це і використання систем штучного поливу, і удобрювання ґрунту, і обробка рослин від шкідників.

Одним з напрямків збільшення урожайності є виведення генномодифікованих рослин, які є більш урожайними, стійкими до зовнішніх чинників. Проте навколо поживних і корисних властивостей цих рослин і досі точаться суперечки.

Але, вочевидь, необхідні умови для вирощування практично будь-якої рослини можливо створити і підтримувати в ізолюваному середовищі. Людство давно навчилось будувати і використовувати з цією метою камери, теплиці.

Створення практично ідеальних умов для вирощування в теплицях можливо і за рахунок використання заздалегідь підготовленого ґрунту, що необхідний саме для даного виду рослин, і для підтримування мікроклімату в теплиці, що сприяє збільшенню швидкості зростання рослин та їх врожайності, якості продукції, а також зниженню кількості хвороб рослин, і зменшенню впливу шкідників.

Проте процес підтримання ідеальних кліматичних умов в теплиці вручну є дуже трудомістким, оскільки вимагає врахування зміни великої кількості зовнішніх чинників, що впливають на зміни умов, адаптації параметрів мікроклімату до необхідних. Цей процес є неперервним в часі та вимагає великих людських ресурсів.

Таким чином, виникає потреба в автоматизації процесу вирощування рослин, а саме підтримуванні усіх параметрів мікроклімату теплиці в заданих межах, з необхідною точністю та швидкодією.

Отже є необхідність в створенні автоматизованої системи управління теплицею, тепличним комплексом, яка здатна аналізувати параметри функціонування теплиці, до яких відносять температуру, вологість повітря та ґрунту, освітленість, концентрацію вуглекислого газу CO₂ у робочому середовищі теплиці та своєчасно керувати виконавчими механізмами з метою підтримування цих параметрів у заданих межах.

Основною метою роботи є дослідження ключових елементів комп'ютерно-інтегрованої системи керування мікрокліматом сонячного вегетарію, побудованої на основі інформаційно-керуючої мережі за клієнт-серверною структурою, в умовах ресурсозбережного управління з урахуванням жорстких обмежень щодо режимів роботи підсистем об'єкта керування, а саме можливості зміни стану за схемою «On-Off», та можливістю реалізації предикційного методу на основі інформації отриманої з зовнішнього хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap.

Планується *проведення програмного моделювання* поведінки ключових контурів регулювання, з використанням методики адаптації типових алгоритмів керування до дискретного формату їх реалізації, а також з емуляцією механізму

предикції на основі інформації отриманої з зовнішнього хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap, в рамках вищеназваної схеми. За результатами моделювання *планується зробити висновки*, щодо ефективності використання типових алгоритмів керування для забезпечення нормальних співвідношень основних прямих показників якості перехідних процесів з одночасним забезпеченням умов ресурсозбережного керування.

Об'єктом дослідження є сукупність інформаційно-керуючих процесів, зокрема за каналом нагрівання, в умовах переходу від безперервної (еталонної) реалізації, на основі типових алгоритмів керування (П, ПІ, ПІД), до дискретизованого варіанту їх представлення, та з врахуванням предикційних корегуючих сигналів, при умові мінімальної витрати ресурсів, необхідних для їх забезпечення (витрати електроенергії).

Предметом дослідження можна вважати групи перехідних процесів за ключовими змінними процесу керування в комп'ютерно-інтегрованій системі керування мікрокліматом сонячного вегетарію, побудованій за клієнт-серверною структурою на основі інформаційно-керуючої мережі, отриманих в рамках власне запропонованої моделі системи керування та її найважливіших підсистем. Слід зауважити, що в цій роботі саме канал нагрівання приміщення сонячного вегетарію є тією інформаційно-керуючою складовою системи керування яка найдетальніше ілюструє всю специфіку керування в умовах жорсткого обмеження властивостей об'єкта керування.

Науковою новизною роботи можна вважати набір математично обґрунтованих принципів та методи, які дозволяють окрім того, що переходити від типових (базових) алгоритмів керування до їх дискретних адаптантів, враховувати предикційні корегуючі сигнали для зменшення температурних градієнтів нагріву (як правило, є причиною зайвих втрат енергоносія), що може бути вкрай корисним при спробах використання бюджетних варіантів засобів автоматизації за умови володіння навичками ручного програмування.

Теоретичну цінність роботи складає принцип швидкої структуризації та формалізації комп'ютерно-інтегрованих систем керування побудованих на основі

інформаційно-керуючої мережі за клієнт-серверною структурою. Окрім цього корисною може бути метода формування предикційних поправок до сигналів керування на основі інформації отриманої з зовнішнього ресурсу, з використанням середовища моделювання MATLAB Simulink.

Практичну цінність роботи складає ілюстрація розгортання серверної частини відповідної системи керування на основі середовища Node-Red, реалізація адаптивної характеристики як основного алгоритму керування, приклад створення та використання бюджетних засобів на основі мікроконтролерів сімейства ESP компанії Espressif Systems для потреб автоматизації з урахуванням промислових стандартів та протоколів (Modbus TCP). Крім того практичну цінність може становити приклад підготовки до введення, описаної в роботі системи, в екосистему Інтернету речей, що є затребуваним трендом в рамках сучасної автоматизації.

1 БУДОВА СОНЯЧНОГО ВЕГЕТАРІЮ

1.1 Освітлення вегетарію

Влітку, навіть прохолодним, ніхто додатково не освітлює грядки. Проте цього не можна сказати про зимовий період. По-перше, для розвитку рослин необхідне сонячне освітлення. Його недостатньо - сонце низько, день короткий (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Мінімальна тривалість світлового дня у зимове півріччя (година)

Місяць	Тижні			
	I	II	III	IV
жовтень	11,05	10,38	10,13	9,49
листопад	9,25	9,03	8,43	8,26
грудень	8,13	8,05	8,01	8,01
січень	8,08	8,19	8,35	8,54
лютий	9,14	9,35	10,25	10,54
березень	11,21	11,48	12,13	12,41

Друга проблема – недостатньо тепла. Його «добувають» різними методами, але вони вимагають значних витрат. Третя проблема – забезпечення стабільності мікроклімату. Цілодобово. І для кожної рослини існують свої вимоги (табл. 1.2). Четверта проблема - полив і підживлення рослин.

Таблиця 1.2 - Температурні умови вирощування овочів

Культури	Температура повітря у теплиці, °С		
	Вдень у похмуру погоду	Вночі та на 3-8 день появи сходів	Вдень і для пророщення насіння
Капуста, редька, редис, хрін	10-13	3-6	17-20
Салат, горох, морква, петрушка, пастернак, шпинат, кріп, щавель, цибуля батун, ревінь	13- 16	6-9	20-23
Буряк, часник, цибуля-ріпка, цибуля-порей, спаржа	16-19	9-12	23-26
Помідори, квасоля, кавуни	19-22	12-15	26-29
Огірки, дині, перець, баклажани	22-25	15-18	29-32

«Перед розробниками постало завдання розробити такі проекти вегетаріїв, які за мінімальних витрат дозволять отримати стійко хороші врожаї.

Найголовніша ланка у вирішенні поставленого завдання – ефективне використання енергії сонця. Взимку сонячні промені ніби ковзають уздовж поверхні землі. Виникла ідея використовувати природні ухили земельної ділянки, розташовуючи там теплиці. Саме це запропонував дослідник А. В. Іванов. Його класичний сонячний вегетарій має будуватися на ухилі 5-40 °.

Якщо паралельно схилу спорудити прозорий дах, поставити прозорі стіни, то вийде теплиця нової конструкції – сонячний вегетарій (рис. 1.1). Щоб північні вітри не охолоджували теплицю, її північна стіна має бути непрозора та утеплена. Це може бути стіна, суміжна з хозбудовою, входом у льох, до будинку та інших. Плоский дах - без зламів, тому промені сонця поступово розподіляються по всій площі ґрунту вегетарію. Поверхня даху майже перпендикулярна падаючим сонячним променям, отже, їхнє відбиття буде мінімальним.

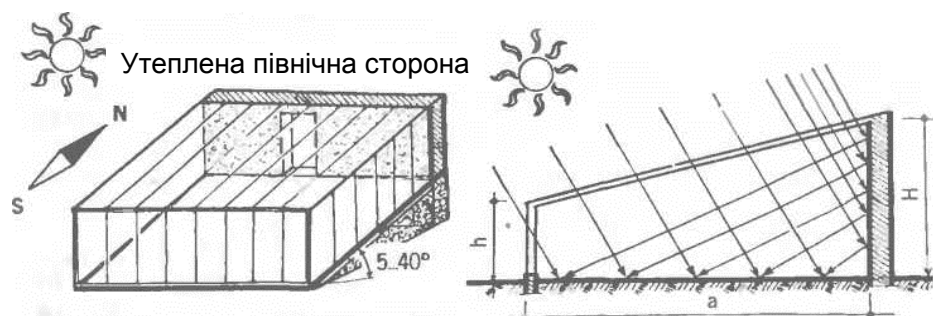


Рисунок 1.1 – Конструкція сонячного вегетарія на південному схилі з кутом нахилу 5-40 ° та з дахом на горизонтальному ґрунті

Але якщо ділянка не має ухилу в 5—40°, та ще й у південному чи, що краще, у південно-східному напрямку, тоді можна запропонувати наступні рішення.

Перше і дуже доступне – на рисунку 1.1. Тут вегетарій зберігає профіль та нахил даху. Нестача кількості падаючої сонячної енергії на горизонтальну поверхню ґрунту в холодні місяці року можна компенсувати установкою на задній стінці вегетарію або над ним екрану, що відбиває. Таким екраном може бути стіна, пофарбована в білий колір.

Чим вище стінка (H), особливо при малій глибині (a) вегетарію, тим більше буде сонячний потік за рахунок відбиття. В результаті навіть при низькому сонці весь ґрунт добре освітлюється додатковими променями.

Недолік такого вегетарію — великий обсяг, збільшення інфільтрації (втрати тепла через щілини) та капітальних витрат.

Найкращий варіант - створення штучного ухилу (хоча б 5-20 °).

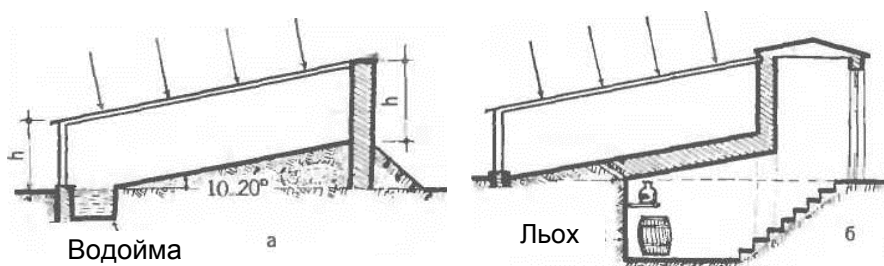


Рисунок 1.2 - Сонячний вегетарій на насипному ґрунті: а - з водоймою; б - з ЛЬОХОМ

Ґрунт для насипу береться за рахунок його простого переміщення.

Можна трохи поглибити південну частину вегетарію, зробивши там невелике водоймище (вкопати стару ванну або бочку), яке одночасно стане сховищем води, збираючи зайву вологу з грядки, і акумулятором тепла (рисунок 1.2 а). А можна під вегетарієм створити невелике приміщення (наприклад, льох, рисунок 1.2 б).

Збільшити освітленість за рахунок сонячних променів можна і використовуючи найближчі будівлі для розміщення на них екранів-відбивачів. Можна прикріпити над задньою стінкою вегетарію екран і вночі опускати його на дах, зменшуючи тим самим втрати тепла.

Однак цей шлях потребує додаткових витрат.

При прийнятті рішення слід пам'ятати, що освітленість у теплиці має бути не менше 5-8 кілолюкс (клк). При освітленості 20-40 клк фотосинтез максимальний, понад 40 клк він уповільнюється. Для лимонів, наприклад, необхідна освітленість щонайменше 12 клк.

Важлива й тривалість світлового дня. Для більшості рослин це 8-12 год. Але для деяких томатів — сортів довжина світлового дня повинна становити 15—16 год.

Якщо вирощувати овочі, ягоди та фрукти цілий рік, необхідно штучне подовження світлового дня лампами.

Електричні лампи характеризуються номінальною напругою живлення, потужністю, світловим потоком, терміном служби. Світловий потік оцінює потужність видимого випромінювання та вимірюється в люменах (лм). Економічність лампи оцінюється світловою віддачею - значенням світлового потоку на 1 Вт її потужності. Для люмінесцентних ламп вона становить 40-80 лм/Вт, для ламп розжарювання лише 7-19 лм/Вт.

Чим далі розташовані рослини від лампи, тим менша їхня освітленість (E).»

[2]

1.2 Опалення вегетарію

Витрати на опалення в холодну пору року – основні. Вони становлять до 80% від загальних витрат на утримання теплиці.

Чи можна тут скористатися сонячною енергією? Можна і досить просто. Але як накопичити енергію сонця та розподілити її хоча б протягом доби? Рішень багато. Серед них потрібно вибрати найпростіше, але найефективніше.

Є галузь науки і техніки, що займається питаннями використання сонячної енергії. Це - геліотехніка. Відповідно до стандартних рекомендацій для використання сонячного тепла необхідно придбати або виготовити систему сонячного нагрівання води та цією водою обігрівати теплицю. Частина енергії слід накопичувати на ніч за допомогою теплоаккумулятора (великі маси каменю, води, бетону та ін., що нагріваються сонячними променями). Безпосередньо теплоприймачем є колектор (засклений плоский ящик), де нагрівається теплоносієм (вода, рідше - повітря).

Така система дуже дорога (понад 80% від капітальних витрат на спорудження). Витрати з її експлуатації становлять 40 % від загальних витрат за обслуговування теплиці.

Не підходять також теплові насоси. Їхній випарник повинен перебувати в теплому ґрунті або все в тому ж сонячному колекторі, а конденсатор, що віддає тепло, — у теплиці.

Доступніший інший шлях. Адже вся теплиця - це готовий колектор сонячної енергії. Промені сонця, потрапляючи всередину вегетарію, не тільки освітлюють рослини, а й нагрівають їх, ґрунт, доріжки, задню стінку, конструкції, які потім випромінюють отриману енергію. Але оскільки їхня температура низька (+20...30 °С), то випромінювання відбувається в довгохвильовій, невидимій частині спектру - на інфрачервоних електромагнітних хвилях.

Якщо прозоре покриття теплиці (скло, полієфірна плівка або інша, але не звичайна поліетиленова) не пропускає хвилі такого діапазону, то тепла надходить більше, ніж йде, в тому числі через землю, щілини, фундамент, конструкції.

Температура у теплиці підвищується. Це і є парниковий ефект. Але якщо не взяти відповідних заходів, то навіть взимку, в сонячний день, в теплиці дуже жарко (до 35 ° С і вище), а вночі, в мороз, холодно (до 0 ° С). У таких умовах рослини нормально розвиватися не можуть.

Є традиційний шлях. Вдень рекомендують відкривати фрамуги і провітрювати теплицю, а ночі використовувати пічне, водяне або електроопалення. Крім трудових витрат, це потребує великих коштів на закупівлю енергоносіїв. Це і є одна з причин зупинки тепличних господарств.

Ще 50-ті роки минулого століття винахідник М. І. Гаврилов запропонував накопичувати надлишки тепла у ґрунті теплиці. Щоб застосувати його ідею до сонячного вегетарія, потрібно наступне. З цією метою в ґрунті на глибині близько 30-35 см укладаються труби, бажано тонкостінні діаметром 110 мм і більше з поліетилену, азбестоцементу, металу. Можливо використовувати хвилі шиферу, з'єднавши шматки шалашиком (рисунок 1.3).

Кінці труб з одного боку виводяться з-під землі для забору повітря, з іншого - з'єднуються в батареї, від яких прокладаються канали подачі повітря на північній стіні або всередині під перекриття. Канал закінчується коробом із електровентилятором. При включенні вентилятора тепле повітря теплиці через забір повітря проходить по трубах, нагріваючи ґрунт навколо них, далі - по каналах у стіні і підхоплений вентилятором, вже охолоджений, повертається в приміщення вегетарію, знижуючи температуру повітря в ньому до необхідної. Чим інтенсивніший потік повітря і більше підземних повітропроводів, ширші за трубу, тим нижче буде температура у вегетарії в спекотний сонячний день.

Вночі, коли сонячна енергія не надходить, повітря, пройшовши цей шлях і нагріваючись теплом, акумульованим у ґрунті, підвищує температуру всередині теплиці. Якщо ж температура повітря і ґрунту низька (на вулиці мороз до -15 ° С), то, на жаль, крім простих вентиляторів необхідно встановити електрокалорифери з вентиляторамі. Їх можна розмістити в будь-якому місці вегетарію, дотримуючись правил електробезпеки. У таких калориферів не повинно бути відкритої спіралі.

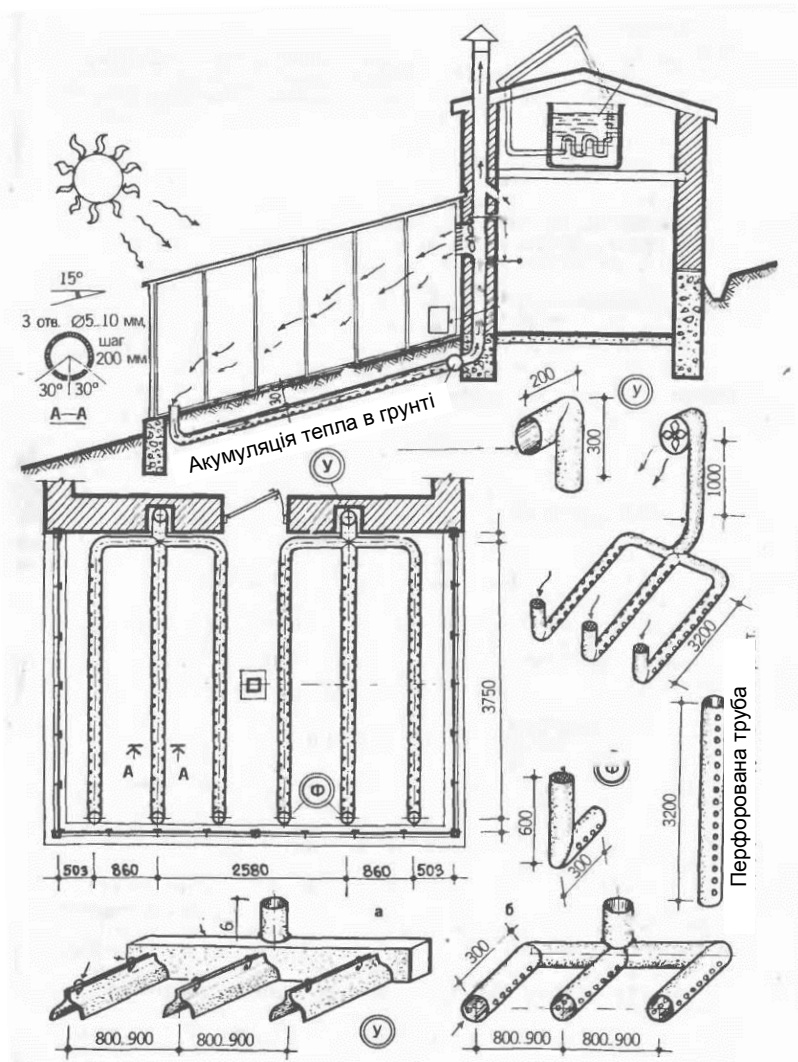


Рисунок 1.3 – Система повітряного акумулювання тепла

Опалення потрібно в крайньому випадку, якщо в теплиці вирощують теплолюбиві рослини. Але навіть при цьому варіанті електроенергії на обігрів витрачається менше, ніж без акумулювання сонячного тепла в ґрунті. І в цьому випадку на допомогу може прийти елементарна вітростанція на 2—4 кВт із генераторами, яку можливо збудувати самотужки. При вітрі обертаються лопаті, виробляється електричний струм, яким можна підігрівати за допомогою ТЕН-ів водоймище в теплиці (воду в бочці і т. д.). Накопичене водою тепло поступово віддається в робочу зону вегетарію.

За відсутності напруги навіть для вентилятора у спекотні дні необхідно відкрити фрамуги або видалити перегріте повітря через витяжну трубу у верхній

частині північної стіни вегетарію. Це є не досить економно, хоча навесні та восени припустимо.

1.3 Полив вегетарію

Полив рослин у теплиці можливий прямий та непрямий. Прямий - це дощування, в борозну, підґрунтовий і краплинний. Непрямий - конденсація вологи при проходженні повітря по трубах (або шиферних каналах) системи акумулювання тепла в ґрунті.

Почнемо з останнього, коли полив буде потрібно дуже слабкий. Адже кількість вологи, що виділяється з нагрітого повітря у ґрунт, становить до 4,5 л / кв.м на добу. Це забезпечить необхідну вологість ґрунту в огірковому вегетарії. У томатних вегетаріях вологи виділяється 25-35 л / кв.м на добу. Щоб конденсат потрапив у ґрунт, у трубах необхідно зробити перфорацію кроком 10-15 см. У разі використання шиферних каналів волога надходить на зрошення вільно.

Але якщо рослини ще невеликі, а вологи недостатньо, бажано проводити і підґрунтовий або краплинний полив. При таких поливах випаровування і втрати, пов'язані з ним, менше. Якщо полив здійснюється водою, нагрітою сонцем, він корисний подвійно. Нагріта вода є додатковим акумулятором тепла. Щоб отримати такий ефект, всередині вегетарію доцільно зробити найпростішу геліоустановку з баком або бочкою ємністю близько 200 л (рисунки 1.3, 1.4).

Повітряна система сонячного опалення та акумулювання енергії "в ґрунті" має ще одну перевагу. При конденсації вологи у вигляді роси і кількість зв'язаного азоту (NH_3 , NO_3 , NO_2) в 2-3 рази більше, ніж при дощуванні.

Можливо, що конденсат, одержуваний у ґрунтових трубах теплиці, міститиме азоту ще більше, оскільки більше аміаку може виділятися за рахунок органічних добрив, що вносяться до ґрунту вегетарію. Крім азотистих сполук, у конденсаті містяться також у 2-3 рази більше, ніж при дощуванні, та фосфорні сполуки (P_2O_5).

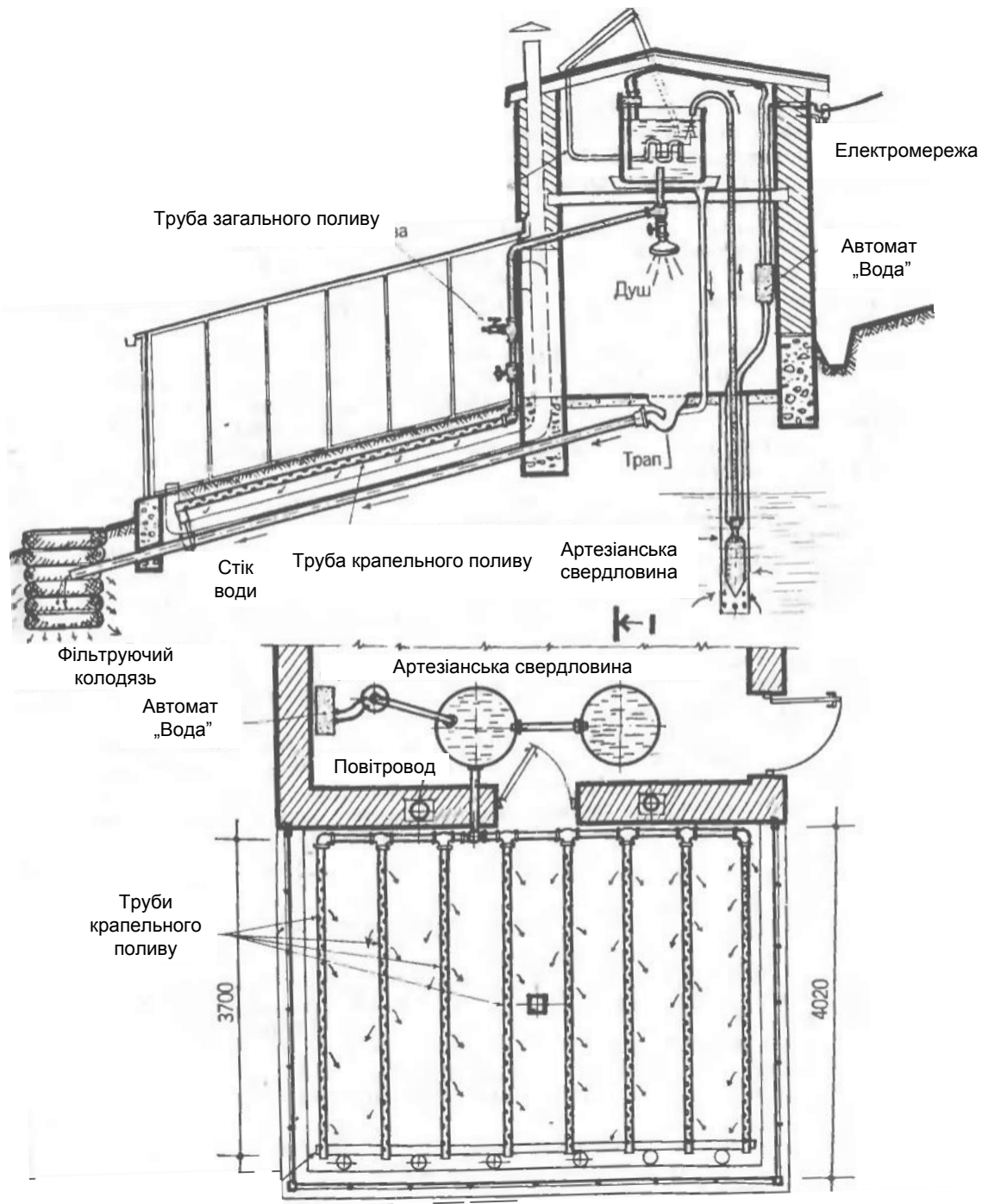


Рисунок 1.4 - Система крапельного та загального поливу, водопостачання

Ще одна проблема теплиці – вологість повітря. При організації системи акумулювання тепла в ґрунті підвищена вологість повітря у вегетарії зменшується інтенсивною конденсацією вологи у вигляді роси на стінках труб. Якщо вологість повітря недостатня, необхідний полив дощуванням. Регулювання вологості, особливо її зменшення - це найскладніша проблема вегетарія

Дуже важливо знизити відносну вологість повітря в нічний час і не допустити випадання роси на рослини, щоб уникнути їхнього захворювання. Ефективним способом зниження вологості повітря в зимових теплицях є спільна робота систем опалення та підґрунтової вентиляції.

1.4 Особливості функціонування вегетарію в літній період

Звичайно є специфічні особливості використання вегетарію і в літній період. Сонце рано встає і цілий день освітлює вегетарій. Рано-вранці, коли сонце низько, ще прохолодно, нахил робочої площі (поверхні) на південь або на південний схід забезпечує дуже швидке прогрівання всього вегетарію та ґрунту (якщо вона не затінена листям рослин). Це те, що потрібно.

Проте сонце піднімається все вище. Його промені під великим кутом падають на поверхню скляного даху і з мінімальними втратами (4-5% на відбиття, 5-10% - через запиленість скла) проникають у вегетарій. Температура підвищується, може перевищити 40 °С. Життя рослин опиняється під загрозою.

Якщо встановлена рекомендована повітряна система акумулювання тепла в ґрунті (див. вище) та працюють вентилятори, то особливих проблем немає. Повітря охолоджуватиметься, нагріваючи ґрунт. Якщо на глибині 40 см температура 32 °С, то врожай помідорів буде в 2,5 рази вищим і на місяць раніше, а врожай баклажанів підвищиться в 4 рази. Підвищення температури ґрунту на 3-4 °С щодо повітря збільшує врожайність, наприклад помідорів, на 43% і прискорює їх дозрівання на 9 днів.

Можна взимку та влітку мульчувати ґрунт між рослинами шматками чорної, сірої або безбарвної поліетиленової плівки. Це допоможе не лише боротися з бур'янами, а й знизить на 17% тепловіддачу у повітря. Значить, буде прохолодніше у теплиці. Цікаво, що при мульчуванні безбарвною плівкою температура на глибині 5 см вища на 0,4-1,7 °С, а чорна — лише на 0,3-1,2 °С, оскільки вона гірше пропускає інфрачервоні промені.

Доведено, що підвищення температури ґрунту з 12 °С до 16 °С збільшує на 100% поглинання нею окису фосфору (P_2O_5). А це - живлення для рослин.

Якщо система акумулювання тепла працює погано або взагалі відсутня, тоді необхідно відкрити фрамуги, вентиляційну трубу, влаштувати протяг. Температура знизиться, але з вентиляванням зменшаться у робочому середовищі волога, вуглекислота, азот, фосфор. Потрібні додатково поливи, удобрення та інші заходи. Але головне - врожай в такому випадку знизиться у 2-5 разів. А можна взагалі його втратити, якщо на тиждень залишити вегетарій без нагляду. Звідси висновок в необхідності спорудження системи акумулювання тепла у ґрунті.

Якщо очікується дуже спекотне літо, буде корисно та естетично завивати вегетарій ліанами квасолі. Весною вони ще не дотягнуться до даху, а влітку захистять її від зайвого сонячного тепла. Та й урожай квасолі значно збільшиться.

Широко поширена думка, що яскраве сонячне проміння шкідливе в теплиці, глибоко помилкове. Адже в тропіках та субтропіках не пустелі, а буяння рослинності, джунглі. Якщо у вегетарії вологи достатньо, а зайве тепло відводиться (бажано в ґрунт), в жодному разі не потрібно замощення скла – інакше овочі будуть бліді та несмачні. У них не буде вітамінів, зате надміру з нітратами. Саме цим і відрізняється продукція з двосхилих теплиць.» [1]

1.5 Підтримання параметрів мікроклімату вегетарія

Відомо, що якщо один з факторів, що забезпечують розвиток рослин, буде в нестачі або надлишку (і те й інше негативно впливає на рослини), то величина врожаю визначиться саме цим фактором.

Тому, щоб отримати добрий урожай, теплиці потрібно або регулярно приділяти чимало часу, або використовувати в ній хоча б прості системи керування температурою, поливом, вологістю.

Без системи авторегулювання мікроклімату тільки 24% часу температура в теплиці відповідає необхідній, 41% часу вона вище і 35% нижче нормальної. На рис. 1.5 наведено графік температур у січні зовні типової геліотеплиці і всередині неї — без акумулювання та з акумулюванням зайвого тепла у ґрунті.

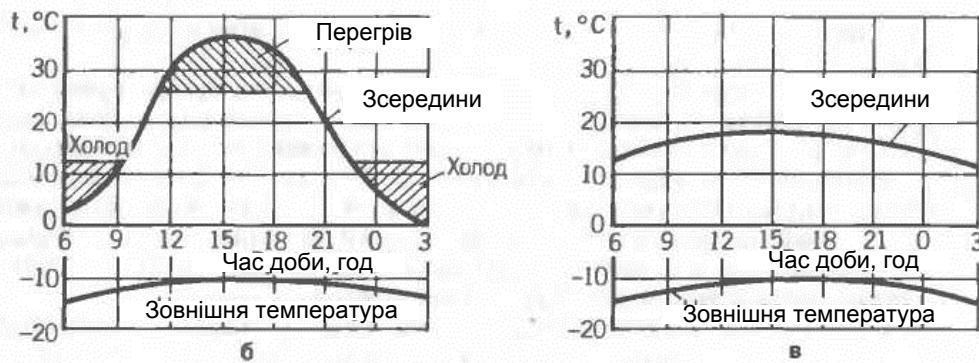


Рисунок 1.5 - Графік температур у січні зовні типової геліотеплиці і всередині неї

При температурі 12—18 °С у теплиці можна забезпечити розвиток багатьох овочевих культур без додаткового обігріву, навіть коли температура зовнішнього повітря нижче —10 °С. Однак для цього слід використовувати примусову вентиляцію повітря через підґрунтові труби.

Застосування систем автоматичного поливу та підживлення, регулювання мікроклімату зменшують трудомісткість робіт у типових теплицях з 125 години до 17 години (в розрахунку на 1 кв. м). Звичайно, йдеться про необхідність застосування автоматизованої системи управління. Для сонячного вегетарію, де багато параметрів мікроклімату підтримувати нескладно, використання найпростішої автоматики дасть величезний ефект.

Розглянемо три завдання авторегулювання у вегетарії: наповнення водою баків для додаткового (до конденсаційного) крапельного або підземного поливу, включення внутрішньої примусової вентиляції та включення чергового електрокалориферного обігріву в негоду.

Якщо ці проблеми вирішити, то життєзабезпечення у вегетарії буде на необхідному рівні (все інше, включаючи вологість повітря, вирішується принагідно).

Якщо баку досить теплої води, організувати краплинний чи підземний полив нескладно.

Логіка вирівнювання температури у вегетарій дуже проста:

- світить сонце, жарко - включаємо вентилятор, який прожене гаряче повітря через підземні труби. Нагрівається ґрунт навколо труб. Повітря вийде з них охолоджене;
- настала ніч, стало прохолодно — знову вмикаємо вентилятор. Прохолодне повітря, пройшовши трубами, за рахунок накопиченого в ґрунті тепла виходить нагрітим. У вегетарії стає тепліше.

Головне, щоб тепле повітря не залишило теплицю. Тому така важлива максимальна герметичність огорожувальних конструкцій.

Але, якщо температура повітря та ґрунту біля труб вирівнялися, тоді вентилятор не повинен вмикатися.

Включення калориферів може відбуватися лише при підвищених вимогах до температури повітря у вегетарії або за тривалої негоди.

1.6 Розташування вегетарію

Місце для будівництва вегетарію має бути вибрано ретельно.

При цьому слід передбачити:

- а) орієнтація - тільки на південь або на південний схід;
- б) відсутність затінення від сходу до заходу сонця. Особливо це важливо для ранкового та вечірнього часу, коли сонце низько та кожна споруда чи дерево може закрити доступ його променів до рослини (рис. 1.6);
- в) наявність екранів, що захищають від північного вітру. Це — будинки, сад, посадки чагарника, паркан;

г) резервне місце для продовження будівництва зі східної чи західної сторони.

Ранок. Схід сонця



Полудень

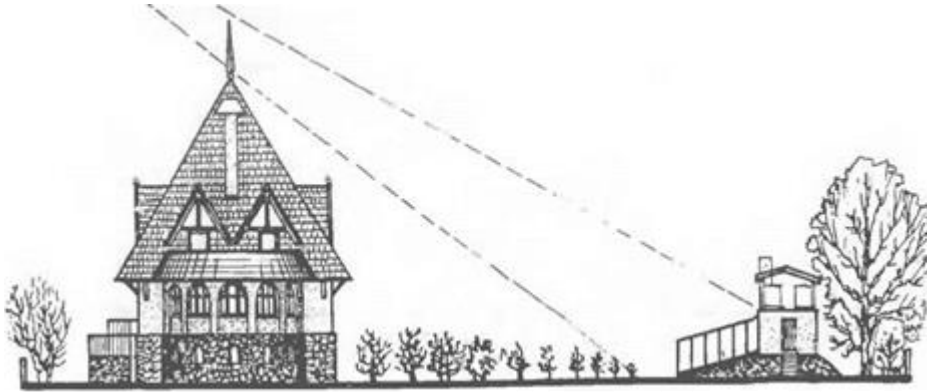


Рисунок 1.6 – Орієнтація та інсоляція сонячного вегетарію протягом дня

Площа вегетарію 20 кв. м — невелика, тому на будь-якій ділянці завжди можна знайти місце, де є сонячна галявина, відкрита зі східного та західного напрямків. Навесні, взимку та восени оголені дерева лише частково затінять вегетарій, літніми днями буде достатньо прямого денного освітлення, вранці та ввечері — розсіяного.

Найкращим місцем для будівництва вегетарію є природний схил на південь. Його можна зробити крутішим або пологішим. Кращий варіант-під кутом 20-30 °. При більшій величині кута нахилу ефективність освітлення зимовим або ранковим сонцем вища.

На рис. 1.7 представлений варіант сонячного вегетарію, поєднаного з підсобними приміщеннями, на природному схилі 15 °. Його глибина близько 4-5 м, ширина 10,72 або 5,36 м.



Рисунок 1.7

Сонячний вегетарій слід розташовувати на ділянці так, щоб у зимовий період від сходу до заходу сонця сонце опромінювало східний, південний та західний фасади. Тіні від сусідніх будівель, дерев та кущів не повинні падати на вегетарій. Зі східного боку висаджувати лише літні низькорослі культури

В більшості садові ділянки розташовані на горизонтальній поверхні. Як зазначалося, у разі для будівництва вегетарію необхідно створити штучний схил хоча б 15° , тобто за глибині вегетарію 4 м сформувати перепад рівнів висот близько 1 м.

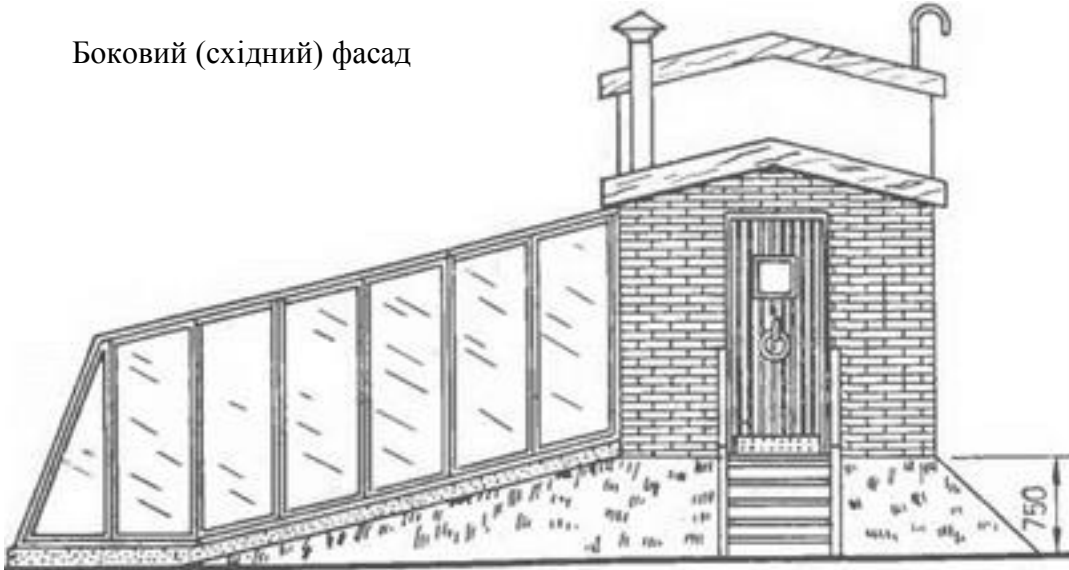
Максимальну висоту вегетарію та необхідний об'єм додаткового ґрунту можна зменшити, дещо заглибивши всю конструкцію. Хоча б на 30 см (рис. 1.8). Величина невелика, але загальний виграв є суттєвим.

Передню стінку можна зробити похилою. Це покращить проникнення променів сонця та зменшить площу покриття вегетарію.

На рис. 1.8 в зображено вегетарій, що примикає до південної частини житлового або садового будинку.

Щодо покриття вегетарію, то основною вимогою до нього є — лише скло. Плівку тимчасово можна застосувати лише для стінок вегетарію. Скло має необхідні оптичні властивості, витримує снігове навантаження, довговічне, забезпечує «парниковий ефект». Але допускаються в використанні прозорі тепличні пластикові панелі. Вони легкі і не б'ються.

Боковий (східний) фасад



Передній фасад

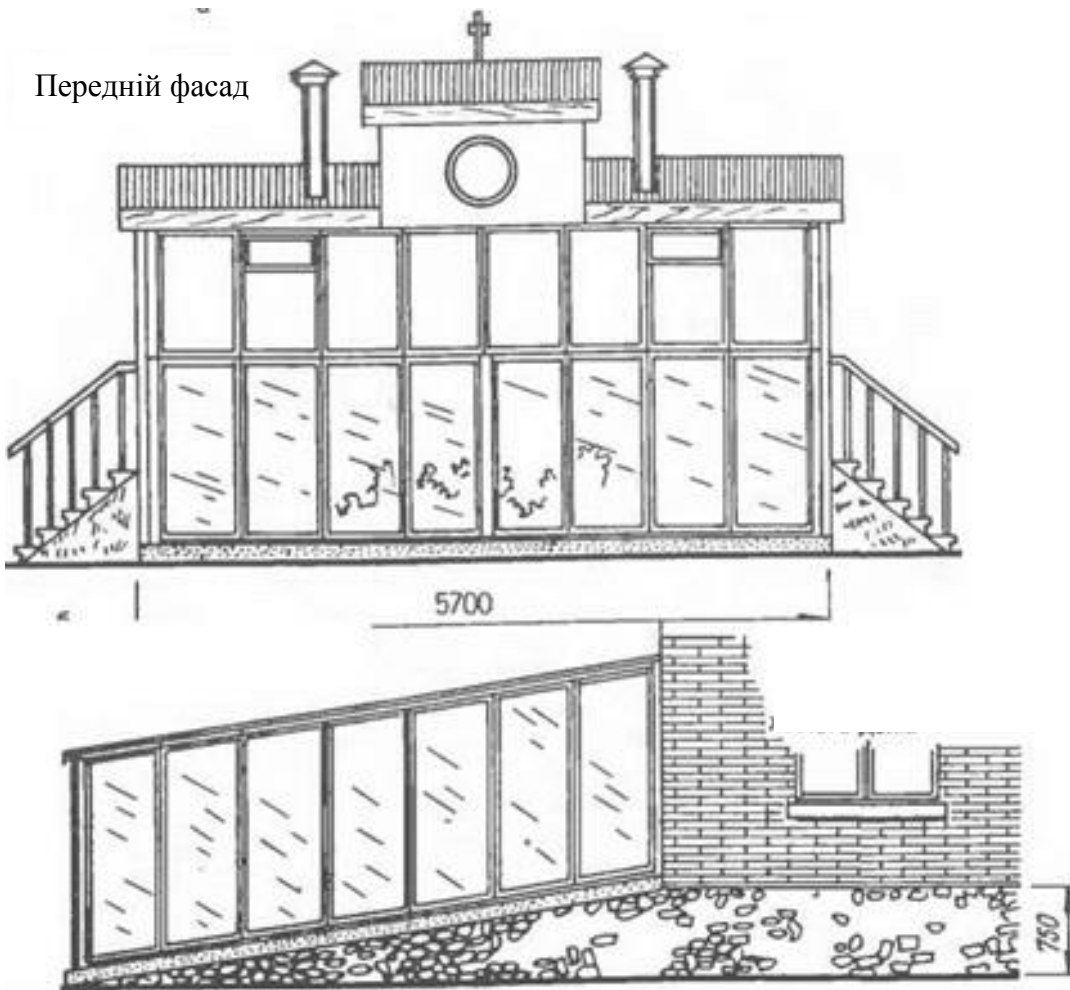


Рисунок 1.8 - Сонячний вегетарій на рівній ділянці з насипним ухилом (15°) та з заглиблення його передньої частини: а - бічний (східний) фасад; б – передній фасад; в - варіант примикання вегетарію до південної стіни житлового будинку

Проте у жодному разі не рекомендується застосовувати поліетиленову плівку, яка лише протягом 2—4 місяців захищає рослини від дощу (але не від холоду), а потім каламутніє, рветься.

Для вегетарію цілорічного використання необхідно передбачити (для негоду) електрокалорифер потужністю 1-2 кВт або пічне калориферне опалення.

1.7 Устаткування вегетарію

Найважливішими елементами обладнання вегетарію є системи акумулювання тепла у ґрунті та поливу з керуючими електронними блоками. Їх наявність забезпечить високі врожаї за мінімальних трудових витрат.

Для акумулювання тепла у ґрунті насамперед потрібні труби. Найкращий варіант - тонкостінні поліетиленові труби низького тиску діаметром не менше 110 мм. Вони екологічно безпечні, порівняно легко з'єднуються і свердяться (отвори для стоку в ґрунт вологи, що конденсується з повітря), їм можна надати будь-яку конфігурацію. Чим більше діаметр труб, тим вище тепло віддача в ґрунт. Якщо немає можливості зварити відрізки труб, місця їх з'єднання слід обмотати липкою стрічкою, плівкою обв'язати і т. д. Міцність тут не важлива.

Так як природна тяга в системі труб (рис. 1.9) відсутня, то для спонукання руху повітря в них потрібно встановити вентилятори кватирки будь-якої моделі. Під них необхідно зробити короби, що з'єднуються з вертикальною трубою.

Ця труба, виведена над дахом, є запасним вентиляційним каналом вегетарію у разі відсутності електроенергії. Решту часу вона повинна бути перекрита шибром (заслінкою).

На рис. 1.10 представлений варіант обладнання вегетарію та підсобного приміщення системою водопостачання, поливу та ін.

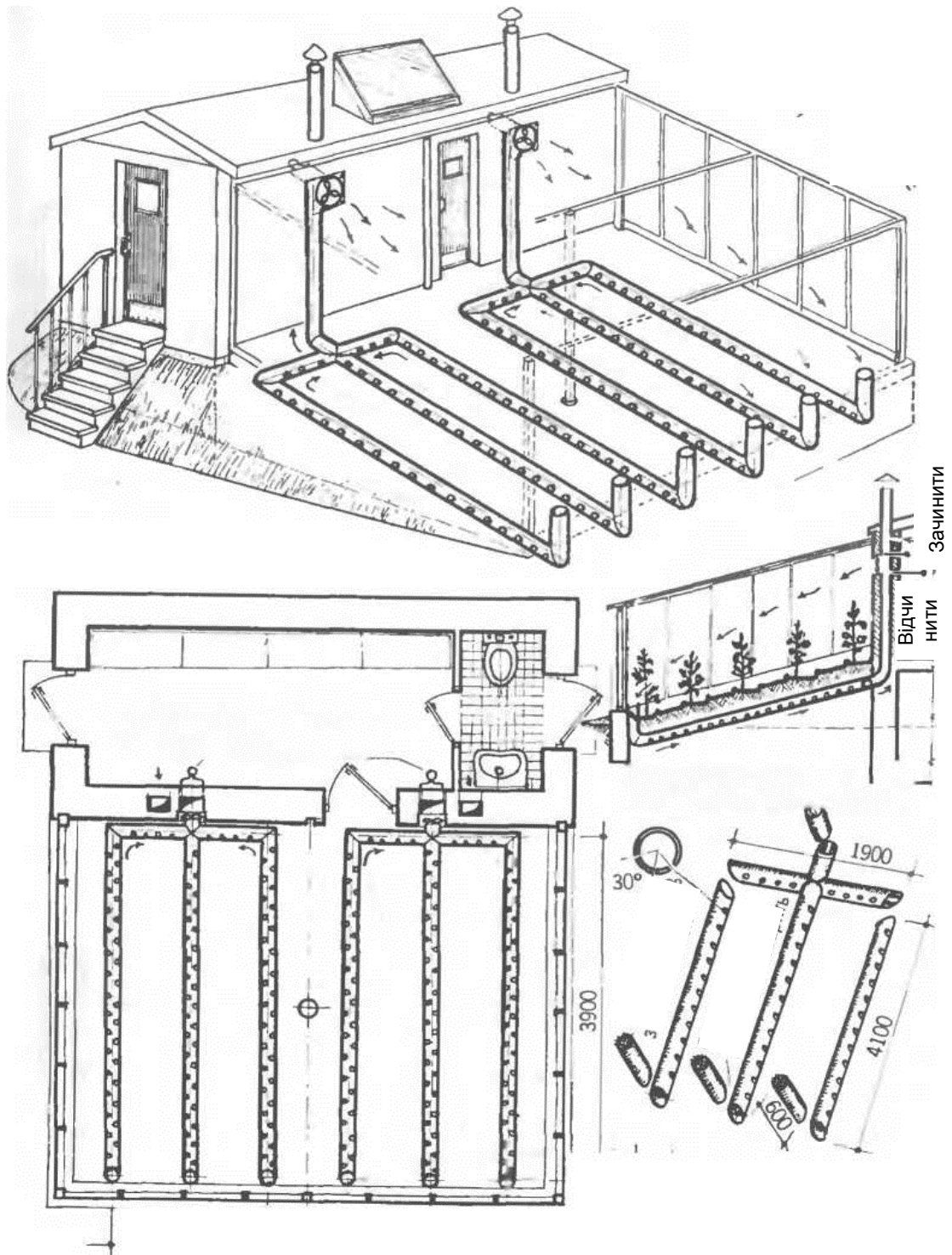


Рисунок 1.9 - Система повітряного обігріву вегетарію

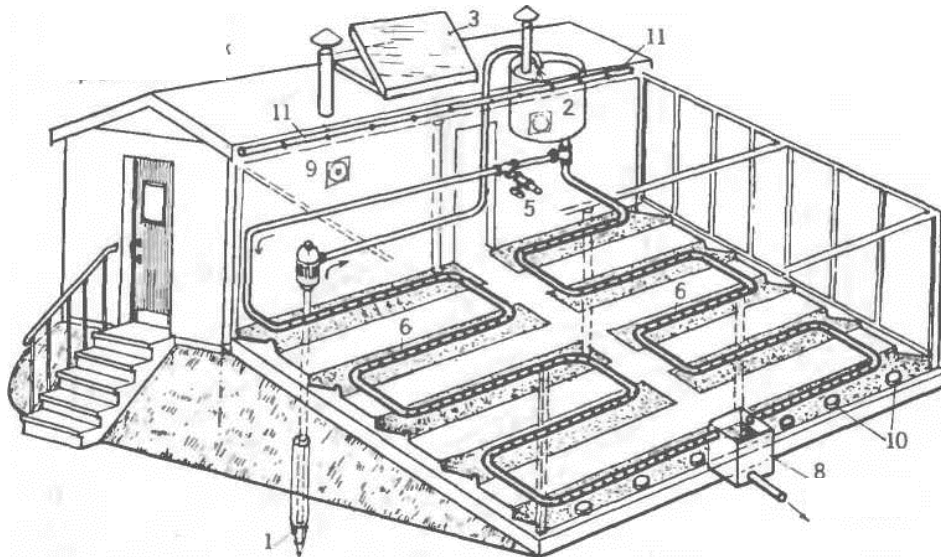


Рисунок 1.10 - Система поливу вегетарію

Оскільки поливна вода має бути теплою, бак з основною масою води слід забезпечити системою геліонагріву. В основі її - сонячний колектор. Він являє собою застклений ящик із приклеєною до задньої стінки металевою стружкою, пофарбованою в чорний колір, що нагрівається сонцем. Ящик має два патрубки. Повітря, що надходить по одному з них, нагрівається стружкою і по іншому йде в змішувик, розташований у баку з водою. Такий повітряний колектор взимку не розморожується і конструктивно простий.

Кількість води, що подається в ґрунт, залежить від діаметра труб, кількості і розміру отворів.

У добре організованому вегетарії з розвиненими рослинами, що вкоренилися, додатковий полив майже не потрібен. Але система поливу потрібна. У разі перезволоження ґрунту за допомогою простого автоматичного пристрою можна перекрити подачу води.

Воду нагрівають за допомогою ТЕНів у бочках, встановлених у нижній частині вегетарію. Вони можуть бути відкритими, щоб зволожувати повітря, або закритими плівкою. Вмикання та вимикання ТЕНів здійснюється автоматично.

Піч-калорифер (рис. 1.11) для вегетарію може замінити резервне електричне опалення і для вегетарію, який використовується цілий рік.

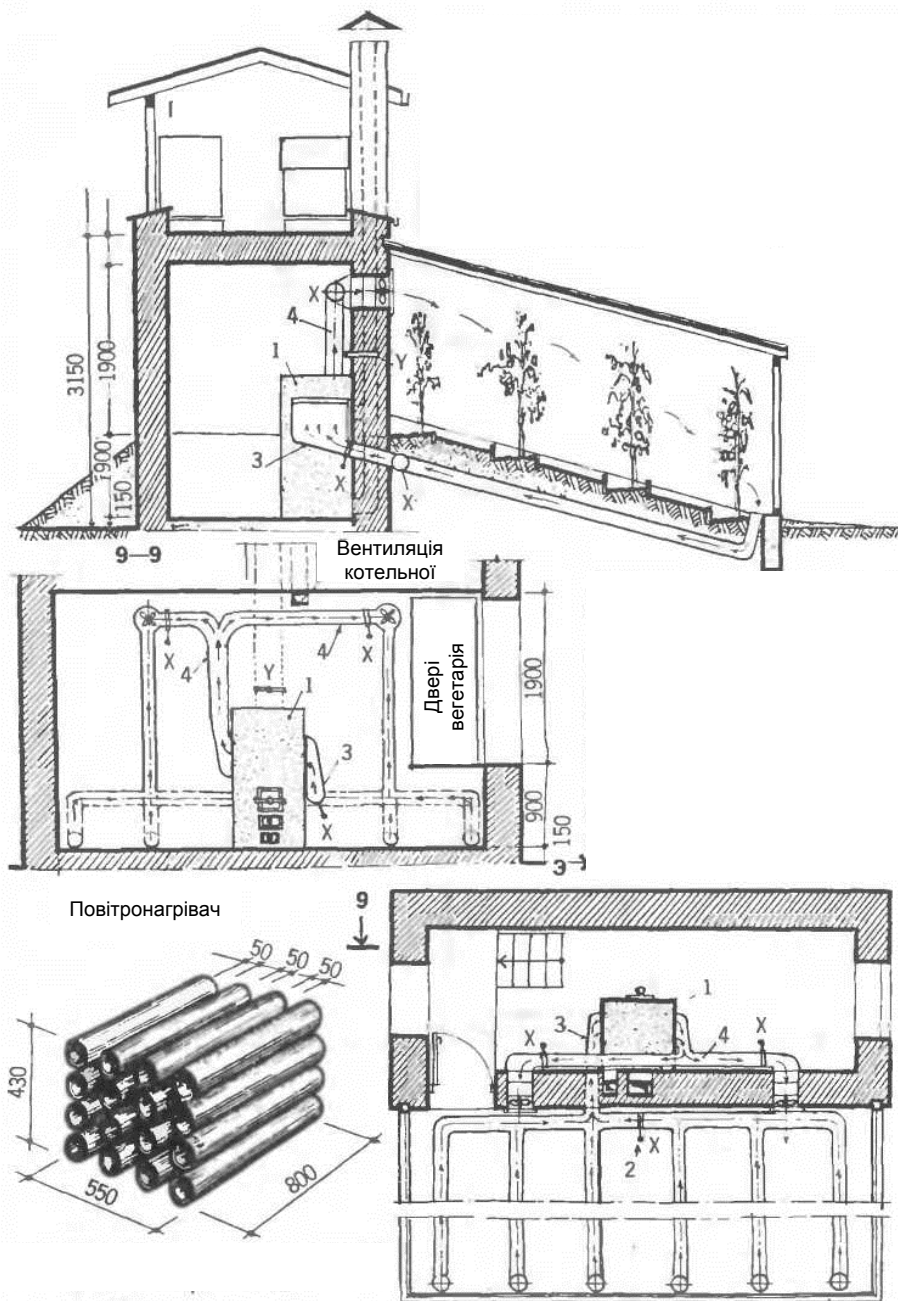


Рисунок 1.11 Розташування печі-калорифера в вегетарії

Ефективність нагріву залежить від кількості повітрянагрівачів, тобто площі зіткнення повітря, що нагрівається з гарячою поверхнею каналів, що омиваються димовими газами.

Нагріваючись, повітря по повітропроводу з іншого боку печі повертається у вегетарій - верхню його частину і, підхоплений штатною системою вентиляторів, розподіляється у всьому обсязі, входить у підземні труби, нагріває ґрунт і знову надходить для нагрівання в калорифер.

Якщо для акумулювання тепла необхідно організувати примусову вентиляцію труб, для подачі теплого (гарячого) повітря з печі-калорифера може використовуватися і природна тяга. Для цього повітропровід виходу гарячого повітря повинен знаходитися вище входу холодного повітря; всі повітроводи повинні бути короткими, з мінімальною кількістю поворотів. Застосування додаткового вентилятора, що нагнітає холодне повітря у піч, суттєво збільшує тепловіддачу печі.

Слід наголосити, що піч відіграє роль лише резервного обігріву вегетарію в негодні зимові дні.

У зимових сонячних вегетаріях доцільні такі цикли вирощування овочів: листопад-лютий, березень-липень, серпень-жовтень, у весняно-осінніх вегетаріях - два цикли: березень-липень, серпень-листопад.

Слід зауважити, що для вирощування хризантем, троянд, тюльпанів, півоній та ін. квітів вегетарій має особливі можливості.

1.8 Загальні економічні переваги вегетарію

Було проведено експеримент у порівнянні з ефективністю двосхилої теплиці та сонячного вегетарію приблизно рівних площ. Обидві теплиці мали безперспективне, але однакове покриття — поліетиленову плівку.

Результати порівняльної оцінки наведено у табл. 1.3 і красномовно підтверджують переваги вегетарію.

В с. Пороскотень Бородянського району Київської області проведено порівняльний експеримент щодо термінів вегетації помідорів у двосхилий теплиці та у вегетарії без системи акумулювання тепла у ґрунті. Крім того, у вегетарії проводився висів насіння томатів, а не розсади. Результати різючі (табл. 1.4, 1.5) і викликають подив у професіоналів.

Таблиця 1.3 – Порівняльна ефективність вегетарія та звичайної теплиці

Показник	Звичайна теплиця	Сонячний вегетарій	Переваги вегетарія
Виробнича площа, м ²	700	663	Менша в 1,06 рази
Витрати поліетиленової плівки м ² , на 1 м ² площі	3	1,22	Менша в 2,45 рази
Вартість спорудження, у.о.	3076	1461	Менша в 2,1 рази
Тривалість сонячної вегетації (дозрівання), днів	135	92	Менша на 43 дні
Затрати праці, люд/хв, на 1 кг продукції	22	10	Нижче в 2,2 рази
Загальна вартість продукції, у.о.	1771	4850	Вища в 2,7 рази
Вартість продукції з 1 м ² , у.о.	2,52	7,77	Вища в 3,1 рази
Собівартість 1 кг продукції, у.о.	0.38	0.12	Нижче в 3,2 рази

Таблиця 1.4 – Терміни початку плодоношення томатів в вегетарії

Дата	Висота рослин в мм	На одну рослину, шт	
		Суцвіть	Плодів
21.04	Посів	-	-
30.04	10	-	-
07.05	25	-	-
17.05	100	-	-
07.06	400	10	-
10.06	490	15	-
14.06	600	41	-
21.06	750	53	6
28.06	920	62	19
05.07	1100	67	36
12.07	1250	65	42
19.07	1400	36	46

Таблиця 1.5 – Терміни розвитку томатів в різних типах споруд закритого типу

Поява суцвіть			Поява плодів			Повне визрівання		
теплиця	вегетарій	різниця	теплиця	вегетарій	різниця	теплиця	вегетарій	різниця
78	47	31	97	61	36	135	89	46

Отже, треба констатувати, що вегетарій - не теплиця. Це принципово нова геліотехнологія. Обладнана простою та мікро- потужною автоматикою, вона може розкрити потенційні можливості рослин.

У цілому нині економічну ефективність вегетарію оцінити непросто: методик оцінок немає. Ось окремі порівняльні цифри:

- собівартість продукції в 3-4 рази нижче;
- при зовнішній температурі до -8-10 ° С не потрібно додаткового тепла, крім сонячного;
- трудовитрати у сім разів менші;
- амортизаційні витрати на експлуатацію системи підтримки мікроклімату в 60-90 разів менше.

2 СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВЕГЕТАРІЮ

2.1 Огляд літературних джерел

Існує дуже багато публікацій, що стосуються автоматизації управління мікрокліматом теплиць. Відмінність їх, звичайно, полягає в складності проектів, кількості параметрів теплиці, що підлягають контролю та керуванню, методах та засобах керування даними параметрами, використанні засобів автоматизації та виконавчих механізмів, вартості.

Так, в роботі [3] наведено проект міні теплиці, в якій контролюються температура за допомогою лампи, серводвигуна для відчинення вікна і вентилятора. Також контролюються температура зовнішнього середовища, вологість ґрунту та освітлення.

Проект системи управління побудований на контролері Arduino uno, що підключається до плати Raspberry 3. Дані зберігаються в базі MySQL.

Вартість такої системи автори оцінюють в 120 доларів США.

В статті [4] розглянуто переваги автоматизованих тепличних систем та подані рекомендації для успішного вирощування рослин в цих автоматизованих системах.

В статті [5] описана розробка веб-додатку для зручного моніторингу та керування теплицями. Процедура моніторингу та збирання даних відбувається за допомогою інструментарію і можливості підключення до Інтернету речей.

Опис базової системи, яка побудована на концепції взаємопов'язаної інтелектуальної системи автоматизації теплиць, збудована на мікроконтролері NodeMCU ESP8266, представлений в [6]. Тут також представлений вибір елементної бази для даної системи.

Вирощування рослин в теплицях з мінімальними затратами енергії неможливе без інтеграції систем контролю парламентів теплиць з автоматизацією Інтернету речей, щоб передавати інформацію від багатьох датчиків в реальному

масштабі часу в алгоритми штучного інтелекту і моделі вирощування рослин з використанням хмарних потокових систем. [7]

Переваги застосування Інтернету речей (інтелектуальної автоматизації) для використання в системах автоматизації теплиць наведені в [8].

В [9] наведені результати досліджень зі створення прототипу автоматичної системи поливу на основі хронометра і датчиків на базі промислового контролера.

Системний огляд інтелектуальної системи моніторингу теплиць, обслуговування підсистем передавання даних та серверної обробки завдяки обчисленням, передачі і подальшого врахування параметрів середовища в теплиці, а також огляд загальної конструкції системи моніторингу теплиць описані в [10].

Використання автоматизованих контролерів SunSense в автоматизації теплиць та інших сільськогосподарських об'єктах розглянуто в статті [11].

Проект автоматизації теплиць на базі платформи з відкритим вихідним кодом 2Smart Standalone описаний в [12].

У статті [13] представлено методику створення автоматизованої системи керування температурою та вологістю теплиці на основі нейромережевого підходу. Виконано оцінку можливості та обґрунтовано особливості використання математичного апарату нейронних мереж для створення інтелектуальної системи керування температурою та вологістю у теплиці.

Вибір елементів для системи здійснюємо, використавши функціональну схему автоматизації (СУ.мдн-21п.151.10 С2) та розбивши систему на декілька контурів.

2.2 Контур регулювання температури повітря у вегетарії

В даному контурі використовуються датчики та виконавчі пристрої, що забезпечують підтримання оптимальних параметрів мікроклімату вегетарія.

Підбір датчиків виконуємо, враховуючи діапазон вимірювання та роботу в залежності від середовища розміщення.

2.2.1 Датчик температури

В якості температурного датчика обраний цифровий температурний датчик DS18B20. На функціональній схемі автоматизації ці датчики представлені елементами 1а, 5а і 6, цифрові входи яких підключені до контролера. Елемент 1а знаходиться в робочому середовищі вегетарія, 5а вимірює температуру ґрунту, 6 – датчик температури зовнішнього середовища.

Датчик дозволяє визначити температуру в діапазоні від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ і отримувати дані в вигляді цифрового сигналу з 12-бітовим дозволом по 1-Wire протоколу. Цей протокол дозволить підключити велику кількість таких датчиків, використовуючи всього 1 цифровий порт контролера, і всього 2 дроти для всіх датчиків: землі і сигналу. У цьому випадку застосовується так зване «паразитне живлення», при якому датчик отримує енергію прямо з лінії сигналу. Кожен датчик має унікальний прошитий на виробництві 64-бітний код, який може використовуватись мікроконтролером для «спілкування» з конкретним датчиком на загальній шині.

В постійній пам'яті DS18B20 можна зберегти граничні значення температури, при виході з яких датчик буде переходити в режим тривоги.

Отже, датчик дуже простий у використанні. По-перше, він цифровий, а по-друге - у нього всього лише один контакт, з якого ми отримуємо корисний сигнал. Тобто, існує можливість підключення до одного мікроконтролера одночасно великої кількості цих сенсорів. Вбудований АЦП дозволяє уникнути проблем з точністю, якщо датчик знаходиться на далекій відстані.

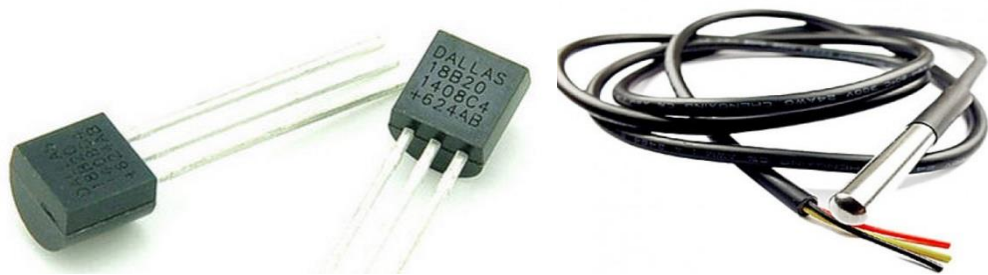


Рисунок 2.1 - Давач температури DS18B20

Технічні характеристики представлені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики давача

Інтерфейс	one-wire
Робоча напруга	3-5 В
Робочий струм	1 мА
Діапазон температур	>-55 °С до +125 °С
Робоча температура	Від 0°С до +60°С
Точність вимірювань	0.5 °С
Крок показань	0.0625 °С

Давач температури DS18B20 підключається в наступній послідовності:

1. Контакт GND з DS18B20 підключається до GND на мікроконтролері.
2. Контакт Vdd з DS18B20 підключається до + 5V на мікроконтролері.
3. Контакт Data з DS18B20 підключається до будь-якого цифрового контакту на мікроконтролері.

Обов'язково необхідно додати до зовнішньої додаткової обв'язки підтягуючий резистор на 4.7 КОм.

Інтерфейс 1-Wire дозволить підключити декілька цифрових датчиків температури DS18B20 до мікроконтролера паралельно використовуючи тільки три контакти. У кожного з датчиків є індивідуальний серійний номер, який можна використовувати для розпізнавання того чи іншого сенсора.

2.2.2 Однофазне твердотільне реле SSR-40 DA

Однофазне твердотільне реле SSR-40 DA 24-380В (рисунок 2.2) застосується для безконтактної комутації пристроїв, робоча напруга яких 24 – 380 В змінного струму. Для застосування реле потрібно включити його в коло із робочою напругою 24 – 380 В змінного струму, який потрібно комутувати, клемми «1» та «2» (полярність не має значення). Потім до клем «3+» і «4-» необхідно підключити керуючий сигнал постійного струму з напругою 3 – 32 В на ввімкнення/вимкнення реле (сюди подаються керуючі сигнали модуля IoT, опис якого наведений нижче. Якщо на реле подається керуючий сигнал, то повинен горіти червоний світлодіод, який знаходиться на корпусі реле.



Рисунок 2.2 – Однофазне твердотільне реле SSR-40 DA

Живлення реле здійснюється від сигналу постійного струму, що управляє. Напруга живлення 3 – 32 В постійного струму.

Твердотільні реле типу SSR призначені для комутації навантаження з активною (резистивною) складовою та слабо-ємнісного навантаження, наприклад, лампи розжарювання. Для комутації навантаження з реактивною складовою потрібно дотримуватися умов: слід видалити снаберний ланцюжок в колі реле, максимальний струм, що комутується, повинен становити 20 – 40% від номінального; обов'язково використання радіатора та вентилятора обдування. Якщо при використанні реле, для комутації навантаження з реактивною складовою, його температура занадто висока – потрібно зменшити максимальний струм, що комутується.

Таблиця 2.2 - Технічні характеристики SSR-40 DA

Виробник	FOTEK
Модель	SSR-40 DA
Тип	DC – AC
Метод керування	Комутація при переході струму через нуль
Номінальна керуюча напруга	3 – 32 В постійного струму
Напруга вмикання/вимикання	більше 2,4 В / менше 1 В
Струм спрацьовування	7,5 мА/12 В
Номінальна напруга навантаження	24 – 380 В змінного струму
Номінальний струм навантаження	40 А
Максимальний короткочасний струм	410 А
Падіння напруги	1,6 В / 25 °С
Струм витоку	3 мА
Час відгуку на вхідний сигнал	менше 10 мс
Діелектрична міцність	більше 2,5 кВ АС/1 хв
Опір ізоляції	більше 50 МОм/500В DC
Діапазон робочих температур	-20 - 80 °С
Фізичні розміри (Д х Ш х В)	60 х 45 х 24 мм
Вага	110 г

2.2.3 Котел електричний TENKO ЕКОНОМ 6 кВт 220V (KE 6-220)

В якості джерела тепла для вегетарія був обраний електричний котел TENKO ЕКОНОМ 6 кВт (на функціональній схемі елемент 1б). Котел представлений на рисунку 2.3. Технічні характеристики котла представлені в таблиці 2.3.



Рисунок 2.3 – Котел електричний TENKO ЕКОНОМ 6 кВт

Таблиця 2.3 - Технічні характеристики TENKO ЕКОНОМ

Напруга живлення, В однофазної / трифазної мережі	220±10%, 50Гц 380±10%, 50Гц
Номінальна споживана потужність, кВт	6
Тип нагрівача	ТЕН
ККД, %	98
Максимальний тиск у системі, Бар	3
Регулювання опалювального контуру, °С	Плавне, 0 ° С - 90 ° С (аналогове)
Місткість нагрівального бака (не менше), дм ³	≤0.6
Клас захисту	IP20
Габаритні розміри (не менше), мм	581x189x97
Маса, кг	не більше 9
Опалювальна площа, м ²	28-65

Принцип роботи котла полягає у нагріванні за допомогою ТЕНу, який розташований у резервуарі, теплоносія (води), що надходить у резервуар через нижній патрубок. Теплоносій нагрівається і виходить із резервуару через верхній

патрубок у систему опалення, циркулюючи в замкнутій системі, проходячи щоразу через резервуар із ТЕНОм.

2.2.4 Осьовий вентилятор каналний Турбовент WB-V 100

В якості циркуляційного вентилятора для вегетарія був обраний вентилятор каналний (рисунок 2.4) Турбовент WB-V 100 (на функціональній схемі елемент 5б). За рахунок циркуляції тепле повітря, що забирається з верхніх шарів робочого середовища, подається в труби вентиляційні, що знаходяться під ґрунтом. Тим самим ґрунт нагрівається. Коли необхідно охолодження - відчиняється фрамуга (виконавчий елемент представлений на функціональній схемі позицією 8) і холодне повітря спрямовується до ґрунту, охолоджуючи його. Технічні характеристики вентилятораа представлені в таблиці 2.4.



Рисунок 2.4 – Вентилятор каналний Турбовент WB-V 100

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики Турбовент WB-V 100

Продуктивність, м ³ /год	170
Напруга живлення, В	220
Потужність, Вт	18
Оберти, об\хв	2600
Тиск, Па	60
Рівень шуму, дБ	40

Надлишок тепла і вологи відводиться примусово за допомогою витяжного

вентилятора, що представлений на функціональній схемі позицією 7.

2.3 Контур регулювання вологості повітря в вегетарії

Для створення заданої відносної вологості повітря в вегетарії застосовуються давачі вологості та система зволоження. Підбір давача вологості здійснюємо, враховуючи діапазон та похибку вимірювання для максимальної точності опрацьованого сигналу. Зволожувач підбираємо в залежності від площі вегетарія.

2.3.1 Давач вологості SHT20

Давач вологості і температури SHT20 (на функціональній схемі представлений елементом 2а) - це два давача на одній платі, результати вимірювання яких передаються на цифровий блок з аналого-цифровим перетворювачем (для датчика відносної вологості) і на виході з датчика виходить цифровий сигнал (контакт DATA).

Цей модуль зібраний на основі цифрового датчика температури та вологості SHT20. Серія SHT2x складається з недорогої версії з датчиком вологості SHT20, стандартної версії з датчиком вологості SHT21 та високопродуктивної версії з датчиком вологості SHT25.

Основною перевагою модуля є його габарити та точні показання параметрів. Він призначений для використання в проектах, де потрібно контролювати та підтримувати задані параметри температури чи вологості.

Серія давачів вологості SHT2x містить давач вологості ємнісного типу, температурний датвач із забороненою зоною та спеціалізовані аналогові та цифрові інтегральні схеми – все на одному чіпі CMOSens. Це забезпечує чудову продуктивність датчика з точки зору точності та стабільності, а також мінімальне енергоспоживання.

Роздільну здатність датчика вологості SHT20 можна змінити за командою (8/12 біт до 12/14 біт для RH / T), а використання контрольної суми при передачі допомагає підвищити надійність зв'язку.

Для роботи модуля необхідно подати живлення 3,3V до VCC та підключити мінус на GND. Виходи SCL та SDA підключити до портів мікроконтролера.



Рисунок 2.5 - Давач вологості SHT20

Технічні характеристики представлені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики давача SHT20

Напруга живлення	2.1 - 3.3 DC
Струм споживання, мкА	330
Діапазон вимірювання температур	-40 ~ 120 ° C
Діапазон вимірювання вологості	0-100%
Точність вимірювання температур	±0.3 ° C
Точність вимірювання вологості	±3% RH
Час вимірювання, мс	3 - 85
Час відгуку,с	5- 8

2.3.2 Зволожувач повітря TURBO ТВ-50

Зволожувач повітря TURBO ТВ-50 призначений для підтримки комфортного рівня вологості повітря в вегетарії. Підтримка високої вологості в робочій зоні вегетарія прискорює укорінення і зростання рослин, знижує температуру в літній спекотний період. Туман, що виробляється зволожувачем, захищає рослини від прямих сонячних променів.

В даному ультразвуковому зволожувачі повітря використовується висока частота вібрацій, яка потрібна для створення туману. Туман видувається в робочу зону за допомогою вентилятора. Даний прилад є високопродуктивним, при цьому має низьке споживання потужності. Крім того, прилад має систему стерилізації озonom, під дією якого відбувається знищення грибкових та пліснявих спор. Така стерилізація є цілком безпечною для обслуговуючого персоналу.

Також в приладі передбачене регулювання інтенсивності та автоматичне відключення при низькому рівні води. Ще однією перевагою даного зволожувача є наявність системи пом'якшення води. Основні технічні характеристики представлені в таблиці 2.6.



Рисунок 2.6 – Зволожувач повітря TURBO TB-50

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики

Напруга живлення	220 В/50 Гц
Тип	ультразвуковий
Потужність	38 Вт
Ємність резервуара для води	2.3 л
Площа обслуговування	до 32 м ²
Продуктивність	320 мл/год

2.4 Контур контролю освітленості в вегетарії

В даному контурі використовуються датчики та виконавчі пристрої, що забезпечують підтримання оптимального рівня освітленості в вегетарії. Підбір датчиків виконуємо, враховуючи точність вимірювання та принципу роботи.

2.4.1 Датчик освітленості

Датчик освітленості KY-018 (на схемі автоматизації елемент 3а) дозволяє електричному приладу визначити рівень яскравості світла в контрольованій точці. Модуль дає можливість закріпити фоторезистор в конструкції приладу. Найважчий з'єднувач дозволяє швидко змінювати датчик при необхідності.

Застосовується в автоматизації управління освітленням - фотореле. Можливе застосування в відповідальному освітленні для контролю роботи світильників. Модуль фоторезистора застосовується в світлочутливих роботах.

Принцип роботи датчика KY-018 полягає в тому, що чим яскравіше освітлений фоторезистор, тим нижче його опір. Опір фоторезистора при зміні освітленості змінюється в широких межах від одиниць кілоом і до сотень кіло або мегаомів. Контакти та схема модуля KY-018 дозволяють використовувати тільки фоторезистор або фоторезистор в складі дільника напруги. Для цього на платі встановлений резистор 10 кОм.

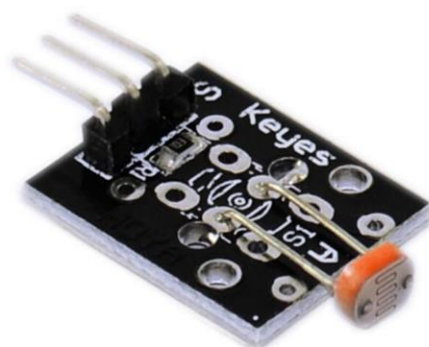


Рисунок 2.7 - Датчик освітлення

Живлення модуля подають на контакт +5 В. Зі збільшенням освітленості на виході модуля фоторезистора напруга буде падати, при яскравому світлі напруга виходу буде близько половини напруги живлення. Величина напруги на виході залежить від типу фоторезистора. У темряві напруга виходу буде близько до напруги контакту +5 В.

Технічні характеристики представлені в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики давача

Робоча напруга	3-5 В
Мережевий опір	500 кОм
Опір при 10 люкс	24 ± 12 кОм
Габаритні розміри (мм)	15x19

Давач підключається до мікроконтролера в наступній послідовності:

1. Контакт GND з KY-018 підключається до GND на мікроконтролері.
2. Контакт Vdd з KY-018 підключається до +5V на мікроконтролері.
3. Контакт Signal з KY-018 підключається до будь-якого аналогового контакту на мікроконтролері.

2.5 Контур контролю вологості ґрунту

В даному контурі використовуються давачі та виконавчі пристрої, що забезпечують підтримання оптимального рівня зволоженості ґрунту в вегетарії. Підбір давача виконуємо, враховуючи точність вимірювання та принципу роботи.

2.5.1 Давач вологості ґрунту FC-28

Даний давач (рисунок 2.8) являє собою гігрометричний перетворювач ґрунту, що вимірює кількість вологи, що наявна в ґрунті.

В даному давачі використовуються два електроди, що забезпечують пропускання струму через ґрунт. Зчитуючи опір, визначається рівень зволоженості ґрунту. Чим більша зволоженість, тим менший опір ґрунту.

Давач володіє розширеними функціями захисту, до яких слід віднести захист від електростатичного розряду та від пониженої напруги.

Зонди давача покриті імерсійним золотим покриттям, що забезпечує їх захист від окислення.

Давач сумісний з широкою лінійкою мікроконтролерів та забезпечує розширені можливості інтерфейса на широкому спектрі платформ.

FC-28 має в наявності потенціометр для регулювання порогу цифрового виходу, індикатори світлодіодні живлення та цифрового виходу, аналогові та цифрові виходи.

Конструкція на базі компаратора LM 393.

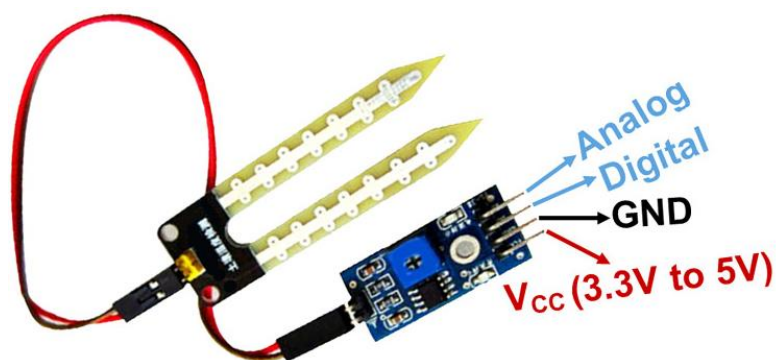


Рисунок 2.8 - Давач вологості ґрунту FC-28

Розпінування давача FC-28 приведенне на рисунку 2.8 та у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 - Розпінування давача FC-28

Назва контакта	Номер контакта	Опис
VCC	1	Живлення модуля, 5В
GND	2	Заземлення джерела живлення
DO	3	Цифровий вихід
AO	4	Аналоговий вихід

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики давача FC-28

Робоча напруга постійного струму	3,3 - 5 В
Робочий струм	15мА
Цифровий вихід	0 – 5 В
Аналоговий вихід	0 – 1023
Габаритні розміри давача (мм)	64 x 20
Габаритні розміри модуля (мм)	36 x 16

2.5.2 Вихровий насос Optima QB60

В якості насоса для системи поливу (елемент 4б на функціональній схемі) обраний насос Optima QB60 потужністю 0,37кВт (рисунок 2.9), що застосовується там, де необхідно отримати високий тиск з невеликою продуктивністю для перекачування чистої води без абразивних частин і хімічно неагресивних рідин.

Завдяки надійності, простоті в експлуатації та економічності насос знайшов своє застосування, для автоматичної подачі води, в комплексі з невеликими резервуарами та автоматичними агрегатами підтримки тиску, поливу городів, садів, для компенсації недостатнього тиску у водопровідній мережі.



Рисунок 2.9 - Вихровий насос Optima QB60

Робоче колесо вихрового насоса аналогічне колесу відцентрового насоса, всмоктує рідину з внутрішньої частини каналу та нагнітає її у зовнішню, внаслідок чого виникає поздовжній вихор. При проходженні рідини через робоче

колесо у вихровому насосі, як і в відцентровому, збільшується кінетична енергія рідини (збільшується її швидкість) та потенційна енергія тиску. Рідина надходить через всмоктуючий отвір канал, переміщається по ньому робочим колесом і викидається через вихідний отвір.

Характеристики насоса наведені в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики насоса Optima QB60

Ступінь захисту двигуна	IP44
Клас ізоляції	F
Напруга мережі	220-240В, 50Hz
Кількість обертів	2850 об/хв
Потужність	0,37 кВт
Максимальна глибина підйому води	6 м
Продуктивність	2,3 м ³ /год
Макс.температура рідини	+40С
Тиск	до 40 метрів

2.6 Керуючий пристрій на базі ESP8266

Головною особливістю керуючого пристрою є те, що він побудований на основі мікроконтролера китайського виробника Espressif Systems ESP8266 з вбудованим інтерфейсом Wi-Fi рисунок 2.10. Важливі технічні характеристики мікроконтролера ESP8266 наведені в таблиці 2.11.

Цей керуючий пристрій (IoT-пристрій) є власною розробкою кафедри комп'ютеризованих систем управління Сумського державного університету.

Таблиця 2.11

1	Напруга живлення	3,3 В
2	Енергоспоживання	10 мкА...170 мА
3	Флеш-пам'ять	до 16 мб максимум
4	Процесор	Tensilica L106, 32 біта
5	Швидкість процесора	80...160 МГц
6	ОЗП	32 кб + 80 кб
7	Порти введення-виведення загального призначення	17 (мультиплексуються з іншими функціями)
8	АЦП	1 ввід с розширенням 1024
9	Підтримка 802.11	b/g/n/d/e/i/k/r
10	Максимальна кількість підключень TCP	5

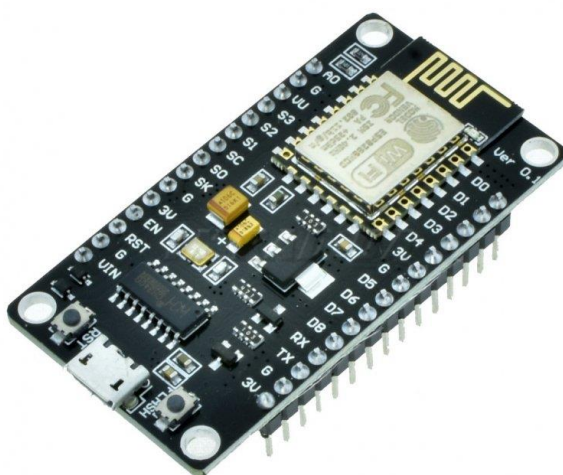


Рисунок 2.10 - Мікроконтролер ESP8266

Модуль здатний передавати фактичні значення локальних вимірювань температури та керувати станом симісторного реле змінного струму або електромеханічного реле (тобто реалізувати керування в дискретному режимі «ON/OFF») за протоколом ModBus TCP, оновлювати власну прошивку по типу OTA («Over The Air»). При роботі за протоколом ModBus TCP пристрій працює

як SLAVE. Типи змінних, номери портів у відношенні до протоколів та інша інформація для створення комунікацій у мережі наведена у таблиці нижче.

Таблиця 2.12

Протокол	Порт	Назва змінної	Тип змінної, адреса	Тип підпорядкування, ID
ModBus TCP	502	Температура	INPUT REGISTER, 0	Slave, 1
ModBus TCP	502	«ON/OFF»	COIL, 0	Slave, 1
TCP/IP	80	Update file	Binary	Client
mDNS	80	Request	Request, <Chip_ID>- esp8266.local/	Client

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ОПАЛЕННЯМ ВЕГЕТАРІЮ

3.1 Формалізований опис об'єкта керування

Об'єктом керування обираємо приміщення сонячного вегетарію та розглядати його за принципом «чорного ящика» (рисунок 3.1). При цьому вхідними параметрами можна вважати:

- Витрата електричної енергії для нагріву приміщення;
- Втрати електричної енергії наведені до розмірності температури, яка витрачатиметься на нагрів суміжних стін та ін.

Вихідними параметрами будуть:

- Кількість витраченої електричної енергії;
- Фактичне значення температури у приміщенні.

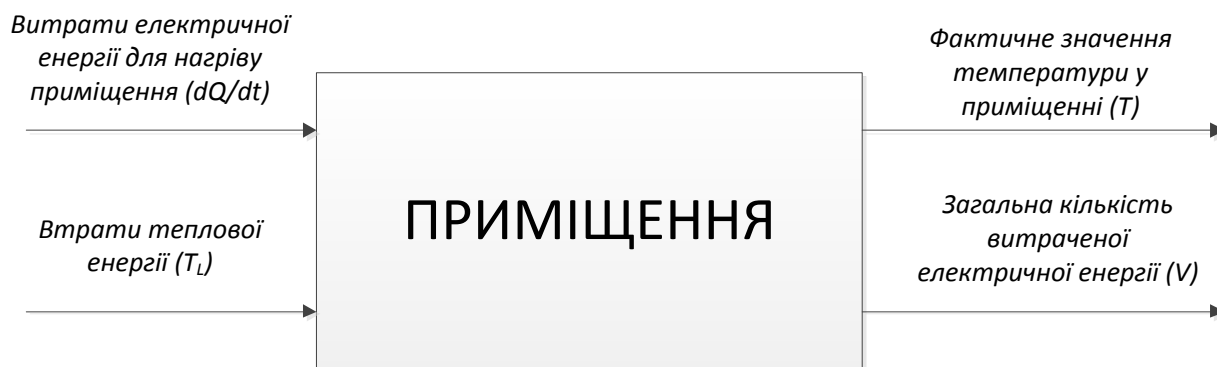


Рисунок 3.1 Графічне представлення вегетарія, як об'єкта керування

Для математичного опису цієї підсистеми зробимо ряд припущень, які забезпечать реалізацію відповідних причинно-наслідкових зв'язків, а саме:

- 1) Загальна кількість витраченої електричної енергії для розігріву приміщення (V) до заданого значення температури (T_{sp}) у пропорційній залежності з поточним значенням витрат електричної енергії (dQ/dt).

2) Процес нагріву приміщення до заданого значення температури (T_{sp}) є інерційний, тобто може бути описаний передатною функцією аперіодичної ланки першого порядку з постійною часу (T_R) та коефіцієнтом перетворення k_R .

3.2 Структурна схема системи керування опаленням вегетарію

Враховуючи все сказане вище щодо формалізованого опису процесу нагріву приміщення можна структурно представити систему керування у вигляді відповідної структурної схеми (рисунк 3.2).

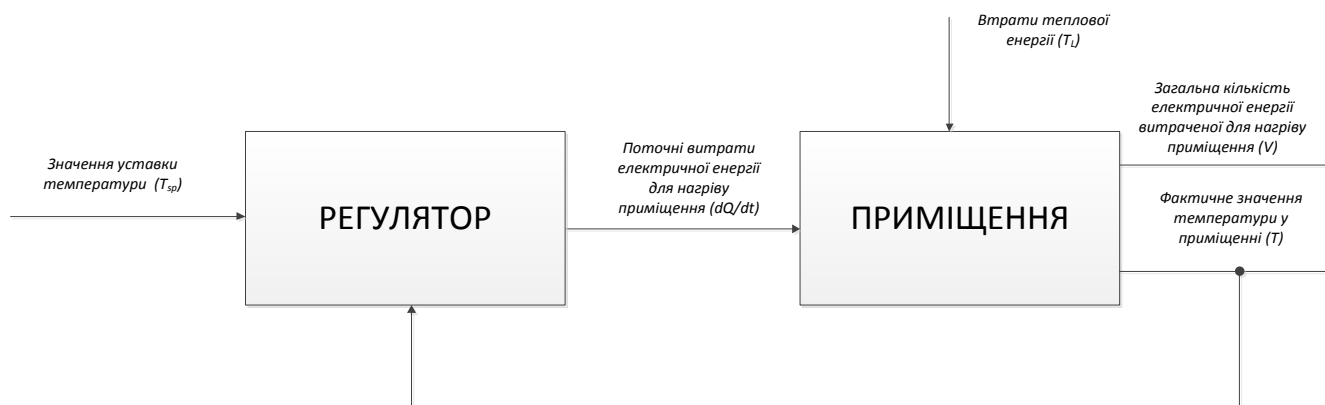


Рисунок 3.2 - Структурна схема контуру регулювання температури в вегетарії

Головною особливістю практичної реалізації даної системи керування є те що, у якості нагрівача використовується ТЕН котла, в якому зовнішнє автоматичне керування можна реалізувати релейним методом без фазового регулювання. Тобто із замиканням зовнішнього твердотільного реле ТЕН переходить в робочий стан та починає розігрів приміщення, інакше ТЕН є вимкненим.

Реалізація автоматичного керування буде здійснена завдяки використанню самостійно розробленого IoT-пристрою. Цей пристрій має вбудовані функції для його інтеграції в локальну мережу приміщення, виміру температури за місцем та

релейного включення/виключення доданого до нього ТЕНу. Передавання обмін даними з зовнішнім сервером або сервісом забезпечуватиметься за промисловим протоколом ModBus TCP .

Це рішення можна забезпечити, якщо ще на етапі моделювання відповідного контуру регулювання отримати адаптаційну характеристику, яка може бути використана у якості soft-реалізації одного з фундаментальних законів керування. В нашому випадку у якості опорного алгоритму керування буде використаний пропорційно-інтегрально-диференціальний тому що він є найбільш універсальний.

Окрім цього сучасні інформаційні методи та технології дозволяють використовувати зовнішні сервіси з метою отримання додаткової інформації для потреб керування. У нашому випадку така інформація буде використовуватись для корегування типових алгоритмів керування з метою нівелювання процесів формування великих температурних прирощувань, що є слідством швидких поточних змін розходу електричної енергії. Таке нівелювання буде здійснюватись за рахунок врахування прогнозів температури повітря в регіоні (предикція) та шляхом корегування основного керуючого сигналу відповідною підсистемою.

Враховуючи сказане вище можна зробити висновок, що більш зручним є структурне представлення системи керування у вигляді наведеному на рисунку 3.3.

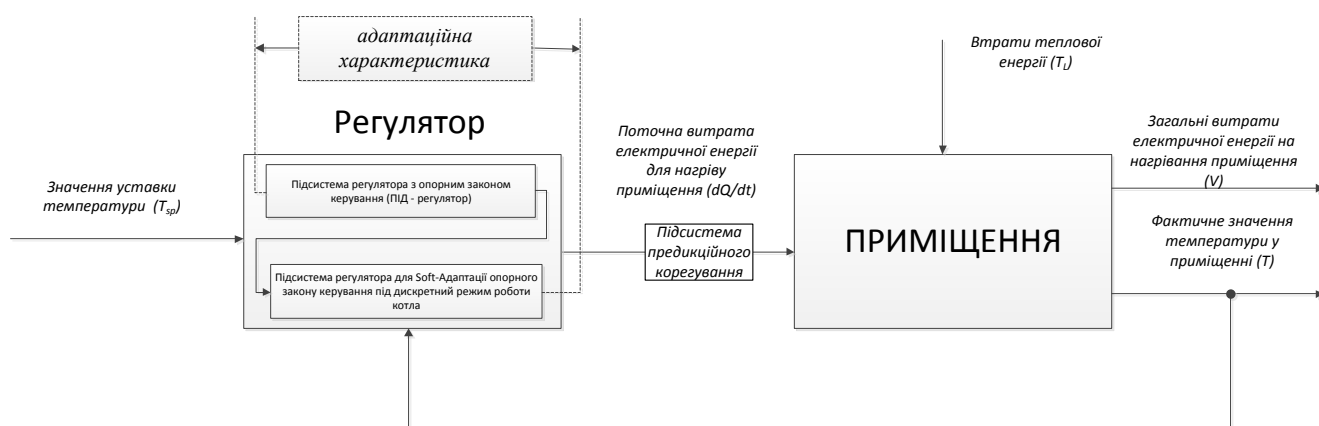


Рисунок 3.3 - Структурна схема контуру регулювання температури в вегетації з адаптаційною характеристикою та підсистемою предикційного коригування

Розподіл керуючих функцій цієї системи планується при реалізації зробити наступним чином:

- Soft-адаптація та моніторинг параметрів на сервері, який буде розташований в спільній локальній мережі (організація за допомогою середовища Node-Red - середовище програмування для об'єднання апаратних пристроїв, API та онлайн-сервісів від компанії IBM);
- Безпосереднє вимірювання параметрів – IoT-модуль який буде розташований в спільній локальній мережі (власна розробка на основі мікроконтролера ESP8266).

3.3 Циклограма роботи електричного нагрівача в дискретному режимі

Для дозованого введення тепла в приміщення нагрівачем, який, як описувалось раніше, буде працювати лише в дискретному режимі (увімкнено/вимкнено) планується до реалізації наступний механізм:

- обирається часовий проміжок роботи електричного нагрівача, на краях якого зміна робочого стану не є станом частого переключення (наприклад, 10 хв.);
- дозування тепла для передачі від нагрівача до приміщення відбувається шляхом одноразової зміни стану на протязі вище описаного проміжку часу;
- процентне відношення часу роботи нагрівача в режимі нагріву до значення безпечного проміжку часу і є дискретним еквівалентом аналогового керуючого сигналу.



Рисунок 3.4 Циклограма роботи електричного нагрівача в дискретному режимі

3.4 Моделювання процесу керування опаленням вегетарію

Для моделювання процесу керування опаленням приміщення та аналізу ключових параметрів в середовищі MatLAB біла реалізована схема наведена на рисунку 3.5.

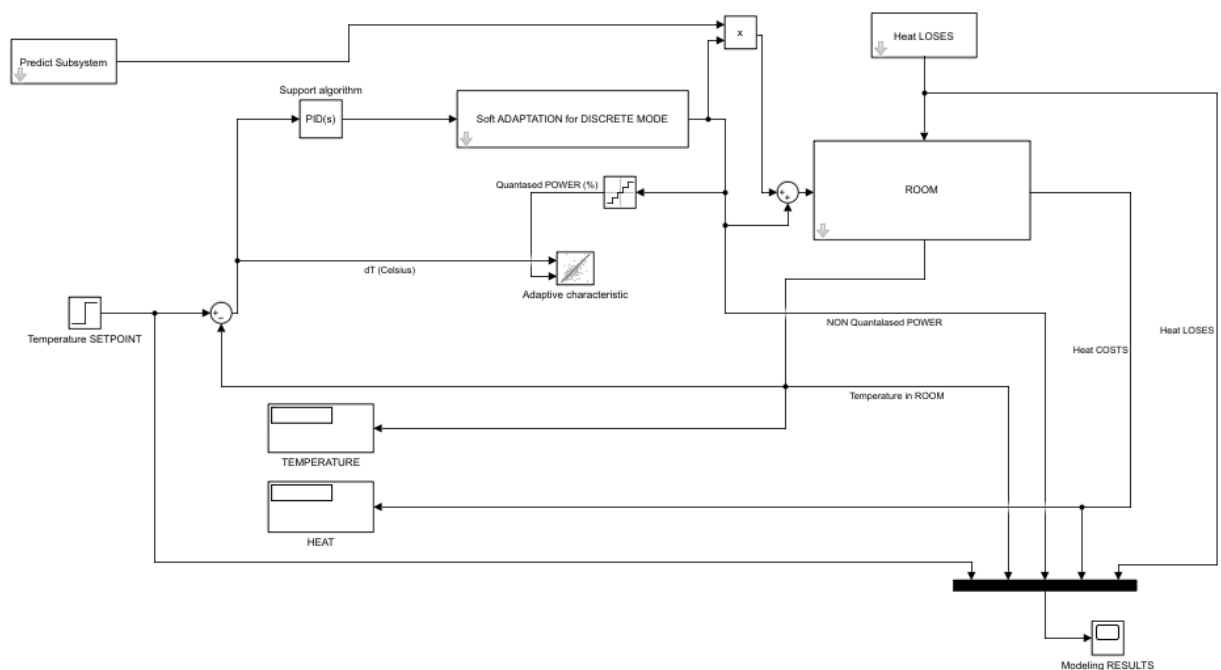


Рисунок 3.5 Схема для моделювання процесу керування опаленням приміщення в середовищі MATLAB

Як видно з рисунку, відповідна модель включає в себе наступні підсистеми:

- Підсистема приміщення («ROOM»);
- Підсистема опорного алгоритму керування («PID(s)»);
- Підсистема програмної адаптації опорного алгоритму для дискретного режиму роботи котла («Soft adaptation for discrete mode»);
- Підсистема корегування типового алгоритму керування за рахунок предикції значень температури зовнішнього до сонячного вегетарію середовища («Predict Subsystem»);
- Підсистема врахування теплових втрат («Heat loses»).

Для візуалізації результатів моделювання та більш зручного їх аналізу використані наступні блоки:

- Результуюче значення температури в приміщенні («Temperature»);
- Значення витраченої теплової енергії («Heat»);
- Графіки перехідних процесів за ключовими параметрами («Modeling results»);
- Графік адаптаційної характеристики для використання на рівні кода IoT-модуля або при налаштуванні сервера Node-Red («Adaptive characteristic»).

Приклади результатів моделювання наведені нижче.

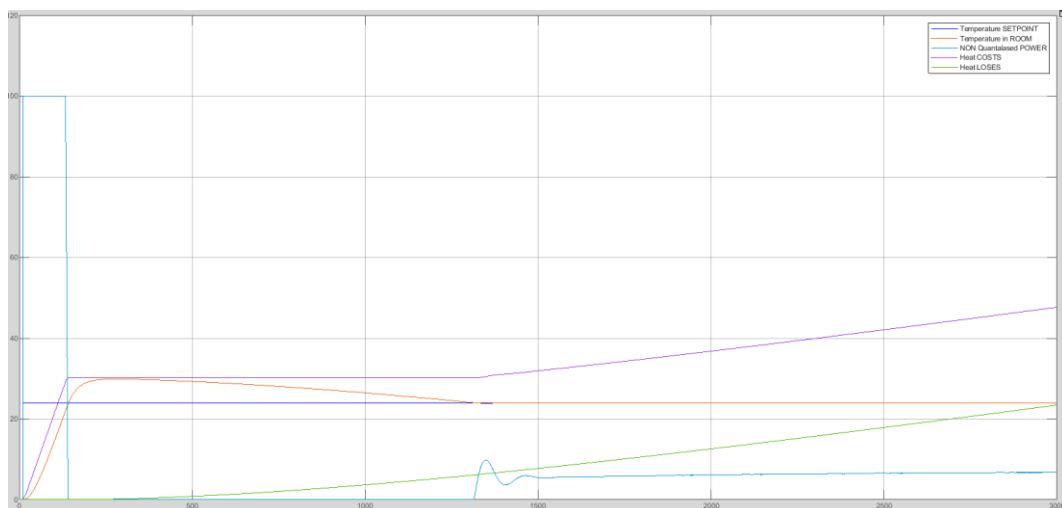


Рисунок 3.6 - Приклад перехідних процесів в системі при використанні у якості опорного алгоритму керування ПІД-регулятора з параметрами $P=12$, $I=12$, $D=0.1$, $N=200$.



Рисунок 3.7 - Приклад адаптивної характеристики для дискретного режиму роботи котла при використанні у якості опорного алгоритму керування ПІД-регулятора з параметрами $P=12$, $I=12$, $D=0.1$, $N=200$.

З урахуванням аспектів вказаних при формалізації приміщення у якості об'єкта керування приклади реалізації відповідних підсистем для моделювання наведені нижче.

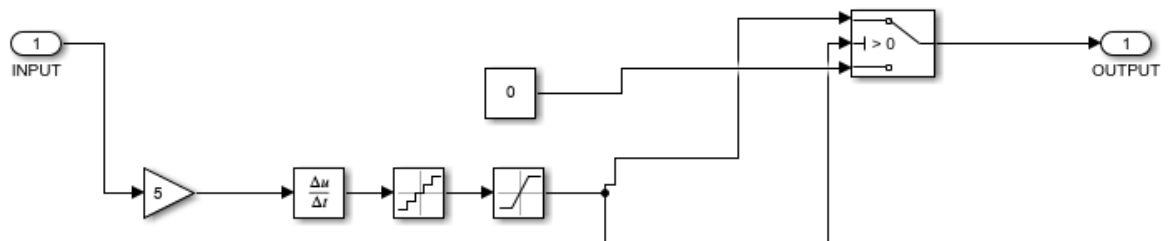


Рисунок 3.8 - Приклад реалізації підсистеми програмної адаптації опорного алгоритму для дискретного режиму роботи нагрівача («Soft adaptation for discrete mode»)

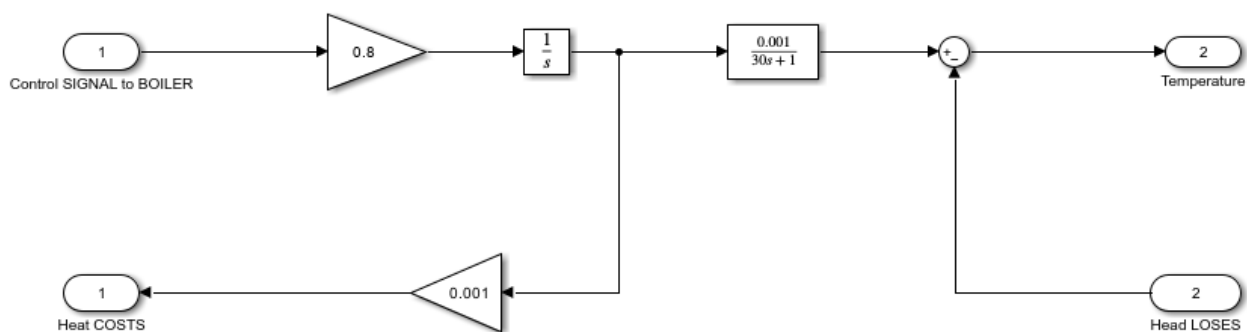


Рисунок 3.9 - Приклад реалізації підсистеми приміщення («ROOM»)



Рисунок 3.10 Приклад реалізації підсистеми врахування теплових втрат («Heat loses»)

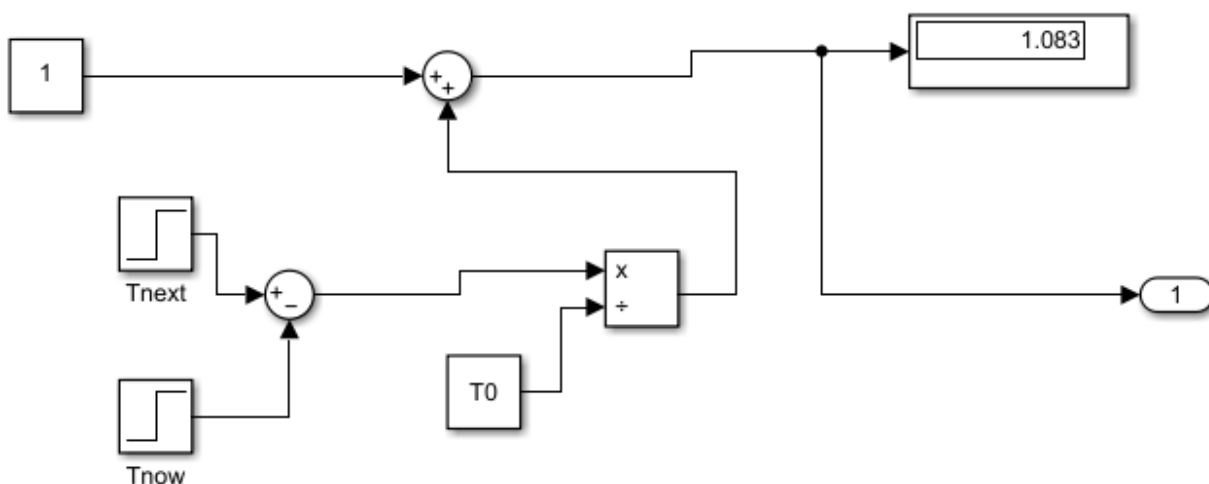


Рисунок 3.11 Приклад реалізації підсистеми корегування типового алгоритму керування за рахунок предикції значень температури зовнішнього до сонячного вегетарію середовища («Predict Subsystem»).

3.5 Аналіз результатів моделювання

На основі моделі та методики, наведеної в роботі, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink. В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу нагрівання приміщення та керування ним з урахуванням теплових втрат. Також представлені лише ті результати, які ілюструють загальні принципи створеної методики врахування предикції значень температури навколишнього середовища на основі інформації отриманої з зовнішнього хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap без зміни адаптаційної характеристики. Адаптаційна характеристика необхідна при переведенні опорного алгоритму керування до його представлення у дискретній реалізації для виконуючих пристроїв здатних працювати за схемою «On/Off».

Що стосується більш практичної складової роботи то були зроблені наступні висновки;

- використання ПІ або ПІД закону регулювання з урахуванням предикційної складової у відповідному типовому алгоритмі керування при регулюванні опалення з використанням теплового котла, здатного працювати лише в дискретному режимі, забезпечує стійкий перехідний процес за температурою;
- показники якості, перехідного процесу за температурою, з використанням ПІ або ПІД закону регулювання, а також при врахуванні відповідної предикційної поправки, в системі керування реалізованою за архітектурою описаною в роботі, мають значення які відповідають загально прийнятим нормам, а саме: перерегулювання $<1\%$ та вкрай низька коливальність, що наближує його (перехідний процес) до аперіодичного 2-го порядку. Аналогічне співвідношення між основними прямими показниками якості (перерегулювання – час перехідного процесу - коливальність)

спостерігається при використанні контурів регулювання з передатними функціями близькими до фільтрів Баттерворта 2-го порядку;

- предикція здатна зменшити витрати газу для опалення приміщення, без втрати якісного перехідного процесу (див. попередній пункт) та стійкості, якщо враховувати майбутні зміни в температурі навколишнього середовища разом з використанням пропорційно-інтегрального або пропорційно-інтегрального законів регулювання зі слабою диференційною складовою (долі відсотків від інтегральної складової). Відповідну економію можна обґрунтувати відсутністю великих температурних градієнтів під час розігріву приміщення сонячного вегетацію, що саме і забезпечує предикційний механізм;
- використання адаптаційної характеристики значно спрощує процес розгортання та налаштування алгоритму керування в серверній частині системи керування;
- наведена в роботі модель та методика врахування предикційної поправки без зміни адаптаційної характеристики, сама собою підтвержує зручність архітектури системи керування виду «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі». Важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при проектуванні та реалізації, є використання протоколу, здатного забезпечити високий ступінь достовірності даних, які передаються, наприклад ModBus TCP.

4 ПРОГРАМУВАННЯ ІoT-МОДУЛЯ

4.1 Серверна частина

Для реалізації алгоритму, отриманого при моделюванні, було прийнято рішення, що реалізація підсистеми керування у серверному варіанті є оптимальним рішенням, при чому сервер буде розміщений в загальній локальній інформаційно-керуючій мережі. Необхідна серверна складова буде опитувати ІoT-модуль та передавати на нього попередньо опрацьовані, у відповідності до моделі, керуючі сигнали. Така (розподілена) комп'ютерно-інтегрована структура системи керування має певні переваги відносно локалізованого варіанту реалізації, завдяки спрощеному підключенню до глобальної мережі Інтернет, а саме:

- можливість залучення більших обчислювальних потужностей для аналітичного опрацювання вхідних та вихідних сигналів;
- можливість використання хмарних та туманних обчислень для підвищення якості процесу керування;
- можливість використання нестандартних та складних аналітичних алгоритмів та моделей керування;
- можливість динамічно корегувати уставки та зручно регламентувати цей процес використовуючи у якості опорних значень дані з зовнішніх Інтернет-сервісів (поточні або прогнозовані), що може бути вкрай корисним для процесу вирощування рослин;
- можливість залучення системи керування до екосистеми Інтернету речей та ін.

Передача інформації про значення параметрів керування буде здійснюватись за промисловим протоколом ModBus TCP, а відповідні уставки будуть задаватись у людино-машинному інтерфейсі. Потужним функціоналом для вирішення поставленої задачі володіє середовище візуального програмування Node-RED, що

і було описано вище. Нижче буде наведений короткий опис процесу створення та розгортання серверної частини за допомогою Node-RED в на операційній системі Windows 10. Слід зауважити, що Node-RED легко встановлюється на різному «залізі» та є дуже гнучким в налаштуванні і невибагливим до апаратних ресурсів. Додатково проводилася перевірка можливості використання середовища Node-RED як серверного рішення на різних операційних системах (Linux, Android, Raspbian та ін.) та різному обладнанні (смартфон, одноплатний комп'ютер, планшет та ін.). Результати перевірки лише підтвердили міркування, щодо вибору у якості soft- основи, середовища візуального програмування Node-RED, яке на сьогоднішній день вже налічує понад 250 тисяч додаткових бібліотек для розширення базового функціоналу.

4.2 Керуюча складова серверної частини

Для роботи зі змінними протоколу ModBus TCP було реалізовано окремий потік даних («Temperature CHANNEL»), алгоритм формування якого наведено на рисунок 4.1. Загалом у цьому потоці реалізовано опитування фактичного значення температури у приміщенні (формат – Input Register), читання-запис фактичного значення керуючого сигналу для відповідного дискретного режиму (формат - Coil), підготовка інформації для людино-машинного інтерфейсу (HMI) та додана можливість тонкого відлагодження програми на рівні інформаційних об'єктів, як правило формату JSON.

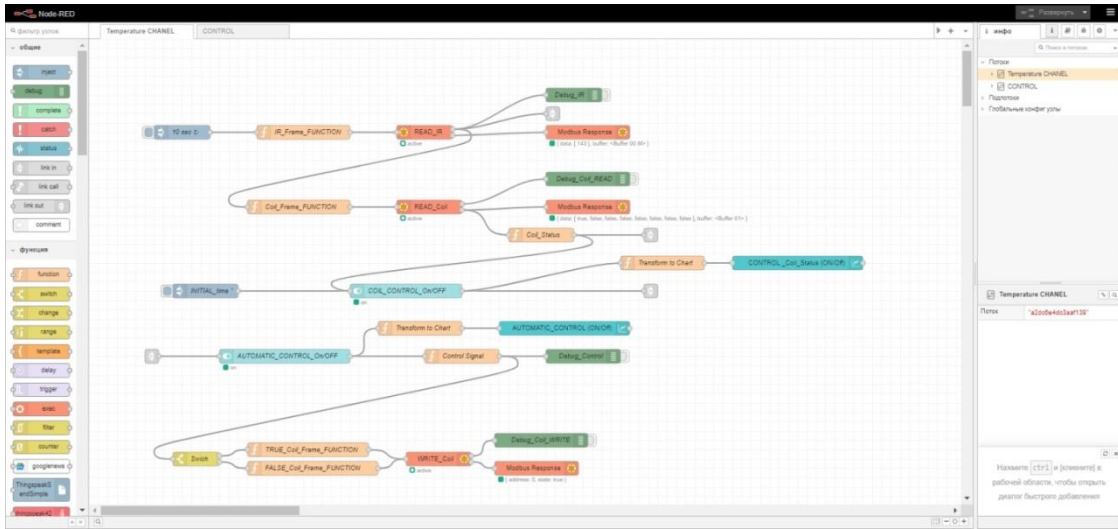


Рисунок 4.1 – Програма реалізації потоку «Temperature CHANNEL»

4.3 Підсистема алгоритму керування серверної частини

Безпосередньо алгоритм керування, який попередньо було обґрунтовано при моделюванні, винесений в окремий інформаційний потік «CONTROL» (див. рисунок 4.2) з метою спрощення програмування, забезпечення спрощення читання проекту серверної частини, забезпечення надійності функціонування загального алгоритму проекту та унеможливлення інформаційних колізій при взаємодії відповідних інформаційних потоків підсистем серверної частини системи керування.

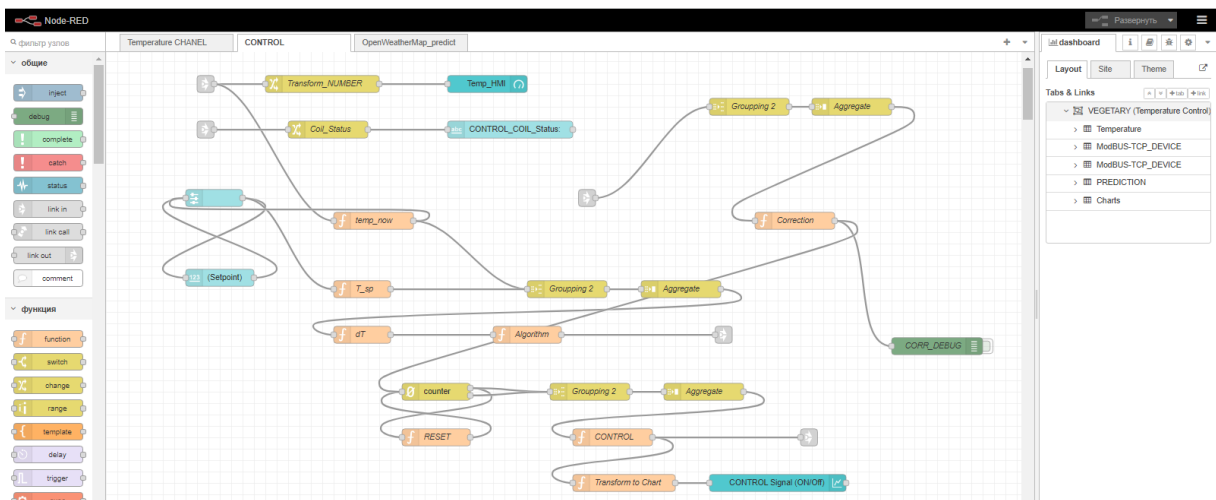


Рисунок 4.2 – Програма реалізації потоку «CONTROL»

Щодо реалізації адаптаційної характеристики, то вона запрограмована у скриптовому вигляді (мова програмування - JavaScript) у вузлі «Algorithm», само в такому вигляді як і була отримана при моделюванні в середовищі Matlab (див. рисунок 4.3). Раніше, в розділі моделювання, вже вказувалось що адаптаційна характеристика є дискретною інтерпретацією безперервного пропорційно-інтегрально-диференційного алгоритму керування. Її використання якісно спрощує роботу розробника системи керування у питанні реалізації типових алгоритмів керування для пристроїв які працюють у дискретному режимі.

```
1  var dT = msg.payload;
2  var P = 0;
3
4  if ( dT < 0.5 ) {P=0;}
5  if ( dT >= 0.5 && dT < 1.5 ) { P = 1; }
6  if ( dT >= 1.5 && dT < 2.5 ) { P = 2; }
7  if ( dT >= 2.5 && dT < 3.5 ) { P = 3; }
8  if ( dT >= 3.5 && dT < 4.5 ) { P = 4; }
9  if ( dT >= 4.5 && dT < 5.5 ) { P = 5; }
10 if ( dT >= 5.5 && dT < 6.5 ) { P = 6; }
11 if ( dT >= 6.5 && dT < 7.5 ) { P = 7; }
12 if ( dT >= 7.5 && dT < 8.5 ) { P = 8; }
13 if (dT >= 8.5 ) { P = 9; }
14
15 return {power:P};
```

Рисунок 4.4 – Реалізація адаптаційної характеристики у вузлі «Algorithm»

4.4 Предикційна складова серверної частини

Керування процесом отримання даних з хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap, необхідних для подальшого формування предикційного корегуючого сигналу, реалізовано в окремому інформаційному потоці «OpenWeatherMap_predict». Для отримання даних на сервіс відправляється GET-запит вигляду наведеного нижче.

API call

```
api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?q={city name}&appid={API key}
```

```
api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?q={city name},{country code}&appid={API key}
```

```
api.openweathermap.org/data/2.5/forecast?q={city name},{state code},{country code}&appid={API key}
```

Рисунок 4.5 - Формат GET-запиту для сервісу OpenWeatherMap

Як реакція на запит приходить відповідь з сервісу у вигляді JSON - об'єкта, парсинг якого і дає необхідні значення прогнозованих температур. Програмна реалізація методу корегування на основі попередньо прогнозованих значень температури в регіоні, так як це запропоновано в моделі, наведено нижче.

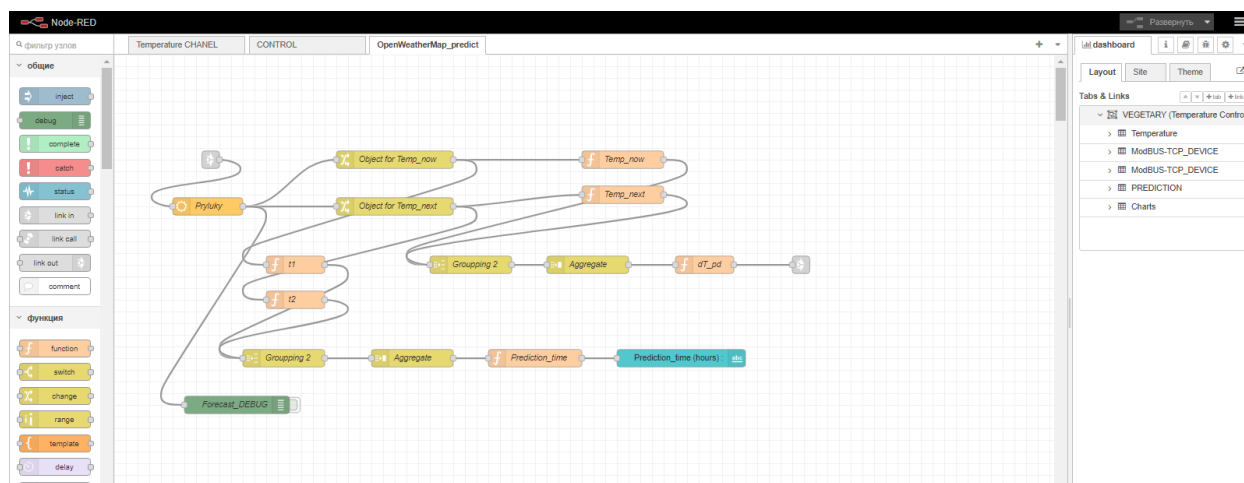


Рисунок 4.6 – Реалізація методу предикції у вузлі «OpenWeatherMap_predict»

4.5 Людино-машинний інтерфейс підсистеми керування нагріванням вегетарію

Забезпечення зручності сприйняття інформації про поточний стан системи керування та її параметрів є важливою складовою кожної автоматичної системи. Вирішити це питання дозволяє якісно організований людино-машинний інтерфейс (НМІ). НМІ обов'язково повинен давати вичерпну інформацію не лише про сам процес керування але й про глибинні процеси (низького рівня), для своєчасного реагування та запобігання нештатним і аварійним ситуаціям. З іншої сторони він не повинен бути перевантаженим як візуальними так і інформаційними елементами, тобто проектування НМІ є теж вкрай важливою задачею для розробника. В роботі створено відповідний людино-машинний інтерфейс загальний вигляд якого складається з наступних елементів (див. рисунок 4.7):

- частина для встановлення уставки температури;
- ілюстрація фактичного значення температури в приміщенні, яке надається в реальному часі;
- тренди значень сигналу керування, яке і передається в IoT-модуль для виконання, та фактичне значення сигналу керування яке вже записано у відповідних регістрах виконуючого пристрою (працює в реальному часі);
- візуалізація фактичного статусу керуючого регістра (Coil);
- значення часу предикції;
- тренд актуалізації режиму автоматичного керування нагрівом приміщення.

Описаний людино-машинний інтерфейс було створено також у середовищі Node-RED з використанням вбудованих бібліотек групи `dashboard` бібліотеки `node-red-dashboard`.

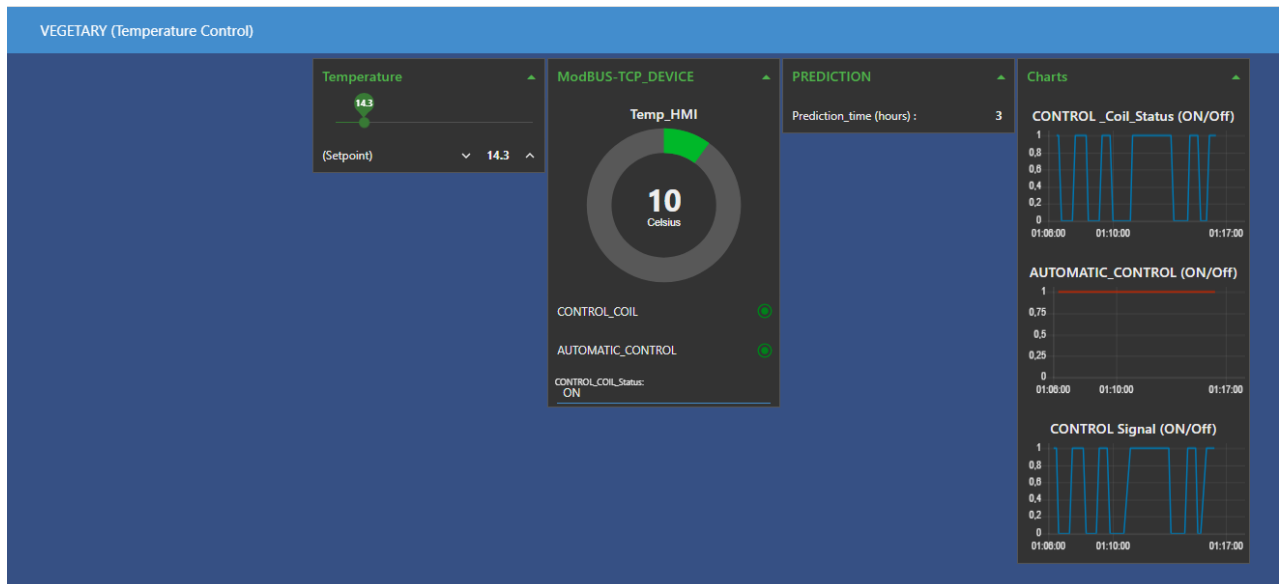


Рисунок 4.8 – Людино-машинний інтерфейс за каналом нагрівання приміщення

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

За результатами виконаної роботи можна зробити ряд висновків, які, умовно, можна розподілити на висновки практичного спрямування та висновки аналітичного спрямування. Висновки практичного спрямування надають набір рекомендаційної інформації, яку корисно може бути використати при практичній реалізації аналогічних систем, підсистем та контурів регулювання. Висновки аналітичного спрямування можна використовувати як рекомендаційні настанови безпосередньо при налаштуванні процесів керування в аналогічних системах, підсистемах та контурах регулювання з дискретним режимом керування.

На основі загального аналізу апаратної складової системи керування та її структури можна констатувати наступне:

- реалізація системи керування на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі з використанням надійних інтерфейсів та протоколів передавання інформації, наприклад ModBus TCP, значно спрощує структуру системи, що може якісно сказатися на структурі відповідних складових підсистемах;
- озвучене спрощення здатне гарним чином сказатися економічно за рахунок спрощення різних фізичних трасувань та спрощенні системи і підсистем живлення;
- додатковими плюсами наведеної архітектури є спрощення організації резервувань та моніторингу станів, як серверної частини так і частини об'єкта керування;
- використання розповсюджених та доступних елементів системи керування (датчиків, мікроконтролерів, середовищ програмування та ін.) теж дає позитивний економічний ефект в частині вартості реалізації;
- використання у якості підсистем IoT та PoT складових дозволяє спростити перехід відповідної системи керування до екосистеми Інтернету речей та

залучати, з метою підвищення якості процесів керування туманних та хмарних обчислень;

- підвищити ефективність та гнучкість процесів налаштування, адміністрування та керування підсистемами в системах побудованих на основі спільної локальної інформаційно-керуючої мережі можливо за рахунок використання web - технологій, а саме створенням зручних та ергономічних web – інтерфейсів, застосунків та додатків;
- особливо необхідно звернути увагу на використання середовища програмування Node-RED у якості засобу реалізації серверних складових та складових рівня користувача. Потужність, гнучкість та масштабованість реалізацій в системах керування, відповідних підсистемах та за стосунках є дуже перспективною практичною методою;
- багатопроTOCOLьність, при грамотному підході в проектуванні систем автоматичного керування, може забезпечити синегетичність процесу передавання інформації, керуванні інформаційними потоками та квітуванні відповідної інформації;
- використання модулів на основі мікроконтролерів сімейства ESP, виробництва компанії Espressif Systems, в якості виконуючих IoT та PoT складових в системах керування на базі мережевих технологій, може значно здешевити як саму систему керування так і процес її розробки з ефективним розширенням функціоналу окремих підсистем.

На основі моделі та методики, наведеної в роботі, було проведено ряд аналітичних експериментів шляхом моделювання в середовищі MATLAB Simulink. В самій роботі винесені лише ті результати, які безпосередньо ілюструють ті принципи, які реалізовані при розробці моделі процесу нагрівання вегетарію та керування ним з урахуванням теплових втрат. Також представлені лише ті результати, які ілюструють загальні принципи створеної методики врахування предикції значень температури навколишнього середовища на основі інформації отриманої з зовнішнього хмарного погодного сервісу OpenWeatherMap без зміни адаптаційної характеристики. Адаптаційна характеристика необхідна

при переведенні опорного алгоритму керування до його представлення у дискретній реалізації для виконуючих пристроїв здатних працювати за схемою «On/Off».

Що стосується більш практичної складової роботи то були зроблені наступні висновки;

- використання ПІ або ПІД закону регулювання з урахуванням предикційної складової у відповідному типовому алгоритмі керування при регулюванні опалення з використанням електричного нагрівача, здатного працювати в дискретному режимі, забезпечує стійкий перехідний процес за температурою;
- показники якості, перехідного процесу за температурою, з використанням ПІ або ПІД закону регулювання, а також при врахуванні відповідної предикційної поправки, в системі керування реалізованою за архітектурою описаною в роботі, мають значення які відповідають загально прийнятим нормам, а саме: перерегулювання $<1\%$ та вкрай низька коливальність, що наближує його (перехідний процес) до аперіодичного 2-го порядку. Аналогічне співвідношення між основними прямими показниками якості (перерегулювання – час перехідного процесу - коливальність) спостерігається при використанні контурів регулювання з передатними функціями близькими до фільтрів Баттерворта 2-го порядку;
- предикція здатна зменшити витрати електричної енергії для опалення приміщення, без втрати якісного перехідного процесу (див. попередній пункт) та стійкості, якщо враховувати майбутні зміни в температурі навколишнього середовища разом з використанням пропорційно-інтегрального або пропорційно-інтегрального законів регулювання зі слабою диференційною складовою (долі відсотків від інтегральної складової). Відповідну економію можна обґрунтувати відсутністю великих температурних градієнтів під час розігріву приміщення сонячного вегетарію, що саме і забезпечує предикційний механізм;

- використання адаптаційної характеристики значно спрощує процес розгортання та налаштування алгоритму керування в серверній частині системи керування;
- наведена в роботі модель та методика врахування предикційної поправки без зміни адаптаційної характеристики, сама собою підтвержує зручність архітектури системи керування виду «сервер - виконуючий пристрій зі зворотнім зв'язком на основі спільної інформаційно-керуючої мережі». Важливим фактором, який обов'язково потрібно врахувати при проектуванні та реалізації, є використання протоколу, здатного забезпечити високий ступінь достовірності даних, які передаються, наприклад ModBus TCP.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сонячний вегетарій. Дім,сад, город, №5, 1997.
URL: https://archive.org/stream/Dim.Sad.Gorod/Dim.Sad.Gorod.1997_5_djvu.txt
(дата звернення: 22.11.2023).
2. Сонячний вегетарій. URL: <https://teplitca.kiev.ua/a173773-sonyachnij-vegetarij.html> (дата звернення: 22.11.2023).
3. Automated Greenhouse / URL: <https://www.instructables.com/Automated-Greenhouse/> (дата звернення: 24.12.2023).
4. Greenhouse automation system for successfull growing.
URL: <https://www.climatecontrol.com/blog/automated-greenhouse-systems/> (дата звернення: 25.11.2023).
5. Automated Greenhouse System with Profound Analytics.
URL: <https://intellias.com/automated-greenhouse-system/> (дата звернення: 26.11.2023).
6. Faizan Samdani, Andrei Har, Anson Yap, Husnain Zahid Malik. Smart Greenhouse Automation System. NARENDRAN, 2023.
URL: <https://www.hackster.io/faizan0/smart-greenhouse-automation-system-dd058f>
(дата звернення: 27.11.2023).
7. Redmond R. Shamshiri, Ibrahim A. Hameed, Kelly R. Thorp, Siva K. Balasundram, Sanaz Shafian, Mohammad Fatemieh, Muhammad Sultan, Benjamin Mahns and Saba Samiei. Greenhouse Automation Using Wireless Sensors and IoT Instruments Integrated with Artificial Intelligence, 2021.
URL: <https://www.intechopen.com/chapters/76695> (дата звернення: 27.11.2023).
8. Smart Greenhouse Environmental Monitoring and Control: IoT-Based Solutions.2023 URL: <https://webbylab.com/blog/smart-greenhouse-solutions-iot-based-environmental-monitoring-and-control/> (дата звернення: 28.11.2023).
9. T B Dwinugroho, Y T Hapsari and Kurniawanti. Greenhouse automation: smart watering system for plants in greenhouse using programmable logic control (PLC).

Journal of Physics: Conference Series, Volume 1823, Second UPY International Conference on Applied Science and Education (2nd UPINCASE), Yogyakarta, Indonesia, 2020. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1823/1/012014> (дата звернення: 28.11.2023).

10. Haixia Li, Yu Guo, Huajian Zhao, Yang Wang, David Chow. Towards automated greenhouse: A state of the art review on greenhouse monitoring methods and technologies based on internet of things. Computers and Electronics in Agriculture, 2021.

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168169921005755> (дата звернення: 28.11.2023).

11. 5 Advantages Of Greenhouse Automation For A Commercial Cannabis Operation, 2023. URL: <https://cerescann.com/advantages-of-greenhouse-automation-for-commercial-cannabis-operation/> (дата звернення: 28.11.2023).

12. Fully Automated Greenhouse System by 2Smart, 2023.

URL: <https://2smart.com/docs-resources/success-stories/advanced-smart-greenhouse-based-on-home-automation-system> (дата звернення: 28.11.2023).

13. Прокопенко Т.О., Березюк І.А., Зубенко В.О. Автоматизована система керування температурно-вологісним режимом теплиці на основі апарату нечіткої логіки. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки, Том 31 (70), Ч. 1, № 6, 2020. – с.129-134

14. Mayuri Shimpi, Vishal Thorat, Shivani Gavade, Sheetal Pawar, Nilakshee Rajule. Smart Greenhouse Automation and Monitoring System. 6th International Conference On Computing, Communication, Control And Automation, 2022.

URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10010745> (дата звернення: 28.11.2023).

15. Smart Greenhouse Automation System.

URL: <https://www.controlbyweb.com/applications/smart-greenhouse-automation.html>

16. Automated greenhouse / URL: <https://autogrow.com/your-growing-environment/automated-greenhouse> (дата звернення: 29.11.2022).

17. Вибір оптимальних параметрів ПД-регулятора для керування мікрокліматом теплиці / А. В. Дідоренко, С. В. Соколов // Інформатика, математика, автоматика :

матеріали та програма Міжнародної наукової конференції молодих вчених, Суми – Нур-Султан, 18–22 квітня 2022 р. / відп. за вип. О. О. Дрозденко. — Суми : СумДУ, 2022. — С. 134.

18. Павлов А. В. Багатовимірні системи автоматичного управління: конспект лекцій для студ. за спец. 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" денної, заочної та дистанційної форм навчання / А. В. Павлов, О. Ю. Журавльов, Г. А. Олексієнко. — Суми : СумДУ, 2018. — 67 с.

19. Сацик В. О. Апаратне забезпечення автоматизованого регулювання мікроклімату теплиці / В. О. Сацик, Д. П. Карпук // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – 2019. – Вип. №40. – С. 245-250.

20. Коломієць Т. І. Автоматизована система управління параметрами мікроклімату в теплицях / Т. І. Коломієць // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку: матеріали Всеукраїнської науково-практичної Internet-конференції. – Черкаси, 2019. – С. 32-33.