

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри електронної техніки

Вовна О.В.

(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 2021 р.

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

на тему «Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць»

Виконала: студентка 2 курсу, групи ІВТзм-19

(шифр групи)

спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Лобанова Наталія Вікторівна

(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник проф. каф. ЕТ, д.т.н., проф.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

А.А. Зорі

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____

(підпис)

Покровськ – 2021 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»

Факультет комп'ютерно-інтегрованих технологій,
автоматизації, електроінженерії та радіоелектроніки

(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра електронної техніки

(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____

(дата)

з оцінкою _____

Секретар ДЕК _____

(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота

магістра

(освітній ступінь)

Тема: «Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи
контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць»

Виконавець, студентка

гр. ІВТзм-19

Лобанова Н.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Керівник

д.т.н., проф. Зорі А.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Консультанти:

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

к.т.н., доц. Лактіонов І.С.

(підпис, дата, П.І.Б.)

ст. викл. Тюрін Є.А.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Нормоконтроль

д.т.н., проф. Вовна О.В.

(підпис, дата, П.І.Б.)

Покровськ – 2021 р.

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

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2	д.т.н., проф., проф. каф. ЕТ Зорі А.А.		
3	д.т.н., проф., зав. каф. ЕТ Вовна О.В.		
4	к.т.н., доц., доц. каф. ЕТ Лактіонов І.С.		
А	ст. викл каф. ОП Тюрін Є.А.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз сучасного стану науково-практичних досліджень інформаційно-вимірювальних систем контролю аерогазового стану мікроклімату теплиць	23.03.2021 р.	
2	Моделювання інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць	19.04.2021 р.	
3	Структурне та функціональне забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць	28.04.2021 р.	
4	Оцінка та аналіз метрологічних показників інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць	06.05.2021 р.	
5	Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві	11.05.2021 р.	

Студент

(підпис)

Лобанова Н.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Зорі А.А.

(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Лобанова, Н.В. Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття СО «Магістр» за спеціальністю 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка. – ДВНЗ «ДонНТУ», Покровськ, 2021 р.

Обсяг пояснювальної записки: 93 сторінки машинописного тексту, зокрема 76 сторінок основного тексту, 54 рисунки, 1 таблиця та перелік використаних джерел із 30 найменувань.

Комп'ютеризація та інформатизація підтримки мікроклімату сприяє кращому зросту і підвищенню врожайності, а також зменшує витрати на ручну працю. Отже, Виникає необхідність високого ступеня автоматизації технологічних процесів, що не є можливим без використання сучасних засобів інформаційно-вимірювальної техніки, які працюють на правах підсистем у промислових комплексах автоматизації теплиць.

Основною метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка науково-обґрунтованих шляхів удосконалення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Об'єктом дослідження є інформаційно-вимірювальна система контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Предмет дослідження – способи, алгоритми, а також апаратні й програмні компоненти підвищення ефективності й удосконалення процесу комп'ютеризованого вимірювального моніторингу температури й вологості повітря в зоні вирощування промислових теплиць.

Методи дослідження: методи аналізу й синтезу відомих результатів досліджень, методи комп'ютерного моделювання, розробка архітектури інформаційно-вимірювальних систем, концепція невизначеності, Інтернет речей.

У випускній кваліфікаційній магістерській роботі досягнута основна мета дослідження за рахунок обґрунтування структурно-функціонального забезпечення та комп'ютерного імітаційного моделювання інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Ключові слова: вологість, температура, зона вирощування, інформаційно-вимірювальна система, невизначеність.

ABSTRACT

Lobanova, N.V. Development and research of the information-measuring monitoring system of the air-gas condition of greenhouse cultivation zone / Graduation qualification work for obtaining an educational degree 'Master' in specialty 152 'Metrology and information-measuring technique'. – SHEI 'DonNTU', Pokrovsk, 2021.

Explanatory note: 93 p., 54 figs., 1 tab., 30 references.

Computerization and informatization of the microclimate support promotes better growth and increased yields, as well as reduces the cost for the manual labor. Thus, there is a need for a high degree of automation of technological processes, which is not possible without using of the modern information-measuring equipment, which work on the subsystems rights in greenhouse industrial automation complexes.

The main purpose of the master's qualification work is developing of the scientifically sound ways for improving of the information and measurement system of the air-gas condition monitoring of the greenhouse growing zone.

The object of the study is an information-measuring system of the air-gas condition monitoring of the greenhouse growing zone.

The subject of research is methods, algorithms, as well as hardware and software components for efficiency increasing and process improving of computerized measurement monitoring of temperature and humidity of the industrial

greenhouses cultivation area.

Research methods: methods of analysis and synthesis of known research results, methods of computer modeling, development of information-measuring systems architecture, the concept of uncertainty, Internet of Things.

In the final graduation qualification work the main purpose of the research has been achieved by substantiating of the structural and functional support and computer simulation modeling of the information-measuring system of the air-gas state monitoring of the greenhouse growing zone.

Key words: humidity, temperature, growing area, information and measurement system, uncertainty.

ЗМІСТ

	Стор.
ВСТУП.....	11
1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ.....	14
1.1 Критичний аналіз мікроклімату теплиць як об'єкту контролю.....	14
1.2 Аналіз існуючих науково-практичних рішень моніторингу параметрів мікроклімату теплиць.....	25
1.3 Аналіз програмних сервісів віддаленого моніторингу вимірюваних параметрів.....	33
1.5 Висновки.....	36
2 МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ.....	37
2.1 Комп'ютерна модель каналу вимірювання температури повітря в зоні вирощування теплиць.....	37
2.2 Комп'ютерна модель каналу вимірювання вологості повітря в зоні вирощування теплиць.....	46
2.3 Імітаційне моделювання вимірювальних каналів відносної вологості та температури в зоні вирощування промислових теплиць.....	50
2.4 Висновки.....	54
3 СТРУКТУРНЕ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ.....	55

3.1	Мікроконтролерний блок інформаційно-вимірювальної системи.....	55
3.2	Блок сенсорів інформаційно-вимірювальної системи.....	59
3.3	Структурна та програмна організація досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи.....	63
3.4	Висновки.....	70
4	ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ.....	71
4.1	Аналіз і оцінка метрологічних показників вимірювального каналу температури повітря зони вирощування промислових теплиць.....	71
4.2	Аналіз і оцінка метрологічних показників вимірювального каналу вологості повітря зони вирощування промислових теплиць.....	73
4.4	Висновки.....	75
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	76
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	78
	Додаток А – Охорона праці та безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві.....	81

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Рослинницька продукція використовується як джерело продуктів харчування для населення, як корм в тваринництві, як сировина в багатьох галузях промисловості (особливо в харчовій, текстильній, фармацевтичній і парфумерній промисловості), а також в декоративних (в квітникарстві) і багатьох інших цілях. Із давніх часів сільське господарство передбачає використання безпосередньої участі ручної праці людини, що характеризує цю галузь як трудомістку та енерговитратну. Під процесами цифровізації та автоматизації теплиць мається на увазі впровадження інтелектуалізованих апаратно-програмних рішень із реалізації функцій керування і відстеження параметрів клімату, які можна регулювати.

Комп'ютеризація та інформатизація підтримки мікроклімату сприяє кращому зросту і підвищенню врожайності, а також зменшує витрати на ручну працю. Отже, Виникає необхідність високого ступеня автоматизації технологічних процесів, що не є можливим без використання сучасних засобів інформаційно-вимірювальної техніки, які працюють на правах підсистем у промислових комплексах автоматизації теплиць.

Мета і задачі досліджень. Основною метою кваліфікаційної роботи магістра є розробка науково-обґрунтованих шляхів удосконалення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Об'єктом дослідження є інформаційно-вимірювальна система контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Предмет дослідження – способи, алгоритми, а також апаратні й програмні компоненти підвищення ефективності й удосконалення процесу комп'ютеризованого вимірювального моніторингу температури й вологості повітря в зоні вирощування промислових теплиць.

Методи дослідження: методи аналізу й синтезу відомих результатів досліджень, методи комп'ютерного моделювання, розробка архітектури

інформаційно-вимірювальних систем, концепція невизначеності, Інтернет речей.

Задля досягнення основної мети обґрунтовано і вирішено такі задачі роботи:

1. Кількісний і якісний аналіз способів і технічних засобів моніторингу аерогазового стану в зоні вирощування промислових теплиць.
2. Розробка комп'ютерної моделі інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.
3. Обґрунтування структурного і функціонального забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.
4. Оцінка та аналіз метрологічних показників інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.
5. Розробка науково-технічних і організаційних прийомів щодо охорони праці та безпеки при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Наукова новизна одержаних результатів у магістерській роботі:

1. Розроблено комп'ютерну імітаційну модель інформаційно-вимірювальної системи неруйнівного контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць з урахуванням дестабілізуючих впливів.
2. Виконано структурно-алгоритмічний синтез апаратно-програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Практична цінність результатів роботи магістра: реалізовано і проведено тестування апаратно-програмних компонент інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць під час урахування загальновизнаних тенденцій IoT та WSN зі задовільними метрологічними й функціональними характеристиками і технічними параметрами.

Особистий внесок здобувача. Авторкою наведеної магістерської роботи самостійно було розроблено, реалізовано й протестовано структурно-алгоритмічне забезпечення системи, комп'ютерні імітаційні моделі структурних і функціональних блоків системи, обґрунтовано компоненти системи, оцінено метрологічні характеристики ІВС.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Структура кваліфікаційної магістерської роботи обумовлена загальновизнаною схемою та існуючими підходами до виконання науково-прикладних досліджень із урахуванням світових тенденцій розвитку науки і техніки, основною метою роботи, а також шляхами її досягнення. Робота складається зі вступу, 4 розділів, загальних висновків і переліку літературних джерел. Загальний обсяг роботи містить 93 сторінки машинописного тексту, зокрема 76 сторінок основного тексту, 54 рисунки, 1 таблицю та перелік використаних джерел із 30 найменувань.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ НАУКОВО-ПРАКТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

1.1. Критичний аналіз мікроклімату теплиць як об'єкту контролю

Овочівництво – галузь сільського господарства, що займається обробіткою культурних рослин. Рослинницька продукція використовується як джерело продуктів харчування для населення, як корм в тваринництві, як сировина в багатьох галузях промисловості (особливо в харчовій, текстильній, фармацевтичній і парфумерній промисловості), а також в декоративних (в квітникарстві) і багатьох інших цілях [1]. З давніх часів сільське господарство передбачає використання безпосередньої участі ручної праці людини, що характеризує цю галузь як трудомістку та енерговитратну. Під процесами цифровізації та автоматизації теплиць мається на увазі впровадження інтелектуалізованих апаратно-програмних рішень із реалізації функцій керування і відстеження параметрів клімату, які можна регулювати.

Автоматизація підтримки мікроклімату сприяє кращому зросту і підвищенню врожайності, а також зменшує витрати на ручну працю. Отже, виникає необхідність високого ступеня автоматизації технологічних процесів, що не є можливим без використання сучасних засобів інформаційно-вимірювальної техніки, які працюють на правах підсистем у промислових комплексах автоматизації теплиць.

У загальному випадку, систему управління можна розглядати як взаємозв'язок декількох управлінських процесів і об'єктів. Узагальненою метою впровадження інформаційно-вимірювальних систем контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць під час комплексного керування технологічними процесам тепличного вирощування є підвищення ефективності

використання потенційних можливостей теплиць, як об'єкта контролю та керування.

На теперішній час відома значна кількість інженерно обґрунтованих рішень із дизайну теплиць. Надалі наведено характеристику найбільш використовуваних конструкцій теплиць [2, 3].

Односкілі теплиці (див. рис. 1.1) являють собою практичні та функціональні споруди, дах яких спрямована в одну сторону. Прилаштовуються до стін будинку, сараю, відрізняються економічністю, зручністю в експлуатації. Покриттям можуть слугувати: плівка, скло, полікарбонат.



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд односкілих теплиць

Двоскілі теплиці (див. рис. 1.2) характеризуються наступними основними показниками:

- простий монтаж;
- можливість вибрати різні конфігурації даху;
- великий вибір покриттів: скло, пластик, спандбонд, полікарбонатні листи.

У двоскілим теплиці з полікарбонату вирощують будь-які овочі, так як всередині відбувається рівномірне нагрівання та охолодження повітря.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд двосхилих теплиц

Зовнішній вигляд арочних теплиц наведено на рисунку 1.3. Оскільки будівлі арочної конструкції мають меншу відбивну поверхню, то всередину них потрапляє більша кількість сонячного світла, ніж, наприклад, в подвійні. Крім того, особливості конструкції дозволяють культурам зростати на значну висоту, ніж у звичайних будівлях. Однак догляд за рослинами, що ростуть біля стін, значно ускладнюється.



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд арочних теплиц

В останній час значної популярності набули краплевидні теплиці з міцного стільникового полікарбонату, як показано на рисунку 1.4. Недоліком такого типу теплиц є складність конструкції, але переваг набагато більше. Основні переваги наступні:

- високі показники освітленості;
- зручність в експлуатації (особливо в регіонах зі засніженими зимами);
- підходять для вирощування високорослих культур.
- ширина становить від 2,7 м до 3,5 м.

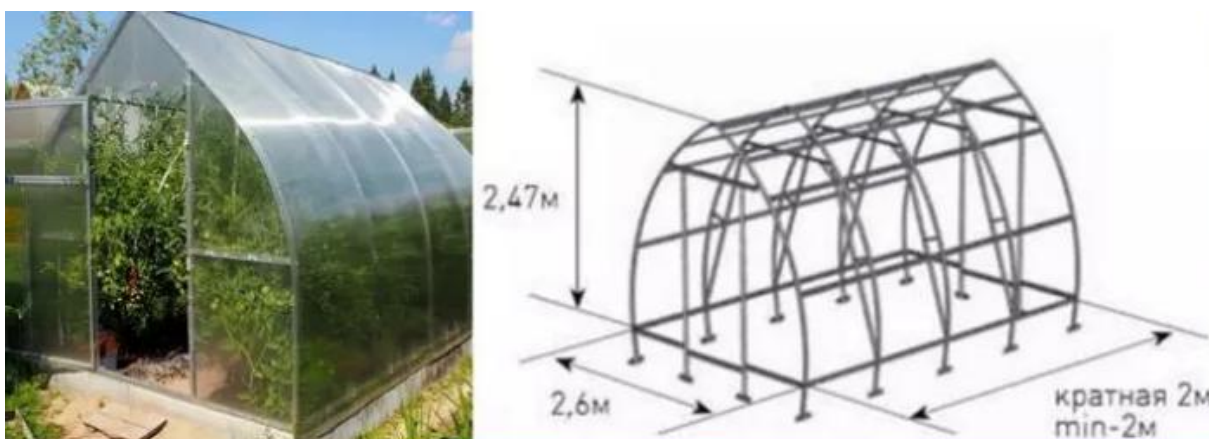


Рисунок 1.4 – Зовнішній вигляд краплевидних теплиць

Голландський тип теплиць дає можливість рослинам отримувати максимальну кількість сонячного світла, адже її покриттям служить спеціальне скло однорідної структури (див. рис. 1.5). Така конструкція не дозволяє надходити до теплиці зайвій вологі та потрапити всередину під час опадів, оскільки вона оснащена спеціальним алюмінієвим жолобом, що збирає і відводить дощову воду.



Рисунок 1.5 – Зовнішній вигляд голландських теплиць

Сучасна технологія вирощування овочевих культур базується на виконанні обов'язкової умови постійної підтримки сприятливого мікроклімату в теплицях. Як показує практика, ручний режим контролю температури і вологості під час промислового виробництва є малоефективним. Автоматизація кліматичних систем на захищеному ґрунті дає економічний ефект співвідношення витраченого тепла до врожайності до 30 %. При цьому паралельно поліпшуються умови праці робітників, і підвищується культура виробництва [4].

До основних компонентів мікроклімату в тепличному приміщенні відносяться: освітленість, температура, відносна вологість та загальна характеристика повітряного середовища всередині теплиці [5, 6]. Ці фізичні параметри та обумовлені ними явища безпосередньо впливають на формування так званого мікроклімату – особливих кліматичних умов на одній окремо взятій ділянці простору.

Освітлення в теплиці – це обов'язкова умова для забезпечення потрібного рівня біохімічних реакцій, які необхідні для запуску механізму фотосинтезу. При недостатньому світлі реакції сповільнюються, через що є ризик залишитися без врожаю і навіть без самих рослин. Особливе значення якісне освітлення має в зимовий час, коли сонячних променів в рази менше. Недолік світла в теплиці можна компенсувати за допомогою грамотно продуманої організації штучного підсвічування (див. рис. 1.6). Використовувати цей тип світла цілий рік не рекомендується через можливість несприятливого впливу на певні типи культур. Штучне світло буде доречним у холодну пору року – в період з кінця жовтня до початку квітня.

Світло для теплиці в зимовий час організовують так, щоб щільність світлової енергії в денний час була на рівні від 400 ммоль/м² до 1000 ммоль/м². Нічне освітлення повинно мати щільність світлового потоку від 5 ммоль/м² до 10 ммоль/м². Світло включають періодично з метою пригальмувати або, навпаки, прискорити цвітіння рослин. В останньому випадку освітлення включають через кожні півгодини [7].



Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд голландських теплиць

У конкретні фази розвитку рослини добре сприймають спектр світла певних діапазонів. В цілому для росту їм необхідні випромінювання всіх кольорів, просто в якийсь період той або інший діапазон повинен переважати. У зв'язку з цим, обираючи, яке світло потрібне в теплиці, необхідно обов'язково взяти до обліку такий параметр, як колірна температуру використовуваних засобів штучного досвічування. Різне штучне світло відповідним чином впливає на культури (див. рис. 1.7):

– синє світло (від 400 нм до 500 нм) – важливе для гарного вегетативного росту рослин. Колірна температура коливається в межах від 6000 К до 6500 К. Таке світло краще підходить для розсади. Якщо вона витягується, можна використовувати ртутні лампи, оскільки вони мають підвищений показник випромінювання близький до ультрафіолетової області довжин хвиль. Але варто пам'ятати про ризик: якщо лампа розіб'ється, весь урожай стане непридатним.

– зелене світло (від 500 нм до 600 нм) – обов'язкове на стадії фотосинтезу вирощуваних культур. Відповідний діапазон колірної температури: від 4000 К до 4500 К.

– червоне світло (від 600 нм до 700 нм) – обов'язкове для рослин в період цвітіння, оскільки відіграє важливу роль у процесі плодоношення. Колірна температура коливається в діапазоні від 2700 К до 3200 К – у ньому переважають хвилі зазначеної довжини.

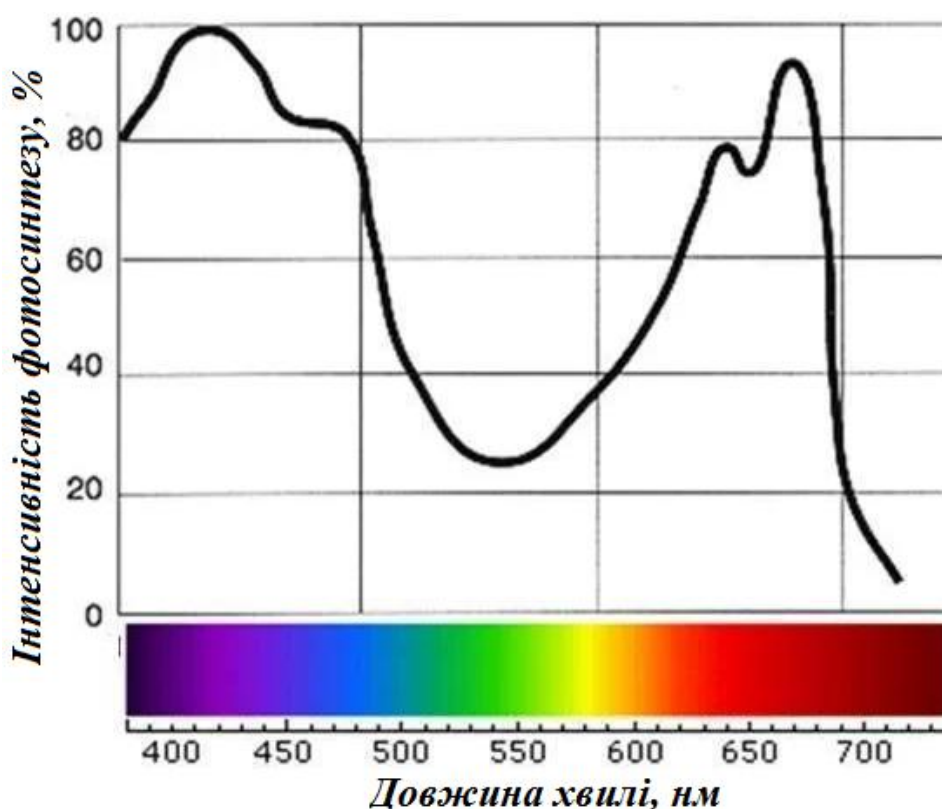


Рисунок 1.7 – Залежність інтенсивності фотосинтезу від довжини хвиль оптичного випромінювання

Світло в діапазоні від 380 нм до 400 нм та від 700 нм до 750 нм характеризується регуляторною дією, а отже, необхідне в мінімальних кількостях. Діапазон менше 380 нм та вище 750 нм впливає на сіянці негативним чином.

Під час розрахунку освітлення теплиці часто доводиться комбінувати кілька ламп із різним спектром випромінювання, оскільки всі вони необхідні

для нормального зросту рослин. Це обумовлено тим, що на теперішній час немає ламп, які з високою точністю імітували б сонячний білий світ. Світловий потік може бути тільки максимально наближений до нього, проте не замінити його.

Температура є ключовим фактором зростання і розвитку рослин. Поряд із рівнем освітлення, концентрацією вуглекислого газу, вологістю повітря, зволоженням ґрунту й наявністю поживних речовин, температура впливає на ріст рослин і в кінцевому підсумку врожайність сільськогосподарських культур. Всі ці фактори повинні бути збалансовані. Температура впливає на розвиток рослин як у короткостроковій, так і в довгостроковій перспективі вирощування [8].

Більшість біологічних процесів починають прискорюватись під час дії високих температур, і це може мати як позитивні, так і негативні наслідки. Температура рослин і температура повітря неоднакові, тому що рослини здатні охолоджуватися через випаровування і нагріватися через випромінювання. Рослини прагнуть досягти оптимальної температури, і в цьому випадку важливий баланс між температурою повітря, відносною вологістю і освітленістю зони вирощування теплиць. Під час високого рівня освітленості рослина нагрівається, що призводить до різниці між температурою рослини і температурою повітря. Щоб охолонути, швидкість випаровування рослини повинна збільшитися. Як і температура, швидкість транспірації залежить від умов навколишнього середовища, таких як світло, рівень атмосферного CO₂ і відносна вологість повітря, але також і від виду та періоду вегетації вирощуваних рослин.

Залежно від зовнішніх температурних показників, а також стадії розвитку овочевої культури температуру всередині теплиці слід знижувати або підвищувати відносно температури довколишнього середовища. З цією метою використовується кілька сучасних і цілком доступних технічних засобів, як наприклад автоматичні терморегулятори (див. рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Зовнішній вигляд типового терморегулятора для тепличних умов вирощування овочевих культур

Оптимальні діапазони температур для типових овочевих тепличних культур у залежності від фази зростання наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Оптимальні тепличні температури

Фаза розвитку	Денна температура, °C	Нічна температура, °C	Досвічування годин
Посів	23-24	23-24	-----
Сходи	22-23	21-22	24
Пікірування	20-21	19-20	18
Розсада	20-21	18-19	16-18
Перед висадкою в теплицю	19-20	17-18	12-14
Висадка в теплицю	20-21	19-20	-----
Після висадки в теплицю	20-23	17-18	-----

Різні культури по-різному відносяться до вологості повітря, і оптимальні значення відносної вологості повітря в різні фази їх розвитку також неоднакові. Підвищена вимогливість до високої відносної вологості повітря у огірків: від 85 % до 95 %, перцю – від 60 % до 65 % та ін.

У всіх культур у розсадний період оптимальна вологість повітря значно нижче: у огірків, баклажанів, селери та ін. становить від 70 % до 75 % ; салату, редиски, кропу, шпинату – від 60 % до 70 % (у період формування продуктивних елементів – від 75 % до 85 %); для томатів і перцю постійно – від 60 % до 65 %. Однак при оптимальній вологості потрібно дотримуватися оптимальних температур. У протилежному випадку порушується нормальний процес зростання та розвитку рослин: за низької вологості й високої температури повітря посилюється процес транспірації та може виникнути дефіцит вологості. А отже, створюються сприятливі умови для розвитку хвороб і шкідників [9].

Під час підвищення температури на 5 °C відносна вологість починає спадати з 76 % до 54 %. За високої вологості та низької температури транспірація знижується, в листі порушується нормальний хід фізіологічних процесів і процес запилення, стимулюється розвиток різної мікрофлори, рослини хворіють білою гниллю, борошнистою россою, бурою плямистістю та іншими хворобами.

На огорожувальних поверхнях (склі, плівці та ін.) утворюється конденсат, який також сприяє захворюванню рослин і погіршує освітленість приміщення.

Відносною вологістю повітря в теплиці можна легко керувати шляхом зниження / підвищення температури повітря в теплиці, вентиляцією, додаванням води в об'єм повітря будь-яким способом.

Основними інженерними інструментами регулювання відносної вологості повітря в зоні вирощування теплиць є системи опалення, вентиляції, рециркуляції та випарного охолодження і зволоження повітря, зрошення покрівлі.

Регулювання відносної вологості повітря системою вентиляції пов'язане з регулюванням температури повітря в теплиці.

Ще одним важливим параметром мікроклімату теплиць під час вирощування овочевих культур є концентрація вуглекислого газу, адже фотосинтез – це процес перетворення атмосферного вуглецю в якості основного будівельного матеріалу у вигляді молекул CO_2 у зелену масу рослин.

Для забезпечення протікання фотосинтезу рослинам необхідні великі кількості повітря, так як атмосферне повітря містить всього 0,03 % вуглекислого газу, що недостатньо для оптимального росту рослин. Отже, продуктивність і життєздатність вирощуваних культур безпосередньо залежить від наявності в повітрі CO_2 . Під час вирощуванні рослин в теплицях низький вміст вуглекислого газу є обмежуючим фактором для ефективного зростання культур.

Рослини в сухому залишку на 95 % складаються з вуглецю, причому черпають його вони з атмосфери. У кожному кубічному метрі повітря міститься 0,56 г діоксиду вуглецю. Проте рослини здатні засвоїти в 4 рази більше двоокису вуглецю. У стандартних умовах концентрація CO_2 становить від 0,03 % до 0,04 % від загального обсягу повітря. Агрохіміки рекомендують збільшувати концентрацію вуглекислого газу до значень від 0,1 % до 0,15 %, тобто в 3 – 5 разів в порівнянні з атмосферним повітрям. Особливо виправдано це в умовах посиленого розсіяного освітлення, коли споживання CO_2 зростає в декілька разів. Відповідно, це дозволить збільшити концентрацію діоксиду вуглецю до 0,2–0,6 %, у результаті чого істотно прискориться процес фотосинтезу.

У сучасній практиці подача вуглекислого газу в теплицю може здійснюватися трьома способами, як показано на рисунку 1.9:

- введення відпрацьованих газів із котельні;
- пряма газация шляхом установки плазмового пальника;
- установка газової гармати або подача вуглекислоти безпосередньо з балона.

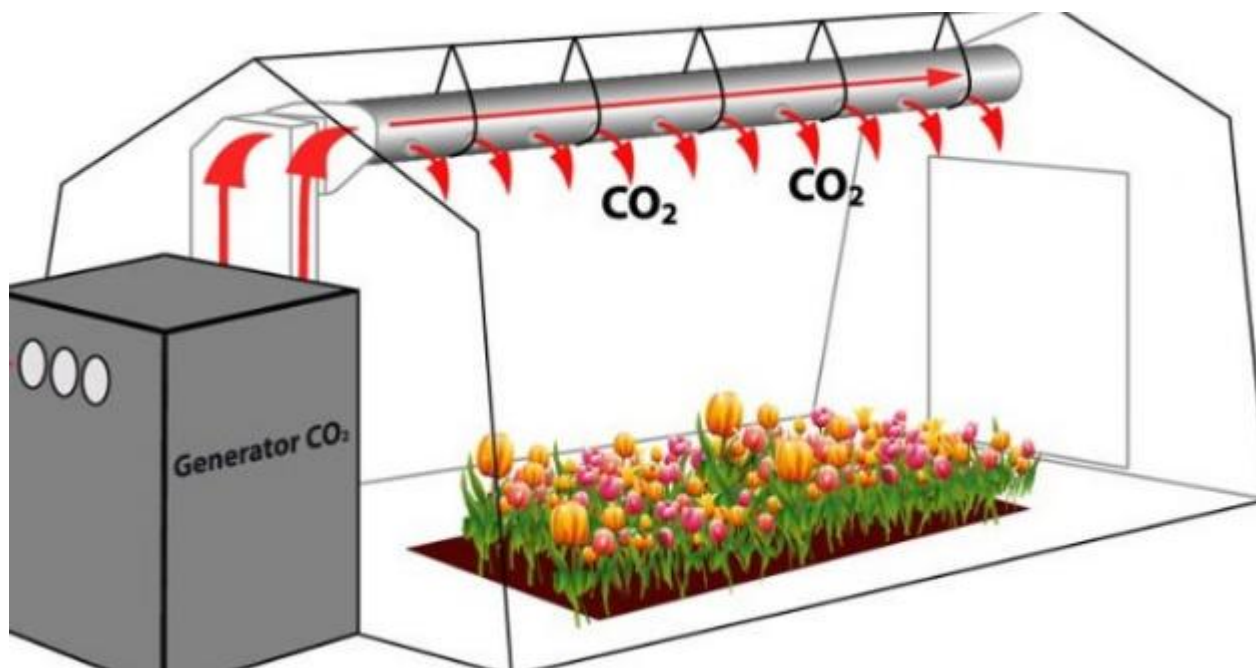


Рисунок 1.9 – Типова схема подачі вуглекислого газу до зони вирощування теплиць

Таким чином, сучасні агротехнічні вимоги передбачають контроль, і підтримку значень параметрів мікроклімату в теплиці в залежності від часу доби, а також типів і періодів вегетації культур. Отже, вимірювальний моніторинг параметрів мікроклімату необхідний для забезпечення оптимальних параметрів середовища в теплицях, що здатні забезпечити інтенсифікацію засвоєння рослинами фотосинтетичної радіації і підвищити ефективність продукційного процесу.

1.2. Аналіз існуючих науково-практичних рішень моніторингу параметрів мікроклімату теплиць

Сучасні технології вирощування овочів, квітів, розсади та зеленних культур вимагають постійного контролю та підтримки певних режимів мікроклімату в теплицях, що є неможливим без прецизійних вимірювань вищезаявлених параметрів мікроклімату.

Автоматизація технологічних процесів тепличного вирощування за рахунок використання інформаційно-вимірювальних систем і комплексів управління мікрокліматом в захищеному ґрунті дозволяє економити від 15 % до 25 % ресурсів за умови зростання врожайності, поліпшення умов праці персоналу та підвищення загальної культури виробництва.

Найсучасніші і професійні системи характеризуються такими показниками [10]:

- забезпечують у теплиці вимірювальний контроль процесів опалення, вентиляції, охолодження, дозування CO₂, циркуляції повітря, штучного освітлення, обробки рослин хімікатами та внесення добрив;

- керують технологічними механізмами, а саме: екрани і елементи затінення, зволожувачі повітря, системи очищення даху, пальники опалювальних котлів, дезінфектори дренажної води і рециркулятори води в системі зрошення;

- забезпечують прецизійний моніторинг погодних умов, температури і вологості всередині теплиці;

- збір даних та їх візуалізація в графічному форматі проводяться за допомогою персонального комп'ютера;

- мають високу гнучкість і масштабованість (можуть використовуватися в будь-яких теплицях, в різних конфігураціях);

- мають високу надійність, у тому числі забезпечується резервне копіювання даних;

- зручність монтажу і технічного обслуговування;

- вимірювальний контроль усіх параметрів в теплиці може здійснюватися з одного операторського робочого місця, яке оснащено персональним комп'ютером;

- можливість організації декількох дублюючих робочих місць, а також віддаленого моніторингу й керування теплицею через радіоканал або мережу Інтернет.

Задля більш детального виявлення напрямків досліджень магістерської роботи виникає необхідність у критичному аналізі відомих промислових систем автоматичного контролю мікроклімату теплиць.

Система контролю мікроклімату теплиць від фірми «Профит-Агро» побудована за блоковим принципом, у якій контроль та регулювання перерахованих параметрів здійснюється незалежними електронними блоками, кожен з яких відповідає за свій параметр [11], як показано у вигляді функціональної схеми на рисунку 1.10.

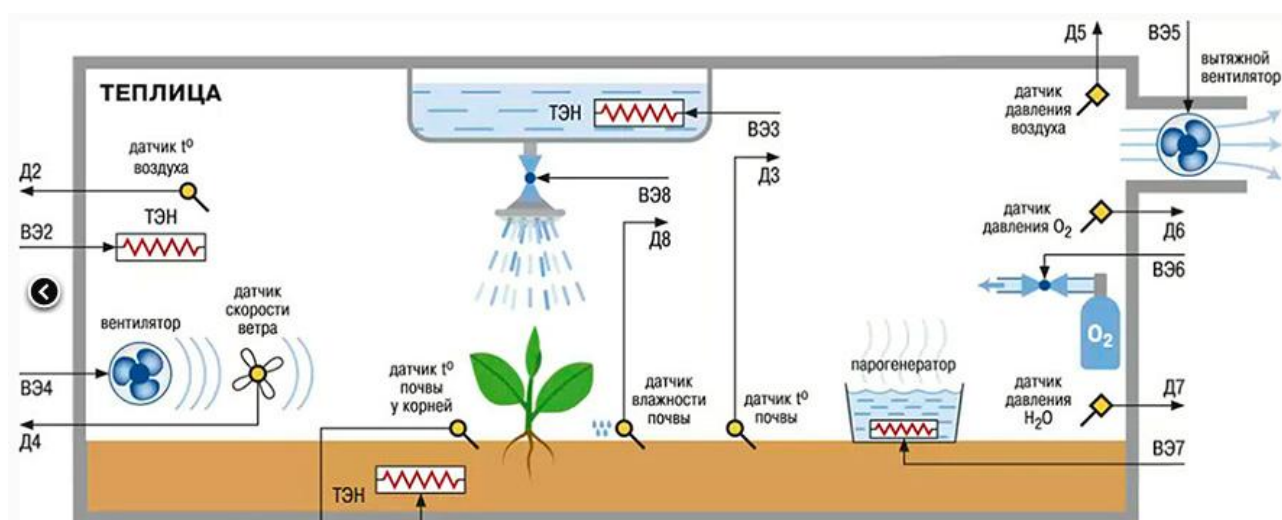


Рисунок 1.10 – Структурна схема системи контролю мікроклімату від фірми «Профит-Агро»

До складу кожного блоку входять відповідний датчик (вологості, температури, освітленості), уніфіковані підсилювач сигналу датчика і електронний ключ управління зовнішнім виконавчим пристроєм.

Типова система мікроклімату складається з фотореле, таймера, датчиків вологості і температури повітря, датчика контролю освітленості і ключа управління. Сам блок може підключатися безпосередньо до комп'ютера управління.

У системі контролю мікроклімату промислових теплиць, що розроблена фірмою ОВЕН перший рівень об'єднує програмовані контролери ОВЕН ПЛК100 (по одному на кожну теплицю) з контролером верхнього рівня

(ПЛК100), операторською станцією та модулями дискретного введення / виведення інформації ОВЕН МДВВ із використанням мережі Ethernet [12]. До процесорним модулям можна підключати різні зовнішні периферійні пристрої по послідовному інтерфейсу RS-485 / RS-232, як показано на рисунку 1.11.

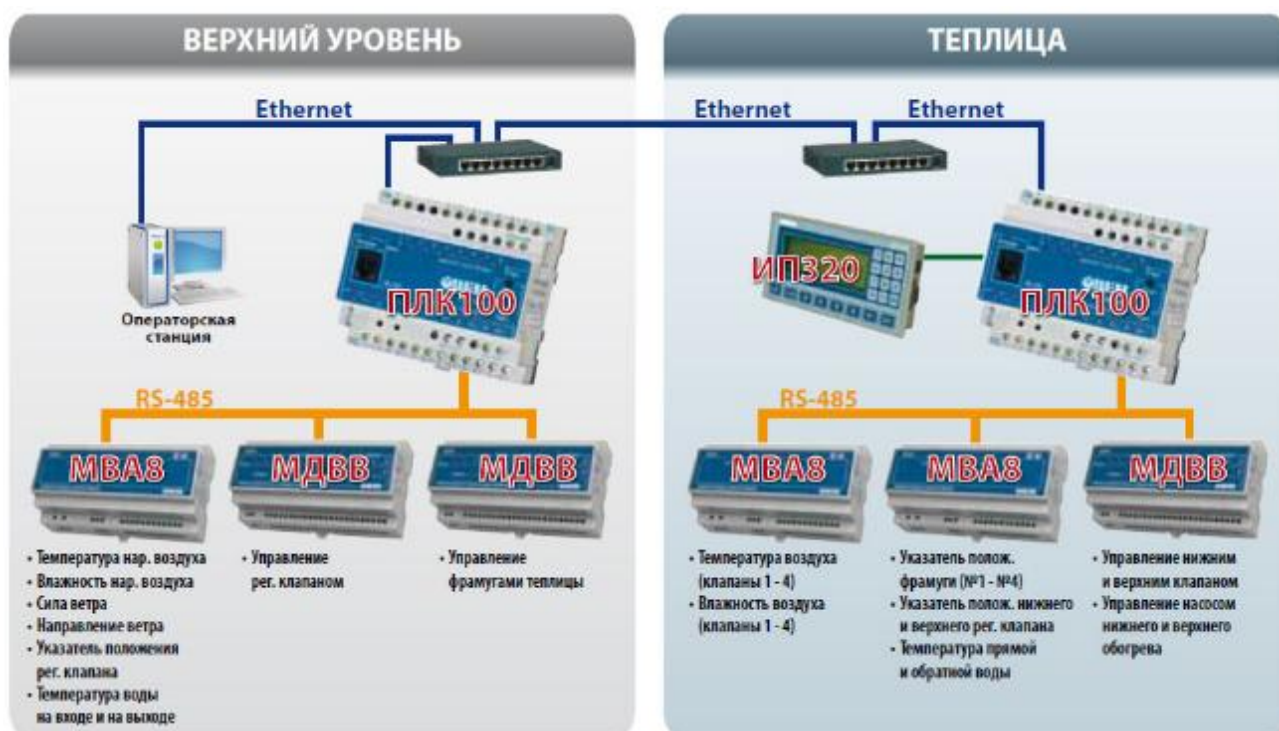


Рисунок 1.11 – Функціональна схема системи контролю мікроклімату від фірми ОВЕН

Подібна структура забезпечує значні комунікаційні можливості, що реалізуються за допомогою стандартних інтерфейсів і протоколів підключення до пристрою верхнього рівня обміну інформацією. Другий рівень такої системи реалізований на основі модулів введення / виведення ОВЕН МВА8, операторської панелі ОВЕН ИП320, сенсорів фізичних параметрів мікроклімату та інших пристроїв і інтерфейсу RS-485 / RS-232. Польова мережа побудована з декількома лініями передачі даних. До складу такої системи автоматичного контролю входять наступні компоненти:

– ПЛК100 контролер для малих систем автоматизації з DI / DO;

- ІП320 графічна монохромна панель оператора;
- МВА8 аналоговий модуль введення;
- МДВВ модуль дискретного вводу / виводу.

Ще одним відомим інженерним рішенням з побудови промислових систем контролю мікроклімату теплиць є CASCAD-CD-CLIMAT [13], інтерфейс якої наведений на рисунку 1.12.



Рисунок 1.12 – Інтерфейс системи контролю мікроклімату
CASCAD-CD-CLIMAT

Автоматизована система управління мікрокліматом CASCAD-CD-CLIMAT включає в себе:

- блок контролера керування CD-Climatic;
- щити керування;
- сенсори температури (повітря, субстрату, теплоносіїв);
- сенсори вологості повітря;

- сенсори тиску;
- сенсор сонячної радіації;
- метеостанція;
- система керуючих реле (управління насосами, фрамугами, вентиляторами та ін.);
- станція оператора;
- програмне забезпечення CD-Climat-Monitor;
- комутаційні та кріпильні елементи;
- кабельна продукція.

Спеціалізоване програмне забезпечення CD-Climat-Monitor дозволяє відстежувати параметри мікроклімату теплиці та оперативно втручатися в технологічний процес з будь-якого місця. Введення і аналіз даних щодо температури й вологості можливий як зі станції оператора, так і з мобільних пристроїв.

Система автоматизованого управління мікрокліматом блоку теплиць, яка розроблена НПО «Системотехника», призначена для підтримки заданих графіків температури повітря, температури ґрунту, концентрації двоокису вуглецю (CO_2) та вологості повітря в теплиці. Функціональну схему такої системи наведено на рисунку 1.13.

Підтримка заданих технологічних параметрів забезпечується шляхом автоматичного керування потужністю підсистеми обігріву, положенням кватирок, пуском та / або зупинкою вентиляторів і газогенераторів [14]. Така система автоматичного керування мікрокліматом виконує наступні інформаційні функції:

- введення даних з метеостанції;
- збір, автоматичне опрацювання й подання інформації на екранах персонального комп'ютера і локальних пультах;
- створення архівів даних щодо історії технологічних процесів і подання їх в ергономічній графічній формі для оперативного аналізу (текст, графіки, гістограми та ін).

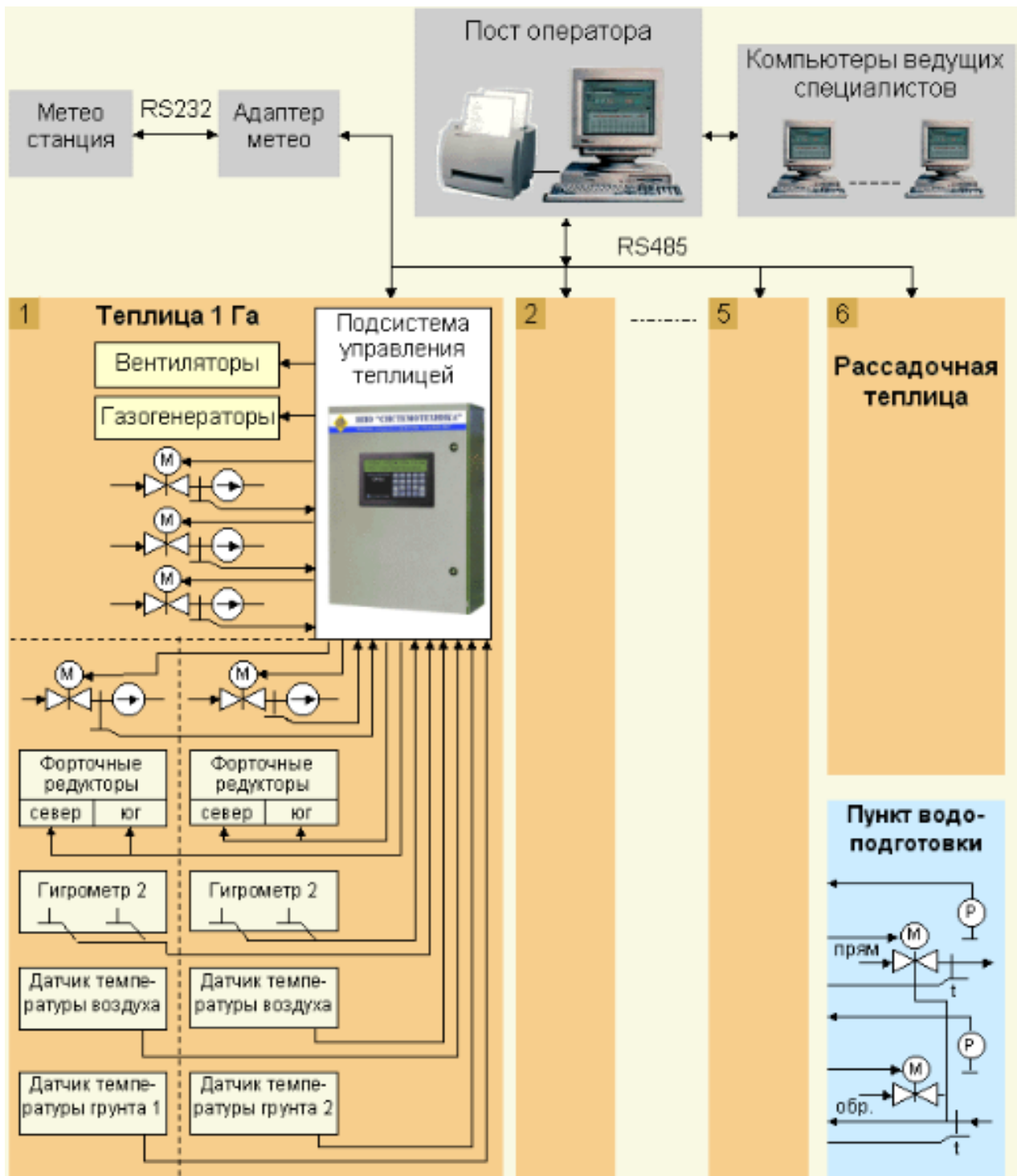


Рисунок 1.13 – Функціональна схема системи автоматичного контролю мікроклімату теплиць від НПО «Системотехника»

Застосування САК МКТ забезпечує:

- підвищення продуктивності теплиці за рахунок жорсткої автоматичної підтримки необхідних параметрів мікроклімату;
- зниження енергоспоживання;

- підвищення рівня надійності та ефективності роботи обладнання;
- забезпечення персоналу достовірною та своєчасною інформацією щодо технологічних процесів.

У загальному випадку існуючі промислові комплекси автоматизованого регулювання мікроклімату теплиць працюють наступним чином. Датчики температури й вологості контролюють поточний стан повітря та ґрунту. Підтримка стабільних температурних і вологісних показників прискорюють вегетативний період, забезпечують швидкий розвиток кореневої системи та сприяють підвищенню врожайності до 45 %. Якщо в теплиці передбачено стелажне вирощування, то сенсори встановлюються на кожному ярусі та працюють незалежно.

Важливо, щоб вся система могла оперативно реагувати на потреби зростаючих рослин. Так, для деяких культур обов'язково витримувати різницю між денною та нічною температурою, а при сонячній погоді температура прогріву ґрунту повинна знижуватися, щоб коренева система не пересихала. Температура повинна стабілізуватися з високою точністю, з коливаннями не більше 1 °C. Вологість повинна регулюватися з урахуванням стану зовнішнього повітря.

Сенсори, які контролюють рівень освітленості і забезпечують включення й виключення світла в залежності від рівня природної (сонячної) освітленості, дозволяють заощадити до 25 % електроенергії. Крім того, вони включають механізми затінення за необхідності. Таким чином, забезпечується регуляція опромінення для правильного протікання процесів фотосинтезу.

При запуску системи вентиляції повинні враховуватися не тільки поточний рівень CO₂ всередині теплиці, а й швидкість і напрям вітру зовні.

Процеси поливу і внесення добрив запускаються спеціальними стартовими програмами. У них вказується час, обсяги та проміжні інтервали контролю. В прогресивних системах враховуються побічні впливи сонячної радіації та температурного режиму.

1.3. Аналіз програмних сервісів віддаленого моніторингу вимірюваних параметрів

У теперішній час під час створення інформаційно-вимірювальних систем контролю технологічних процесів, у тому числі сільськогосподарського призначення, набули концептуальні положення Інтернету речей.

Обов'язковим функціональним елементом таких систем є спеціалізоване програмне забезпечення, що реалізує функції збору, обробки та візуалізації результатів спостережень за динамікою вимірюваних фізико-хімічних величин. Це програмне забезпечення може бути реалізовано з використанням сервісів хмарних обчислень [15].

ThingSpeak™ – це віртуальна платформа аналітичних обчислень Інтернету речей, що дозволяє збирати, опрацьовувати та візуалізувати потоки реальних даних у реальному часі в хмарному середовищі. ThingSpeak забезпечує оперативну візуалізацію даних, які надсилаються віддаленими пристроями в ThingSpeak, як показано на рисунку 1.14.

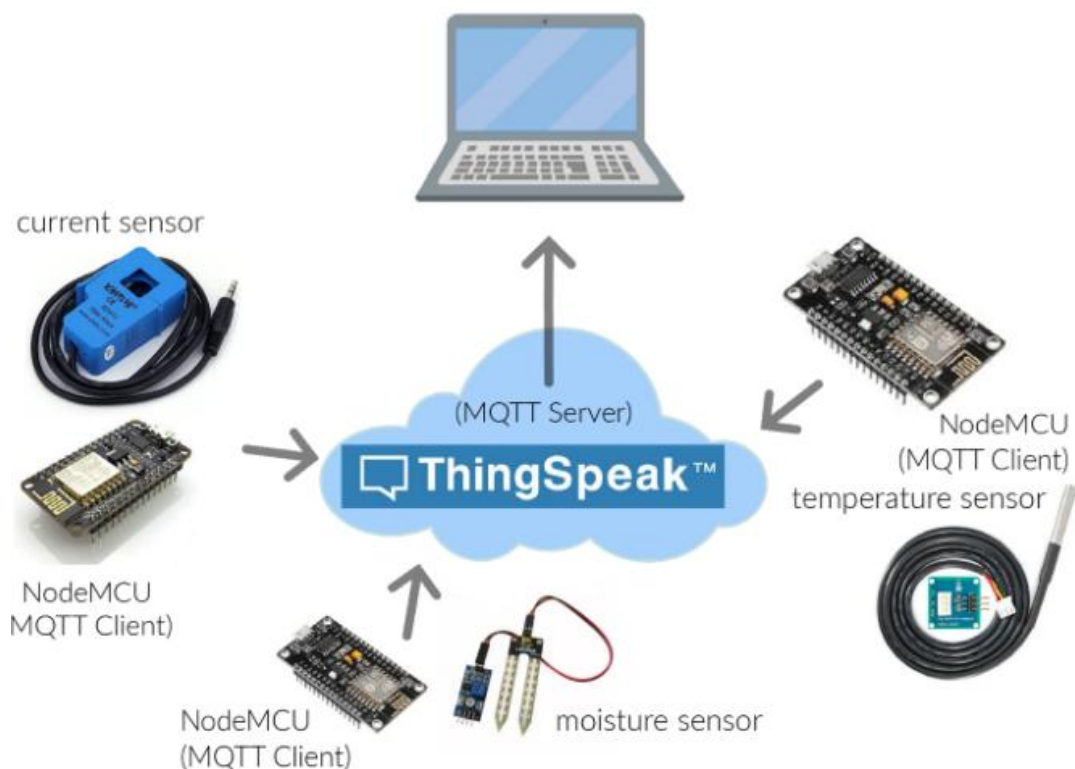


Рисунок 1.14 – Концептуальні положення функціонування ThingSpeak

На цьому сервісі також передбачена можливість виконувати код MATLAB® у режимі реального часу. ThingSpeak також часто використовується під час прототипування й перевірки концептуальних систем Інтернету речей, що вимагають аналітики. Ключові особливості ThingSpeak полягають у можливості об'єднання, візуалізації й аналізу потоків реальних даних у хмарі

Android Things – це операційна система, що керується сервісом фірми Google, яка дозволить створювати та підтримувати Інтернет-пристрої Things. Основними характеристиками цієї платформи є надійна та проста робота зі спеціалізованим обладнанням зі зручними API-інтерфейсами розробника і безпечними оновленнями програмного забезпечення з використанням інфраструктури Google, як показано на рисунку 1.15.



Рисунок 1.15 – Концептуальні положення функціонування Android Things

IoT-Ignite – це платформа, яка була створена як послуга PaaS, що спеціально розроблена для реалізації систем Інтернету речей. Ця платформа об'єднує в собі сучасні передові методи й унікальну архітектуру. В ній легко інтегрувати підключені пристрої у адаптивну архітектуру. Існуючі служби Інтернету речей або відправляють дані безпосередньо з мережевих пристроїв на хмару, або передають дані рядка через шлюзи без обробки. В обох випадках значний обсяг трафіку даних передається між кінцевим пристроєм і хмарою.

Положення Інтернету речей 2.0, які реалізовані в даному сервісі, забезпечують значну можливість передачі даних шляхом обробки даних всередині шлюзів, як показано на рисунку 1.16.

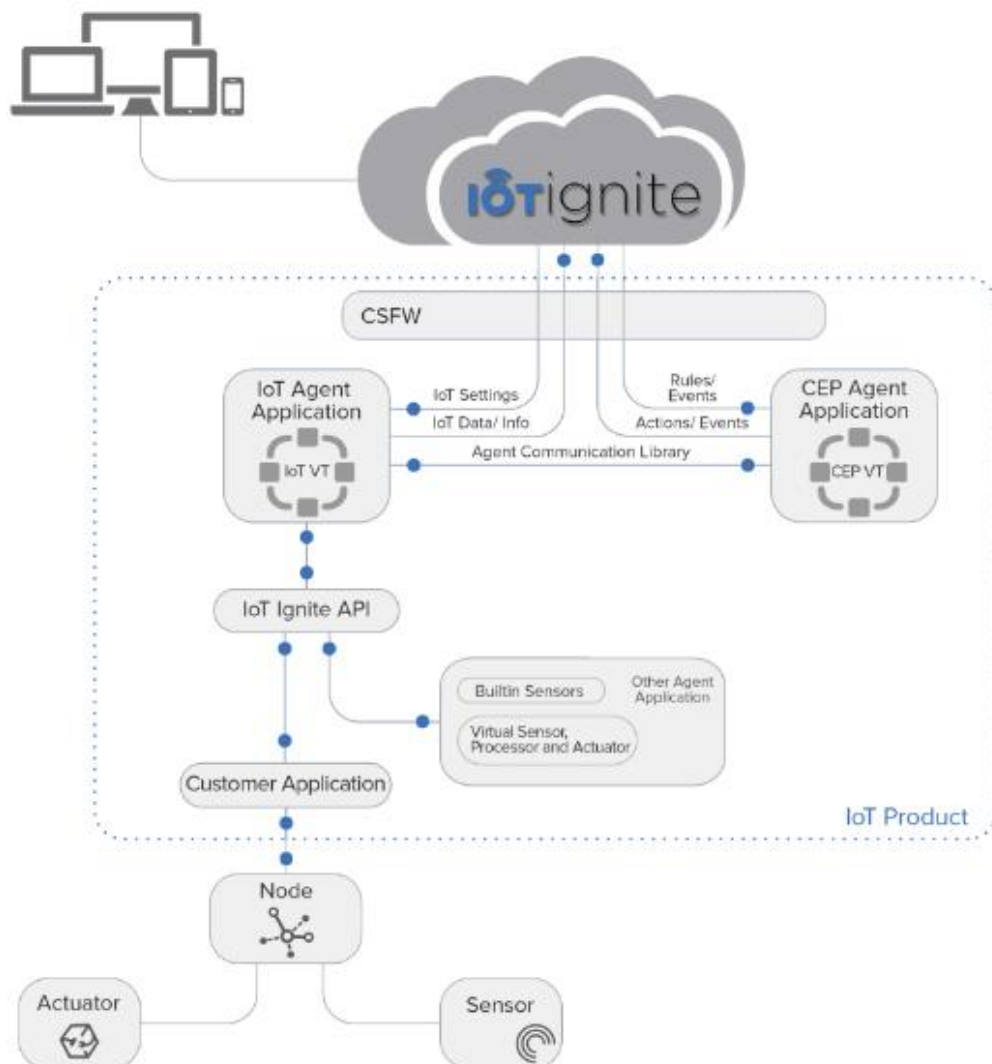


Рисунок 1.16 – Концептуальні положення функціонування IoT-Ignite

Таким чином, розглянуті найбільш розповсюджені платформи для реалізації концептуальних положень Інтернету речей мають бути інтегровані до розроблюваної інформаційно-виміральної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць. Це дозволить значно підвищити ефективність вимірального процесу моніторингу результатів спостережень за динамікою інформативних фізико-хімічних характеристик мікроклімату промислових теплиць.

1.4. Висновки

У наведено розділі кваліфікаційної роботи було виконано проведено критичний аналіз мікроклімату промислових теплиць, як об'єкту контролю. В результаті цього було встановлено необхідність онлайн моніторингу таких параметрів, як: освітленість, температура, відносна вологість та загальна характеристика повітряного середовища всередині теплиці. Адже ці фізико-хімічні параметри безпосередньо впливають на формування так званого мікроклімату – особливих кліматичних умов на одній окремо взятій ділянці простору.

Виконано порівняльний аналіз існуючих інженерних рішень із побудови інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць. У результаті цього було встановлено необхідність впровадження до структури досліджуваної системи спеціалізованого програмного забезпечення, що реалізує функції збору, обробки та візуалізації результатів спостережень за динамікою вимірюваних фізико-хімічних величин.

Проведено аналіз сучасних платформ Інтернету речей та обрано в якості базової сервіс ThingSpeak на підставі критеріїв надійності та ергономічності використання.

РОЗДІЛ 2

МОДЕЛЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ

2.1. Комп'ютерна модель каналу вимірювання температури повітря в зоні вирощування теплиць

На сьогоднішній день у інженерній практиці значного розповсюдження набула значна кількість схемних рішень щодо побудови вимірювачів температури аерогазового стану фізичних середовищ. Але кожна з них характеризується певними плюсами й мінусами. Основним критерієм під час вибору схемних принципів рішень структурних вузлів вимірювального каналу температури є мінімум показника нелінійності функції перетворення, а також мінімум адитивної та мультиплікативної складових сумарної невизначеності вимірювання температури. На підставі таких вимог у роботі запропоновано принципову схему вимірювального каналу температури, для якої обрано і розраховано відповідні схемні елементи. Створену імітаційну модель на базі розробленої схеми задля визначення відповідних характеристик перетворення аналогового блоку вимірювача температури наведено на рисунку 2.1.

Комп'ютерна модель, що наведена на рисунку 2.1, являє собою аналоговий вимірювальний блок температури аерогазового середовища в зоні вирощування тепличних рослин. Цей блок містить три з'єднані послідовно каскади, а саме:

- вимірювальний міст, який працює на постійному струмі і утворений резисторами $R_1 - R_3$ і R_T ;
- вимірювальний підсилювач, який побудовано із використання ОППС $DA_1 - DA_3$ і резисторів $R_4 - R_{10}$;
- аналоговий перетворювач, що нормує на базі елементів DA_4 і $R_{11} - R_{14}$.

Аналізуючи розроблену схему принципову вимірювача температури аерогазовго стану теплиць, що представлена на рисунку 2.1, варто зазначити, що базовою одиницею схеми є резистивний вимірювальний міст, який працює на постійному струмі. А отже, оскільки саме цей міст вносить найбільшу невизначеність до результату вимірювання температури, потрібно більш детально його дослідити.

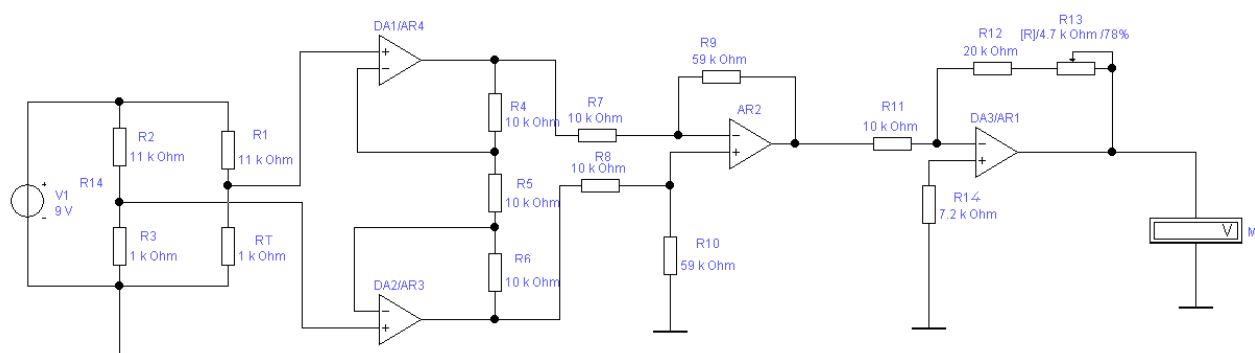


Рисунок 2.1 – Комп'ютерна модель вимірювального каналу температури зони вирощування промислових теплиць

Ця складова загальної невизначеності обумовлена значною мірою нелінійністю статичної градуовальної характеристики вимірювального моста за температурою. Отже, необхідно приділити йому значної уваги при оцінці метрологічних характеристик розроблюваної системи.

Типову принципову схему вимірювального моста, до якого включено сенсор температури, наведено на рисунку 2.2.

Резистивний вимірювальний міст температури, як показано на рисунку 2.2, представляє собою 4-плечовий врівноважуючий вимірювальний міст постійного струму. В одне з плечей такого моста вмикається термометр опору (терморезистор) типу ТСП-2000 П, який має нелінійну залежність між електричним опором і вимірюваною температурою. Вихідним сигналом такого моста є напруга в діагоналі схеми. Нелінійність вихідного сигналу, що спостерігається, яка обумовлена впливом температури, обумовлює появу систематичної складової невизначеності в результатах спостережень. З метою

зменшення та / або повного виключення цієї складової невизначеності можна використати один із двох відомих підходів [16–19]:

- програмний облік і компенсація цієї нелінійності в мікропроцесорному блоці системи;
- облік і компенсація нелінійності за рахунок проєктування відповідних схемних реалізацій на структурно-функціональному рівні.

Для принципової схеми, яку наведено на рисунку 2.2, використано другий підхід мінімізації нелінійності за рахунок структурних рішень. Сутність такого способу полягає в тому, щоб обрати відповідні раціональні номінали резисторів, які входять до складу моста. Цей підхід сприяє зменшенню нелінійності та сумарної невизначеності. На підставі аналізу принципової схеми вимірювального мосту, що представлена на рисунку 2.2, визначено, що відносне збільшення співвідношення опорів R_1/R_T обумовлює зменшення нелінійності статичної градувальної характеристики моста до вимірюваного параметра температури аерогазового середовища. Проте це співвідношення не має перевищувати значення 20, адже подальше зростання електричного опору R_1 , призведе до відповідного збільшення падіння вихідної напруги моста й теплових шумів резистивних елементів.

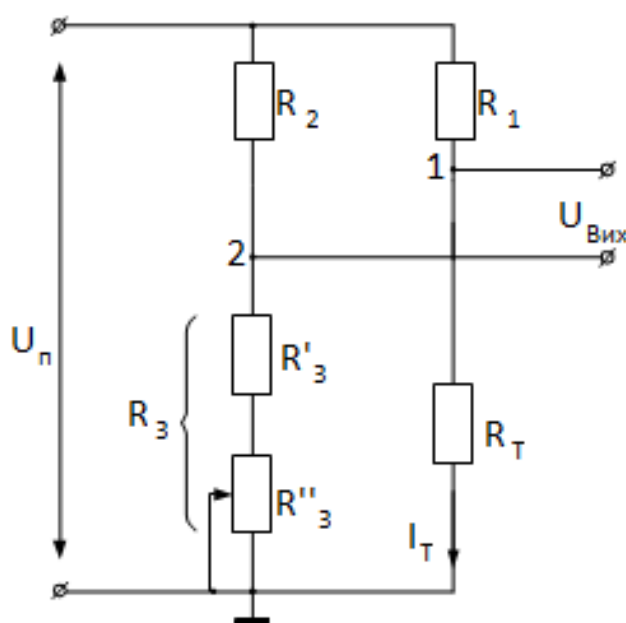


Рисунок 2.2 – Принципова схема вимірювального моста температури

Таким чином, з обліком вищевказаних вимог було обрано такі номінали резисторів вимірювального моста: $R_1 = 11 \text{ кОм}$, $R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_3 = 1 \text{ кОм}$.

Варто акцентувати увагу на тому, вимірювальний міст врівноважено за умови, що температура дорівнює $0 \text{ }^\circ\text{C}$, а також вихідна напруга має дорівнювати 0 В . Як зазначалось вище в якості чутливого елементу вимірювального каналу температури терморезистор типу ТСП2000П. В такому випадку залежність електричного опору від впливу температури можна описати із використанням поліноміальної залежності другого ступеня наступним чином:

$$R(T) = R_0 \cdot (1 + A \cdot T + B \cdot T^2),$$

де позначено: $R(T)$ – електричний опір терморезистивного елемента за поточної температури T ; R_0 – номінальний опір терморезистивного елемента за початкової температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$, що рівний 1 кОм ; $A = 3,868 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$; $B = -5,865 \cdot 10^{-7}$; T – діапазон контрольованих температур аерогазового стану від $5 \text{ }^\circ\text{C}$ до $45 \text{ }^\circ\text{C}$.

На підставі вищенаведеної поліноміальної залежності отримано відповідну графік, який наведено на рисунку 2.3.

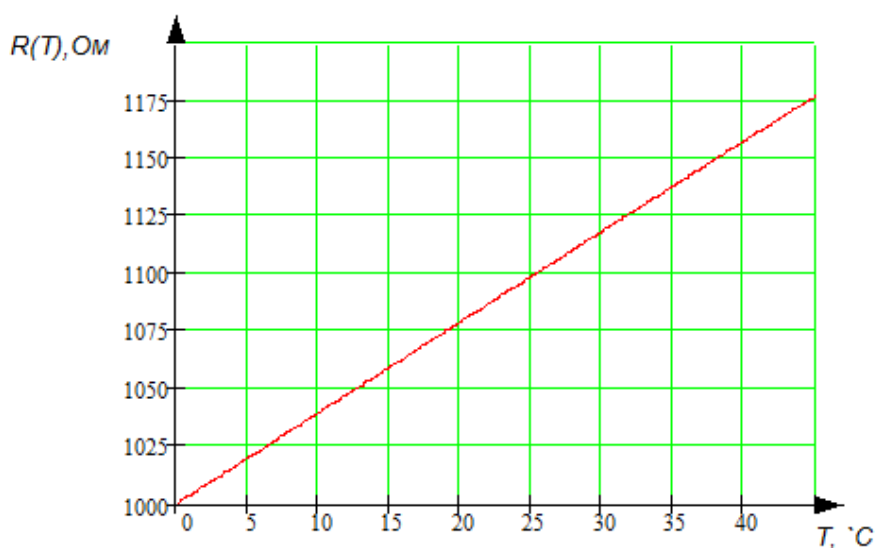


Рисунок 2.3 – Графічна залежність опору використаного терморезистора

Зміна опору терморезистивного елементу від поточної температури зони вирощування теплиць обумовлює зміну вихідної напруги моста постійного струму. Залежність цієї напруги, що представлена на рисунку 2.4, отримана на із використанням наступної формули:

$$U_{\text{vixMP}}(T) = U_n \cdot \left(\frac{R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)}{R_1 + R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right).$$

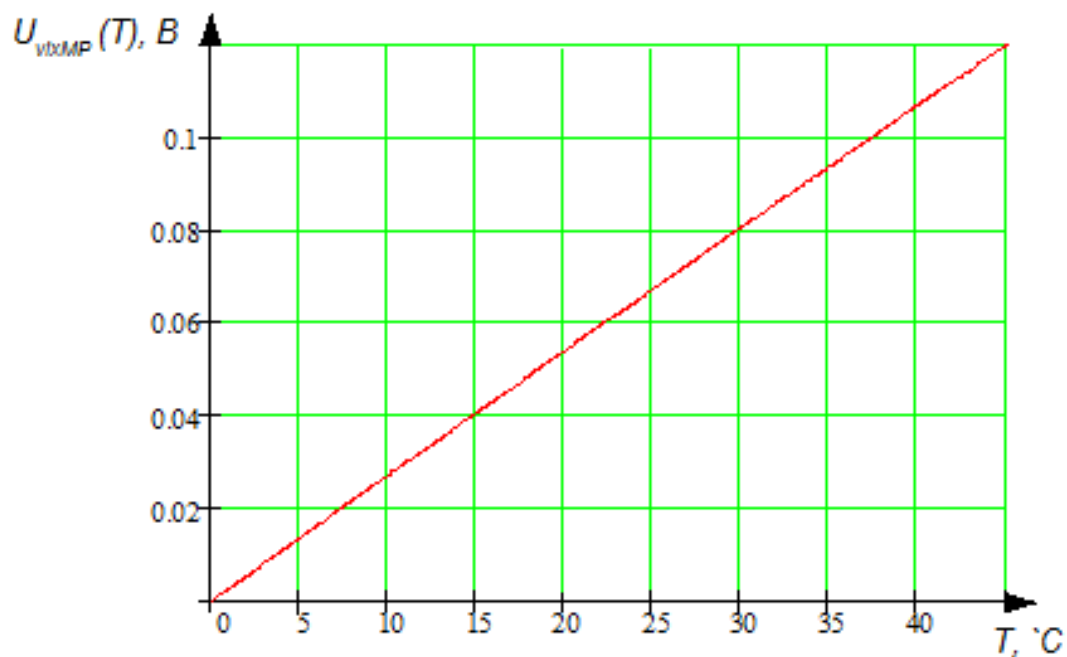


Рисунок 2.4 – Графічна залежність зміни вихідної напруги вимірювального моста температури

Вихідні інформативні сигнали вимірювального моста температури надходять до входу вимірювального підсилювача на ОППС. Їх значення визначено за формулами:

$$U_{\text{vx1}}(T) = \frac{U_{\text{vixMP}}(T)}{2},$$

$$U_{\text{vx2}}(T) = -\frac{U_{\text{vixMP}}(T)}{2}.$$

Створену комп'ютерну модель досліджуваного вимірювального підсилювача на базі трьох дискретних мікросхем ОППС наведено на рисунку 2.5.

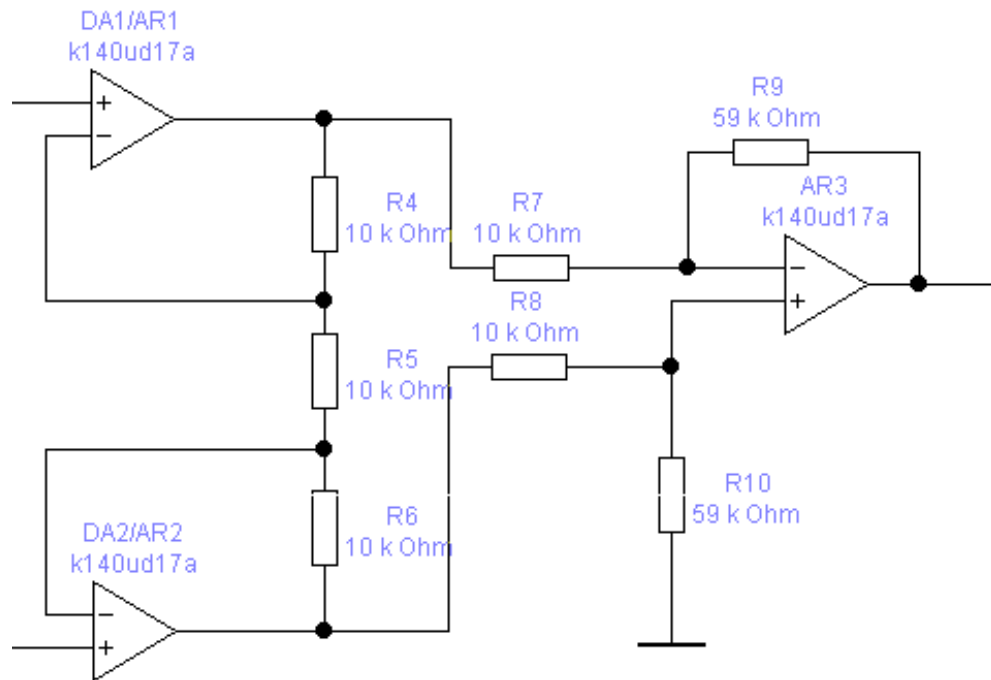


Рисунок 2.5 – Комп'ютерна модель досліджуваного вимірювального підсилювача

Функціональна залежність між падінням вихідної напруги вимірювального підсилювача на базі ОППС (див. рис. 2.5) від контрольованої температури описується формулою:

$$U_{\text{вихДП}}(T) = K_{u1} \cdot K_{u2} (U_{\text{вх1}}(T) - U_{\text{вх2}}(T)).$$

На підставі цього виразу побудовано графічну залежність напруги на виході вимірювального підсилювача від динаміки температури в робочому діапазоні, що представлена на рисунку 2.6.

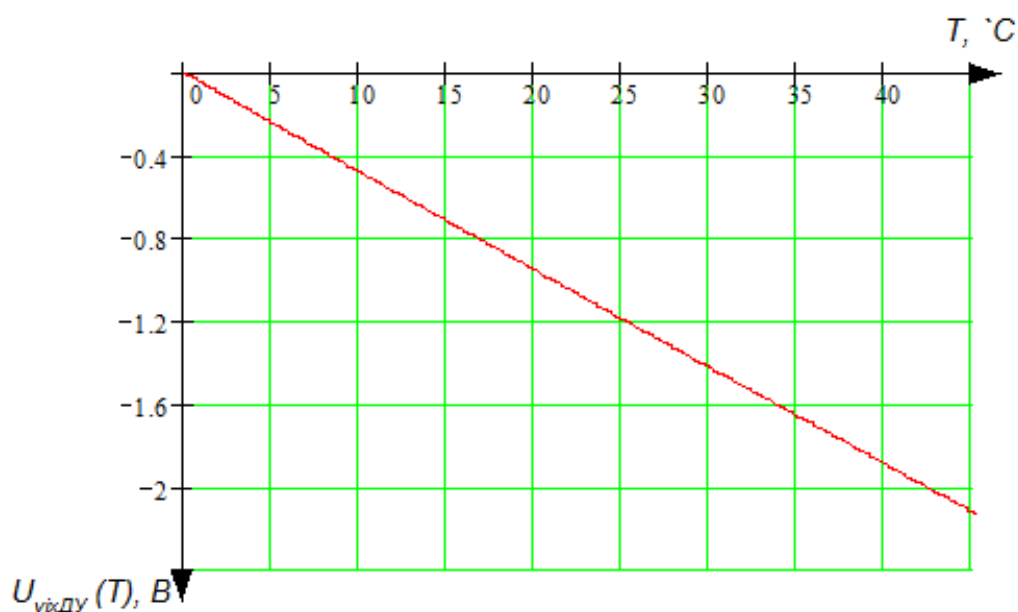


Рисунок 2.6 – Залежність падіння напруги на виході вимірювального підсилювача від зміни температури

Ще одним обов'язковим структурним блоком вимірювального каналу температури зони вирощування теплиць є нормуючий підсилювач. Досліджувану комп'ютерну модель такого вторинного перетворювача наведено на рисунку 2.7. Основним призначенням цього каскаду є перетворення сигналу, що надходить із виходу вимірювального підсилювача до уніфікованого вигляду постійної напруги в діапазоні від 0 В до 5 В.

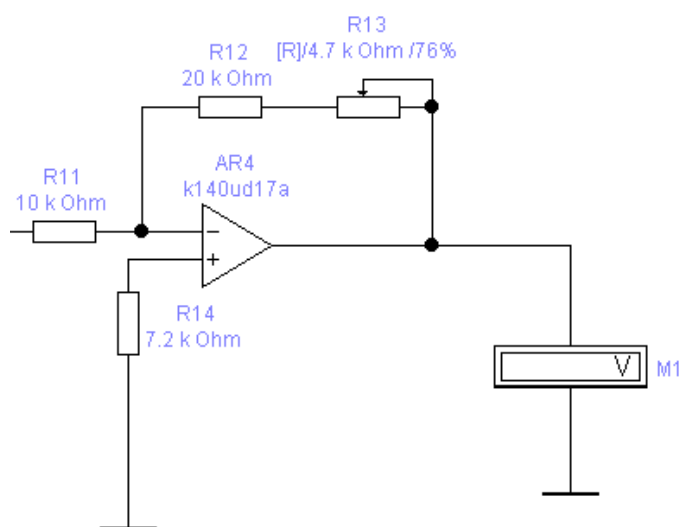


Рисунок 2.7 – Комп'ютерна модель досліджуваного нормуючого підсилювача

Графік залежності падіння напруги на виході підсилювача, який нормує, від контрольованої температури наведено на рисунку 2.8. Цей графік отримано на базі наступної формули:

$$U_{вихПН}(T) = U_{вихДУ}(T) \cdot K_{u3}.$$



Рисунок 2.8 – Залежність напруги на виході нормуючого підсилювача від контрольованої температури

Також однією з обов'язкових процедур перетворення вимірювального сигналу, що виконується в досліджуваній інформаційно-вимірювальній системі є аналого-цифрове перетворення. Математичну модель АЦП, що входить до складу мікропроцесорного блоку досліджуваної системи, побудовано на підставі наступного того, що вихідна напруга нормуючого підсилювача, яка є функцією від температури поступає безпосередньо на вхід мікропроцесорного блоку системи. Залежність вихідного коду аналого-цифрове перетворювача від вхідної напруги (вихідної напруги нормуючого підсилювача) визначається за наступним виразом:

$$Kod_{ADC}(T) = \frac{U_{вихП}(T)}{U_{on}} \cdot Kod_{MAX}.$$

На підставі цього виразу отримано відповідні графічні залежності, що представлені на рисунках 2.9 і 2.10.

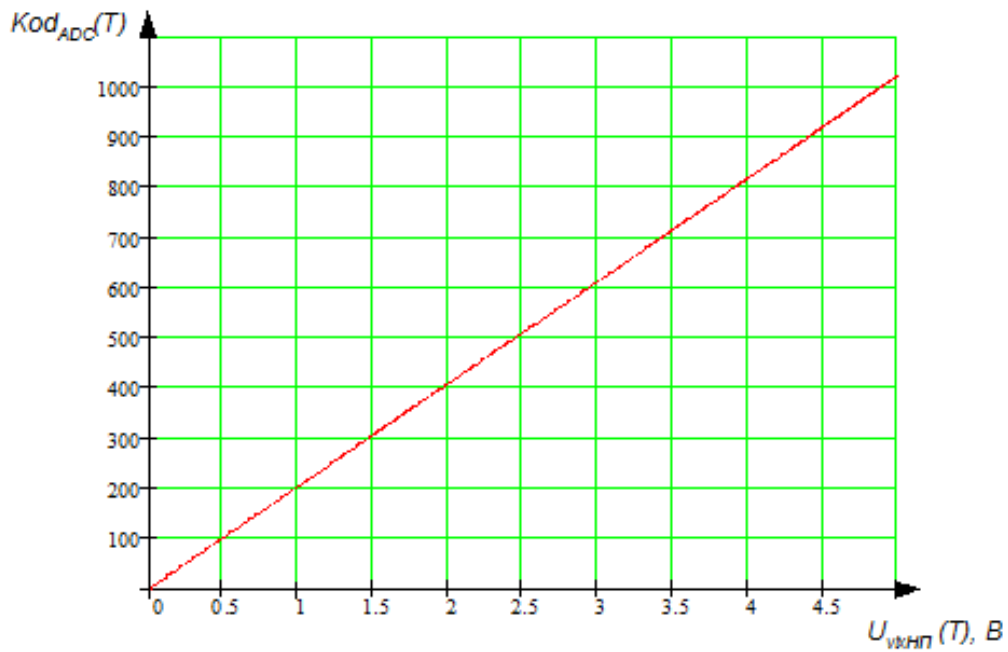


Рисунок 2.9 – Графік залежності коду на виході АЦП від напруги на його вході

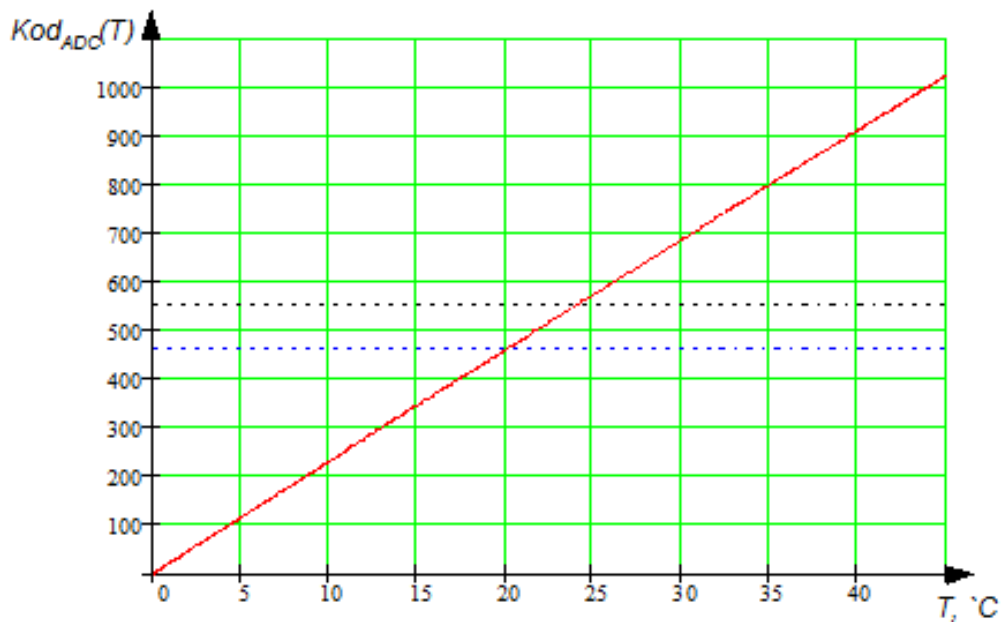


Рисунок 2.10 – Графік залежності коду на виході АЦП від контрольованої температури

Таким чином, математична модель вимірювального каналу температури, що є інформативним параметром аерогазового стану зони вирощування є наступною:

$$\left\{ \begin{array}{l} R(t) = R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2), \\ U_{vixMP}(T) = U_n \cdot \left(\frac{R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)}{R_1 + R_0 \cdot (1 + A \cdot t + B \cdot t^2)} - \frac{R_3}{R_2 + R_3} \right), \\ U_{vx1}(T) = \frac{U_{vixMP}(T)}{2}, U_{vx2}(T) = -\frac{U_{vixMP}(T)}{2}, \\ U_{vixДУ}(T) = K_{u1} \cdot K_{u2} (U_{vx1}(T) - U_{vx2}(T)), \\ U_{vixНП}(T) = U_{vixДУ}(T) \cdot K_{u3}, \\ Kod_{ADC}(T) = \frac{U_{vixНП}(T)}{U_{on}} \cdot Kod_{MAX}. \end{array} \right.$$

Цю математичну модель було отримано за умови обліку того, що адитивні та мультиплікативні складові загальної невизначеності функціональних блоків було повністю компенсовано. Також ця модель не приймає до обліку невизначеність, що обумовлена синфазними сигналами, які діють на вході вимірювального перетворювача системи, а також невизначеність, яку обумовлено температурним дрейфом компонент вимірювача.

2.2. Комп'ютерна модель каналу вимірювання вологості повітря в зоні вирощування теплиць

Розроблену узагальнену структурну схему вимірювального каналу вологості повітря зони вирощування культур в умовах промислових теплиць наведено на рисунку 2.11.

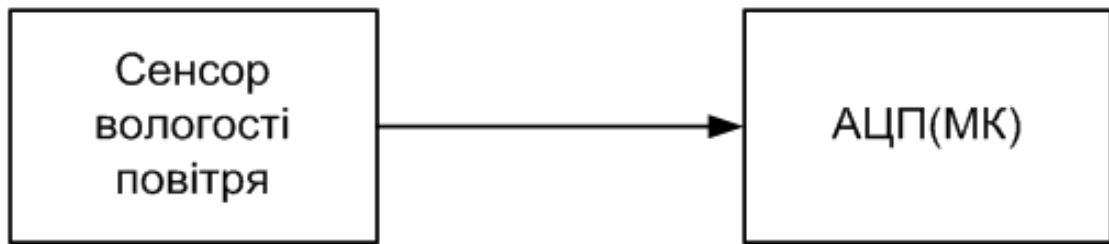


Рисунок 2.11 – Узагальнена структурна схема вимірювального каналу вологості повітря зони вирощування культур в умовах промислових теплиць

На структурній схемі, що представлена на рисунку 2.11, сенсор вологості повітря являє собою інтегровану апаратну компоненту, яка перетворює значення відносної вологості в еквівалентну постійну напругу, що потім підсилюється та перетворюється в лінійний вигляд.

Цей інформаційний сигнал поступає до входу аналого-цифрового перетворювача мікропроцесорного блоку інформаційно-вимірювальної системи, що перетворює його в еквівалентний двійковий код. Після цього виконується математична обробка отриманого двійкового коду й відображення результату вимірювального моніторингу відносної вологості на графічному дисплеї.

Залежність напруги на виході сенсора від вимірюваної відносної вологості за номінальної температури довколишнього середовища 25 °C описується наступним співвідношенням:

$$U_{\text{вих}}(RH) = U_n \cdot (0.0062 \cdot RH + 0.16),$$

де $U_{\text{вих}}(RH)$ – постійна напруга на виході сенсора вологості, В; U_n – постійна напруга живлення сенсора відносної вологості, що дорівнює 5 В; RH – вимірювана відносна вологість повітря.

На базі вищенаведеної формули отримано відповідну графічний вигляд градуовальної залежності вимірювального каналу вологості, яку представлено на рисунку 2.12.

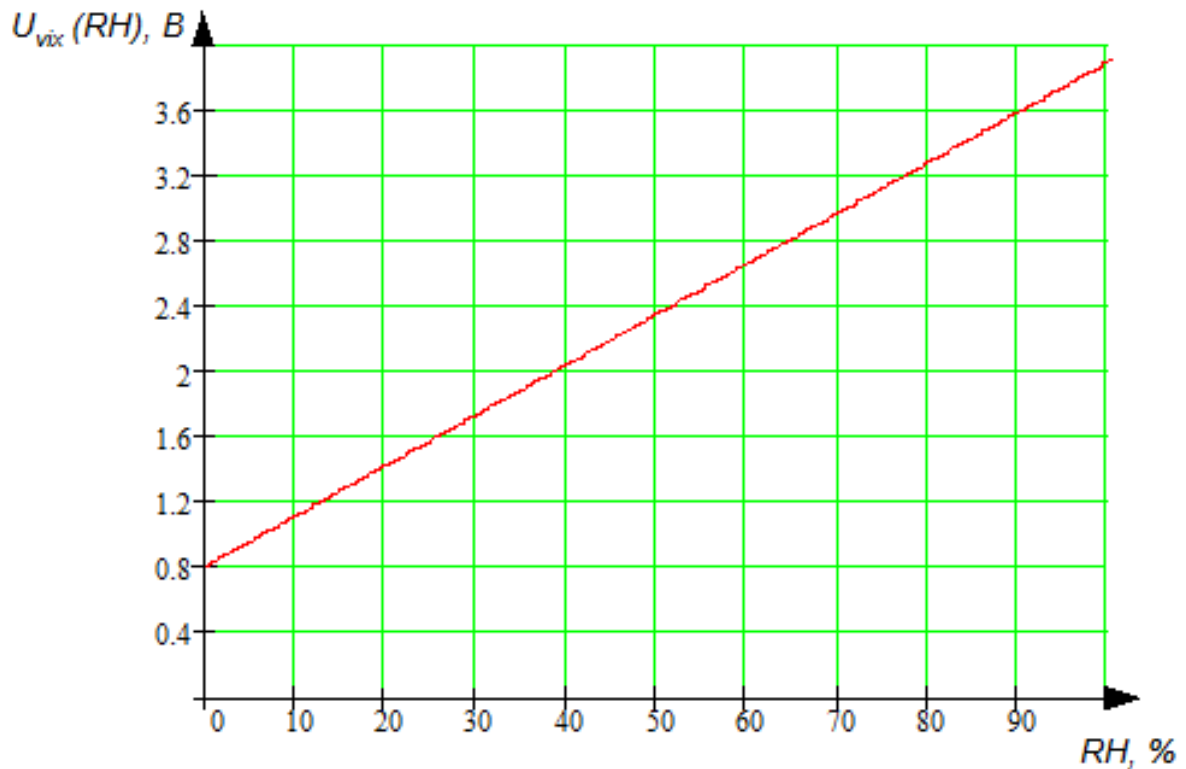


Рисунок 2.12 – Градувальна характеристика вимірювального каналу відносної вологості за номінальної температури 25 °C

Функціональна залежність вихідного двійкового коду аналого-цифрового перетворювача від напруги на виході сенсора вологості розраховується на підставі наступної формули:

$$Kod_{ADC}(U_{vix}, RH) = \frac{U_{vix}(RH)}{U_{on}} \cdot Kod_{MAX},$$

де $Kod_{ADC}(U_{vix}, RH)$ – вихідний двійковий код аналого-цифрового перетворювача; $U_{vix}(RH)$ – постійна напруга на виході сенсора вологості; U_{on} – опорна напруга, що дорівнює 5 В; Kod_{MAX} – граничний вихідний код аналого-цифрового перетворювача, що в даному випадку дорівнює 1023.

Вищенаведена формула для вихідного коду аналого-цифрового перетворювача дає можливість становити кінцевий вигляд характеристики

перетворення вимірювального каналу вологості повітря теплиць, як показано на рисунку 2.13.

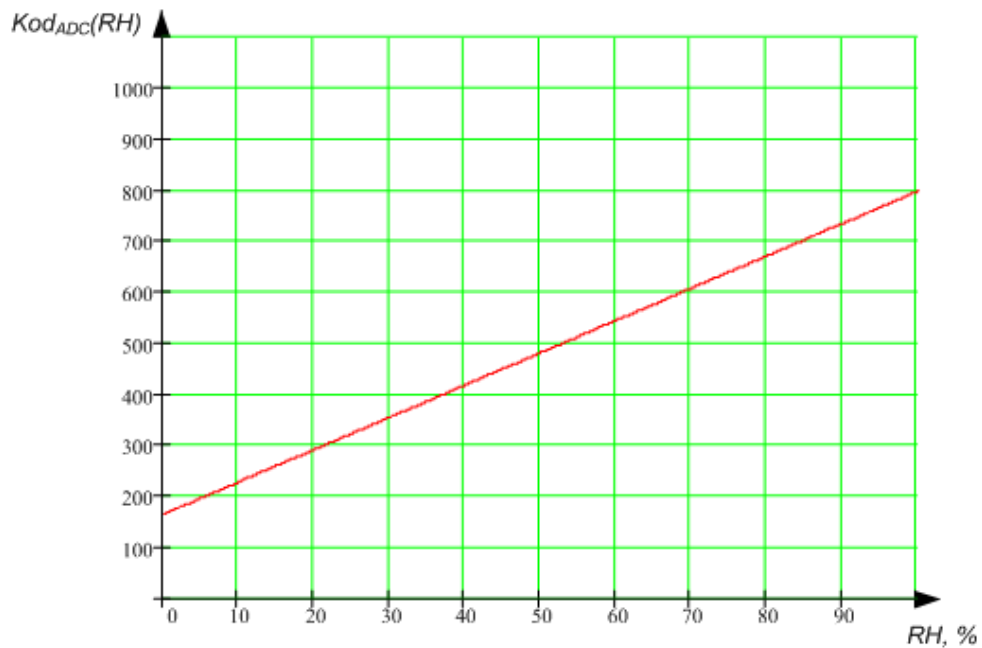


Рисунок 2.12 – Характеристика перетворення вимірювального каналу відносної вологості повітря в зоні вирощування теплиць за номінальної температури 25 °С

Таким чином, система рівнянь, яка становить функціональну основу розробленої математичної моделі вимірювального каналу відносної вологості повітря зони вирощування є наступною:

$$\begin{cases} U_{vix}(RH) = U_n \cdot (0.0062 \cdot RH + 0.16), \\ Kod_{ADC}(U_{vix}, RH) = \frac{U_{vix}(RH)}{U_{on}} \cdot Kod_{MAX}. \end{cases}$$

Необхідно зазначити, що розглянута вище математична модель, не приймає до обліку вплив основної невизначеності сенсора та невизначеності, що обумовлена динамікою температури зони вирощування промислових теплиць.

2.3. Імітаційне моделювання вимірювальних каналів відносної вологості та температури в зоні вирощування промислових теплиць

Реалізована функціональна схема досліджуваних каналів регулювання температури й вологості інформаційно-вимірювальної системи має вигляд, як показано на рисунку 2.13.

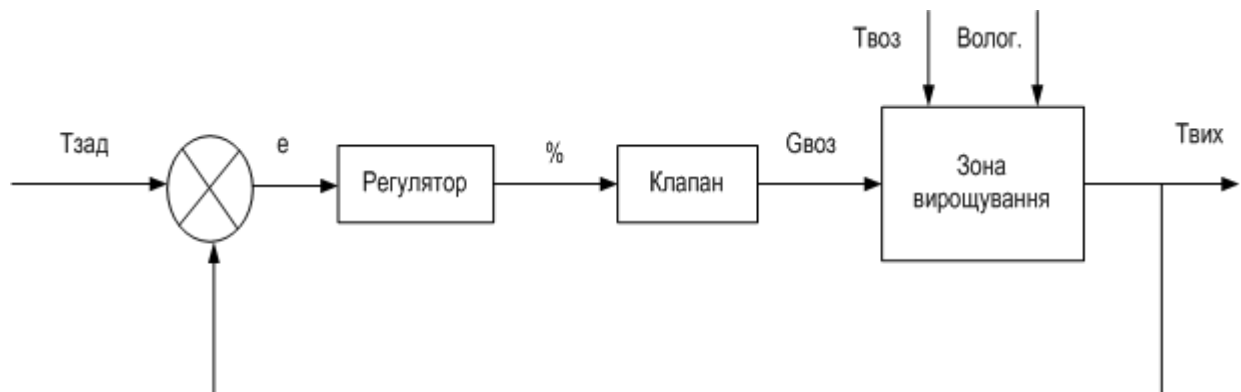


Рисунок 2.13 – Функціональна схема каналу керування досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи

Оцінка параметрів схеми, яку наведено на рисунку 2.13, за відомими формулами не може забезпечити оптимальних показників налаштування регулятора, адже аналітично розраховані результати базуються на значно спрощених моделях об'єкту контролю. Зокрема, в них не приймаються до обліку присутня нелінійність від обмеження для сигналу, що керує процесом. Окрім цього такі моделі використовують характеристики і параметри, що ідентифікуються з певною невизначеністю. Процедура ручного налаштування може бути виконати на підставі наступної сукупності правил, що отримані з певного експертного досвіду, теоретичного синтезу та обчислювальних експериментів:

- зростання пропорційної складової коефіцієнта регулювання призводить до збільшення оперативності й зниження показника запасу за стійкістю системи;

- під час зменшення інтегральної складової похибка регулювання з

плином часу починає швидше зменшуватись;

- під час зменшення постійної інтегрування призводить до зменшення запасу за стійкістю системи;

- під час збільшення диференційної складової збільшується показник запасу за стійкістю й швидкодією.

У використаній в роботі методиці під час дослідження моделі використано два типи автоматичних регуляторів. На теперішній час існує значна кількість способів розрахунку й оцінки складових П і ПІ-регуляторів. Проте одним із найбільш надійних є метод Ніколса-Циглера, а отже в роботі його використано під час оцінки оптимальних значень інтегральної та пропорційної складових. Чисельні значення коефіцієнтів отримано на підставі використання вищевказаних правил та методу Ніколса-Циглера. Отримані значення наступні:

- встановлюємо: $K_p = 1$, $K_I = 0$, $K_D = 0$;

- під час варіювання параметра K_p досягаються стійкі коливання системи;

- під час фіксації параметра періоду коливань системи (T_{KP}) реєструються значення параметра K_{PKP} ;

- оцінюються показники налаштування автоматичного регулятора, а саме: період оновлення контуру керування, що дорівнює $T_{KP} / (4...9)$, отже $K_p = K_{PKP} / 2$, $K_I = 1 / T_{KP}$, $K_D = T_{KP} / 4$;

- виконується зміна отриманих значень коефіцієнтів задля отримання оптимального вигляду графічної залежності перехідного процесу.

Обчислення чисельних значень коефіцієнтів виконано на прикладі одного ПІД-регулятора. Після виконання всіх перелічених вище дії отримано наступні коефіцієнти [20–22]:

- $K_p = 0,14$;

- $K_D = 10$;

- $K_I = 0,005$.

У цьому випадку під час первинних тестувань каналу регулювання було отримано незадовільні результати перехідних процесів. Це було встановлено на підставі того, що параметр якості регулювання не задовольняє поставленим вимогам щодо точності. Отже, експериментально було визначено наступні значення коефіцієнтів моделі, які задовольняють вимогам:

- $K_p=0,09$;
- $K_i=0,0005$;
- $K_d=1,25$.

Отримані значення коефіцієнтів задовольняють всім регламентованим вимогам щодо якості регулювання технологічних процесів зміни температури й вологості в зоні вирощування промислових теплиць. На підставі функціональної схеми, яку наведено на рисунку 2.13, було реалізовано й протестовано імітаційну модель у пакеті Matlab & Simulink, що представлена на рисунку 2.14.

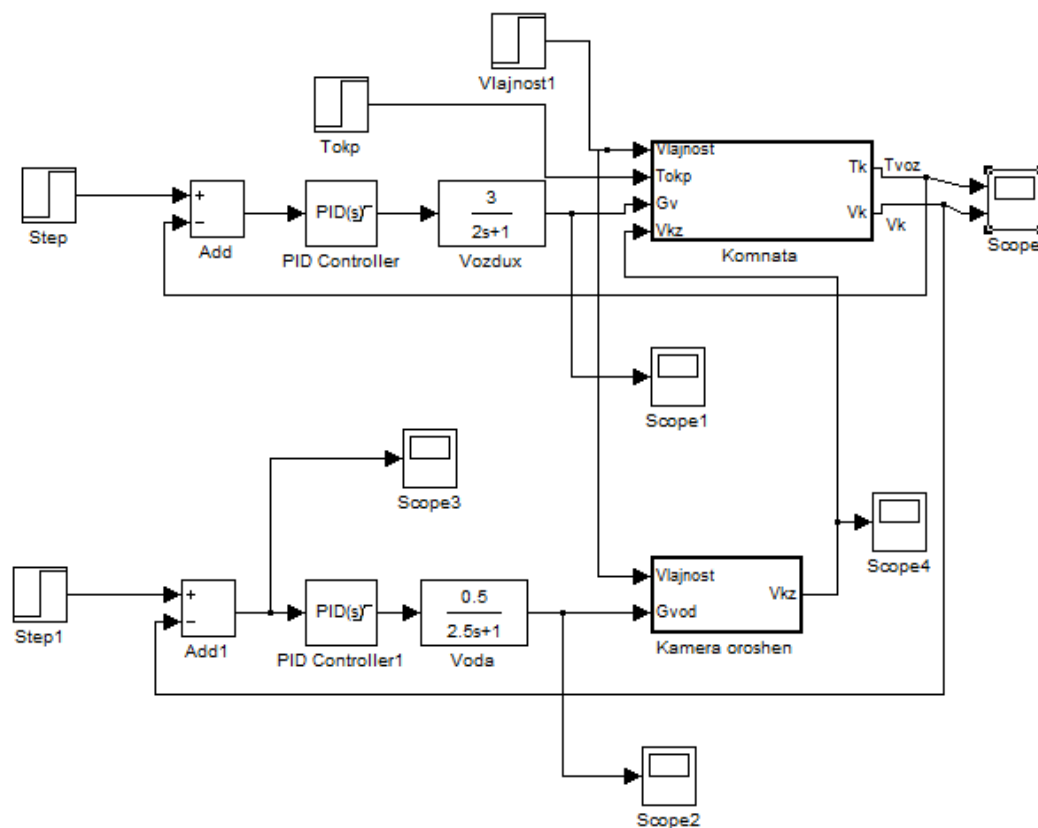


Рисунок 2.14 – Імітаційна модель досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи

Отримані результати імітаційного моделювання вимірювальних каналів температури й вологості зони вирощування наведено на рисунках 2.15 і 2.16, відповідно.

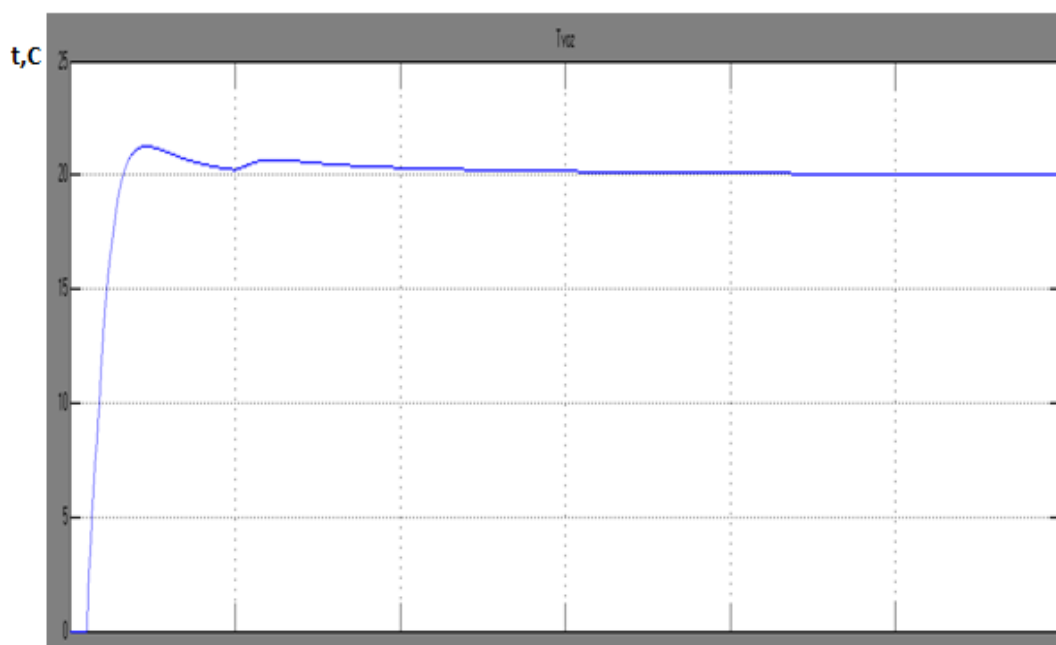


Рисунок 2.15 – Результати імітаційного моделювання вимірювального каналу температури зони вирощування

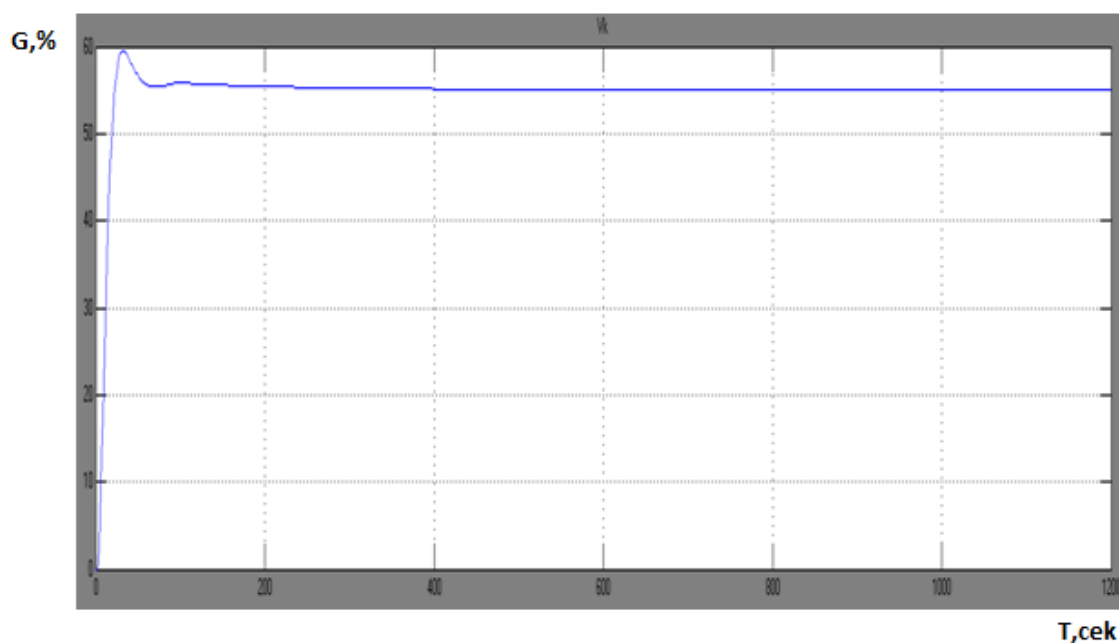


Рисунок 2.16 – Результати імітаційного моделювання вимірювального каналу вологості зони вирощування

Шляхом аналізу отриманих графіків, що представлені на рисунках 2.15 і 2.16, встановлення значення періоду перехідного процесу, яке не перевищує 450 с, показник перерегулювання знаходиться на рівні 10 %, що задовольняє регламентованим актуальним вимогам для даних видів технологічних процесів вирощування.

2.4. Висновки

На підставі досліджень, які виконано в даному розділі магістерської роботи було отримано такі результати:

- розроблено комп'ютерну модель вимірювального каналу температури в зоні вирощування промислових теплиць, що дозволило обґрунтувати сукупність вимог до розробки структурної схеми досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи;

- розроблено комп'ютерну модель вимірювального каналу відносної вологості в зоні вирощування промислових теплиць, що дозволило обґрунтувати сукупність вимог до розробки структурної схеми досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи;

- реалізовано й протестовано імітаційну модель досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи, на підставі цього було оцінено значення показника часу перехідного процесу регулювання вологості та температури в зоні вирощування тепличних культур, яке становить не більше 450 с, а також показник перерегулювання не перевищує значення 10 %, що задовольняє регламентованим актуальним вимогам для даних типів агротехнологічних процесів.

РОЗДІЛ 3

СТРУКТУРНЕ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ

3.1. Мікроконтролерний блок інформаційно-вимірювальної системи

Інтернет речей є однією з найбільш популярних галузей науки й техніки, яка динамічно розвивається в усьому світі. Фізичні об'єкти та цифрові технології інтегруються в усі сфери народного господарства. Аграрний сектор не є виключенням.

Плата для створення інформаційно-вимірювальних систем із можливістю віддаленого моніторингу ESP-12E, що містить мікросхему ESP8266 з RISC мікропроцесором Tensilica Xtensa® 32-bit LX106, який працює з регульованою тактовою частотою від 80 до 160 МГц і підтримує RTOS [23].

Основні характеристики модуля ESP-12E, який використано в мікропроцесорному блоці системи, є наступними:

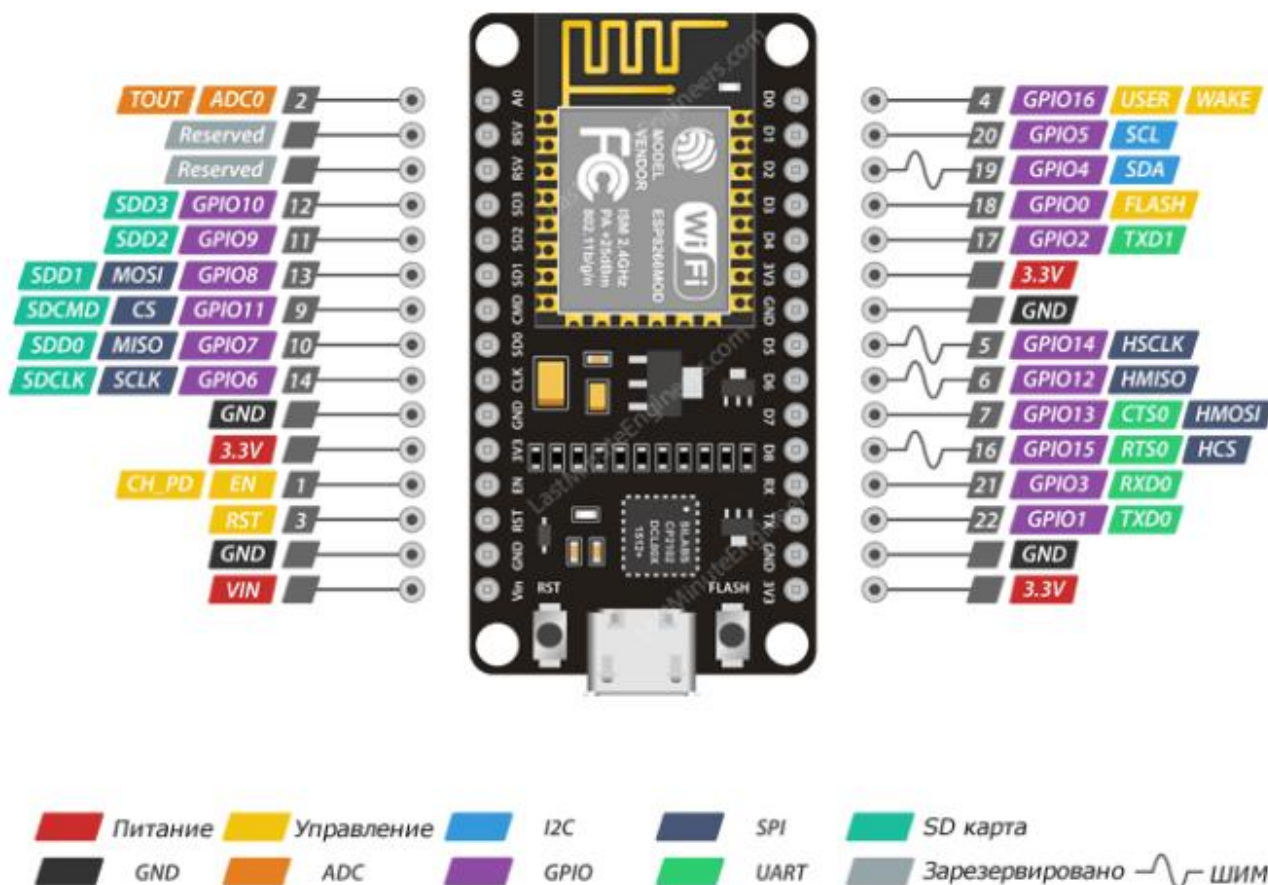
- 32-розрядний LX106 від Tensilica Xtensa®;
- тактова частота від 80 до 160 МГц;
- 128 кБ вбудованої оперативної пам'яті;
- 4 МБ зовнішньої флеш-пам'яті;
- приймач Wi-Fi 802.11 b/g/n.

Також на цій платі додатково встановлений контролер USB-UART CP2102 від Silicon Labs, який перетворює USB-сигнал у інформативний сигнал послідовного порту та дозволяє комп'ютеру програмувати і взаємодіяти з мікросхемою ESP8266. Основні його характеристики:

- послідовний інтерфейс зв'язку;
- USB-UART перетворювач CP2102;
- швидкість зв'язку становить 4,5 Мбіт/с;

– підтримка управління потоком даних.

Зовнішній вигляд цього модуля зі вказаним призначенням виведень наведений на рисунку 3.1.



- як інтерфейси SPI, I²C для підключення сенсорів і периферійних пристроїв;
- як інтерфейс I²S для цифрової передачі звукових інформаційних сигналів.

Також до складу мікропроцесорного блоку входить мікроконтролерна платформа Arduino Mega 2560. Ця платформа випускається серійно промисловістю та забезпечена мікроконтролером ATmega2560 із тактовою частотою 16 МГц, як показано на рисунку 3.2.

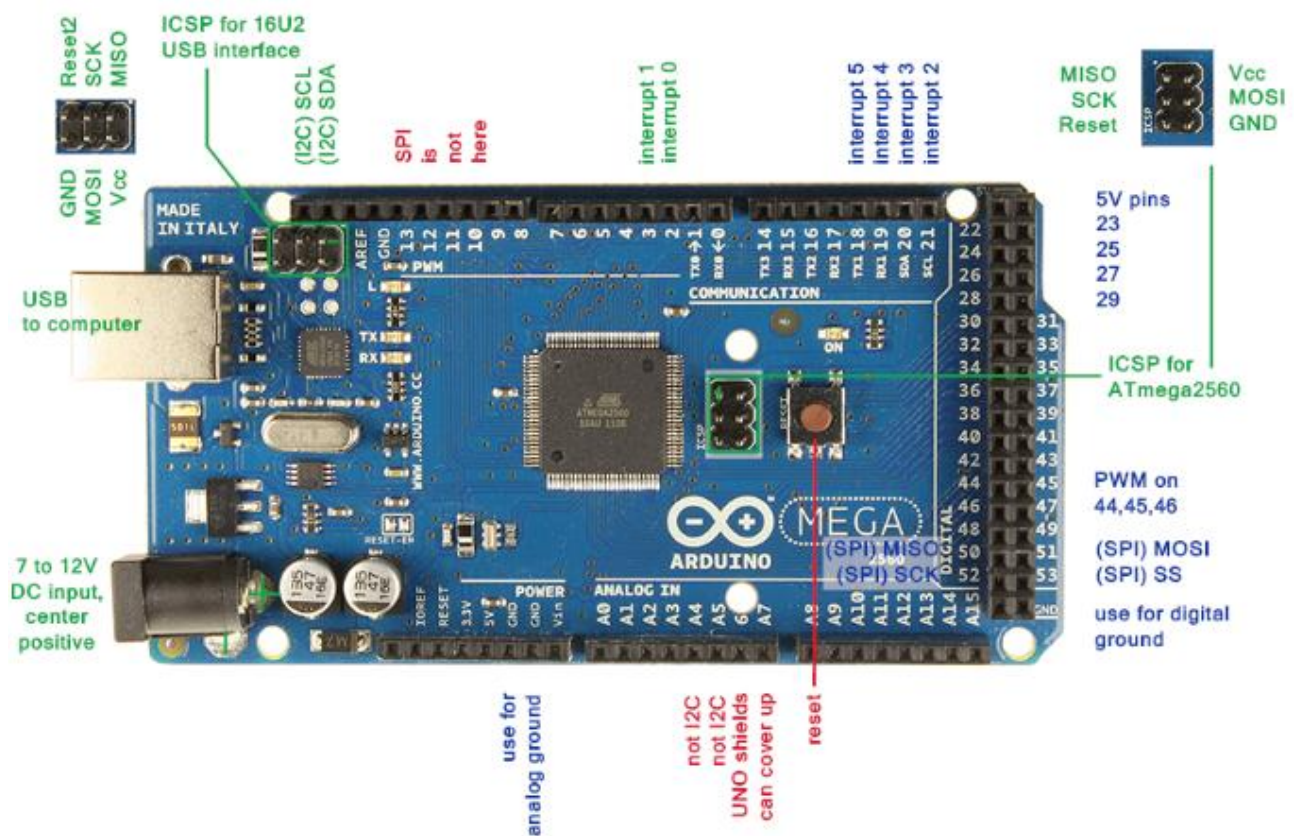


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд Arduino Mega 2560

Основні характеристики мікроконтролерної платформи наступні:

- контролер типу ATmega2560;
- тактова частота контролера становить 16 МГц;
- робоча напруга – 5 В постійного струму;
- граничні діапазони напруги живлення: від 6 В до 20 В;
- рекомендований діапазон напруги живлення: від 7 В до 12 В;

- максимальне значення сили струму з одного виведення: 40 мА;
- кількість цифрових входів / виходів: 54 шт.;
- кількість цифрових входів / виходів із підтримкою ШІМ: 15 шт.;
- кількість аналогових входів: 16 шт.;
- об'єм Flash-пам'яті – 256 кБ (8 кБ зарезервовані для роботи завантажувача);
- об'єм SRAM – 8 кБ;
- об'єм EEPROM – 4 кБ.

3.2. Блок сенсорів інформаційно-вимірювальної системи

Основними фізичними параметрами, що підлягають неруйнівному онлайн моніторингу в зоні вирощування промислових теплиць, є температура та відносна вологість. Задля підтримання оптимальної температури в зоні вирощування з урахуванням типів і періодів зрощення тепличних культур необхідно виконувати вимірювання температури наступних фізичних середовищ:

- температура всередині теплиці;
- температура довколишнього середовища;
- температура води в системі опалення;
- температура приточного повітря в системі вентиляції.

А також безпосередньому вимірювальному моніторингу підлягає вологість таких середовищ:

- вологість повітря всередині теплиці;
- вологість приточного повітря в системі вентиляції.

Для моніторингу температури води в системі опалення може бути використаний сенсор цифровий напівпровідниковий DS18B20 у вологозахищеному корпусі, який характеризується водонепроникними властивостями та призначений для неруйнівних вимірювань температури

рідини (у тому числі в потоці) у діапазоні від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, як показано на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд цифрового сенсора DS18B20 у вологозахищеному корпусі

До основних характеристик такої моделі температурного сенсора відносяться:

- діапазон вимірюваних температур: від $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- наявність унікального ідентифікатора: 64-біт;
- інтегрована шина даних інтерфейсу: 1-Wire;
- постійна напруга живлення: від 3 В до 5,5 В;
- гранична невизначеність вимірювання: $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- роздільна здатність перетворення даних: від 9 до 12 біт (визначається опціонально користувачем);
- цільове призначення виведень: чорний – GND, червоний – VCC, жовтий – DATA;
- довжина кабелю: 1 м;
- матеріал захисної гільзи – сталь нержавіюча;
- діаметр захисної гільзи: 0,6 см;
- довжина захисної гільзи: 3,5 см.

Для реалізації функцій моніторингу температури і вологості повітря всередині теплиці та температури і вологості приточного повітря в системі вентиляції може бути використаний інтегральний модуль GY-21 на базі цифрового напівпровідникового сенсору SHT21, який відноситься до класу високоточних модулів для паралельних вимірювань температури й вологості. Він характеризується дуже низької невизначеністю в своєму класі пристроїв: під час вимірювання температури вона становить не більше 0,4 %, а вологості – не більше 2 % (див. рис. 3.4). Завдяки такому низькому значенню невизначеності й універсальному інтерфейсу обміну вимірювальною інформацією I²C такий модуль підходить для вимірювань температури і вологості в технологічних приміщеннях з підвищеною вологістю повітря.

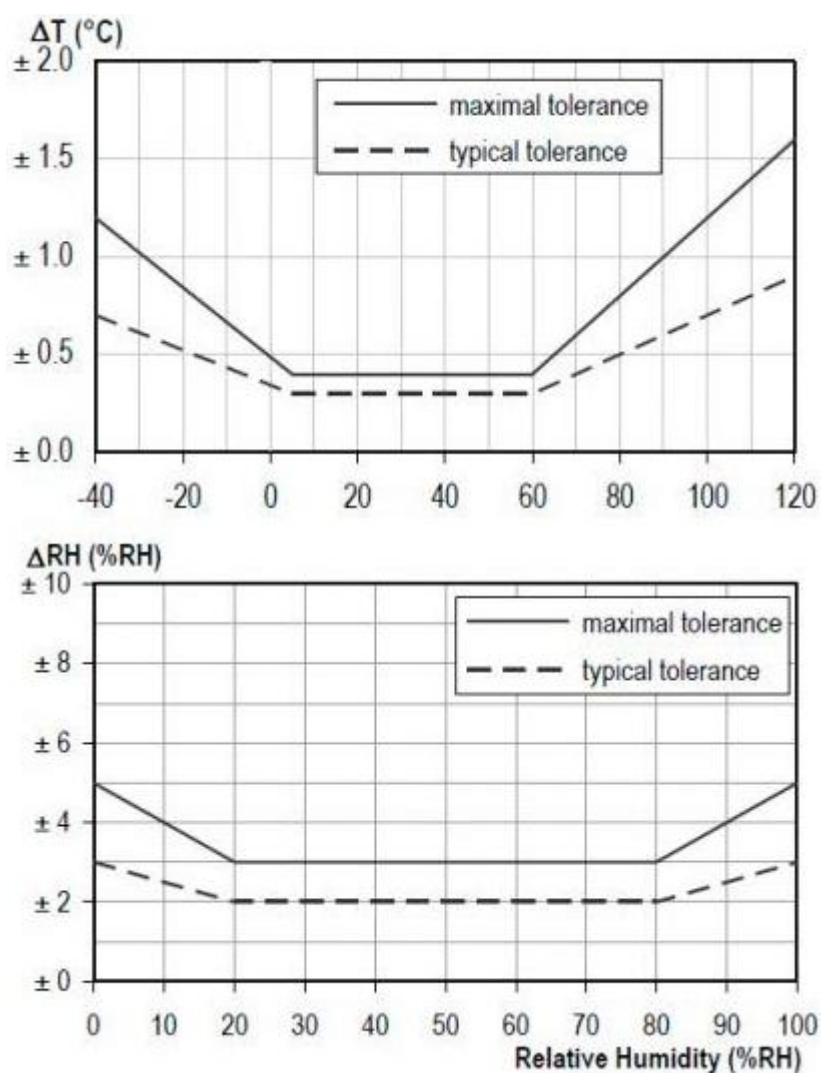


Рисунок 3.4 – Типові метрологічні характеристики сенсора SHT21

Зовнішній вигляд використаного модуля (див. рис. 3.5) та типові технічні характеристики наведено нижче.

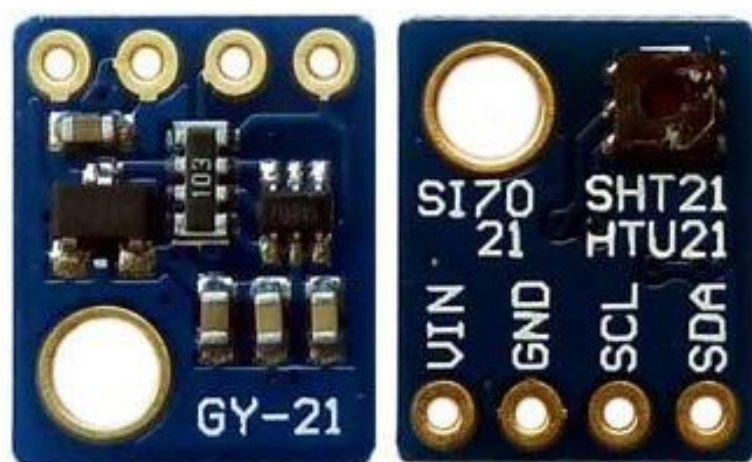


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд модуля GY-21

- стандартизований інтерфейс обміну даними I²C;
- робочий діапазон вихідних напруг датчика: від 1,9 В до 3,6 В;
- номінальна напруга живлення модуля: 5 В;
- номінальний струм у режимі вимірювання: 300 мкА;
- номінальний струм у режимі очікування: 0,15 мкА;
- робочий діапазон вимірювання вологості: від 0 % до 100 %;
- гранична невизначеність вимірювання вологості: ± 3 %;
- робочий діапазон вимірювання температури: від -40 °C до $+125$ °C;
- гранична невизначеність вимірювання температури: $\pm 0,4$ °C;
- обов'язкове заводське калібрування;
- наявність інтегрованого детектору розряду батареї;
- наявність вбудованого нагрівача для самодіагностики датчиків.

Для моніторингу температури довколишнього середовища модуль GY-21 має бути обов'язково розміщений у захисному корпусі типу AC1000 Series, як показано на рисунку 3.6. Такий корпус виконує функцію для захисту сенсорів, які проводять кліматичні вимірювання в широкому динамічному діапазоні зміни кліматичних факторів.



Рисунок 3.6 –Зовнішній вигляд захисного корпусу для модуля GY-21

Також під час реалізації моніторингу температури й вологості повітря всередині теплиці необхідно виконувати в різних локаціях із обліком відомих вимог до агротехнічних неруйнівних вимірювань. Основною методикою є розміщення сенсорів на ділянці за схемою конверта, який характеризується тим, що в кутах і центрі прямокутника (у п'яти точках) мають бути розміщені сенсори та модулі бездротового обміну даними. Принцип розміщення сенсорів інформаційно-вимірювальної системи наведено на рисунку 3.7.

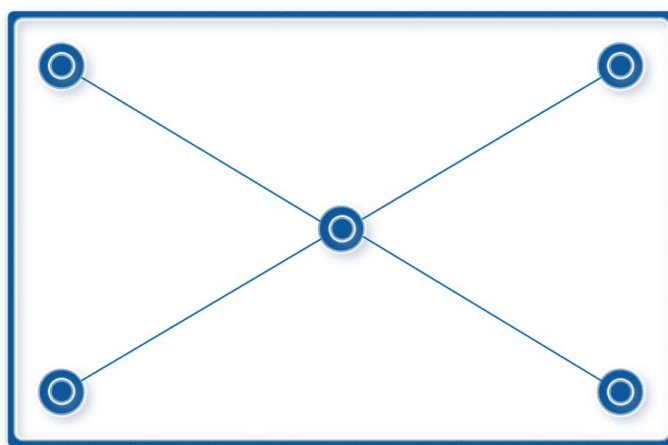


Рисунок 3.7 – Техніка розміщення сенсорів у зоні вирощування теплиць

Використання цього типу розміщення сенсорів дозволяє отримати осереднений у просторі й часі результат за периметром зони вирощування промислових теплиць.

3.3. Структурна та програмна організація досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи

На першому етапі розробки структурної схеми інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану в зоні вирощування промислових теплиць необхідно сформулювати ряд вимог до неї.

Під час зрощування рослин в умовах захищеного ґрунту динамічні коливання температури й вологості мають задовольняти таким техніко-функціональним вимогам [24, 25]:

- динамічний діапазон контрольованих температур: від 5 до 45 °С;
- гранична сумарна похибка визначення температури повітря в робочому діапазоні від 18 до 26 °С не більш $\pm 0,2$ °С;
- динамічний діапазон контролю відносної вологості повітря: від 0 % до 100 %;
- гранична сумарна похибка визначення температури повітря в робочому діапазоні від 30 % до 90 % не більш ± 3 %.

Під час організації необхідних мікрокліматичних показників обов'язковою є автоматична підтримка вологості та температури повітря в зоні вирощування. Таким чином, для вирішення такого завдання виникає необхідність постановки сукупності додаткових вимог до інформаційно-вимірювальної системи:

- наявність у структурі функціональних пристроїв введення-виведення інформації, відображення результатів спостережень, високостабільного автономного джерела живлення;
- автоматичне (автоматизоване) вмикання-вимикання вентилятору приточного повітря з інтерфейсу системи та віддаленими технічними засобами,

а насоса циркуляції з інтегрованого меню системи;

- аварійна сигналізація;
- управління привідними і виконавчими механізмами.
- підтримання вологості й температури повітря зони вирощування;
- можливість переключення режимів «Літо-Весна».

З обліком обґрунтованих вимог було реалізовано структурну схему інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць, яку наведено на рисунку 3.8.

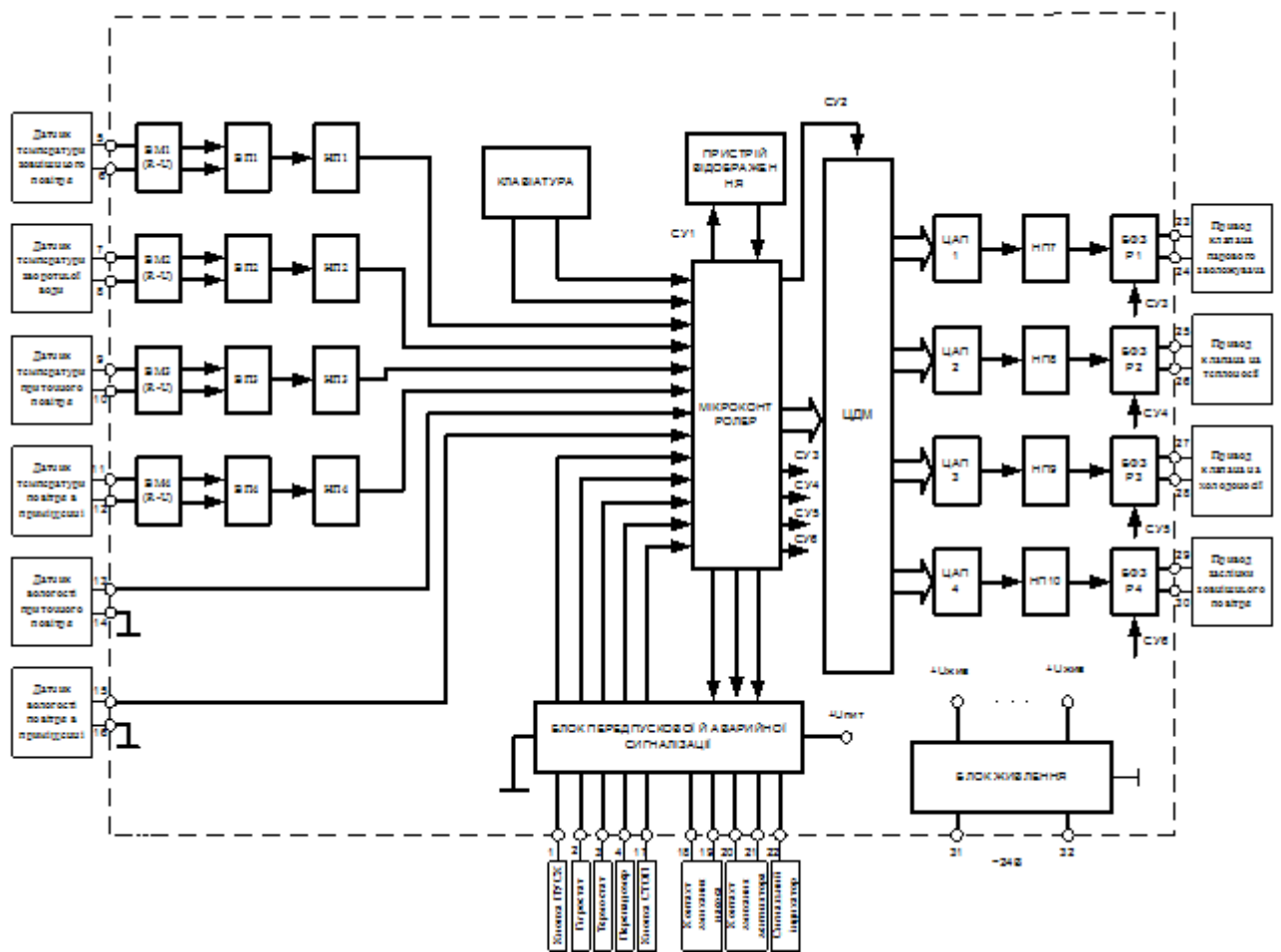


Рисунок 3.8 – Структурна схема інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць

Розроблена структура містить у своєму складі шість незалежних вимірювальних каналів та чотири канали управління привідними й виконавчими механізмами технологічних систем теплиць. Кожен із цих каналів

має своє призначення. Наприклад, вимірювальний канал температури повітря довколишнього середовища, виконує функції визначення режимів Літо або Зима. Базові принципи функціонування інших вимірювальних каналів системи є аналогічними принципу роботи вимірювального каналу температури приточного повітря.

Основу алгоритмічного забезпечення системи становлять функції вимірювального моніторингу та бездротового обміну вимірювальною інформацією щодо аерогазового стану в зоні вирощування промислових теплиць. Блок-схему основної процедури програмної компоненти досліджуваної ІВС наведено на рисунку 3.9.

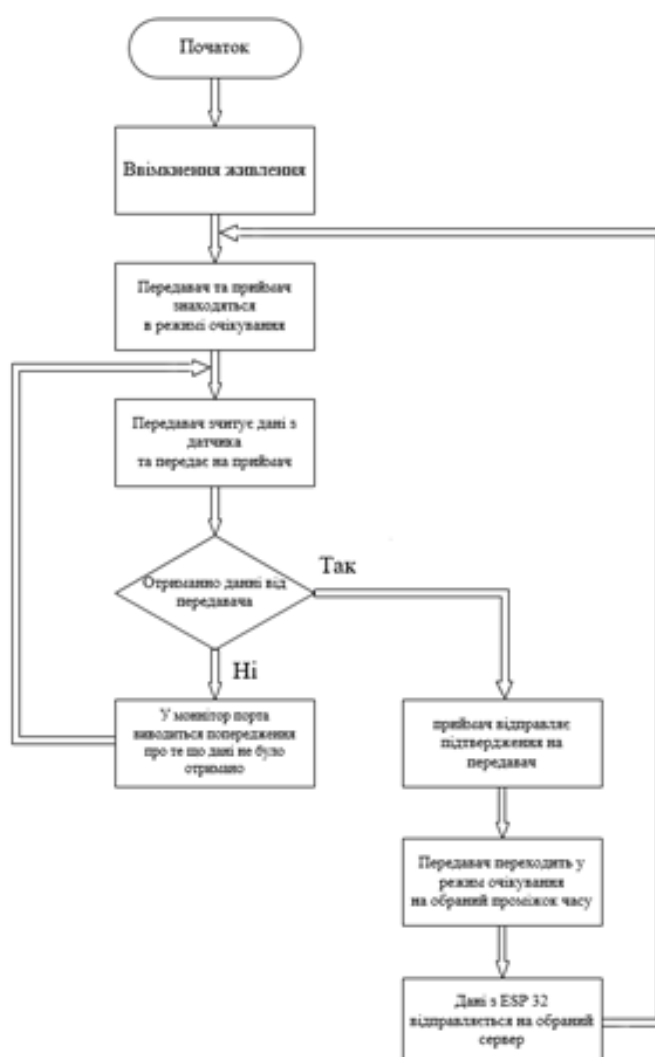


Рисунок 3.9 – Блок-схема основної процедури програмної компоненти досліджуваної ІВС

Скріншоти для передавача вимірювальної інформації наведено на рисунках 3.10 – 3.11.



Рисунок 3.10 – Скріншот програма для передавача. Частина 1

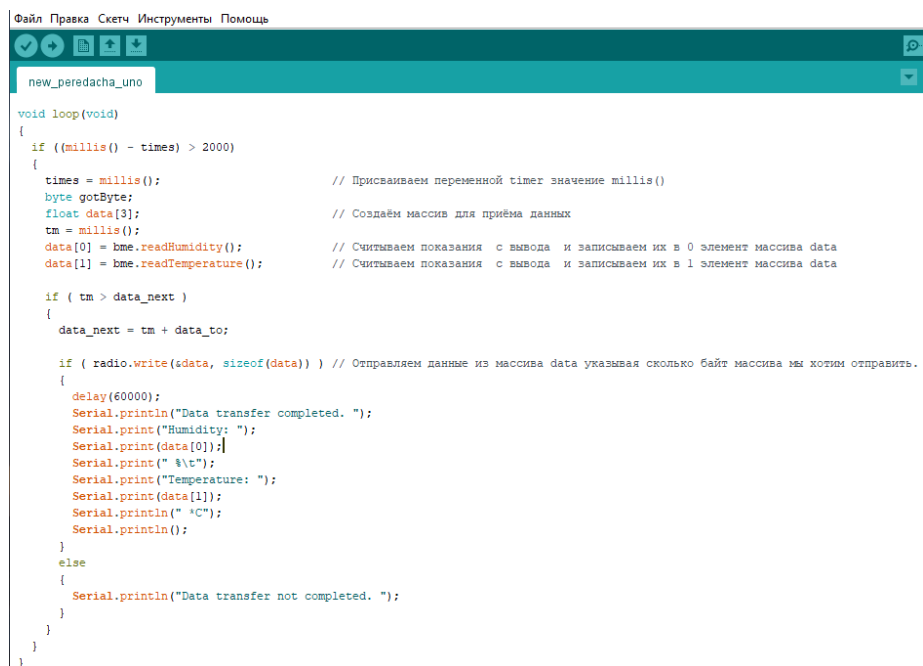


Рисунок 3.11 – Скріншот програма для передавача. Частина 2

Скріншоти для приймача вимірювальної інформації наведено на рисунках 3.12 – 3.17.

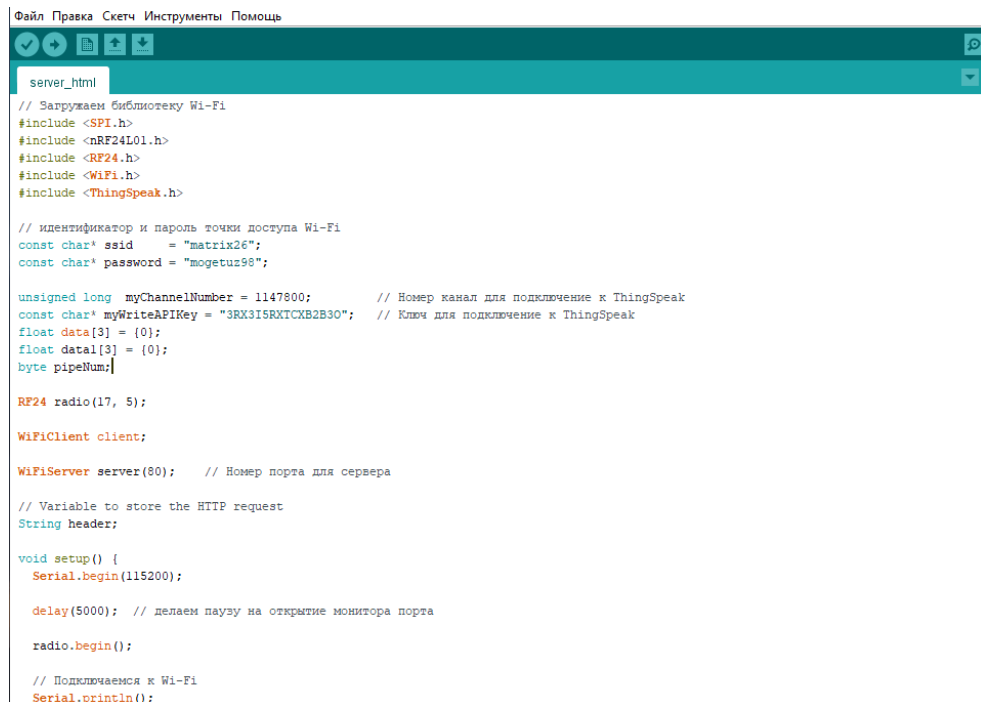


Рисунок 3.12 – Скріншот програма для передавача. Частина 1

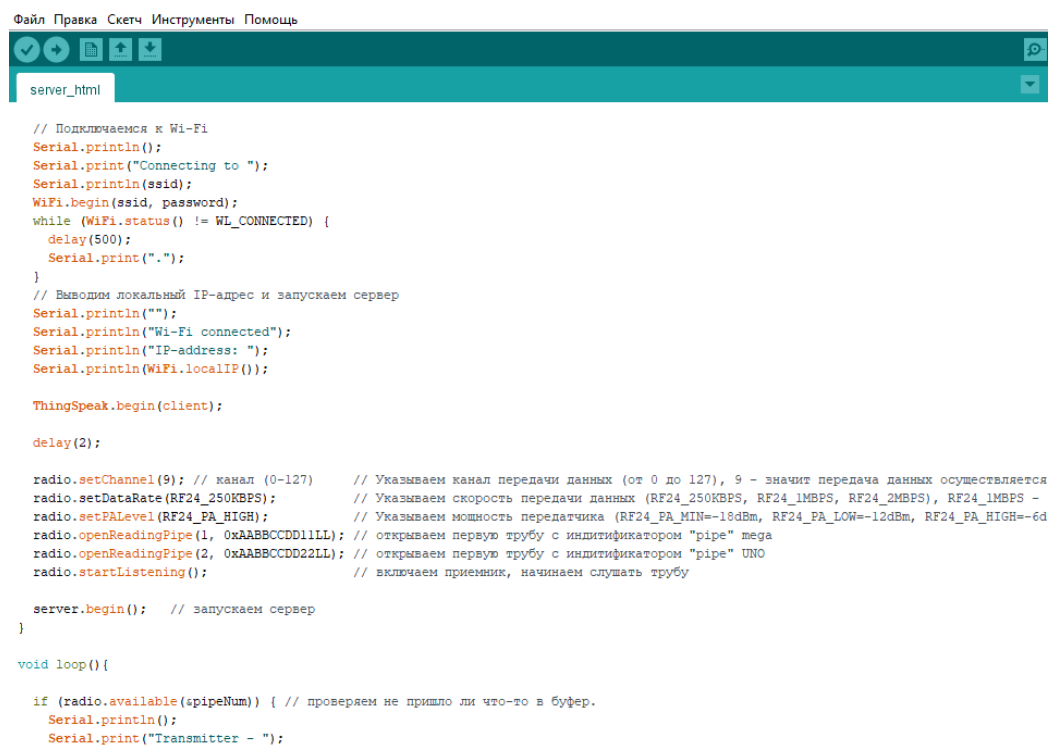


Рисунок 3.13 – Скріншот програма для передавача. Частина 2

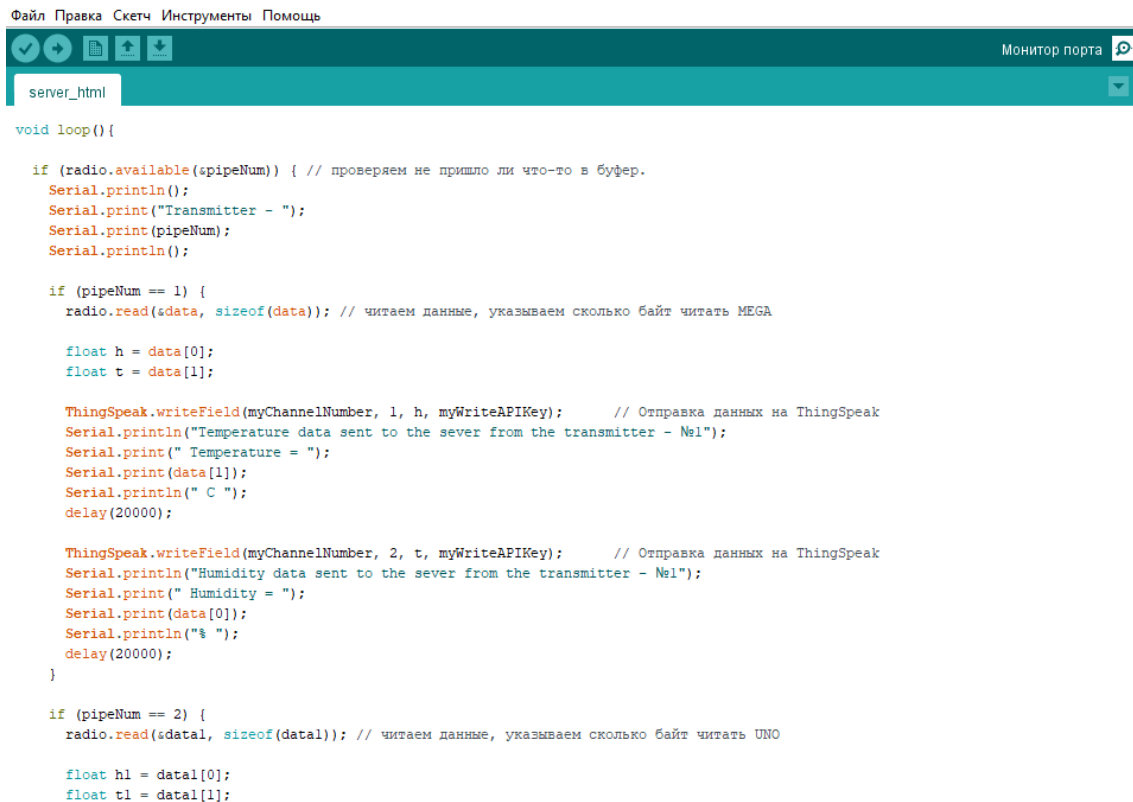


Рисунок 3.14 – Скріншот програма для передавача. Частина 3

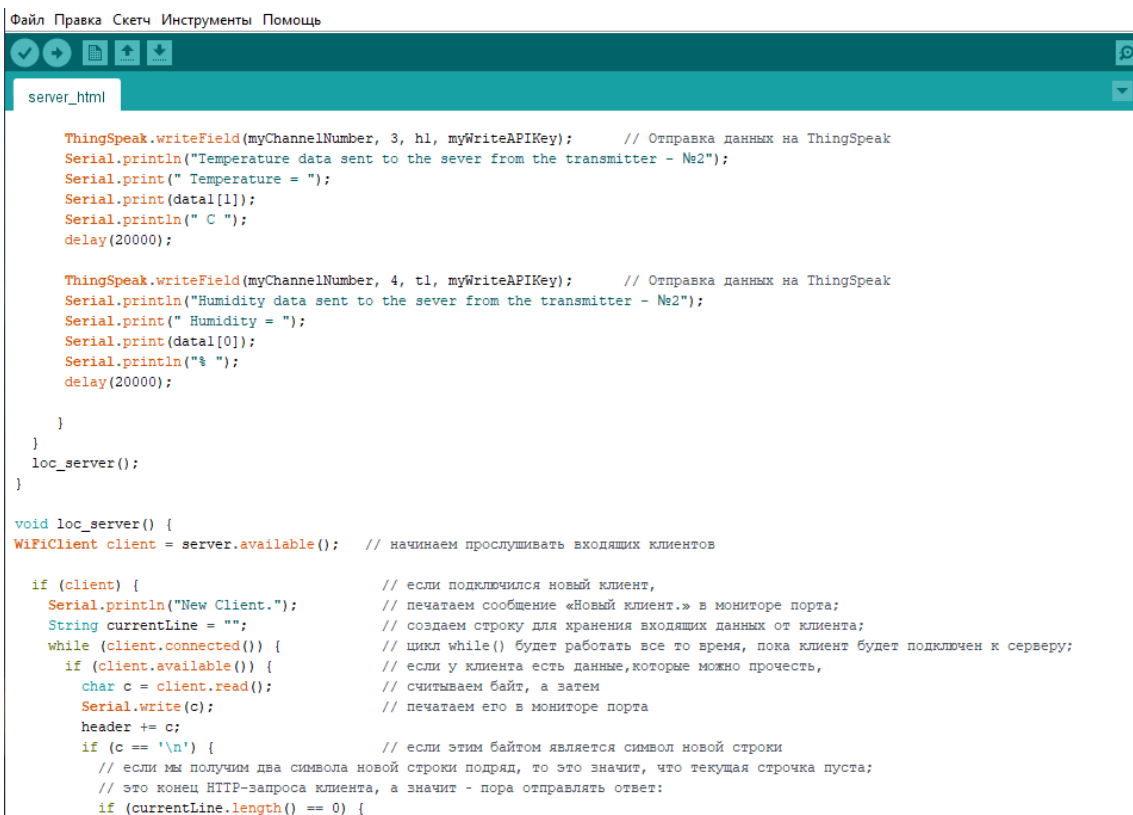


Рисунок 3.15 – Скріншот програма для передавача. Частина 4

```

Файл Правка Скetch Инструменты Помощь
server_html
if (currentLine.length() == 0) {
    // HTTP-заголовки всегда начинаются с кода ответа (например, «HTTP/1.1 200 OK»)
    // и информации о типе контента (чтобы клиент понимал, что получает); в конце пишем пустую строку:
    client.println("HTTP/1.1 200 OK");
    client.println("Content-type:text/html");
    client.println("Connection: close");
    client.println();

    // показываем веб-страницу с помощью этого HTML-кода:
    client.println("<!DOCTYPE html><html>");
    client.println("<head><meta charset='UTF-8'> <meta name='viewport' content='width=device-width, initial-scale=1'>");
    client.println("<link rel='icon' href='data:,'>");

    // задаем CSS-стили для таблиц:
    client.println("<style>body { text-align: center; font-family: 'Trebuchet MS', Arial;}");
    client.println("<table { border-collapse: collapse; width:35%; margin-left:auto; margin-right:auto; }");
    client.println("<tr { padding: 12px; background-color: #0083b0; color: white; }");
    client.println("<tr { border: 5px solid #ddd; padding: 12px; }");
    client.println("<tr: hover { background-color: #bcbcbc; }");
    client.println("<td { border: none; padding: 12px; }");
    client.println("<.sensor { color:black; padding: 1px; }");

    // заголовок веб-страницы:
    client.println("</style></head><body><h1>Поточні показники температури і вологості</h1>");
    client.println("<table><tr><th>ВИМІРЮВАННЯ</th><th>ПОКАЗНИКИ</th></tr>");
    client.println("<tr><td>Температура</td><td><span class='sensor'>");
    //      client.println(data[1]); // вывод данных о температуре 1го передатчика
    //      client.println(data[1]); // вывод данных о температуре 2го передатчика
    client.println("<math>(data[1] + data[1]) / 2); // расчёт среднего значения температуры");
    client.println("<span></td></tr>");
    client.println("<tr><td>Вологість</td><td><span class='sensor'>");
    //      client.println(data[0]); // вывод данных о влажности 1го передатчика
    //      client.println(data[0]); // вывод данных о влажности 2го передатчика
    client.println("<math>(data[0] + data[0]) / 2); // расчёт среднего значения влажности");
    client.println("<span></td></tr>");
}

```

Рисунок 3.16 – Скріншот програма для передавача. Частина 5

```

Файл Правка Скetch Инструменты Помощь
server_html
client.println("<style>body { text-align: center; font-family: 'Trebuchet MS', Arial;}");
client.println("<table { border-collapse: collapse; width:35%; margin-left:auto; margin-right:auto; }");
client.println("<tr { padding: 12px; background-color: #0083b0; color: white; }");
client.println("<tr { border: 5px solid #ddd; padding: 12px; }");
client.println("<tr: hover { background-color: #bcbcbc; }");
client.println("<td { border: none; padding: 12px; }");
client.println("<.sensor { color:black; padding: 1px; }");

// заголовок веб-страницы:
client.println("</style></head><body><h1>Поточні показники температури і вологості</h1>");
client.println("<table><tr><th>ВИМІРЮВАННЯ</th><th>ПОКАЗНИКИ</th></tr>");
client.println("<tr><td>Температура</td><td><span class='sensor'>");
//      client.println(data[1]); // вывод данных о температуре 1го передатчика
//      client.println(data[1]); // вывод данных о температуре 2го передатчика
client.println("<math>(data[1] + data[1]) / 2); // расчёт среднего значения температуры");
client.println("<span></td></tr>");
client.println("<tr><td>Вологість</td><td><span class='sensor'>");
//      client.println(data[0]); // вывод данных о влажности 1го передатчика
//      client.println(data[0]); // вывод данных о влажности 2го передатчика
client.println("<math>(data[0] + data[0]) / 2); // расчёт среднего значения влажности");
client.println("<span></td></tr>");
client.println("</body></html>");

// конец HTTP-ответа задается с помощью дополнительной пустой строки:
client.println();
// выходим из цикла while():
break;
} else { // если получили символ новой строки, если получили символ новой строки
    currentLine = "";
}
} else if (c != '\r') { // если получили любые данные, кроме символа возврата каретки,
    currentLine += c; // добавляем эти данные в конец строки «currentLine»
}
}
// очищаем переменную «header»:
header = "";
// отключаем соединение:
client.stop();
Serial.println("Client disconnected.");
Serial.println("");
}
}

```

Рисунок 3.17 – Скріншот програма для передавача. Частина 6

3.4. Висновки

Основний науково-практичний доробок цього розділу кваліфікаційної роботи магістра полягає в розробці структурного та функціонального забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць.

Також було обґрунтовано програмне забезпечення досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи, що реалізує адаптивну до конкретних типів і періодів зрошування рослин, послідовність операцій, а також може бути повторно налаштоване з урахуванням оптимальних умов проведення вимірювального контролю в автоматичному, автоматизованому та / або ручному режимах за допомогою ергономічного інтерфейсу інтерактивного меню.

РОЗДІЛ 4

ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ МЕТРОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ АЕРОГАЗОВОГО СТАНУ ЗОНИ ВИРОЩУВАННЯ ТЕПЛИЦЬ

4.1. Аналіз і оцінка метрологічних показників вимірювального каналу температури повітря зони вирощування промислових теплиць

Як зазначалось у другому розділі магістерської роботи, вимірювальний канал температури повітря в зоні вирощування теплиць містить чотири функціональні каскади, а саме: вимірювальний міст постійного струму; вимірювальний підсилювач на базі трьох ОППС; перетворювач, що нормує, а також аналого-цифровий перетворювач, що входить до складу мікропроцесорного вузла системи.

Під час аналізу обґрунтованої математичної моделі цього вимірювального каналу було доведено, що сумарна гранична невизначеність вимірювального моста являє собою невизначеність, що може бути оцінена як сума трьох складовими, а саме [26–30]:

- невизначеність, обумовлена наявністю нелінійності градувальної характеристики моста;
- адитивна складова невизначеності;
- мультиплікативна складова невизначеності.

Таким чином, з урахуванням розглянутих складових невизначеності, отримано класифікаційну характеристику складових невизначеності вимірювального каналу температури повітря в зоні вирощування, як показано на рисунку 4.1.

Обчислені вищевказані складові граничної невизначеності за розробленою в другому розділі математичною моделлю наведено на рисунках 4.2 і 4.3.

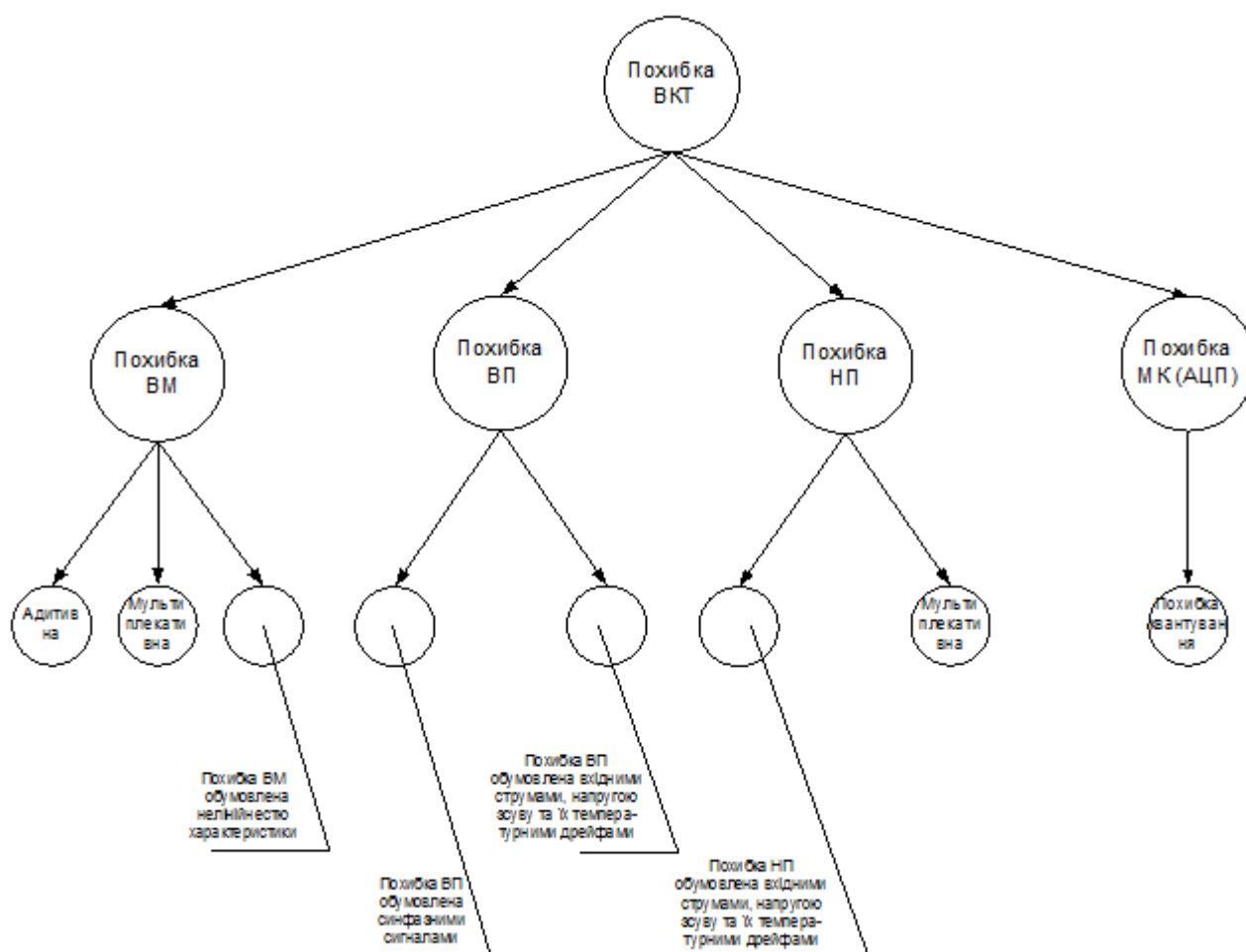


Рисунок 4.1 – Складові невизначеності вимірювального моніторингу температури в зоні вирощування промислових теплиць

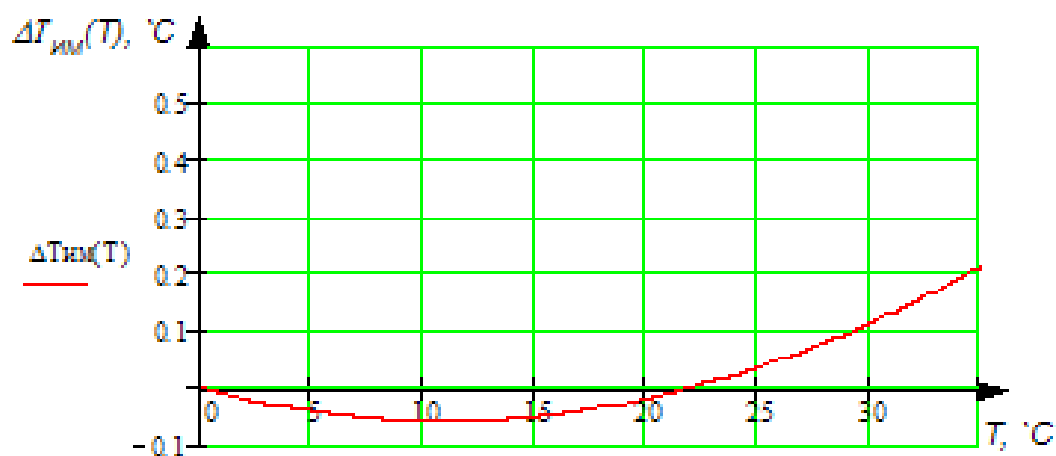


Рисунок 4.2 – Залежність складової невизначеності вимірювального моста від температури, що обумовлена нелінійністю характеристики перетворювання

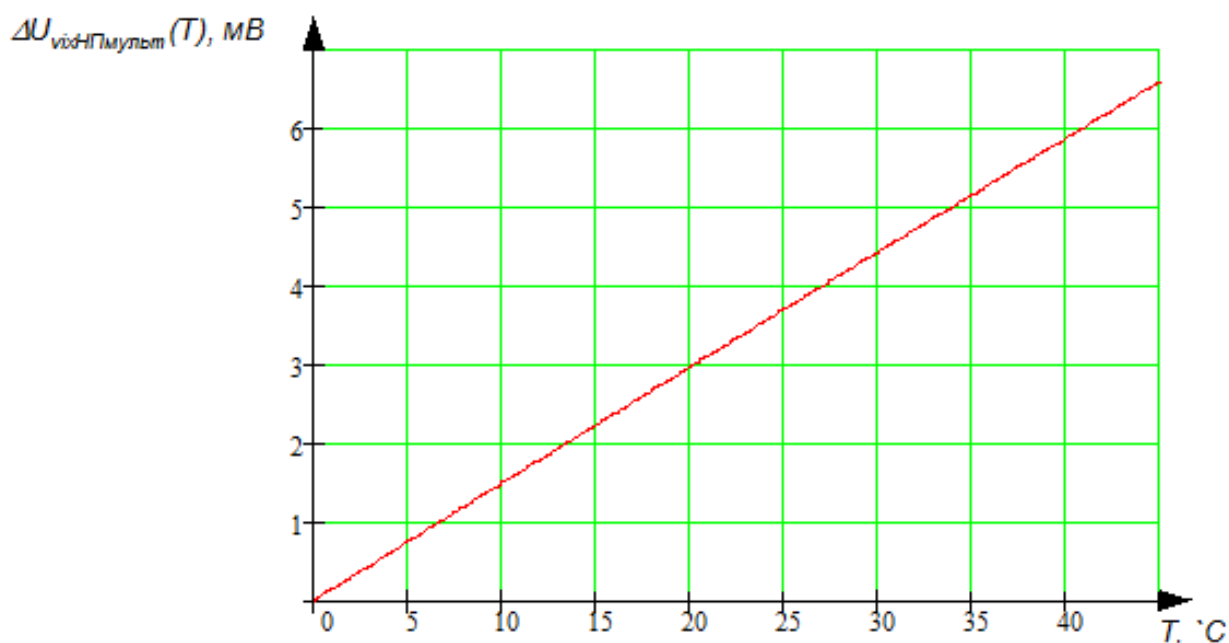


Рисунок 4.3 – Залежність мультиплікативної складової невизначеності вимірювання температури повітря

Під час аналізу графічної залежності, яку наведено на рисунку 4.3, визначено, що мультиплікативна складова невизначеності за номінальної температури 25 °C становить 3,7 мВ. Отже, сумарна гранична невизначеність нормуючого перетворювача буде містити лише складові, які обумовлені вхідними струмами каскаду, температурними дрейфами параметрів компонент і напругою зсуву.

4.2. Аналіз і оцінка метрологічних показників вимірювального каналу вологості повітря зони вирощування промислових теплиць

За аналогіє до аналізу складових граничної невизначеності вимірювального моніторингу температури повітря в зоні вирощування було отримано класифікаційну схему складових невизначеності вимірювань відносної вологості, як показано на рисунку 4.4. А також виконано оцінку складової невизначеності неруйнівних вимірювань поточної вологості зони вирощування тепличних культур від дестабілізуючого впливу температури, як показано на рисунку 4.5.

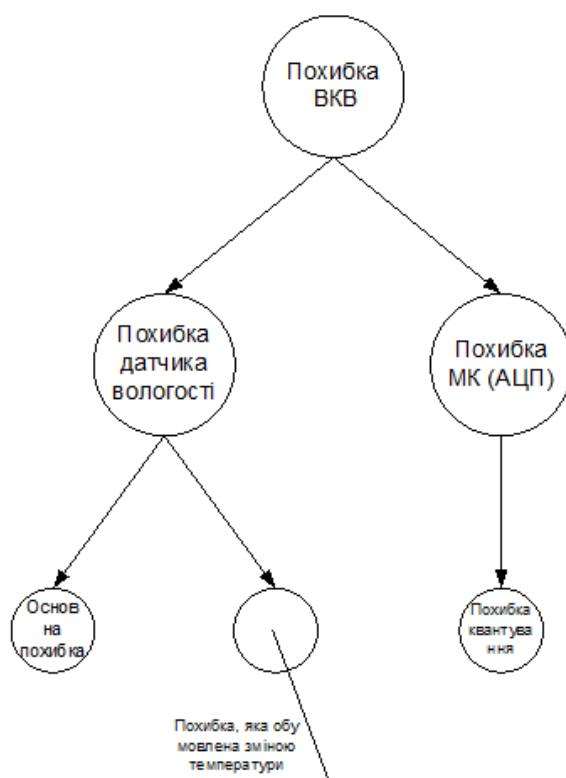


Рисунок 4.4 – Складові невизначеності вимірювання відносної вологості повітря в зоні вирощування

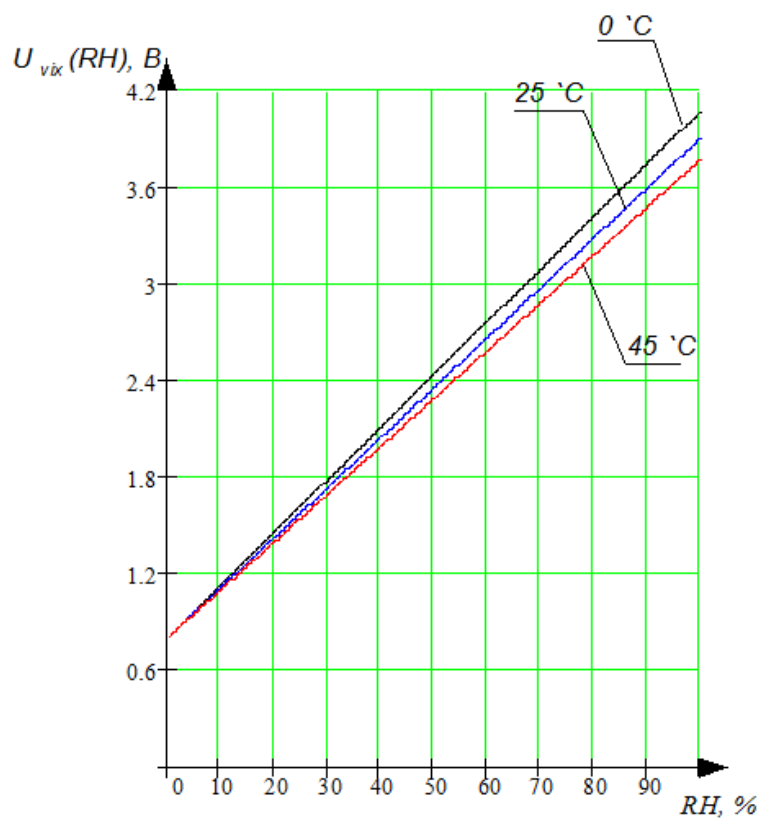


Рисунок 4.5 – Додаткова невизначеність вимірювання відносної вологості повітря в зоні вирощування від температури

Отже, граничне значення сумарної невизначеності вимірювального каналу відносної вологості повітря в зоні вирощування промислових теплиць у діапазоні температур від 20 °C до 25 °C і відносної вологості до 90 % не перевищує $\pm 1,9\%$, що задовольняє актуальним поставленим вимогам до розробки ІВС.

4.3. Висновки

Обґрунтовано класифікаційні схеми складових невизначеності інформаційно-вимірювальної системи, на базі якої встановлено залежності складових невизначеності вимірювальних каналів температури і вологості повітря в зоні вирощування в робочих діапазонах вимірювань та від впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників і факторів.

Виконано оцінку складових сумарної невизначеності вимірювання температури повітря та встановлено, що граничне значення в робочому діапазоні зміни від 18 °C до 25 °C не перевищує $\pm 0,07$ °C, що задовольняє поставленим вимогам.

Виконано оцінку складових сумарної невизначеності вимірювання відносної вологості повітря та встановлено, що граничне значення в робочому діапазоні зміни від 0 % до 90 % не перевищує $\pm 1,9\%$, що задовольняє поставленим вимогам.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті закінчених досліджень кваліфікаційної роботи магістра на тему «Розробка та дослідження інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць» було отримано наступні науково-практичні результати:

1. У першому розділі кваліфікаційної роботи було виконано проведено критичний аналіз мікроклімату промислових теплиць, як об'єкту контролю. В результаті цього було встановлено необхідність онлайн моніторингу таких параметрів, як: освітленість, температура, відносна вологість та загальна характеристика повітряного середовища всередині теплиці. Адже ці фізико-хімічні параметри безпосередньо впливають на формування так званого мікроклімату – особливих кліматичних умов на одній окремо взятій ділянці простору. Виконано порівняльний аналіз існуючих інженерних рішень із побудови інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць. У результаті цього було встановлено необхідність впровадження до структури досліджуваної системи спеціалізованого програмного забезпечення, що реалізує функції збору, обробки та візуалізації результатів спостережень за динамікою вимірюваних фізико-хімічних величин. Проведено аналіз сучасних платформ Інтернету речей та обрано в якості базової сервіс ThingSpeak на підставі критеріїв надійності та ергономічності використання.

2. У другому розділі розроблено комп'ютерну модель вимірювального каналу температури в зоні вирощування промислових теплиць, що дозволило обґрунтувати сукупність вимог до розробки структурної схеми досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи. Розроблено комп'ютерну модель вимірювального каналу відносної вологості в зоні вирощування промислових теплиць, що дозволило обґрунтувати сукупність вимог до розробки структурної схеми досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи. Реалізовано й протестовано імітаційну модель досліджуваної інформаційно-вимірювальної

системи, на підставі цього було оцінено значення показника часу перехідного процесу регулювання вологості та температури в зоні вирощування тепличних культур, яке становить не більше 450 с, а також показник перерегулювання не перевищує значення 10 %, що задовольняє регламентованим актуальним вимогам для даних типів агротехнологічних процесів.

3. У третьому розділі розроблено структурного та функціонального забезпечення інформаційно-вимірювальної системи контролю аерогазового стану зони вирощування теплиць. Також було обґрунтовано програмне забезпечення досліджуваної інформаційно-вимірювальної системи, що реалізує адаптивну до конкретних типів і періодів зрошування рослин, послідовність операцій, а також може бути повторно налаштоване з урахуванням оптимальних умов проведення вимірювального контролю в автоматичному, автоматизованому та / або ручному режимах за допомогою ергономічного інтерфейсу інтерактивного меню.

4. У четвертому розділі обґрунтовано класифікаційні схеми складових невизначеності інформаційно-вимірювальної системи, на базі якої встановлено залежності складових невизначеності вимірювальних каналів температури і вологості повітря в зоні вирощування в робочих діапазонах вимірювань та від впливу зовнішніх дестабілізуючих чинників і факторів. Виконано оцінку складових сумарної невизначеності вимірювання температури повітря та встановлено, що граничне значення в робочому діапазоні зміни від 18 °C до 25 °C не перевищує $\pm 0,07$ °C, що задовольняє поставленим вимогам. Виконано оцінку складових сумарної невизначеності вимірювання відносної вологості повітря та встановлено, що граничне значення в робочому діапазоні зміни від 0 % до 90 % не перевищує $\pm 1,9$ %, що задовольняє поставленим вимогам.

5. У додатку обґрунтовано основні заходи з охорони праці під час виконання експериментальних досліджень магістерської роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Овочівництво. Географічна енциклопедія. URL: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_geo/6789/%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D1%89%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B4%D1%81%D1%82%D0%B2%D0%BE (дата звернення 02.03.2021).
2. Компанія Воля. Види теплиць. URL: <https://msk.teplicy.ru/articles/vidy-teplits-konstruktsii-naznachenie/> (дата звернення 24.02.2021).
3. Світ фермера. URL: <https://mirfermera.ru/326-vse-osnovnye-vidy-teplic-i-ih-konstrukcii.html> (дата звернення 14.03.2021).
4. АгроДом. URL: <https://agrodom.com/advice/mikroklimat-v-teplitse-osnovu-upravleniya/> (дата звернення 20.03.2021).
5. Лактіонов І.С., Вовна О.В., Зорі А.А. Комп'ютеризовані вимірювачі комплексу фізичних параметрів ґрунтів та мікроклімату промислових теплиць: монографія. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2016. 212 с.
6. Вовна О.В., Лактіонов І.С., Лебедев В.А. Комп'ютерно-інтегрований моніторинг та керування в промислових теплицях: поточні результати і перспективи досліджень: монографія. Покровськ: ДВНЗ «ДонНТУ», 2020. 255 с.
7. КСО. URL: <https://ksosvet.ru/blog/osveshchenie-teplicy-svetodiodnymi-lampami-vazhnye-nyuansy> (дата звернення 21.04.2021).
8. KubLight. URL: <https://ksosvet.ru/blog/osveshchenie-teplicy-svetodiodnymi-lampami-vazhnye-nyuansy> (дата звернення 24.04.2021).
9. РГАУ-МСХ. URL: <https://www.activestudy.info/rezhim-vlazhnosti-v-teplicax/> (дата звернення 22.04.2021).
10. Промгидропоника. URL: https://www.promgidroponica.ru/mikroklimat_templ/ (дата звернення 27.04.2021).
11. Профит-Агро. URL: <http://profit-agro.ru/sistemy/sistemy-upravleniya-mikroklimatom/> (дата звернення 27.04.2021).

12. ДИС. URL: <http://dis-rostov.ru/avtomatika-klimat-teplitsa> (дата звернення 27.04.2021).

13. CASCAD. URL: <http://cascad-co2.ru/produkcija-cascad/sistema-upravlenija-mikroklimatom/> (дата звернення 27.04.2021).

14. Системотехника. URL: http://www.syst.ru/vnedren/sau_mkt.htm (дата звернення 04.05.2021).

15. Аналоги и альтернативы ThingSpeak. URL: <http://lostapp.ru/soft/thingspeak> (дата звернення 04.05.2021).

16. Поджаренко, В.О. Опрацювання результатів вимірювань на основі концепції невизначеності: навч. посіб. / В.О. Поджаренко, О.М. Васілевський, В.Ю. Кучерук. – Вінниця: ВНТУ, 2008. – 128 с.

17. Катков, А.Н. Оценка достижимой погрешности цифровых датчиков и необходимой чувствительности измерения влияющих факторов / А.Н. Катков // Изв-я СмолГУ. – Смоленск: ИТЦ СмолГУ, 2011. – № 2. – С. 140 – 146.

18. Земельман, М.А. Автоматическая коррекция погрешностей измерительных устройств / М.А. Земельман. – М.: Изд-во стандартов, 1972. – 199 с.

19. Туз, Ю.М. Структурные методы повышения точности измерительных устройств / Ю.М. Туз. – К.: Вища школа, 1976. – 266 с.

20. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления: Пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.

21. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления: Пер. с англ. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. – 911 с.

22. Олссон Г., Пиани Д. Цифровые системы автоматизации и управления. – СПб: Невский Диалект, 2001. – 557 с.

23. NodeMCU ESP8266. URL: <https://radioprogram.ru/post/863> (дата звернення 15.05.2021).

24. ВНТП АПК–19–07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми

технологічного проектування / М-во аграр. політ. України. – К.: «ХІК», 2007. – 140 с.

25. НТП 10–95. Нормы технологического проектирования теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады: Ведомственные нормы технологического проектирования / Минсельхозпрод РФ. – М.: Гипронисельпром, 1996. – 87 с.

26. Xiong F. Wireless temperature sensor network based on DS18B20, CC2420, MCU AT89S52. 2015 IEEE International Conference on Communication Software and Networks (ICCSN) (Chengdu, 06 – 07 Jun. 2015). Chengdu, 2015. P. 294–298.

27. Wang J., Tao Y. Design and Realization of Temperature Monitoring and Warning System Under Temperature Greenhouse. The Open Automation and Control Systems Journal. 2015. Vol. 7. P. 929–933.

28. Zhu X., An W., Chang L., Wei L.Zh., Zeyuan L. Research of digital temperature measurement system in vacuum thermal test based on DS18B20. 2018 International Conference on Smart Materials, Intelligent Manufacturing and Automation (SMIMA 2018) (Nanjing, 24 – 26 May 2018). Nanjing, 2018. P. 1–6.

29. Wang X.M., Li G.P. Granary Wireless Temperature Monitoring and Alarm System Based on DS18B20. Applied Mechanics and Materials. 2012. Vols. 220 – 223. P. 1625–1627.

30. Liu Z.J. Multi Point Temperature Measurement System Based on DS18B20. Advanced Materials Research. 2013. Vols. 756–759. P. 556–559.

ДОДАТОК А – ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ПРИ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ НА ПІДПРИЄМСТВІ

А.1 Характеристика умов праці науково-дослідного відділу підприємства

Робочим приміщенням, у якому розташовано науково-дослідний відділ, є кімната розмірами 6 метрів на 3,5 метрів. У приміщенні розташовані 1 комп'ютер потужністю 0,5 кВт/год., 1 монітор потужністю 0,1 кВт/год., 1 ноутбук потужністю 0,07 кВт/год., 2 принтери потужністю 0,4 кВт/год., генератор сигналів потужністю 0,06 кВт/год., осцилограф потужністю 0,05 кВт/год., паяльна станція потужністю 0,6 кВт/год., 4 лабораторні блоки живлення потужністю 0,15 кВт/год., 1 кондиціонер потужністю 3,5 кВт/год.

Приміщення знаходиться на 6-ому поверсі адміністративного будинку цегельної будівлі та за своїх характеристикам цілком відповідає вимогам СІ І і П 2.09.04 – 87 «Адміністративні і побутові будинки виробничих підприємств», а також СП 512 – 78 «Інструкція з проектування будинків і приміщень ЕОМ».

Основними шкідливими факторами, зв'язаними з роботою на ПК є:

- напруга зорових органів та пов'язане з цим стомлення, захворювання і побічні ефекти;
- значне навантаження на пальці та кисті рук, що при відсутності профілактики та медичного контролю можуть викликати професійні захворювання;
- тривале перебування в одній і тій самій позі, що викликає застійні явища в організмі, та може сприяти різним захворюванням;
- випромінювання різного виду при використанні відеомоніторів на електронно-променевих грубках (м'яке рентгенівське випромінювання, ультрафіолетове випромінювання, видиме випромінювання, інфрачервоне випромінювання, низько і високочастотне електромагнітне випромінювання, електростатичні полюси);

- механічні шуми, що пов'язані з роботою електронно-механічного друкуючої пристрою (принтера), вентиляторів системи охолодження, приводів читання CD-дисків та вібрація; іонізація повітря;

- наявність шкідливих хімічних речовин.

Дослідження науково-дослідного інституту гігієни праці і профзахворювань вказали на зміни у функціональному стані зорового аналізатора в ході виробничої діяльності фахівців, що працюють з відеотерміналами, наприкінці 4 години роботи.

Професійні захворювання при роботі з персональним комп'ютером:

- комп'ютерний зоровий синдром. Вплив роботи з монітором зазвичай залежить від віку користувача, від стану зору, а також від інтенсивності роботи з дисплеєм та організації робочого місця. В результаті тривалої роботи дуже великий ризик появи, або прогресивності вже наявної, короткозорості.

- проблеми, що пов'язані з м'язами і суглобами. Нерухома напружена поза оператора, протягом тривалого часу прикутого до екрану монітора, призводить до втоми і виникнення болю в хребті, шийі, плечових суглобах, а також розвивається м'язова слабкість і відбувається зміна форми хребта. Інтенсивна робота з клавіатурою викликає больові відчуття в ліктьових суглобах, передпліччях, зап'ястях, в кистях і пальцях рук. Зазвичай присутні скарги на оніміння шийі, біль у плечах і попереку або поколювання в ногах. Але бувають, проте, і більш серйозні захворювання. Найбільш поширений кистьовий тунельний синдром, при якому нерви руки пошкоджуються внаслідок частої і тривалої роботи на комп'ютері. У найбільш важкій формі цей синдром проявляється у вигляді болісних відчуттів, що позбавляють людину працездатності.

- синдром комп'ютерного стресу. Постійні користувачі ПК зазвичай піддаються психологічним стресам, функціональних порушень центральної нервової системи, хвороб серцево-судинної системи.

- вплив на імунну систему. При впливі електро-магнітного випромінювання (ЕМВ) порушуються процеси імуногенезу, опромінених ЕМВ,

змінюється характер інфекційного процесу – протягом інфекційного процесу обтяжується. ЕМВ можуть сприяти неспецифічному пригнічення імуногенезу, посилення утворення антитіл до тканин плоду і стимуляції аутоімунної реакції в організмі вагітної самки.

– вплив на ендокринну систему і нейрогуморальну реакцію. При дії ЕМВ, як правило, відбувається стимуляція гіпофізарно-адреналінової системи, що супроводжується збільшенням вмісту адреналіну в крові, активацією процесів згортання крові.

– вплив на статеву функцію. Порушення статевої функції зазвичай пов'язані зі зміною її регуляції з боку нервової та нейроендокринної систем.

Симптоми захворювання різноманітні і численні. Зазвичай, на-відмінність єдиного симптому малоймовірно, оскільки всі функціональні органи людини взаємопов'язані.

1. Фізичні нездужання: сонливість, непроходяча втома; головний біль після роботи; болі в нижній частині спини, в ногах, відчуття поколювання, оніміння, болі в руках; напруженість м'язів верхньої частини тулуба.

2. Захворювання очей: відчуття гострого болю, печіння, свербіння.

3. Порушення візуального сприйняття: неясність зору, яка збільшується протягом дня; виникнення подвійного зору.

4. Погіршення зосередженості і працездатності: зосередженість досягається за працею; дратівливість під час і після роботи; повітря робочої точки на екрані; помилки при друкуванні.

А.2 Заходи щодо поліпшення умов праці

До приміщення науково-дослідного відділу й організації робочого місця з обліком шкідливих виробничих факторів пред'являється ряд вимог. Приміщення в якому знаходиться робоче місце з ПК повинно мати природне освітлення, бажано з одnobічним розміщенням світопрорізів, площа освітленості яких не повинна перевищувати 25 % від площі стіни

світопрорізами. Віконні прорізи в приміщенні з ПК повинні мати регульовані жалюзі чи занавеси або інші сонцезахисні пристрої. Не допускається розташування робочих місць із ПК у підвальних і цокольних поверхах. Робочі місця з ПК рекомендується розміщати в окремих приміщеннях. Площа на одного працюючого з ПК повинна складати 6 м^2 , об'єм – 20 м^3 . Неприпустиме розташування ПК, при якому працюючий звернений обличчям, або спиною до вікон чи кімнати задньої частини ПК, у яку монтуються вентилятори.

Забороняється застосовувати для обробки інтер'єра приміщень із ПК полімерні матеріали (дерев'яностружечні плити, шпалери що миються, плівкові та рулоні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик та ін.), що виділяються в повітря шкідливі хімічні речовини, що перевищують гранично допустимі концентрації, не включені в «Перелік дозволених, МЗ» 1977-1985 р.

В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідної роботи робочі місця з ПК розташовані від стіни з вікнами на відстані 1 м, відстань між столами складає 3 м. Екрани відеомоніторів ПК знаходяться від очей користувача на відстані 700 мм відповідно до СН 512-78, приміщення ($S=21 \text{ м}^2$, $V=73,5 \text{ м}^3$) дозволяє розташовувати більше 3 робочих місця.

Робочі місця в положенні сидячі відповідають вимогам ДСТ 12.2.032 – 78 та ДСТ 12.2.029 – 77. Поверхня робочого столу знаходиться на висоті 0,75 метрів від підлоги, розміри робочої поверхні стільниці складають 1050x590 міліметрів, розміри вільного простору для ніг під столом складає висота 650, глибина 550, ширина 450 міліметрів відповідно. Робочий стілець оснащений підйомно-поворотним пристроєм, що забезпечує регуляцію висоти сидіння і спинки, пневматичним і гідравлічними амортизаторами та обладнанні підлокітниками.

Мікроклімат робочого місця. У приміщенні науково-дослідного відділу є джерела тепловиділення, тому необхідно визначити необхідні умови його вентильовання. Витрату повітря в приміщенні з додатковим тепловиділенням визначаємо за формулою:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)}, \quad (\text{A.1})$$

де $Q_{\text{НАД}}$ – надлишкове виділення тепла в робочому приміщенні, ккал/год.; c – теплоємність повітря (0,237 ккал/кг); p – обсягова вага повітря (1,226 кг/м³); t_B – температура витяжного повітря (30°C); t_H – температура приточного повітря (20°C).

Розрахуємо надлишкове надходження тепла за наступною формулою:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}}, \quad (\text{A.2})$$

де $Q_{\text{УСТ}}$ – виділення тепла від устаткування; $Q_{\text{ПЕР}}$ – виділення тепла робітниками; $Q_{\text{ОСВ}}$ – надходження тепла від електричного освітлення; $Q_{\text{СР}}$ – надходження тепла від сонячної радіації через вікна.

Визначимо виділення тепла від устаткування за формулою:

$$Q_{\text{УСТ}} = P \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860, \quad (\text{A.3})$$

P – сумарна потужність устаткування, кВт/год; K_a – коефіцієнт установленної потужності (0,95); K_o – коефіцієнт одночасної роботи (1,0).

$$\begin{aligned} Q_{\text{УСТ}} &= [x_1 \cdot k_1 + x_2 \cdot k_2 + x_3 \cdot k_3 + x_4 \cdot k_4 + x_5 \cdot k_5 + x_6 \cdot k_6 + x_7 \cdot k_7 + \\ &+ x_8 \cdot k_8 + x_9 \cdot k_9] \cdot K_a \cdot K_o \cdot 860 = \\ &= [1 \cdot 0,5 + 1 \cdot 0,1 + 1 \cdot 0,07 + 2 \cdot 0,4 + 1 \cdot 0,06 + 1 \cdot 0,05 + 1 \cdot 0,6 + 4 \cdot 0,15 + \\ &+ 1 \cdot 3,5] \cdot 0,95 \cdot 1 \cdot 860 = 5131 \text{ ккал/год.} \end{aligned}$$

Визначимо виділення тепла від обслуговуючого персоналу за допомогою наступної формули:

$$Q_{\text{ПЕР}} = n \cdot g = 2 \cdot 100 = 200 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.4})$$

де n – кількість працюючих; g – кількість тепла, що виділяє один працівник за годину (100 ккал/год.).

Визначимо надходження тепла від електричного освітлення за формулою:

$$Q_{\text{ОСВ}} = E_M \cdot g_1 \cdot S = 300 \cdot 0,05 \cdot 21 = 315 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.5})$$

де E_M – нормована освітленість для цієї зорової роботи, величина якої дорівнює 300 лк; g_1 – питоме тепловиділення на 1 м² підлоги при 1 лк освітленості (для / люмінесцентних ламп – 0,05 ккал/год.) S – площа приміщення, м².

Визначимо надходження тепла від сонячної радіації через вікна за наступною формулою:

$$Q_{\text{СР}} = F \cdot g_2 \cdot K_{\text{ОСЛ}} = 7,5 \cdot 65 \cdot 0,4 = 195 \text{ ккал/год}, \quad (\text{A.6})$$

де F – площа віконних прорізів (3x2,5=7,5 м²); g_2 – кількість тепла, що надходить через 1 м² віконного прорізу (65 ккал/год.); $K_{\text{ОСЛ}}$ – коефіцієнт ослаблення, приймаємо 0,4.

Визначимо кількість надлишкового тепла:

$$Q_{\text{НАД}} = Q_{\text{УСТ}} + Q_{\text{ПЕР}} + Q_{\text{ОСВ}} + Q_{\text{СР}} = 5131 + 200 + 315 + 195 = 5841 \text{ ккал/год}.$$

Визначимо витрати повітря в приміщенні:

$$L = \frac{Q_{\text{НАД}}}{c \cdot p \cdot (t_B - t_H)} = \frac{5848}{0,237 \cdot 1,226 \cdot (30 - 20)} = 2010 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Існуюча в наявності система кондиціонування і вентилявання має продуктивність 2200 куб. м./годину, що задовольняє необхідним нормативам.

Параметри мікроклімату на робочих місцях регламентуються ДНАОП 0.03.3.15 – 86 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень № 4088–86». Відповідно доданих санітарних норм температура повітря, швидкість руху повітря та відносна вологість у холодні періоди року повинна складати (22 – 24) градуса за Цельсієм, 0,1 метра в секунду та 40-60 % відповідно. При збереженні всім параметрів можливе коливання температури від 21 до 25 градусів Цельсія. У теплі періоди року температура повітря повинна складати (23 – 25) градусів Цельсія, рухливість повітря (0,1 – 0,2) метрів секунду, вологість (40 – 60) %. Температура може коливатися від 22 до 26 градусів Цельсія при збереженні всіх інших параметрів мікроклімату. Вище зазначені норми цілком відповідають фактичним даним приміщення лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідним відділом.

Розрахунок системи загального рівномірного освітлення з лампами розжарювання для приміщення, в якому використовуються зорові роботи високої точності. Розміри приміщення: довжина ($a=6$ м), ширина ($b=3,5$ м), висота ($h=3,5$ м). Приміщення має світлу побілку: коефіцієнт відбиття $P_{стелі} = 70 \%$, $P_{стін} = 50 \%$. Висота робочих поверхонь (столів) $h_p = 0,7$ м. Для освітлення прийнято світильники типу УПМ-15, які підвищуються до стелі, відстань від світильника до стелі $h_c=0,4$ м.. Мінімальна освітленість за нормами $E=200$ лк.

1) Визначимо висоту підвісу світильників над підлогою

$$h_0 = H - h_c = 3,5 - 0,4 = 3,1 \text{ м.}$$

Для світильників загального освітлення з лампами розжарювання потужністю до 200 Вт мінімальна висота підвісу над підлогою відповідно до СНІП П-4-79 повинна бути у межах (2,5 – 4,0) м, залежно від характеристики світильника. В лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному

відділу відповідає цій вимозі.

2) Визначимо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею:

$$h = h_0 - h_p = 3,5 - 0,4 = 2,8 \text{ м.}$$

Рівномірність освітлення досягається при відповідному співвідношенні відстані між світильниками (L) та висоти їх підвісу (h).

3) Визначимо рекомендовану відстань між світильниками

$$L = 0,7 \cdot h = 0,7 \cdot 2,8 = 2,0 \text{ м.}$$

4) Розрахуємо необхідну кількість світильників

$$N = \frac{a \cdot b}{L^2} = \frac{6 \cdot 3,5}{2^2} = 6.$$

Приймаємо 6 світильників, враховуючи розміри приміщення розміщуємо їх у два ряди по 3 штуки.

5) Світловий потік лампи світильника ($\Phi_{\text{л}}$) визначається за формулою:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot K_z \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta},$$

де E – нормативна освітленість, лк; K_z – коефіцієнт запасу, який враховує зниження освітленості в результаті забруднення та старіння ламп; S – площа приміщення, що освітлюється, м²; Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення для ламп розширювання (1,15); N – кількість світильників; n – кількість ламп у світильнику; η – коефіцієнт використання світового потоку, який визначається за світлотехнічними таблицями залежно від показника приміщення (i) та коефіцієнтів відбиття стін та стелі.

6) Визначимо показник приміщення:

$$i = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)} = \frac{6 \cdot 3,5}{3,5 \cdot (6 + 3,5)} = 2,21.$$

Коефіцієнт використання $\eta = 0,48$ для світильника УПМ-15 (при $i = 2,5$, $P_{\text{стелі}} = 70\%$, $P_{\text{стін}} = 50\%$)

Світловий потік одного світильника, а значить і лампи, оскільки за конструктивним виконанням у світильнику цього типу встановлена лише одна лампа, дорівнює:

$$\Phi_{\text{л}} = \frac{E \cdot S \cdot Z}{N \cdot n \cdot \eta} = \frac{200 \cdot 21 \cdot 1,15}{6 \cdot 1 \cdot 0,48} = 1677 \text{ лм.}$$

9) обираємо лампу Б-150 потужністю 150 Вт, світловий потік якої становить 2100 лм. Хоча це значення на 18% більше розрахованого, однак не перевищує встановлену норму ($-0\% < \Phi_{\text{л}} < +20\%$). Сумарна електрична потужність усіх світильників, встановлених у приміщенні становить:

$$P_{\text{св}} = P \cdot N = 150 \cdot 6 = 900 \text{ Вт.}$$

А.3 Пожежна безпека

Найважливішою умовою роботи будь-якого підприємства є дотримання правил пожежної охорони. У приміщенні лабораторії вимірювальної техніки та науково-дослідному відділу основні міри для забезпечення пожежної безпеки визначає «Інструкція про заходи пожежної безпеки для службових приміщень (офісів)». Вона є обов'язковою для використання всіма співробітниками відділу. У згідності з цією інструкцією, у кожному приміщенні повинний бути

призначений відповідальний за пожежну безпеку, вивішена на видному місці табличка з указівкою його посади та прізвища.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи та виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захарашувати. По мірі нагромадження та закінчення роботи пальні відходи варто збирати в спеціально відведених сміттєзбиральників.

Електромережі, електроприлади й апаратура повинна експлуатуватися тільки в справному стані, з урахуванням рекомендацій підприємства-виготовлювачів. У випадку виявлення ушкоджень електромереж, вимикачів, розеток та інших електровиробів варто негайно відключи їх та вжити необхідних заходів до приведення в пожежобезпечний стан. Документи папір та інші горючі матеріали варто зберігати на відстані не менш 1 м від електрощитів, електрозбірок та електрокабелів, 0,5 м від світильників та 0,25 м від приладів опалення.

Засоби протипожежного захисту (пожежні крани, пожежна й охоронно-пожежна сигналізація, первинні засоби пожежогасіння і т.п.), що мають у приміщеннях, варто тримати в справному стані.

Усі працівники повинні пройти протипожежний інструктаж, уміти користатися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння та знати місце їхнього перебування. Відстань від найбільш віддаленого місця приміщення до місця розміщення вогнегасника не повинне перевищувати 20 м.

А.4 Безпека при надзвичайних ситуаціях на підприємстві

Об'єктом розгляду на предмет визначення надзвичайних небезпек та їх наслідків є науково-дослідний відділ. Однією із вірогідних загроз може бути раптове виникнення пожежу внаслідок короткого замикання в електромережах

або розрядів статистичної електрики, що може привести до пошкодження і руйнування будівлі, устаткування, комунікацій, виділення токсичних продуктів горіння.

Тому в науково-дослідному відділі розроблено оперативний план гасіння пожежі, який визначає порядок дії персоналу при пожежі, порядок її гасіння в електроустановках, взаємодію з власним складом пожежних підрозділів, а також застосування схем и засобів пожежогасіння з урахуванням заходів безпеки.

Будівля повинна бути обладнана мережею протипожежного водозабезпечення, установками виявлення та гасіння пожеж відповідно вимогам нормативно-технічних документів. Кожний працівник повинен чітко знати та виконувати вимоги ППБ та протиаварійний режим на об'єкті, уміти користуватися наявними вогнегасниками, іншими первинними засобами пожежогасіння і знати місце їхнього перебування.

Меблі й устаткування повинні розміщатися таким чином, щоб забезпечувався вільний евакуаційний прохід до дверей виходу з приміщення (шириною не менше 1 м). Евакуаційні шляхи і виходи необхідно постійно держати вільними, нічим не захащувати. Засоби протипожежного захисту в приміщеннях потрібні триматися у справному стані.

У випадку виявлення пожежі слід: негайно повідомити державну пожежну охорону за телефоном «101», вказати при цьому адресу, кількість поверхів, місце виникнення пожежі, наявність людей, своє прізвище; повідомити про пожежу керівництву, а в нічний час черговому охоронцю; у разі можливості почати гасіння пожежі наявними засобами, організувати зустріч пожежних підрозділів.

При виникненні пожежі у початковій стадії його розвитку випромінюється тепло, накопичуються токсичні продукти згоряння, імовірні руйнування будівельних споруд. Тому слід як можна швидше провести евакуацію людей із палаючої будівлі. Показником ефективності евакуації є час, протягом якого працівники можуть при потрібності залишити окремі

приміщення і будівлю в цілому. Безпека евакуації досягається тоді, коли час евакуації не перевищує час настання критичної фази розвитку пожежі, тобто часу від початку пожежі до досягнення граничних для людини впливів факторів пожежі (критичних температур, ступені задимлення, зниження концентрації кисню и т.п.). Число евакуаційних виходів повинно бути не менш двох. Вони повинні розташовуватися розосереджено. Мінімальна відстань між найбільш віддаленими один від одного евакуаційними виходами із приміщення визначається за формулою:

$$l = 1,5 \cdot \sqrt{P} = 1,5 \cdot \sqrt{19} = 6,5 \text{ м}, \quad (\text{A.7})$$

де P – периметр приміщення, м.

Двері на шляхах евакуації повинні відкриватися у напрямку виходу із будівлі. У кожному приміщенні на видному місці повинен бути вивішений план евакуації при пожежі.

При пожежі обов'язково необхідно враховувати небезпечні чинники і механізм їх дії на людину. При виникненні пожежі, після виклику пожежної охорони, необхідно попередити про це усіх, хто знаходиться поруч, після чого евакуюватися самому і по можливості допомогти евакуюватися іншим, особливо особам літнього віку і дітям, попереджаючи при цьому виникнення паніки. З метою обмеження циркуляції повітря, яке здатне збільшувати швидкість горіння, покидаючи приміщення, закрийте за собою усі двері, якщо це можливо. Якщо пожежа виникла в приміщенні над вами і безпосередньої загрози для вас не спостерігається, то бажано виконати заходи по зниженню можливих втрат від води яку проливають при гасінні пожежі. Для цього необхідно відключити всі електроприводи та прикрити їх поліетиленовою плівкою. Значно гірше, якщо пожежа виникла в приміщенні під вами – потрібно оцінити обстановку и якщо є впевненість, що ще не має сильної задимленості з високою температурою, потрібно негайно покинути приміщення, рухаючись до виходу по коридорам і сходовим кліткам.

Користуватися ліфтом категорично забороняється, за винятком ліфтів, які спеціально призначені для транспортування пожежної охорони. Шахта ліфта є шляхом для поширення диму і отруйних продуктів горіння, до того ж при пожежі ліфт часто відключають і можна опинитися в пастці при пожежі.

Якщо ви знаходитесь в приміщенні де немає пожежі, але відрізани вогнем, димом, високою температурою від головних шляхів евакуації, то в першу чергу необхідно заважити доступу диму и продуктів горіння в це приміщення. Для чого необхідно негайно закрити усі щілини у дверях та під ними змоченими водою ганчірками, рушниками, робочими халатами та ін. Якщо приміщення все ж заповнено димом, необхідно підповзти до вікна, закрити при цьому рот та ніс змоченою тканиною, яка грає роль фільтру та в певної мірі захищає від продуктів горіння.