

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інформаційних електронних систем
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць»

Виконав: студент 2-го курсу, групи КІВТ-21м
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Філіпенко І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доц. каф. ІРТС

Маньковська В.С.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2022 р.

Опонент: доц. каф. БМІОЕС, к.т.н., доц.

Штофель Д.Х.

(прізвище та ініціали)

« 16 » 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІРТС

Осадчук О.В.

(прізвище та ініціали)

« 19 » 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інформаційних радіоелектронних технологій і систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування»
Спеціальність 152 – Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка
Освітньо-професійна програма Комп'ютеризовані інформаційно-вимірвальні технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ІРТС

д.т.н., проф. Осадчук О.В.

«16» вересня 2022 року

ЗАВДАННЯ **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Філіпенко Ігорю Віталійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць

керівник роботи к. т. н. доц., Маньковська В.С.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «14» 09 2022 року № 203



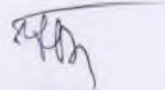
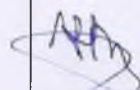
2. Строк подання студентом роботи 16 грудня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи: комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) огляд вимог до комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць, методи побудови комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць, розробка комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць, математична модель моніторингу температурного режиму вирощування тепличних культур, математична модель моніторингу технологічного режиму зволоження повітря зони вирощування теплиць, математична модель моніторингу динаміки вуглекислого газу в зоні вирощування теплиць, економічна частина.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Структурна схема моніторингу температури зони вирощування. Функціональна схема процедури комп'ютеризованого моніторингу параметрів температурного режиму вирощування. Структурна схема моніторингу вологості повітря теплиці. Функціональна схема процедури моніторингу вологісного режиму вирощування. Функціональна схема процедури вимірвального моніторингу концентрації вуглекислого газу під час вирощування.

6. Консультанти розділів роботи

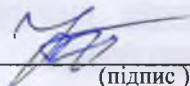
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Основна частина	доцент кафедри ІРТС к.т.н. доц., Маньковська В.С.		
Економічна частина	професор кафедри ЕПВМ, професор, д. е. н, Буреннікова Н.В.		

7. Дата видачі завдання 17.09.2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

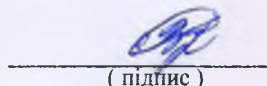
№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вибір, узгодження та затвердження тем МКР на випусковій кафедрі.	02.09.2022-07.09.2022	
2.	Огляд та аналіз літературних джерел.	08.09.2022-13.09.2022	
3.	Затвердження тем по ВНТУ. Розробка завдання на МКР.	14.09.2022-27.09.2022	
4.	Попередня розробка основних розділів. Аналіз вирішення поставленої задачі. Розробка структурної схеми та технічних рішень.	28.09.2022-13.10.2022	
5.	Математичне моделювання та електричні розрахунки. Експериментальне дослідження.	14.10.2022-06.11.2022	
6.	Розробка графічної частини МКР.	07.11.2022-16.11.2022	
7.	Економічна частина.	17.11.2022-24.11.2022	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини.	25.11.2022-02.12.2022	
9.	Нормоконтроль.	03.12.2022-10.12.2022	
10.	Попередній захист МКР, доопрацювання, рецензування МКР.	11.12.2022-19.12.2022	
11.	Захист МКР ЕК.	20.12.2022-21.12.2022	

Студент


 (підпис)

Філіпенко І.В.

Керівник роботи


 (підпис)

Маньковська В. С.

АНОТАЦІЯ

УДК 004.457

Філіпенко І.В. Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 – метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма - комп'ютеризовані інформаційно-вимірювальні технології. Вінниця: ВНТУ, 2022. 110 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 36 назв; рис.: 28; табл. 32.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено комп'ютеризовану систему моніторингу стану мікроклімату теплиць, розглянуто вимоги до комп'ютеризованого моніторингу стану мікроклімату теплиць, критерії побудови сучасних систем комп'ютеризованого моніторингу, проаналізовано існуючі методи побудови та математичні моделі комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць, уточнено функціональну схему процедур отримання й аналізу вимірювальної інформації щодо температурного режиму вирощування в режимі реального часу. Графічна частина складається з п'яти плакатів, на яких наведено структурну схему моніторингу температури зони вирощування, функціональну схему процедури комп'ютеризованого моніторингу параметрів температурного режиму вирощування, структурну схему моніторингу вологості повітря теплиці, функціональну схему процедури моніторингу вологісного режиму вирощування, функціональну схему процедури вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу під час вирощування. Також у магістерській кваліфікаційній роботі проведено техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки системи, розраховано економічний ефект від впровадження системи у виробництво.

Ключові слова: комп'ютеризована система, моніторинг, мікроклімат, теплиця.

ABSTRACT

Filipenko I.V. Computerized system for monitoring the microclimate of greenhouses. Master's qualification thesis on specialty 152 - metrology and information-measurement technologies, educational program - computerized information-measurement technologies. Vinnytsia: VNTU, 2022. 110 p.

In Ukrainian language. Bibliography: 36 titles; Fig.: 28; table 32.

In the master's qualification thesis, a computerized system for monitoring the state of the microclimate of greenhouses was developed, the requirements for computerized monitoring of the state of the microclimate of greenhouses, criteria for the construction of modern computerized monitoring systems were considered, the existing construction methods and mathematical models of computerized systems for monitoring the state of the microclimate of greenhouses were analyzed, the functional scheme of the procedures for obtaining and analyzing measurement information regarding the temperature regime of cultivation in real time has been specified. The graphic part consists of five posters, which show the structural diagram of the temperature monitoring of the cultivation zone, the functional diagram of the procedure for computerized monitoring of the parameters of the temperature regime of cultivation, the structural diagram of the monitoring of the air humidity of the greenhouse, the functional diagram of the procedure for monitoring the humidity regime of cultivation, the functional diagram of the procedure of measuring monitoring the concentration of carbon dioxide during cultivation. Also, in the master's qualification thesis, a technical and economic justification of the feasibility of system development was carried out, the economic effect of the system's implementation in production was calculated.

Keywords: computerized system, monitoring, microclimate, greenhouse.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ВИМОГ ДО КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ	9
1.1 Актуальні вимоги до комп'ютеризованого моніторингу стану мікроклімату теплиць	9
1.2 Критерії побудови сучасних систем комп'ютеризованого моніторингу.....	17
1.3 Задачі дослідження.....	20
2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ	21
2.1 Аналіз існуючих методів побудови комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць	21
2.2 Комп'ютерні технології систем моніторингу стану мікроклімату теплиць.....	32
2.3 Висновки до розділу	36
3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ	37
3.1 Математична модель моніторингу температурного режиму вирощування тепличних культур.....	37
3.2 Математична модель моніторингу технологічного режиму зволоження повітря зони вирощування теплиць	58
3.3 Математична модель моніторингу динаміки вуглекислого газу в зоні вирощування теплиць	63
3.4 Висновки до розділу	72
4 ВИМОГИ ДО АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ	73
4.1 Вимоги до апаратно-програмного забезпечення комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць	73

	6
4.2 Висновки до розділу	79
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	80
5.1 Оцінювання наукового ефекту.....	80
5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	83
5.2.1 Витрати на оплату праці.....	83
5.2.2 Відрахування на соціальні заходи.....	86
5.2.3 Сировина та матеріали.....	87
5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі.....	88
5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт.....	89
5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт.....	90
5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень.....	91
5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей.....	92
5.2.9 Службові відрядження.....	93
5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	93
5.2.11 Інші витрати.....	94
5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	96
5.4 Висновок до розділу.....	96
ВИСНОВКИ.....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	100
Додаток А (обов'язковий) Ілюстративна частина.....	104
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки роботи.....	108

ВСТУП

Актуальність теми. У теперішній час комп'ютеризовані системи (КС) знаходять все більше прикладне використання, що обумовлює безперервний пошук науково обґрунтованих шляхів їх розвитку.

Однією з таких галузей, потреби якої вимагають невідкладної модернізації шляхом упровадження сучасних комп'ютерних, сенсорних, інфокомунікаційних та мікропроцесорних технологій, є сільське господарство.

На сьогоднішній день однією з найбільш важливих галузей, із точки зору забезпечення продовольчої безпеки та цілорічної доступності продуктів харчування, є овочівництво захищеного ґрунту. Підтвердженням цього факту є динамічне зростання площ теплиць у світі.

Варто зазначити, що більшість досліджень присвячені питанням розробки апаратних і програмних рішень вимірювачів окремих параметрів. Незважаючи на якісне вирішення певних задач розробки програмно-апаратного забезпечення комп'ютеризованих систем, теорія комплексного моніторингу стану аналізованих фізичних середовищ перебуває в стадії становлення.

Основними питаннями, що потребують додаткового розвитку на базі відомих теорій є: облік принципів системності й комплексності збору та обробки розподіленої вимірювальної інформації; поглиблення теоретичних основ обґрунтування локацій сенсорів; розвиток фізико-математичного апарату екстраполяції результатів лабораторного моніторингу на реальні об'єкти; облік взаємозв'язків вимірюваних параметрів під час інтерпретації інтегрального стану середовища.

Прикладні аспекти застосування комп'ютеризованих систем, як наукоємність і масштабність сучасного тепличного овочівництва, які задекларовано всесвітньовизнаними організаціями FAO і ASABE на підставі узагальнення багаторічного експертного досвіду, диктують тенденції до вирішення методологічних питань побудови комп'ютеризованих систем комплексного моніторингу стану аналізованих середовищ. Таким чином, відомі

результати наукових досліджень не спроможні забезпечити необхідні показники ефективності та інформативності під час протікання технологічних процесів тепличного вирощування без проведення додаткових досліджень із обґрунтування теорії якісного переходу від вимірювань розподілених параметрів до моніторингу інтегрального стану середовища. Все це обумовлює певний дисбаланс між теорією та практикою, що полягає у фрагментарності відомих результатів по відношенню до вимог прикладного застосування комп'ютеризованих систем агротехнічного призначення.

Отже, розробка комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць є актуальною.

Мета і завдання роботи. Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є стан мікроклімату теплиць.

Предметом дослідження є методи та засоби комп'ютеризованого моніторингу стану мікроклімату теплиць.

Новизна одержаних результатів. Наукова новизна магістерської кваліфікаційної роботи полягає в розробці математичної моделі та дослідженні процесу моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць, що дозволить обґрунтувати вимоги до апаратних і програмних компонент КС.

1 ОГЛЯД ВИМОГ ДО КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

1.1 Актуальні вимоги до комп'ютеризованого моніторингу стану мікроклімату теплиць

Дослідження теплиць є важливим інструментом для вчених та інженерів, які вивчають вплив мікрокліматичних параметрів на характеристики зростання значного асортименту рослин. Тепличне середовище дозволяє проводити експериментальні дослідження зі встановлення закономірностей впливу параметрів мікроклімату на ефективність вирощування культур на захищених ґрунтах безперервно протягом року. Процедури моніторингу та безпаперової реєстрації результатів є важливим аспектом забезпечення високої якості вирощування рослин у тепличних умовах.

На теперішній час існує потреба у проведенні якісних досліджень у даній предметній області у всьому світі задля подальшого порівняння, аналізу й встановлення актуальних проблем, що виникли в галузі овочівництва захищеного ґрунту. Згідно аналізу відомих результатів світової наукової досвід доводить, що дослідникам рекомендується виконувати комплексну оцінку інтегрального впливу параметрів на якість вирощування тепличних культур із обов'язковим оприлюдненням отриманих результатів.

Кислотно-лужний режим. Показник кислотності поливного розчину і тепличних ґрунтуів (рН) відіграє основну роль у визначенні робочих показників під час процесів вирощування овочевих культур на захищених ґрунтах. Основні вимоги до якості поливної води, що є основним фактором впливу на кислотно-лужний режим ґрунтів, наведено у табл. 1.1. Оптимальні значення кислотності робочого поливного розчину в тепличних умовах становлять: для томатів – від 5,5-6,2 од., для огірків – від 5,8-6,5 од.

Вологісний режим. Значний вплив на процеси зростання тепличних культур відіграє вологісний режим ґрунтів і повітря. Вологісний режим

підлягає оптимізації шляхом регулювання вмісту вологи в повітрі та ґрунті, що забезпечує водний баланс рослин. Шляхом регулювання водного режиму тепличних культур можна активно впливати на продуктивність їх зростання.

Таблиця 1.1 – Вимоги до якості поливної води в тепличних комплексах

Показник	Допустимий вміст у поливній воді
рН	від 6 до 8
Загальний вміст солей, кг/м ³	від 1,0 до 1,2
Оксид калію, оксид магнію, кг/м ³	0,02
Сульфати, кг/м ³	0,35
Оксид натрію, кг/м ³	від 0,15 до 0,18
Хлор, кг/м ³	від 0,15 до 0,18
Залізо, мг/л	1,0
Бор, мг/л	від 0,3 до 0,6
Фтор, мг/л	від 0,6 до 1,0
Цинк, мг/л	від 1,0 до 2,0
Загальна жорсткість, мг-екв/л	від 4,0 до 4,5
Феноли та діючі на смак сполуки	не допускаються
БПК повн. мг О ₂ /л	від 3,0 до 6,0

Показник поточної вологості ґрунту повинен узгоджуватися з іншими параметрами мікроклімату на певному етапі зростання. Для поливу рослин у теплицях використовується основний вид поливу – дощування або крапельний (мікрокрапельний), а в якості резервного – полив зі шлангу.

Витрати води задля поливу рослин під час вирощування в тепличних умовах приймаються у відповідності до даних у табл. 1.2 – 1.4 [1].

Таблиця 1.2 – Витрати поливної води за умови роботи системи випарного охолодження й зволоження (СВОЗ) при ясному небі

Географ. широта, °пн. ш.	Макс. добова витрата, л/м ²	Місяці				Річна витрата, л/м ²
		березень-жовтень, л/м ²	квітень-вересень, л/м ²	травень-серпень, л/м ²	червень-липень, л/м ²	
44	12,6	141	211	282	352	1972
48	11,7	130	197	262	327	1832
52	10,7	120	180	240	300	1680

Примітка: для об'єктів, які розташовані на іншій географічній широті, норми витрати води слід визначати методом інтерполяції.

Таблиця 1.3 – Витрати води на один полив у промислових теплицях із вирощування овочевих культур

Місяць	Витрати води на один полив, л/м ²					
	Огірки			Томати		
	зимово-весняний цикл	осінній цикл	перехідний цикл	зимово-весняний цикл	осінній цикл	перехідний цикл
Січень	4	–	5	–	–	15
Лютий	5	–	5	10	–	15
Березень	5	–	5	12	–	15
Квітень	6	–	6	14	–	15
Травень	6	–	7	15	–	16
Червень	6	–	6	16	–	16
Липень	6	4	–	16	15	15
Серпень	5	5	–	15	15	–
Вересень	–	6	6	–	15	14
Жовтень	–	7	7	–	14	16
Листопад	–	8	6	–	12	15
Грудень	–	–	5	–	–	15

Примітка: коефіцієнт рівномірності поливу має дорівнювати від 0,8 до 0,9.

Таблиця 1.4 – Кількість поливів у промислових теплицях із вирощування овочевих культур

Місяць	Кількість поливів					
	Огірки			Томати		
	зимово-весняний цикл	осінній цикл	перехідний цикл	зимово-весняний цикл	осінній цикл	перехідний цикл
Січень	6–8	–	12–15	–	–	–
Лютий	10–12	–	15–18	4–5	–	4–5
Березень	15–20	–	18–20	6–8	–	6–8
Квітень	20–25	–	20–23	8–10	–	9–11
Травень	20–25	–	20–25	10–12	–	12–14
Червень	25–30	–	25–30	10–12	7–9	10–15
Липень	25–30	18–20	–	10–12	8–10	8–10
Серпень	20–25	15–20	–	8–10	6–8	–
Вересень	–	10–12	3–4	–	4–6	7–8
Жовтень	–	5–8	10–14	–	3–4	4–6
Листопад	–	3–4	14–16	–	–	4–5
Грудень	–	–	12–15	–	–	4–5

Примітка: при використанні технології крапельного поливу витрати поливної води є на 30 % менше.

У промислових теплицях із вирощування овочевих культур крапельний полив відбувається циклічно від 2 до 20 разів на добу, тривалість циклу

дорівнює від 5 хв. до 30 хв. Задля підтримання оптимального вологісного режиму тепличних ґрунтів промислові теплиці мають бути обов'язково обладнані СВОЗ.

Температурний режим тепличних ґрунтів змінюється відносно повільно порівняно з динамікою температури повітря в промислових теплицях. Температура тепличних ґрунтів впливає на інтенсивність надходження мінеральних елементів і води до кореневої системи рослин, адже кореневе поглинання є активним механізмом, яке потребує метаболічної енергії [2]. Температуру ґрунту можна регулювати швидкістю, кількістю та температурою теплоносія, що надходить до системи.

Світловий режим. У нормативних документах та наукових джерелах [3] обґрунтовано загальні вимоги до інтенсивності та періоду освітлення промислових тепличних комплексів, які полягають у наступному:

- у розсадних відділеннях овочевих теплиць мінімальна сумарна інтенсивність освітлення з обліком природного та штучного освітлення повинна бути не менше 25 Вт/м^2 ФАР (фотосинтетична активна радіація); добова кількість ФАР – не менше $250 \text{ Вт}\cdot\text{год/ м}^2$;

- в овочевих теплицях сумарна інтенсивність освітлення повинна бути не менше 80 Вт/м^2 ФАР (для огірків) та 95 Вт/м^2 ФАР (для томатів); добова кількість ФАР для овочевих культур у період плодоношення – не менше $900 \text{ Вт}\cdot\text{год/м}^2$;

- під час вирощування культур в умовах штучного освітлення для сіянців і розсади рекомендується приймати опромінення на рівні 80 Вт/м^2 ; для овочевих культур – від 80 Вт/м^2 до 160 Вт/м^2 ;

- для огірків рекомендованим є наступний розподіл енергій за спектральним складом: у діапазоні від 380 нм до 490 нм – 20 %, від 490 нм до 590 нм – 40 %, від 590 нм до 700 нм – 40 %; для томатів: у діапазоні довжин хвиль від 380 нм до 490 нм – 20 %, від 490 нм до 590 нм – 15 %, від 590 нм до 700 нм – 65 %.

Газовий склад та швидкість руху повітря в зоні вирощування. Згідно

джерел [1] концентрацію CO₂ у зоні вирощування в залежності від світлового режиму слід приймати згідно рекомендацій, які наведено в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Норми концентрації CO₂ у зоні вирощування теплиць

Сумарна інтенсивність освітлення, Вт/м ² ФАР	Концентрація вуглекислого газу, %		
	<i>Розсада</i>	<i>До плодоношення</i>	<i>Плодоношення</i>
<i>Томат</i>			
до 40	від 0,05 до 0,07	від 0,05 до 0,07	від 0,04 до 0,05
від 40 до 80	від 0,05 до 0,07	від 0,08 до 0,10	від 0,04 до 0,05
від 80 до 160	від 0,09 до 0,10	від 0,10 до 0,15	від 0,07 до 0,10
більше 160	від 0,09 до 0,10	від 0,15 до 0,18	від 0,13 до 0,15
<i>Огірок</i>			
до 40	від 0,05 до 0,07	від 0,05 до 0,07	від 0,05 до 0,07
від 40 до 80	від 0,07 до 0,10	від 0,10 до 0,15	від 0,07 до 0,10
від 80 до 160	від 0,10 до 0,15	від 0,15 до 0,18	від 0,10 до 0,15
більше 160	від 0,15 до 0,18	від 0,18 до 0,20	від 0,15 до 0,18

Томати. Цей тип культур є одним із найбільш економічно важливих, відносний обсяг їх виробництва у світі становить 28,03 % від загального виробництва овочів згідно статистичних даних FAO.

Рекомендовані параметри мікроклімату під час вирощування томатів є наступними [4]:

– оптимальна температура повітря вдень становить від 19 °С до 24 °С та вночі – від 16 °С до 18 °С; різниця між температурою вдень та вночі не повинна перевищувати від 6 до 7 °С;

– оптимальна вологість повітря становить від 65 % до 75 %;

– рекомендована швидкість руху потоків повітря – 0,5 м/с;

– необхідна освітленість – від $0,5 \cdot 10^4$ лк до $1,5 \cdot 10^4$ лк;

– рекомендована концентрація CO₂ – від 800 ppm до 1000 ppm;

– оптимальна кислотність ґрунту становить від 6 од. до 7 од.;

– оптимальна електропровідність ґрунту – близько 2,5 мСм/см;

– рекомендована температура ґрунту – 20 °С.

Огірки. Огірки, як і томати, є одним із найбільш економічно вигідних типів

культур під час вирощування в тепличних умовах через свою швидкість зростання. Огірки є типовими субтропічними культурами та найкраще зростають в умовах високої температури, вологості, інтенсивності світла й доступності поживних речовин.

Рекомендовані параметри мікроклімату під час вирощування огірків є наступними [4]:

- оптимальна температура повітря: під час посівів – від 25 °C до 35 °C (за умови інтенсивного зволоження); перший тиждень після висадки – від 22 °C до 24 °C; під час початку плодоношення – від 20 °C до 22 °C; різниця між денною та нічною температурами має становити не більше 2 °C;

- рекомендована температура ґрунту становить від 22 °C до 23 °C;

- рекомендована концентрація CO₂ – від 600 ppm до 800 ppm;

- оптимальна кислотність ґрунту становить від 5,5 од. до 6,5 од.;

- оптимальна електропровідність ґрунту – від 2 мСм/см до 2,5 мСм/см.

Перець овочевий. Вирощування перцю в тепличних умовах є економічно привабливою процедурою через порівняно високу швидкість зростання (у середньому від 50 до 60 діб) та значну питому врожайність (до 18 кг/м²).

Рекомендовані параметри мікроклімату під час вирощування перцю є такими [9]:

- оптимальна температура повітря вдень – від 20 °C до 25 °C і вночі – від 16 °C до 18 °C;

- рекомендована відносна вологість повітря становить близько 75 %;

- рекомендована концентрація CO₂ – від 800 до 1000 ppm;

- оптимальна кислотність ґрунту становить від 5,5 до 6,5 од.

Салат та інші листяні овочі. На теперішній час ринок салату та інших листяних овочів знаходиться у фазі формування. Проте світова тенденція ринку тепличної продукції розширюється з кожним роком у бік такого типу культур, що є економічно обґрунтованою тенденцією.

Рекомендовані параметри мікроклімату під час вирощування салату та інших листяних овочів є наступними [4]:

- оптимальна температура повітря вдень – 23 °С, вночі – 7 °С;
- рекомендована відносна вологість повітря – від 75 % до 85 %;
- норми добового освітлення – від 12 моль/(м²·доба) до 14 моль/(м²·доба).

Загальні світові рекомендації до моніторингу параметрів мікроклімату теплиць. Міжнародною організацією «International Committee for Controlled Environment Guidelines» було розроблено рекомендації щодо комплексного моніторингу параметрів мікроклімату промислових теплиць.

Ці рекомендації описують методику оцінки впливу параметрів мікроклімату на зріст тепличних культур.

Усі параметри узагальнено п'ятьма категоріями: випромінювання, температура, газовий склад, волога та поживні речовини.

Регламентовану інформацію щодо інструментального моніторингу параметрів мікроклімату теплиць зі зазначенням вимог до функціональних, технічних і метрологічних характеристик використовуваних засобів вимірювальної техніки в узагальненому вигляді наведено в табл. 1.6 і 1.7.

Таким чином, з метою забезпечення оптимальних умов вирощування культур у тепличних умовах, актуальні вітчизняні й закордонні нормативні документи регламентують до неруйнівного вимірювального моніторингу понад десяти параметрів мікроклімату.

Отже, комплексний комп'ютеризований вимірювальний моніторинг стану мікроклімату теплиць (вологісний і температурний режими, інтенсивність і спектральний склад освітлення, мінеральний склад поливного розчину й газовий склад повітря) у режимі реального часу та адаптивний автоматичний контроль технологічних режимів вирощування є обов'язковими процедурами, які мають бути враховані під час проектування сучасних промислових тепличних комплексів задля підвищення обсягів, темпів і якості виробництва овочевої продукції на захищених ґрунтах.

Таблиця 1.6 – Вимірювані параметри та вимоги до метрологічних характеристик вимірювачів

Параметр	Одиниці вимірювання	Рекомендований засіб вимірювання	Клас точності	Допустима невизначеність
Фотосинтетична активна радіація (ФАР)	мкмоль/(м ² ·с)	квантовий сенсор	±1 %	±10 %
Балансна промениста енергія	Вт/м ²	балансомір	±2 %	±5 %
Спектральна промениста енергія	мкмоль/(м ² ×с·нм)	спектрорадіометр	±1 %	±5 %
Інтенсивність сонячного опромінення	Вт/м ²	піранометр	±1 %	±5 %
Температура повітря	°С	металеві терморезистори, термопари, термістори	±0,1 %	±0,2 °С
Температура ґрунту	°С	металеві терморезистори, термопари, термістори, інфрачервоні сенсори	±0,1 %	±0,2 °С
Відносна вологість повітря	%	ємнісні сенсори, психрометри	±2 %	±5 %
Відносна вологість ґрунту	%	ємнісні або кондуктометричні сенсори	±2 %	±5 %
Швидкість повітря	м/с	анемометр	±2 %	±5 %
Кислотність поливного розчину	відн. од.	рН-електрод	±0,1 рН	±0,1 рН
Електрична провідність поливного розчину	мСм/см	кондуктометричний вимірювач	±3 %	±5 %
Розчинений у воді кисень	мг/л	вимірювач концентрації розчиненого кисню з температурною компенсацією	±3 %	±5 %
Концентрація вуглекислого газу в повітрі	ppm	кремнієві сенсори, інфрачервоні оптичні сенсори	±1 %	±3 %

Таблиця 1.7 – Рекомендовані функціональні й технічні вимоги до процедур вимірювального моніторингу параметрів мікроклімату

Вимірюваний параметр	Місце вимірювання	Період вимірювання	Реєстрація даних
Температура повітря	у центрі зони вирощування	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; кількість точок спостережень
Температура ґрунту	у зоні кореневої системи	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення вдень і вночі; кількість точок спостережень
Спектральна промениста енергія	у центрі зони вирощування	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; кількість точок спостережень
Інтенсивність сонячного опромінення	у центрі зони вирощування та ззовні теплиці	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; кількість точок спостережень
Період освітлення	–	–	тривалість періоду освітлення з точністю до хвилин
Відносна вологість повітря	у центрі зони вирощування	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення вдень і вночі; кількість точок спостережень
Вологість ґрунту	у зоні кореневої системи	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення вдень і вночі; кількість точок спостережень
Кислотність поливного розчину (ґрунту)	у зоні кореневої системи або в поливному розчині	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; місце вимірювання; кількість точок спостережень
Концентрація вуглекислого газу в повітрі	у центрі зони вирощування та ззовні теплиці	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; кількість точок спостережень
Електрична провідність поливного розчину (ґрунту)	у зоні кореневої системи або в поливному розчині	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; місце вимірювання; кількість точок спостережень
Витрати поливної води	у системі зрошення	безперервно	середнє значення та середнє квадратичне відхилення; частота вмикання системи поливу; період роботи.

1.2 Критерії побудови сучасних систем комп'ютеризованого моніторингу

Однією з найбільш важливих проблем, які вирішуються під час створення сучасних систем комп'ютеризованого вимірювального моніторингу технологічних процесів, є науково-обґрунтований вибір технічних, апаратних і

програмних засобів, для прецизійних вимірювань і адаптивного моніторингу процедур вирощування культур в умовах захищеного ґрунту. Сучасні досягнення в галузі розробки програмно-технічних комплексів для промислової комп'ютеризації й автоматизації агротехнічних об'єктів надають широкі можливості для створення й впровадження високоефективних систем неруйнівного інтелектуального вимірювального моніторингу [5]. Найголовнішим фактором на сьогодні під час вирішення питання розробки й дослідження технічних систем залишається забезпечення оптимального співвідношення «ціна / якість». Додатковими факторами, що впливають на обґрунтування вектору дослідження систем є: ергономічність переналаштування, масштабованість, надійність, ширина модульності побудови, швидкість локалізації несправних вузлів і блоків та інше.

На теперішній час відома значна кількість результатів досліджень, які отримано в предметній галузі обґрунтування критеріїв побудови сучасних технічних систем моніторингу й контролю технологічних процесів, зокрема, і для аграрного сектору.

Авторами наукового дослідження [5] проведено багатокритеріальний математичний аналіз і узагальнення складних технічних систем. На підставі цього було обґрунтовано сукупність універсальних критеріїв важливості, які мають бути враховані при побудові прикладних технічних систем, як показано в табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Сукупність універсальних критеріїв важливості прикладних технічних систем

Найменування критерію	Цільове призначення
Безпека	Захист життя або здоров'я
Корисність	Отримання вигоди за досягнутий ефект
Вартість	Зведені витрати
Надійність	Схильність до помилок, довговічність, час напрацювання
Новизна	Фактори новизни відповідно до часу
Ефективність	Правильність виконання завдань
Точність	Оптимальність метрологічних характеристик
Ергономічність	Зручність використання
Зовнішній вигляд	Форма, колір, естетичне враження

Також авторами робіт [6,7] запропоновано функціональні діаграми процесу обліку важливості параметрів під час інтегральної оцінки всієї технічної системи на якісному й кількісному рівнях, як показано на рис. 1.1, а і 1.1, б, відповідно.

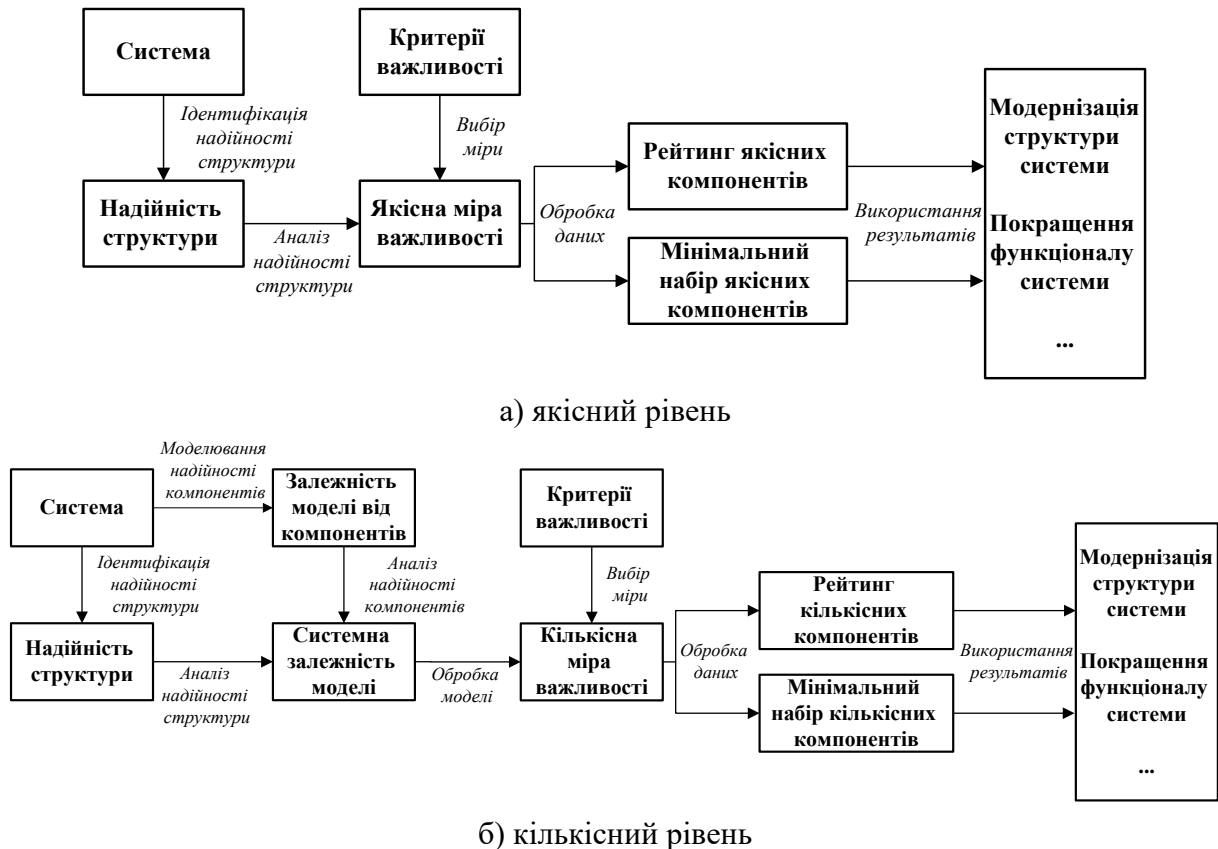


Рисунок 1.1 – Функціональні діаграми обліку важливості параметрів КС

На рисунку 1.2 наведено структурну схему процесу синтезу структурно-алгоритмічних організацій сучасних систем комп'ютеризованого моніторингу за умови невизначеності інформації [8], яка є процесом сумісного вирішення проблеми дослідниками та експертами з обліком міждисциплінарних зв'язків.

У науковому дослідженні [9] авторами проведено аналіз існуючих підходів до оцінки критеріїв значущості компонентів технічних систем. У результаті авторами сформульовано наступні загальні вимоги до критеріїв важливості компонентів технічних систем, а саме: надійність, інформативність, галузь застосування, універсальність, технологічність та простота обчислень.

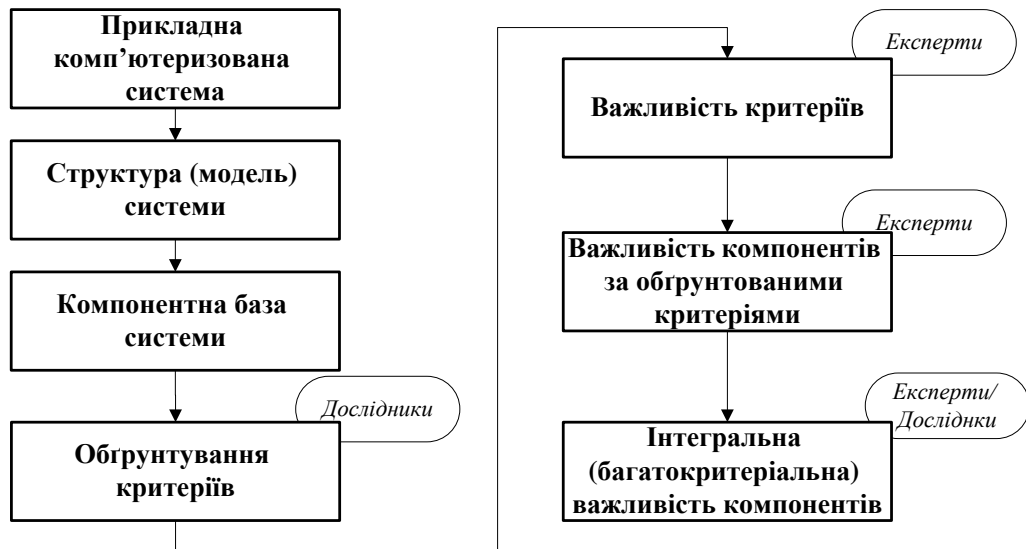


Рисунок 1.2 – Структурна схема процесу синтезу промислових КС

1.3 Задачі дослідження

Завданням дослідження є розробка комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць. Об'єктом дослідження є стан мікроклімату теплиць. Предметом дослідження є методи та засоби комп'ютеризованого моніторингу стану мікроклімату теплиць. Для проведення розробки та досліджень необхідно використати методи критичного аналізу й логічного узагальнення, методи моделювання, методи синтезу структурно-алгоритмічних організацій комп'ютеризованих систем, концепцію невизначеності та теорії похибок, теорії ймовірності та математичної статистики, способів комп'ютерного аналізу результатів вимірювань. Наукова новизна полягає в розробці математичної моделі та дослідженні процесу моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць, що дозволить обґрунтувати вимоги до апаратних і програмних компонент КС.

2 МЕТОДИ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

2.1 Аналіз існуючих методів побудови комп'ютеризованих систем моніторингу стану мікроклімату теплиць

З огляду сучасних тенденцій розробки й впровадження комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем моніторингу стану мікроклімату під час протікання технологічних процесів вирощування культур у тепличних умовах встановлено, що існуючі на сьогоднішній день методи та засоби комп'ютеризованого моніторингу й вимірювального контролю частково або повністю не задовольняють вимогам комплексності та системності агрегації, обробки, інтерпретації та екстраполяції вимірювальної інформації, які задекларовано у вітчизняному та закордонних нормативних документах.

Проведений аналіз існуючих результатів досліджень щодо обґрунтування методів і розробки засобів вимірювального моніторингу стану мікроклімату дозволив встановити факт необхідності розробки й дослідження узагальнених моделей, які описують комплексний вплив характеристик мікроклімату на ефективність вирощування культур у тепличних умовах із можливістю прогнозування вимірювальної інформації.

Отже, одним із пріоритетних завдань розробки й дослідження системи вимірювального моніторингу стану мікроклімату є аналіз існуючих апаратних і програмних компонент побудови подібних систем, а також математичних моделей процесів і пристроїв вимірювання фізичних параметрів під час тепличного вирощування.

Технології моніторингу параметрів освітлення. У наукових джерелах [10-12] встановлено, що інформація про рівень освітленості з урахуванням фізіологічно значущих зон є початковою для завдання коригувальних впливів керування технологічними режимами опалення, зволоження, вентиляції й підживлення рослин вуглекислим газом. На підставі аналізу результатів

експериментальних і теоретичних досліджень в області світлокультури тепличних рослин [13-15] встановлено, що алгоритми функціонування систем доосвітлення тепличних культур повинні бути адаптивними до типів і періодів зростання культур.

Основні підходи до розробки й проектування сучасних систем локального і віддаленого вимірювального моніторингу параметрів сільськогосподарських комплексів із використанням сучасних сенсорних і мікропроцесорних технологій представлені в роботах [16, 17-19]. На підставі аналізу та логічного узагальнення існуючих результатів досліджень щодо структурно-алгоритмічної організації подібних систем встановлено, що їх невід'ємною компонентою є підсистема моніторингу технологічного режиму штучного доосвітлення культур.

Адже, швидкість фотосинтезу та накопичення біомаси рослин, залежать від кількості енергії, що трансформується в біохімічні зв'язки. Цей факт підтверджується численними результатами досліджень у галузі біотехнологічних і біофізичних принципів штучного доосвітлення рослин, як показано в табл. 2.1.

У джерелах [20,21] доведено ефективність протікання фотосинтезу в залежності від спектрального складу джерел світла, як показано на рис. 2.1.

Таблиця 2.1 – Результати аналізу і логічного узагальнення відомих досліджень щодо впливу освітлення на ефективність вирощування культур

Предмет дослідження	Отриманий ефект
Вивчення фізичних принципів розподілу щільності фотосинтетичного потоку методами чисельного моделювання та експериментальних випробувань.	Обґрунтовано методику розрахунку розподілу щільності фотосинтетичного потоку фотонів у тепличних умовах.
Вивчення продуктивності та отримання фотосинтетических характеристик термостійких і термочутливих ліній <i>Lactuca sativa</i> у залежності від тривалості впливу світлодіодного освітлення.	Вивчено вплив різних періодів освітлення світлодіодами червоного і синього спектра на режими зростання і фотосинтетичні характеристики термостійких та термочутливих <i>Lactuca sativa</i> в тепличних умовах.

Продовження табл. 2.1

Оцінка впливу якісних характеристик освітлення на кількість накопичуваних фітохімікатів у тепличних овочах.	Проведено критичний аналіз впливу якості освітлення на кількість накопичуваних фітохімікатів у тепличних овочах та встановлено перспективні напрямки досліджень в області світлодіодних технологій.
Оцінка впливу світлодіодного освітлення синьої й червоної областей спектра на поліпшення росту і вмісту біоактивних сполук у <i>Asynic and Cyanic Ocimum basilicum</i>	Встановлено, що світлодіодне освітлення синьої й червоної областей спектра має значний потенціал для поліпшення параметрів зростання в <i>Asynic and Cyanic Ocimum basilicum</i> .
Вплив короточасного освітлення червоної області спектра на зростання тепличних культур.	Експериментально оцінено ефект короточасного освітлення червоної області спектра на довжинах хвиль від 638 до 665 нм на якість культур.
Порівняльний аналіз різних систем освітлення для садівничого виробництва посівних культур.	Проведено розрахунки з подальшим критичним аналізом різних систем освітлення для садівничих підприємств із точки зору енергозбереження.
Аналіз поточного стану та останніх досягнень у галузі садівництва з використанням світлодіодної техніки.	Аналіз і узагальнення залежностей різних анатомічних, морфологічних, фізіологічних, фотосинтетичних і метаболічних параметрів рослин від характеристик світлодіодів.
Кількісна оцінка зміни зростання, метаболізму, врожайності і складу борошна в пшениці в залежності від спектрального складу і інтенсивності світлодіодного освітлення.	Доведено, що світлодіоди є ефективним засобом для експериментального вирощування пшениці, а також дозволяють оптимізувати умови росту, процеси метаболізму, параметри врожайності та якості продукції.
Вплив спектрального складу білих світлодіодів на показники росту <i>Spinach (Spinacia oleracea)</i> .	Отримані результати показали, що різні методи освітлення по-різному впливають на параметри росту <i>Spinach (Spinacia oleracea)</i> .
Розподіл сонячного випромінювання всередині прототипу теплиці з фотоелектричною мобільністю.	Отримано закономірності розподілу сонячної радіації, динаміки інтенсивності освітлення та показники флористичного виробництва.
Кількісна оцінка різних типів джерел освітлення на параметри росту саджанців перцю.	Проаналізовано вплив інтенсивності й спектрального складу різних джерел штучного світла на якісні та кількісні характеристики саджанців перцю.
Вплив тривалого світлодіодного освітлення червоної й синьої області спектра на анатомію листя та фотосинтетичну ефективність.	Анатомія листя, особливості стовбура, гідропровідність листків та ефективність фотосинтезу були досліджені на декоративних рослинах.
Вивчення впливу безперервного освітлення світлодіодами на зменшення вмісту нітратів і зріст фітохімічних концентрацій.	Встановлено можливість цілодобового безперервного використання червоних і синіх світлодіодів із комбінуванням зеленого світла.

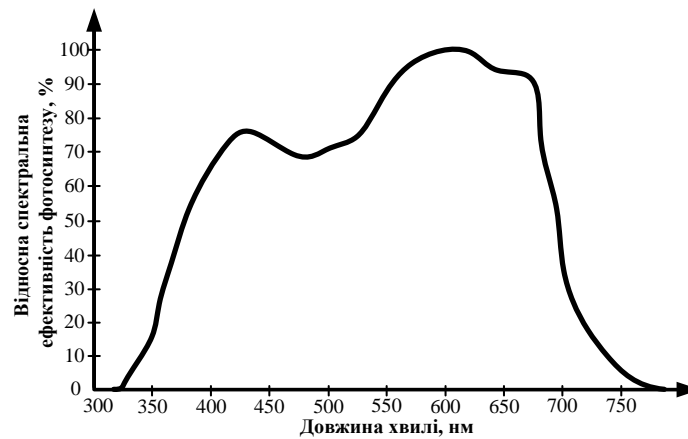


Рисунок 2.1 – Відносна спектральна ефективність фотосинтезу

Основними підходами до керування інтенсивністю та спектральним складом освітлення в тепличних умовах є регулювання густини висадки культур, використання сіток, що екранують і затінюють, а також джерел штучного доосвітлення. Найбільш поширеними джерелами штучного доосвітлення, які використовуються в сучасних тепличних комплексах є: лампи розжарювання, галогенні лампи, газорозрядні лампи і світлодіоди. Серед них світлодіоди набули значної популярності в науково-дослідницьких роботах і практичних рішеннях завдяки своїм перевагам, таким як: економічна ефективність, компактний дизайн, довговічність, якість світла, можливість комбінування спектральних складових і низьке тепловиділення.

Технології моніторингу температурного режиму. Однією з найбільших переваг тепличного вирощування культур є можливість цілорічного забезпечення оптимальних для зростання температур. Проте, забезпечення оптимальних температур є науко- і трудомістким процесом, який потребує значних працечасових витрат. Процедура автоматичного вимірювального контролю температури в теплицях засобами опалення, затінення й вентиляції потребує безперервного оперативного й прецизійного моніторингу температури фізичних середовищ теплиць (поливний розчин, ґрунт, повітря).

У свою чергу, відповідні сенсори температури потребують захисту від прямої дії сонячних променів, потоків повітря, руйнуючих факторів, які містяться в домішках поливного розчину та солях субстрату. Таким чином,

одними із найбільш інформативних і одночасно регламентованими до обов'язкового вимірювального моніторингу параметрів мікроклімату теплиць є температура ґрунту, повітря і поливного розчину. Цей факт обумовлено тим, що всі рослини можуть зростати тільки в певних температурних умовах, адже в кожній зоні ростуть рослини, пристосовані до коливань температури в певних межах. Тому, для кожного виду культур, які вирощуються в тепличних умовах, необхідною умовою є відтворення оптимальних температур із обліком їх періодів вегетації.

У свою чергу, температура впливає на процеси фотосинтезу, дихання і транспірації, на ріст і розвиток рослин, а також на їх формоутворення і, як наслідок, на обсяги й якість вирощеної продукції. Отже, розробка і впровадження комп'ютеризованих компонент вимірювального моніторингу температури повітря, ґрунту і поливного розчину в тепличних умовах є обов'язковою умовою, що підтверджується широким спектром наукових досліджень [22-25].

У роботах [26-28] представлені основні результати досліджень із розробки систем оптимального контролю мікроклімату теплиць на базі технології Fuzzy Logic. Із аналізу даних робіт встановлено, що вимірювальні канали температури повітря зони вирощування, температури ґрунту в кореневмісному шарі та температури поливної води є обов'язковими структурними елементами систем забезпечення оптимального мікроклімату.

У [29] і нормативних документах обґрунтовано основні вимоги до локацій виконання вимірювань, періодичності й точності вимірювального моніторингу температури фізичних середовищ у теплицях: сумарна абсолютна невизначеність вимірювання температур повітря, субстрату і поливної води не повинна перевищувати $\pm 0,2$ °C у робочому діапазоні від 10 °C до 40 °C.

Також під час аналізу вищевказаних літературних джерел встановлено факт необхідності розробки систем моніторингу та контролю температурного режиму вирощування тепличних культур на базі сучасних серійних сенсорів температури, які функціонально сумісні з широкодоступними

мікроконтролерами.

У результаті проведеного аналізу сучасних наукових робіт у досліджуваній предметній області були встановлені основні типи серійних бюджетних сенсорів, які можуть бути застосовані для неруйнівного комп'ютеризованого моніторингу температур фізичних середовищ у тепличних умовах. У роботах [30-33] досліджено основні принципи побудови бездротових сенсорних мереж вимірювального моніторингу температури для тепличних умов з використанням цифрового сенсора DS18B20. Під час розробки подібних систем в якості чутливого елемента температури автори пропонують використовувати сенсор SHT11. Аналогічні дослідження з розробки і моделювання систем моніторингу температури фізичних середовищ представлені з використанням сенсорів SHT21, BMP180, BME280 і DHT22.

При цьому більшість авторів вищенаведених наукових досліджень підкреслюють актуальність і наукоємність завдань розробки, дослідження й впровадження систем комп'ютеризованого моніторингу та адаптивного автоматичного контролю температурного режиму вирощування тепличних культур, а також акцентують увагу на необхідності продовження досліджень у цій предметній області.

Технології моніторингу режимів зволоження. Вирішення науково-практичних задач розробки та дослідження методів і засобів вимірювального моніторингу режимів зрошення тепличних ґрунтів і зволоження повітря зони вирощування є обов'язковою умовою задля обґрунтування наукових засад щодо впровадження прогресивних технологій моніторингу та адаптивного контролю інтегрального стану мікроклімату промислових теплиць з метою підвищення показників темпів, обсягів та якості виробництва тепличної овочевої продукції.

Безперервний неруйнівний вимірювальний моніторинг вологості фізичних середовищ теплиць потребує особливої уваги, тому що надмірний рівень вологи може викликати появу захворювань та призводити до зниження транспірації, а недостатня вологість може викликати гідралічний стрес і знижувати інтенсивність фотосинтезу через зменшення асиміляції вуглекислого

газу [34].

Процес дослідження вимірювачів вологості для тепличних умов пов'язаний з двома основними проблемами:

– температура та вологість у теплицях знаходяться у зворотній пропорційній залежності;

– більшість сучасних автоматичних комплексів контролю й керування параметрами мікроклімату теплиць використовують одні й ті самі привідні механізми для регулювання температури та вологості.

Задля підтримання оптимального рівня вологості в певному діапазоні значення температури повинно встановлюватись на основі поточного значення відносної вологості.

Отже, регулятор вологості має працювати в режимі генератора заданих значень зі здатністю виробляти сигнал, що керує температурою з достатньою чутливістю у відповідному робочому діапазоні.

У науковій роботі [35] встановлено експериментальні залежності між оптимальними значеннями температури, вологості повітря та інтенсивності освітлення для різних типів тепличних культур, як показано в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Оптимальні параметри мікроклімату теплиць

Типи рослин	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Інтенсивність освітлення (ФАР), мкмоль/(м ² ·с)
Томат	від 23 до 27 (вдень) від 13 до 16 (вночі)	від 50 до 60	400
Огірок	від 25 до 30	від 80 до 90	400
Баклажан	від 25 до 28 (вдень) від 14 до 16 (вночі)	від 65 до 75	505
Перець	від 22 до 30 (вдень) від 14 до 16 (вночі)	від 60 до 65	505
Салат	від 24 до 28 (вдень) від 13 до 16 (вночі)	від 65 до 80	від 260 до 290
Полуниця	від 20 до 26 (вдень) від 13 до 16 (вночі)	від 50 до 65	від 200 до 400

Загальним результатом аналізу відомих технологій вимірювального моніторингу режимів зрошення й зволоження фізичних середовищ

теплиць є встановлення необхідності розробки й дослідження комп'ютеризованих вимірювальних підсистем вологості ґрунту та повітря зони вирощування з обліком факторів температури, інтенсивності й спектрального складу освітлення, а також типів і періодів вегетації культур у онлайн режимі.

Технології моніторингу концентрації вуглекислого газу. Задля сприятливого протікання процесу фотосинтезу окрім вимірювань температури, інтенсивності освітлення й вологості обов'язковим є вимірювальний моніторинг концентрації вуглекислого газу, що значно впливає на зростання культур.

Сучасні засоби контролю концентрації CO_2 повинні виконувати функції безперервного моніторингу й генерування сигналів керування поточним рівнем CO_2 у зоні вирощування теплиць з обліком впливних факторів і процесів. На теперішній час розроблено і впроваджено велику кількість портативних і стаціонарних вимірювачів концентрації CO_2 із комп'ютерним керуванням. Так само, як і сенсори інтенсивності опромінення, чутливі елементи вимірювачів CO_2 мають розміщуватись на рівні вирощуваних культур. Обов'язковою базовою функцією комп'ютеризованих засобів вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу є генерування сигналів, що керують виконавчими механізмами джерел дозування двоокису вуглецю. Крім того, алгоритми функціонування вимірювачів концентрації CO_2 мають бути адаптованими до поточних значень температури, вологості та інтенсивності освітлення зони вирощування культур, а також типів і періодів вегетації тепличних рослин.

На теперішній час проблемі дослідження й розробки систем моніторингу, контролю та керування вмістом вуглекислого газу в тепличних умовах присвячено широкий спектр досліджень. Так, наприклад, у роботі [34] висвітлено основні методи вимірювання концентрації вуглецю в промислових теплицях, а також вимоги до відповідних засобів моніторингу.

В науковій статті [35] проведено аналіз основних технічних засобів дозування двоокису вуглецю в теплицях і доведено економічну ефективність від впровадження засобів моніторингу концентрації CO_2 . Результати наукових

досліджень, які висвітлено у джерелах [33-35], присвячено ґрунтовному аналізу впливу динаміки вуглекислого газу на агротехнічну й економічну ефективність процесів вирощування культур у промислових теплицях. У науковому джерелі [35] отримано відносну характеристику інтенсивності зросту тепличних культур у залежності від концентрації CO_2 у зоні вирощування, як показано на рис. 2.2.

На підставі проведеного аналізу характеристик теплиць як об'єктів вимірювального моніторингу встановлено, що синтез архітектури і розробка алгоритмів функціонування систем інтегрального стану мікроклімату теплиць є наукомісткою й нетривіальною процедурою. Для оптимального моніторингу процесів вирощування тепличних культур використовуються рівняння математичної фізики, що описують динамічні процеси балансу маси та енергії з обліком процесів дифузії й конвекції.

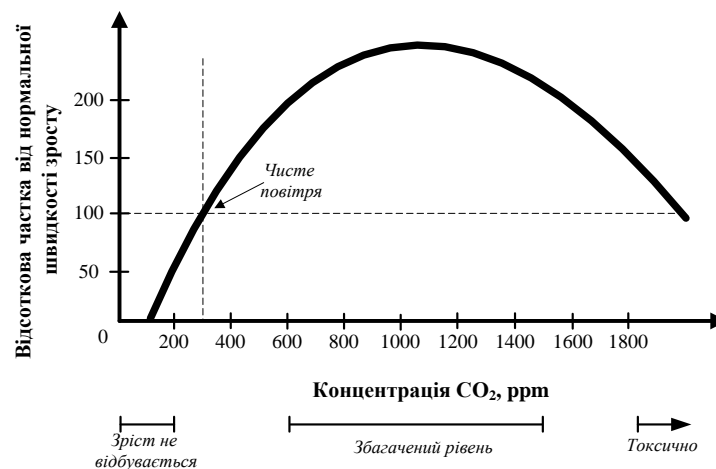


Рисунок 2.2 – Відносна характеристика інтенсивності зросту

Одним із основних параметрів мікроклімату теплиць, від якого залежать показники темпів і обсягів вирощування культур, є концентрація двоокису вуглецю.

Заявлені фірмами-виробниками технологічні характеристики існуючих систем вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу в умовах

промислових теплиць не дозволяють адекватно оцінити можливість адаптації таких систем для різних типів культур і конструкцій теплиць. Цей недолік обумовлений відсутністю у відкритому доступі опису принципів функціонування промислових кліматичних контролерів для теплиць. Проведений аналіз існуючих програмних продуктів типу для розрахунку необхідної для підкормки тепличних рослин концентрації CO₂ дозволив встановити їх істотний недолік, який полягає у відсутності опису алгоритмів їх функціонування, що ускладнює об'єктивний аналіз отриманих результатів. Це, в свою чергу, обмежує можливість застосування такого типу програмного забезпечення для адаптивного розрахунку оптимальної концентрації двоокису вуглецю з обліком геометричних параметрів теплиць, а також типів і періодів вегетації культур.

Таким чином, виникає необхідність вирішення науково-прикладної задачі розробки структурно-алгоритмічної організації засобів моніторингу під час реалізації процедури дозування вуглекислого газу в умовах вирощування культур на закритому ґрунті з урахуванням геометричних характеристик теплиць із задовільними функціональними й метрологічними характеристиками.

Технології моніторингу показників якості поливного розчину. Технологічна й економічна ефективність процесів вирощування овочевих культур в умовах промислових тепличних комплексів визначається рівнем їх цифровізації та автоматизації [2].

У свою чергу, обов'язковою процедурою автоматизації технологічних процесів вирощування інтродукованої флори є отримання вимірювальної інформації щодо основних фізико-хімічних параметрів із обчисленням на їх підставі інтегрального стану мікроклімату теплиць на базі сучасних інструментальних комп'ютеризованих засобів. Одними із найбільш впливових на якість вирощування та одночасно регламентованими до обов'язкового вимірювального моніторингу параметрів мікроклімату теплиць є електропровідність, кислотність і окислювально-відновлювальний потенціал

(ОВП) поливного розчину [21]. Це пов'язано з тим, що одне з основоположних значень задля підвищення врожайності має оптимальне внесення поживних речовин до поливного розчину, яке неможливе без отримання вимірювальної інформації щодо вищевказаних фізико-хімічних параметрів.

У науковому джерелі [21] обґрунтовано необхідність безперервних інструментальних вимірювань кислотності й електропровідності поливного розчину з агрегацією результатів спостережень щодо середнього значення, середнього квадратичного відхилення результатів спостережень і результату вимірювання, місця виконання вимірювань та кількості точок спостережень.

У роботах [33,35] представлені результати досліджень із обґрунтування науково-практичних основ побудови інформаційно-вимірювальних систем моніторингу й оцінки показників якості поливної води в тепличних умовах. У наукових джерелах [34] представлені основні положення з побудови систем моніторингу параметрів якості рідких фізичних середовищ теплиць із використанням бюджетних мікропроцесорних платформ.

Дослідження [34] присвячено ґрунтовному аналізу впливу якості поливного розчину, яка кількісно може бути оцінена шляхом вимірювального моніторингу електропровідності, кислотності та ОВП, на ефективність вирощування культур у теплицях.

У результаті аналізу вищевказаних наукових джерел встановлено, що на сьогоднішній день недостатньо опрацьовані питання функціонального і метрологічного забезпечення комп'ютеризованих вимірювачів якості поливного розчину в складі систем моніторингу стану мікроклімату теплиць.

Також встановлено, що вирішення питань розробки й дослідження комп'ютеризованих засобів вимірювань кислотності, електропровідності й ОВП поливного розчину в складі автоматичних комплексів моніторингу й керування мікрокліматом теплиць дозволить підвищити ефективність вирощування культур на захищених ґрунтах.

2.2 Комп'ютерні технології систем моніторингу стану мікроклімату теплиць

Найбільш важливими стратегічними пріоритетами розвитку сільського господарства в сучасних умовах є науково-технічний прогрес та інноваційні процеси, які дозволять проводити безперервне оновлення виробництв шляхом упровадження й освоєння інноваційних досягнень науки і техніки. Під час аналізу відомих комп'ютерно-орієнтованих технологій встановлено сукупність тих, які можуть бути використанні в якості базових для підвищення рівня інтелектуалізації й цифровізації технологічних процесів вирощування культур у теплицях: штучні нейронні мережі (ANN); еволюційні обчислення та генетичні алгоритми (ECGA); нечітка логіка (FL); еволюційна робототехніка (ER); інтернет речей (IoT); бездротові сенсорні мережі (WSN).

На теперішній час існує значна кількість результатів наукових досліджень і практичних розробок із побудови КІВС моніторингу параметрів мікроклімату теплиць на базі сучасних технологій, основні з яких наведено в табл. 2.3.

Варто зазначити, що наведені в табл. 2.3 результати досліджень, не є вичерпними. У вищевказаних наукових роботах наведено загальні науково-обґрунтовані підходи щодо використання сучасних методів і засобів інтелектуалізації й цифровізації систем моніторингу параметрів мікроклімату теплиць. Проведений аналіз існуючих результатів досліджень дозволив встановити, що більшість із них носять фрагментарний характер та присвячені вирішенню певних науково-технічних завдань. На підставі цього може бути сформульована загальна спрямованість вектору розвитку сучасних підходів до структурно-алгоритмічного синтезу КІВС моніторингу під час протікання технологічних процесів вирощування культур у тепличних умовах. Сформульовані в загальному вигляді вимоги до структурної організації та функціонального забезпечення систем моніторингу стану мікроклімату теплиць на підставі збору і аналізу вимірювальної інформації щодо розподілених фізико-хімічних параметрів у вигляді блок-схем наведено на рис. 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3 – Результати аналізу й логічного узагальнення відомих розробок із цифровізації та інтелектуалізації тепличних господарств

Об'єкт дослідження	Автори	Вимірювані параметри	Використані технології
Функціональні характеристики систем інтелектуального моніторингу.	Arshad J. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення; вологість ґрунту.	IoT, WSN
Мережеві протоколи та алгоритми роботи систем автоматизації теплиць.	Achouak T. та ін.	Температура повітря; вологість повітря.	IoT
Методи та засоби хмарного аналізу даних від багаторівневої зрошувальної системи.	Salvi S. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення; вологість ґрунту.	IoT
Роботизована система моніторингу процесів вирощування.	Ouyang F. та ін.	Температура повітря; вологість повітря.	ER
Методи оптимізації процесів вирощування тепличних культур.	Liera J. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення; концентрація CO ₂ .	ECGA
Підходи до побудови віртуальних сенсорів для моніторингу температури.	Guzman C. та ін.	Температура повітря.	WSN, FL
Алгоритми прийняття рішень системою зрошення в теплицях.	Wang H. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; швидкість руху повітря.	ANN
Засоби віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату.	Agajo H. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; вологість ґрунту.	IoT, WSN
Методи та засоби інтелектуалізації систем контролю параметрів теплиць.	Maher A. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення.	WSN, FL, ANN
Методи прогнозування вимірювальної інформації в теплицях.	Xu Zh. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення; швидкість повітря.	ECGA
Регресійні моделі обробки вимірювальної інформації щодо параметрів мікроклімату.	Taki M. та ін.	Вологість повітря; температура повітря.	ANN
Методи та засоби побудови систем моніторингу параметрів мікроклімату теплиць.	Kaneda Yu. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; концентрація азоту.	ANN, ECGA
Функціональні характеристики інтелектуальної системи крапельного зрошення.	Izzuddin T. та ін.	Вологість повітря; температура повітря; інтенсивність освітлення.	FL
Засоби віддаленого моніторингу параметрів мікроклімату теплиць.	Algarin C. та ін.	Вологість повітря; температура повітря.	WSN, FL

Також варто зазначити, що під час розробки та впровадження КС

моніторингу параметрів мікроклімату під час протікання технологічних процесів вирощування культур у тепличних умовах, використовуються сучасні інфокомунікаційні технології, основними з яких є: Wireless ZigBee 2.4 GHz, Wireless Wi-Fi, Wired Modbus, Wireless Ethernet, GPRS та Wireless LORA-CBF.

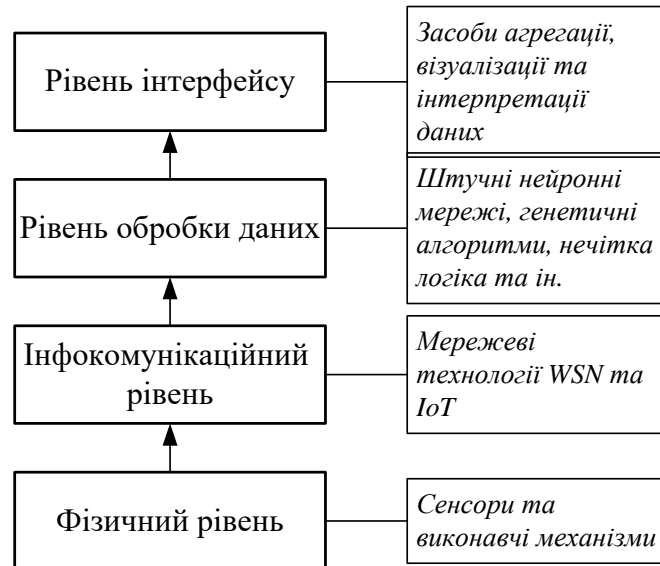


Рисунок 2.3 – Загальна структура сучасних КС

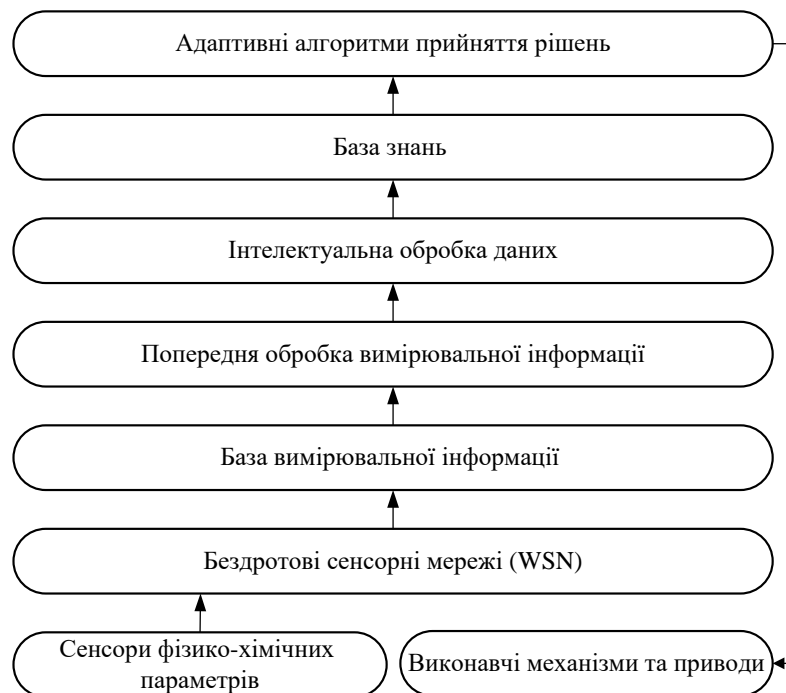


Рисунок 2.4 – Блок-схема трансформації вимірювальної інформації

Результати порівняльного аналізу типових розробок, у яких використовуються сучасні сенсорні, мікропроцесорні й інфокомунікаційні технології під час побудови систем комп'ютеризованого моніторингу параметрів мікроклімату теплиць, наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Відомі результати розробки систем вимірювального моніторингу й контролю параметрів мікроклімату теплиць

Апаратні компоненти	Технологічні процеси, що керуються	Технологія передачі даних	Результати
Сенсори: вологість і температура повітря, вологість ґрунту. Мікроконтролер: Arduino Uno	вентиляція, обігрів, крапельне зрошення	дротова	зменшення людського фактору, зменшення використовуваних водних ресурсів, збільшення врожайності.
Сенсори: вологість і температура повітря, вологість ґрунту, кислотність ґрунту, інтенсивність освітлення	штучне досвічування, зрошення ґрунту	інформація відсутня	зменшення людського фактору, зменшення використовуваних водних ресурсів.
Сенсори: вологість ґрунту, кислотність ґрунту. Мікроконтролер: ARM9	крапельне зрошення	бездротова	Оптимізація внесення добрив до поливного розчину під час крапельного зрошення.
Сенсори: вологість і температура повітря, інтенсивність освітлення	зрошення ґрунту	бездротова	використання бездротових технологій у великих теплицях може призвести до невизначеності.
Сенсори: вологість ґрунту. Мікроконтролер: ATMEGA 16	зрошення ґрунту	бездротова	зменшення людського фактору, зменшення використовуваних водних ресурсів.
Сенсори: вологість і температура повітря, вологість ґрунту, кислотність ґрунту, інтенсивність освітлення	обігрів, охолодження, штучне досвічування, зрошення ґрунту	дротова	інформація відсутня.
Сенсори: вологість і температура повітря, Мікроконтролер: ATmega 16A	крапельне зрошення	дротова і бездротова	інформація відсутня.

За аналогією із інформацією, яку наведено в табл. 2.3, у табл. 2.4 наведено типові результати досліджень. У вищевказаних наукових роботах наведено загальні тенденції використання сучасних сенсорних, мікропроцесорних та інфокомунікаційних технологій під час реалізації окремих процедур неруйнівних вимірювань й інтелектуального контролю мікроклімату теплиць. Наведена інформація в табл. 2.4 є інтегральним підтвердженням актуальності вектору досліджень із удосконалення існуючих й створення нових КІВС моніторингу інтегрального стану мікроклімату теплиць.

2.3 Висновки до розділу

В другому розділі було обґрунтовано необхідність безперервного моніторингу наступних параметрів: температура повітря й ґрунту, інтенсивність сонячного опромінення, період освітлення, відносна вологість повітря і ґрунту, концентрація вуглекислого газу в повітрі, кислотність, електрична провідність, окислювально-відновлювальний потенціал і температура поливного розчину.

Систематизовано вимоги до основних метрологічних і техніко-функціональних параметрів КС під час інтерпретації результатів моніторингу інтегрального стану мікроклімату на базі вимірювальної інформації щодо розподілених фізико-хімічних параметрів.

3 РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

3.1 Математична модель моніторингу температурного режиму вирощування тепличних культур

Інструментальний моніторинг температури є динамічним процесом, характеристики якого в основному обумовлено обміном енергією між фізичними середовищами внутрішньої зони вирощування теплиць та довколишнім середовищем. У такому випадку математичне моделювання термодинамічних процесів, що протікають у теплиці, полягає у встановленні та розв'язанні відповідних рівнянь математичної фізики. Сучасний інженерний дизайн теплиць дозволяє ввести припущення під час побудови математичної моделі термодинамічних процесів, що теплиця є об'єктом з рівномірним розподілом температури в зоні вирощування. Отже, базовим рівнянням під час побудови математичної моделі процесу моніторингу температури є:

$$\frac{dT_{air\ in}(t)}{dt} = \frac{Q_{total}(t)}{V_g \cdot \rho_{air} \cdot C_{\rho_{air}}}, \quad (3.1)$$

де $T_{air\ in}$ – температура зони вирощування теплиці, °С; Q_{total} – загальна теплова енергія в зоні вирощування, Вт; t – час, год.; V_g – об'єм зони вирощування, м³; ρ_{air} – густина повітря, кг/м³; $C_{\rho_{air}}$ – питома теплоємність повітря, Дж/(кг·°С).

На динаміку температури в теплицях чинять вплив різні процеси тепло- і масопереносу. Отже, для розробки відносно точної та адекватної моделі, що описує розподіл тепла в зоні вирощування теплиць, важливо детально дослідити механізми цих процесів. Таким чином, в основу розроблюваної математичної моделі покладено рівняння балансу маси та енергії всередині теплиці:

$$Q_{total} = Q_{gain} - Q_{loss}, \quad (3.2)$$

де Q_{total} – загальна теплова енергія, Вт; Q_{gain} – кількість енергії, що надходить до теплиці, Вт; Q_{loss} – кількість енергії, що споживається, Вт.

На кількість теплової енергії, що надходить до теплиці в значній мірі впливають наступні фізичні процеси та явища: енергія від сонячної радіації; енергія, що надходить від систем опалення; теплова складова енергії від дії штучних систем доосвітлення. Таким чином, у загальному вигляді кількість енергії, що надходить до теплиці, може бути обчислена за формулою:

$$Q_{gain} = Q_s + Q_h + Q_l, \quad (3.3)$$

де Q_s – корисна сонячна енергія, що надходить до теплиці, Вт; Q_h – теплова енергія, що надходить від систем опалення, Вт; Q_l – теплова складова енергії від дії штучних систем доосвітлення, Вт.

Втрати теплової енергії в теплиці в значній мірі обумовлено наступними процесами та явищами: втрати тепла внаслідок теплопровідності; втрати тепла через поглинаючу здатність ґрунту; тепловіддача за рахунок вентиляції та інфільтрації; теплопередача шляхом конденсації. Отже, у загальному вигляді кількість теплової енергії, що втрачається у теплиці, може бути обчислена наступним чином:

$$Q_{loss} = Q_k + Q_g + Q_v + Q_i + Q_c, \quad (3.4)$$

де Q_k – втрати тепла через теплопровідність, Вт; Q_g – втрати тепла через поглинаючу здатність ґрунту, Вт; Q_v – тепловіддача через вентиляцію, Вт; Q_i – тепловіддача через інфільтрацію, Вт; Q_c – теплопередача через конденсацію, Вт. На підставі вищесказаного було запропоновано узагальнену структурну схему моніторингу температури в зоні вирощування теплиць, що описує впливи вищезаявлених фізичних явищ на процеси теплообміну (рис. 3.1).



Рисунок 3.1 – Структурна схема моніторингу температури зони вирощування

У відповідності до принципу енергетичного балансу можна встановити енергетичну модель кожного динамічного процесу. Одним із найбільш визначальних факторів, що обумовлює надходження теплової енергії до теплиці, є сонячна радіація. Теплова енергія, що поступає до теплиці від сонця, може бути оцінена за наступним співвідношенням:

$$Q_s = A_g \cdot \gamma \cdot K_\tau \cdot I_{total}, \quad (3.5)$$

де A_g – площа поверхні (даху та бокових стінок) теплиці, m^2 ; γ – константа частки сонячної радіації, що надходить до теплиці та обумовлює збільшення температури, відн. од.; K_τ – пропускна здатність поверхні теплиці, відн. од.; I_{total} – сонячна енергія, що падає на поверхню теплиці, $Вт/m^2$.

На теперішній час існує декілька теоретичних моделей, які описують динаміку сонячної радіації. В якості базової моделі під час знаходження оціночного значення загальної сонячної енергії, що падає на поверхню теплиці, було обрано наступну узагальнену емпіричну залежність:

$$I_{total} = k_{decr} \cdot I_{SC} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos \left(360 \cdot \frac{(n-3)}{365} \right) \right), \quad (3.6)$$

де I_{total} – загальнодобове сонячне випромінювання, $\text{Вт}/\text{м}^2$; k_{decr} – коефіцієнт послаблення сонячної радіації, що змінюється в діапазоні від 0,47 до 0,85, відн. од.; I_{sc} – сонячна постійна, рівна $1367 \text{ Вт}/\text{м}^2$; n – наскрізний номер доби.

Отримані результати моделювання річного розподілу сонячної радіації, які отримано на підставі формули (3.6), наведено на рис. 3.2. На підставі аналізу отриманих даних моделювання було встановлено необхідність уточнення моделі розподілу сонячної радіації з обліком її сезонної та добової динаміки для помірно-континентального клімату. Для весняно-літнього періоду середнє значення довжини світлового дня прийнято рівним 13 год. (з 6:00 до 19:00 GMT+3), а для осінньо-зимового – 8 год. (з 8:00 до 16:00 GMT+3).

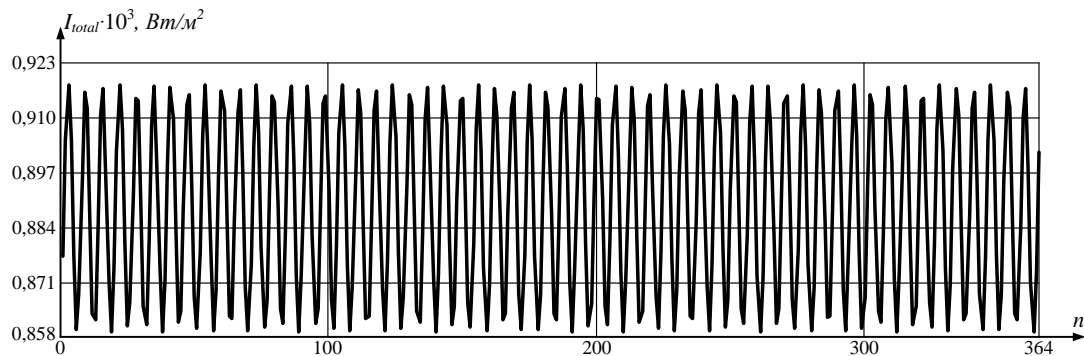


Рисунок 3.2 – Річна динаміка сонячної радіації

На підставі цього аналітичний вираз для опису добової динаміки сонячної радіації з обліком сезонності має наступний вигляд:

– для весняно-літнього періоду:

$$\begin{cases} I_{total} = \left| k_{decr} (I_{sc} \cdot \sin(\omega t - \varphi) + I_{sc} \cdot \sin(\omega)) \right|, \text{ якщо } 6n \leq t \leq 19n \\ I_{total} = 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases}; \quad (3.7)$$

– для осінньо-зимового періоду:

$$\begin{cases} I_{total} = \left| k_{decr} (I_{sc} \cdot \sin(\omega t - \varphi) + I_{sc} \cdot \sin(\omega)) \right|, \text{ якщо } 8n \leq t \leq 16n \\ I_{total} = 0, \text{ у іншому випадку} \end{cases}, \quad (3.8)$$

де ω – циклічна частота зміни сонячної радіації, яка визначається як $2\pi/24$, рад.; φ – аргумент синусоїдальної варіації сонячної радіації (для весняно-літнього періоду – 13 год., для осінньо-зимового – 8 год.); n – наскрізний номер доби.

Таким чином, отриманий за формулами (3.7) і (3.8) графік залежності добової динаміки сонячної радіації, наведено на рис. 3.3. Під час оцінки значення корисної сонячної енергії, що надходить до теплиці, прийнято чисельні значення у відповідності до табл. 3.1. Результати моделювання у нормованому до максимального значення енергії (для теплиць стандартних типорозмірів: 1500 м^2 дорівнює $378,5 \text{ кВт}$ і 3000 м^2 – 757 кВт) наведено на рис. 3.4.

Таблиця 3.1 – Прийняті значення моделювання корисної сонячної енергії

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Площа поверхні (A_g)	1500; 3000	м^2
Константа частки сонячної радіації (γ)	0,5	відн. од.
Пропускна здатність поверхні теплиці (K_T)	0,7	відн. од.
Сонячна радіація (I_{total})	див. рис. 2.3	$\text{Вт}/\text{м}^2$
Коефіцієнт послаблення сонячної радіації (k_{decr})	0,65	відн. од.

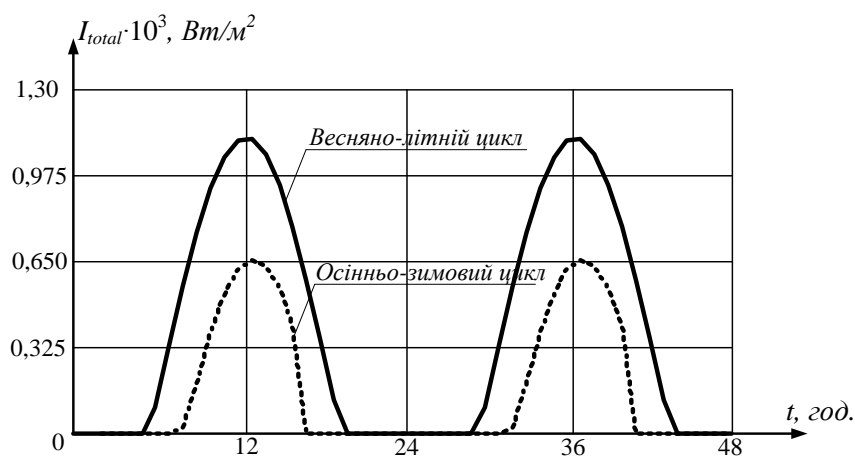


Рисунок 3.3 – Оціночне значення добового розподілу сонячної радіації

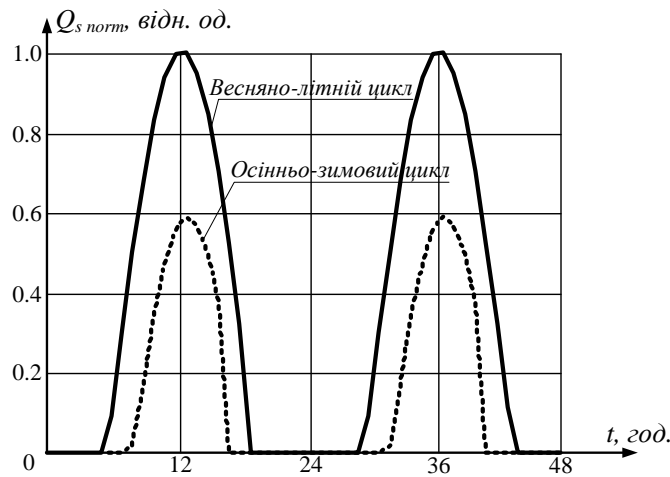


Рисунок 3.4 – Нормована характеристика розподілу корисної сонячної енергії

Отримані результати моделювання, які наведено на рис. 3.4, довели необхідність обліку сезонної та добової динаміки сонячної радіації під час оцінки теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від сонця.

Показник тепловіддачі від стаціонарної системи опалення до зони вирощування в залежності від конструктивних характеристик може бути розрахований за формулою:

$$Q_h = m_{h.c.} \cdot c_{h.c.} \cdot (T_{direct} - T_{back}), \quad (3.9)$$

де $m_{h.c.}$ – витрата теплоносія, кг/с; $c_{h.c.}$ – питома теплоємність теплоносія, Дж/(кг·°C); T_{direct} – температура подачі теплоносія, °C; T_{back} – температура теплоносія, що відводиться з системи опалення, °C.

Під час оцінки значення теплової енергії, що надходить до теплиці від стаціонарних систем опалення, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (3.9), у відповідності до табл. 3.2.

Таким чином, оціночне значення теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від стаціонарних систем теплопостачання, яке обчислене за формулою (3.9), дорівнює 420 кВт.

Таблиця 3.2 – Прийняті значення моделювання теплової енергії від систем опалення теплиць

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Витрата теплоносія ($m_{h.c.}$)	10	кг/с
Питома теплоємність теплоносія ($c_{h.c.}$)	4200	Дж/(кг·°C)
Допустима різниця температур прямої та зворотної гілок системи теплопостачання ($T_{direct} - T_{back}$)	10	°C

Отримані результати розрахунків складової теплової енергії від систем теплопостачання довели необхідність їх обліку під час дослідження математичної моделі процесу інструментального моніторингу температури зони вирощування промислових теплиць. Теплова складова енергії від дії штучних систем доосвітлення може бути оцінена з обліком відомих рекомендацій за формулою:

$$Q_l = E_l \cdot F_l \cdot q_l \cdot \eta_l, \quad (3.10)$$

де E_l – необхідний рівень освітлення зони вирощування, лк; F_l – площа підстилаючої поверхні теплиці, яка коливається від 0,2 до 0,3 від загальної площі для теплиць різної конструкції, м²; q_l – показник питомого виділення тепла, Вт/(лк·м²); η_l – частка тепла, що надходить до приміщення, відн. од. Під час оцінки значення теплової енергії, що надходить до теплиці від стаціонарних систем штучного доосвітлення, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (3.10), у відповідності до табл. 3.3. Результати оцінки теплової енергії, що надходить до зони вирощування теплиць від систем штучного доосвітлення, є наступними: 42,6 кВт – для теплиць площею 1500 м²; 85,2 кВт – для теплиць площею 3000 м². Отже, сумарна кількість теплової енергії, що надходить до теплиці з обліком вищезаявлених складових, які обчислено за формулами (3.5) – (3.10), може бути оцінена за формулою (3.3).

Під час моделювання процесу надходження теплової енергії до теплиць також враховано вимоги до тривалості фітоперіоду штучного опромінення тепличних культур, який має становити від 12 год. до 16 год.

Таблиця 3.3 – Прийняті значення моделювання теплової енергії від систем штучного доосвітлення

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Необхідний рівень освітлення (E_l)	не менше 6 315	лк
Площа підстилюючої поверхні теплиці ($F_l=A_g/4$)	375; 750	м ²
Показник питомого виділення тепла за умови використання СВД-пристроїв (q_l)	0,018	Вт/(лк·м ²)
Частка тепла, що надходить до приміщення (η_l)	1	відн. од.

Таким чином, на якісному рівні надходження тепла до теплиці є наступним: корисна сонячна енергія – див. рис. 3.4; тепла енергія від системи опалення – цілодобово; тепла енергія від систем штучного доосвітлення – з 4:00 до 20:00 год. Отримані результати моделювання нормовано до максимального значення енергії (для теплиць 1500 м² дорівнює $Q_{gain\ max}=841,1$ кВт, для теплиць 3000 м² – $Q_{gain\ max}=1262,2$ кВт). Графік добового розподілу теплової енергії в нормованому вигляді з обліком площі теплиць наведено на рис. 3.5.

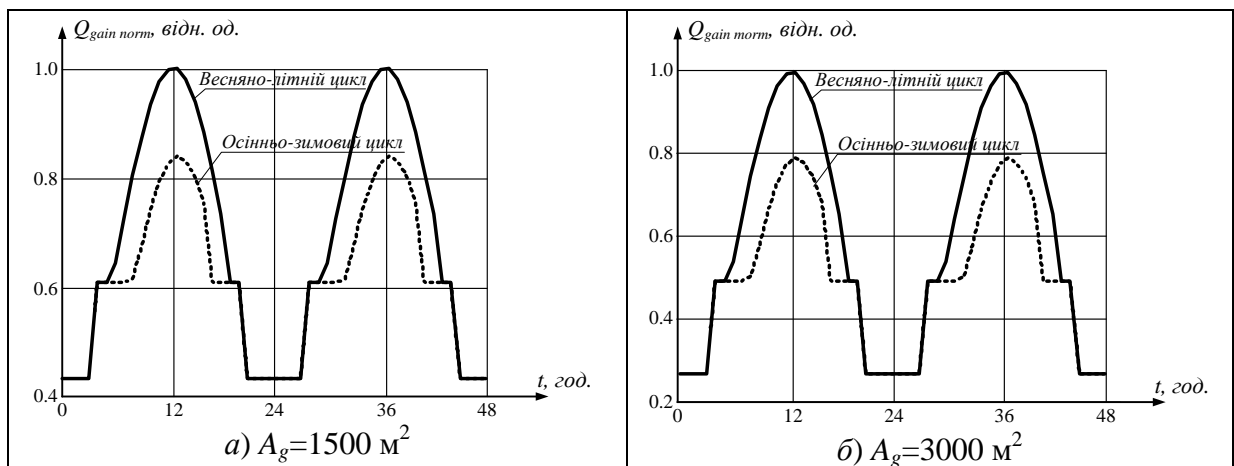


Рисунок 3.5 – Нормована характеристика розподілу теплової енергії, що надходить до теплиці

На підставі аналізу результатів моделювання, які наведено на рис. 4.5, встановлено оціночні діапазони зміни сумарної теплової енергії для теплиць із

типовими розмірами 1500 м² і 3000 м², відповідно, становлять: від 420 кВт до 841,1 кВт та від 420 кВт до 1262,2 кВт. Також було встановлено середню швидкість наростання / спадання теплової енергії: для теплиць 1500 м² становить 46,8 кВт/год.; для теплиць 3000 м² – 93,6 кВт/год.

Виходячи з аналізу залежності (3.4) видно, що втрати теплової енергії обумовлено значною кількістю фізичних процесів, одним із яких є втрати тепла через теплопровідність. Цю складову втрат теплової енергії можна розрахувати за наступним емпіричним рівнянням:

$$Q_k = K_U \cdot A_g \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}), \quad (3.11)$$

де K_U – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°C); A_g – площа поверхні теплиці, м²; $T_{air\ in}$ – температура повітря зони вирощування теплиці, °C; $T_{air\ out}$ – температура повітря довколишнього середовища, °C.

Коефіцієнт теплопередачі, який входить до складу рівняння (3.11), може бути розрахований у залежності від швидкості руху повітря в теплиці за формулою (3.12). З обліком того, що гранично допустиме значення швидкості руху потоків повітря для промислових теплиць дорівнює 1 м/с, то отримуємо:

$$K_U = 2,8 + 1,2 \cdot v_{air\ in} = 4,0 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}), \quad (3.12)$$

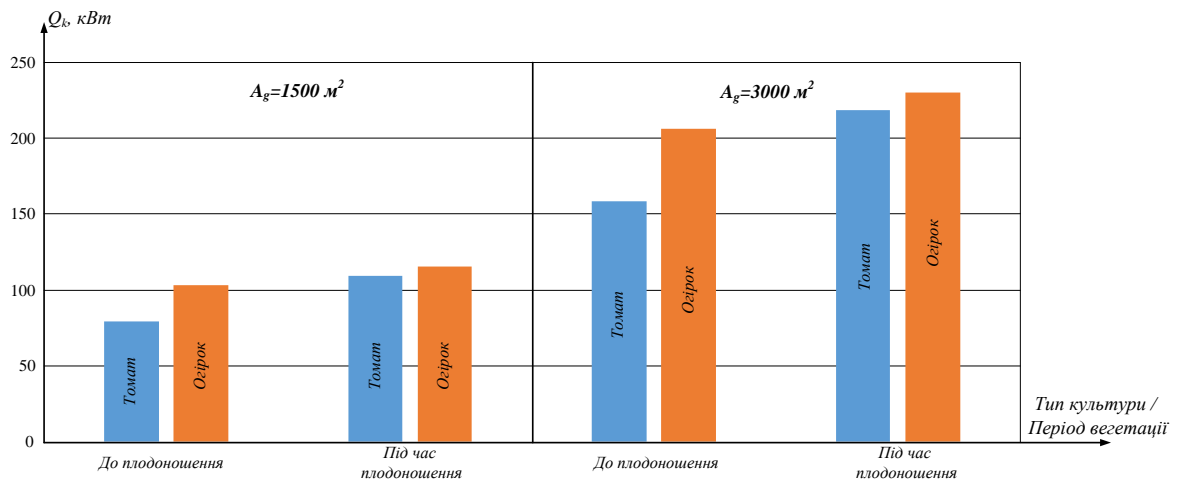
де $v_{air\ in}$ – швидкість руху потоків повітря, м/с.

Оптимальна температура всередині теплиці залежить від типів і періодів вегетації вирощуваних культур.

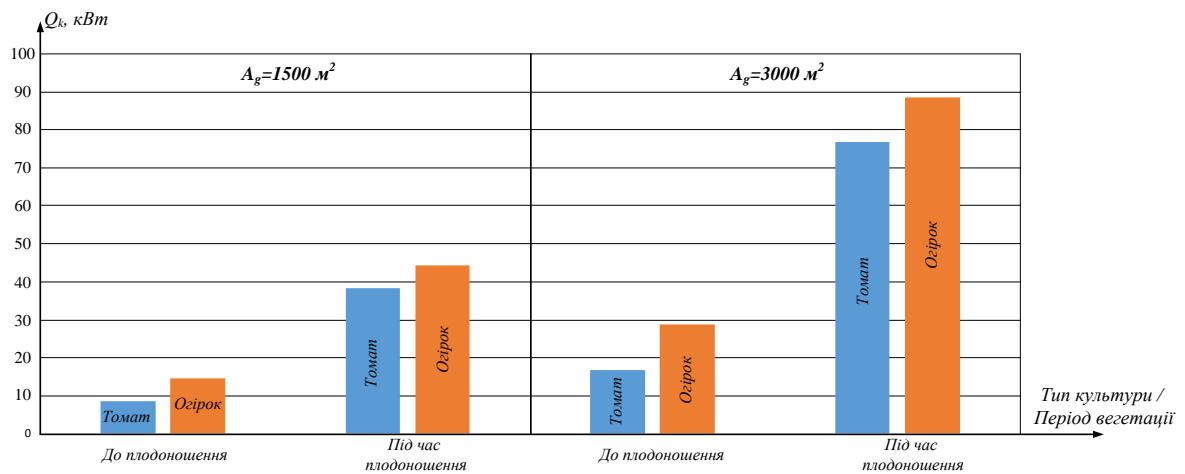
Отже, під час оцінки значень втрат теплової енергії через процес теплопередачі, прийнято чисельні значення параметрів, що входять до формули (3.11), у відповідності до табл 3.4. Отриманий графік розподілу оціночних значень втрат теплової енергії через ефект теплопередачі з обліком сезонності, геометричних розмірів теплиць та типів і періодів вегетації вирощуваних культур наведено на рис. 3.6.

Таблиця 3.4 – Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через теплопровідність

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Коефіцієнт теплопередачі (K_U)	4	Вт/(м ² ·°С)
Площа поверхні (A_g)	1500; 3000	м ²
Середня температура довколишнього середовища ($T_{air\ out}$)	+3,77; +15,6	°С
Температура в зоні вирощування ($T_{air\ in}$)	див. табл. 1.9	°С



а) Осінньо-зимовий цикл



б) Весняно-літній цикл

Рисунок 3.6 – Втрати теплової енергії через ефект теплопередачі

Результати розрахунків, які наведено на рис. 3.6, доводять необхідність обліку ефекту теплопередачі енергії зі зони вирощування культур до навколишнього середовища під час побудови та дослідження математичної

моделі процесу моніторингу температурного режиму вирощування.

Наступним фізичним процесом, який підлягає обліку під час оцінки втрат теплової енергії в теплиці (3.4), є поглинаюча здатність ґрунту. Оціночне значення показника втрат тепла через поглинаючу здатність ґрунту може бути обчислене за формулою:

$$Q_g = \frac{k_g}{Z_g} \cdot F_l \cdot (T_{air\ in} - T_{soil}), \quad (3.13)$$

де k_g – коефіцієнт теплопровідності ґрунту, Вт/(м·°C); Z_g – товщина шару ґрунту, м; F_l – площа підстилаючої поверхні теплиці, м²; $T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування теплиці, °C; T_{soil} – температура ґрунту, °C.

Розрахунок втрат тепла проводився з обліком актуальних вимог до температурних режимів повітря й ґрунту теплиць, товщини шару ґрунту та типових розмірів промислових тепличних комплексів, як показано в табл.3.5.

Таблиця 3.5 – Прийняті значення під час моделювання втрат теплової енергії через поглинаючу здатність ґрунту

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Коефіцієнт теплопровідності ґрунту (k_g)	1,52	Вт/(м·°C)
Площа підстилаючої поверхні теплиці (F_l)	375; 750	м ²
Товщина шару ґрунту (Z_g)	0,5	м
Допустима різниця температур ($T_{air\ in} - T_{soil}$)	3	°C

Отримані результати розрахунків втрат теплової енергії через поглинаючу здатність ґрунту є наступними: для теплиць розміром 1500 м² становить 3,42 кВт, для теплиць 3000 м² – 6,84 кВт, що складає від 5 % до 20 % від втрат енергії через теплопровідність поверхні теплиці та потребує подальшого обліку під час дослідження математичної моделі процесу моніторингу температури в теплиці.

Ефектами, які обумовлюють втрати тепла зі зони вирощування культур під

дією теплового й вітрового тиску, є вентиляція (примусова та природна) (Q_v) та інфільтрація (Q_i). Оцінка втрат тепла через вентиляцію може бути виконана за наступною формулою:

$$Q_v = \frac{r_v \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}) \cdot C_{\rho_{air}} \cdot \rho_{air}}{3600}, \quad (3.14)$$

r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції, відн. од.; V_g – об'єм теплиці, м³; k_{air} – кратність обміну повітрям, 1/год.; $C_{\rho_{air}}$ – питома теплоємність сухого повітря, Дж/(кг·°C); $T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування теплиці, °C; $T_{air\ out}$ – температура довколишнього середовища, °C; ρ_{air} – густина повітря, кг/м³. Чисельне значення показника втрат теплової енергії через процес інфільтрації, який обумовлено нещільністю поверхонь теплиці, може бути оцінене за наступною формулою:

$$Q_i = \frac{0,5 \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out})}{3600}. \quad (3.15)$$

Таким чином, сумарні втрати теплової енергії (Q_{v+i}), які обумовлено процесами вентиляції та інфільтрації, можуть бути знайдені за формулою:

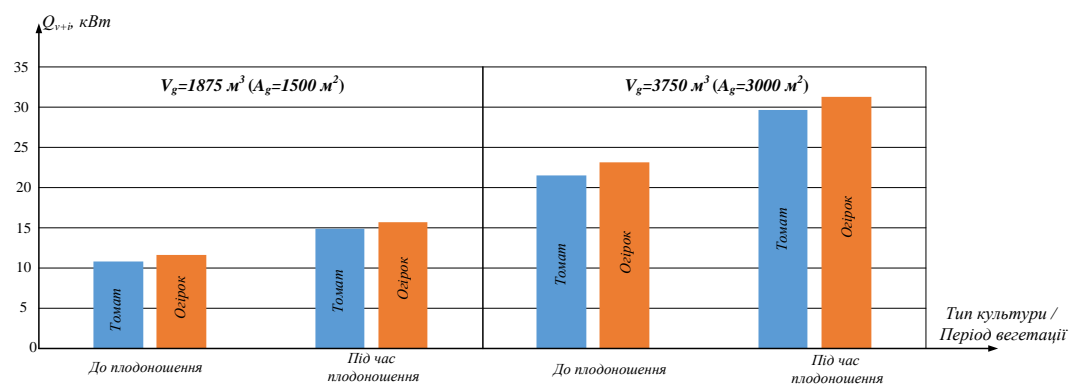
$$Q_{v+i} = \frac{r_v \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out}) \cdot C_{\rho_{air}} \cdot \rho_{air} + 0,5 \cdot V_g \cdot k_{air} \cdot (T_{air\ in} - T_{air\ out})}{3600}. \quad (3.16)$$

Під час моделювання процесу втрат тепла за рахунок процесів вентиляції та інфільтрації теплиці у відповідності до формули (3.16) було прийнято чисельні параметри з обліком сезонності, типів і періодів вегетації культур, а також інженерного дизайну теплиць, як показано в табл. 3.6.

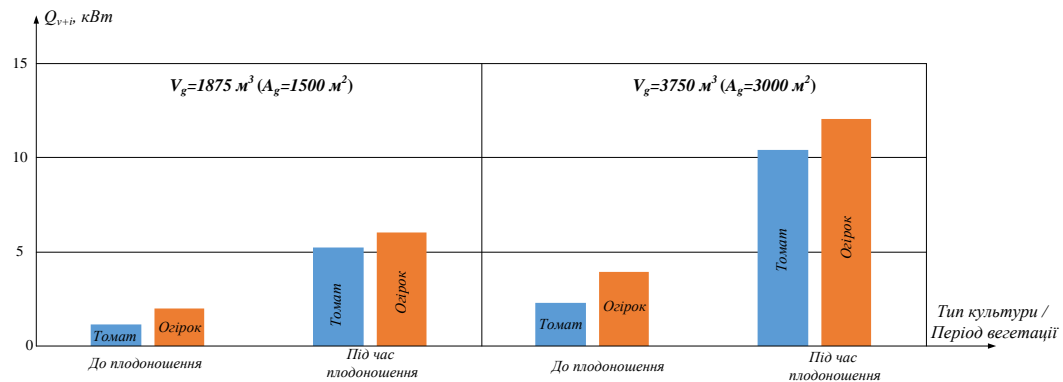
Отриманий графічний вигляд характеристики розподілу оціночних значень сумарних втрат теплової енергії через ефекти вентиляції (природної й механічної) та інфільтрації з обліком сезонності, геометричних розмірів теплиць та типів і періодів вегетації культур наведено на рис. 3.7.

Таблиця 3.6 – Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через вентиляцію та інфільтрацію

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Питома теплоємність повітря ($C_{\rho_{air}}$)	1010	Дж/(кг·°С)
Середня довколишня температура ($T_{air\ out}$)	+3,77; +15,6	°С
Температура в зоні вирощування ($T_{air\ in}$)	див. табл. 1.9	відн. од.
Густина повітря (ρ_{air})	1,292	кг/м ³
Кратність обміну повітрям (k_{air})	2	1/год
Об'єм теплиці ($V_g=A_g \cdot h_g/4$)	1875; 3750	м ³
Відсоток відкриття механізмів системи вентиляції (r_v)	0,6	відн. од.



а) Осінньо-зимовий цикл



б) Весняно-літній цикл

Рисунок 3.7 – Втрати теплової енергії через вентиляцію та інфільтрацію

Результати чисельного моделювання, які наведено на рис. 3.7, доводять необхідність обліку ефекту втрат теплової енергії з теплиці шляхом вентиляції та інфільтрації під час побудови та дослідження математичної моделі процесу інструментального моніторингу температури зони вирощування теплиць.

До обмеження надходження теплової енергії до зони вирощування теплиць призводить ефект конденсації, який обумовлено постійним виділенням вологи рослинами. Втрати теплової енергії, які обумовлено ефектом конденсації на поверхні теплиці, можуть бути чисельно оцінені за умови обліку геометричних характеристик теплиць та фактору сезонності за наступною формулою:

$$Q_c = C_c \cdot L_v \cdot A_g, \quad (3.17)$$

де C_c – швидкість конденсації на поверхні теплиці, яка обумовлена різницею зовнішньої та внутрішньої температури й вологості, $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$; L_v – ентальпія насиченої пари, $\text{Дж}/\text{кг}$; A_g – площа поверхні теплиці, м^2 . Як зазначалось показник швидкості конденсації на поверхні теплиці залежить від фактору сезонності та визначається поточними значеннями співвідношень температури й вологості зони вирощування і довколишнього середовища. Оціночні значення цього показника отримано авторами наукового дослідження для помірно континентального клімату, як показано в табл. 3.7.

Таблиця 3.7 – Прийняті значення моделювання втрат теплової енергії через конденсацію

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Площа поверхні (A_g)	1500; 3000	м^2
Ентальпія насиченої пари (L_v)	$2,45 \cdot 10^6$	$\text{Дж}/\text{кг}$
Швидкість конденсації в зимовий період (C_c)	$2,5 \cdot 10^{-6}$	$\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$

Також встановлено, що втрати енергії через конденсацію збільшуються, якщо температура поверхні теплиці нижче, ніж температура точки роси внутрішнього повітря. Отже, з обліком цього ефекту можна зробити припущення, що швидкість конденсації у весняно-літній цикл вирощування наближається до нуля. Таким чином, результати розрахунків втрат теплової енергії через ефект конденсації на підставі формули (3.17) та прийнятих

чисельних значень, які наведено в табл. 3.7, є наступними: для весняно-літнього циклу $Q_c=0$ Вт, для осінньо-зимового – 12,7 кВт (для теплиць із типорозміром 1500 м²) та 25,7 кВт (для теплиць із типорозміром 3000 м²). Результати розрахунків доводять необхідність обліку ефекту конденсації під час побудови математичної моделі процесу вимірювального моніторингу температури повітря теплиць. Отже, сумарна кількість теплової енергії, що втрачається у теплиці через ефекти теплопровідності, поглинаючої здатності ґрунту, вентиляції, інфільтрації та конденсації, може бути оцінена за формулою (3.4) на підставі результатів розрахунків за формулами (3.11) – (3.17). Під час моделювання процесу втрат теплової енергії в теплиці було прийнято до уваги регламентовані вимоги до інженерного дизайну теплиць, температуро-вологісного режиму вирощування тепличних культур та факторів сезонності вирощування. Отримані результати моделювання розподілу сумарних втрат теплової енергії у нормованому графічному вигляді (для теплиць 1500 м² дорівнює $Q_{loss\ max}=160$ кВт, для теплиць 3000 м² – $Q_{loss\ max}=320$ кВт) наведено на рис. 3.8.

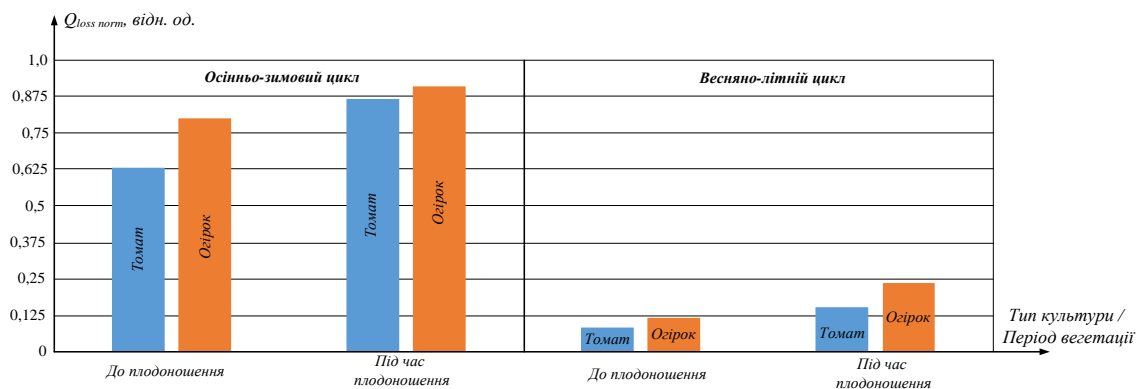


Рисунок 3.8 – Нормована характеристика розподілу теплової енергії, що втрачається в теплиці

На підставі аналізу результатів моделювання, які наведено на рис. 3.8, встановлено оціночні діапазони зміни втрати сумарної теплової енергії для теплиць із типовими розмірами 1500 м² і 3000 м², відповідно, становлять: від 13,1 кВт до 145,8 кВт та від 26,2 кВт до 291,6 кВт із обліком факторів

сезонності та типів і періодів вегетації вирощуваних культур. Таким чином, із обліком отриманих оціночних значень складових надходження (3.3) та втрат (3.4) теплової енергії в теплиці, може бути обчислена загальна теплова енергія (3.2), що генерується в зоні вирощування. Оціночний діапазон зміни теплової енергії в зоні вирощування отримано з обліком таких факторів: сезонність, добова динаміка інтенсивності сонячної радіації, актуальні вимоги до температуро-вологісного режиму вирощування певних типів і періодів вегетації культур, інженерний дизайн промислових тепличних комплексів. Отримані результати моделювання динаміки теплової енергії у графічному вигляді наведено на рис. 3.9 і 3.10.

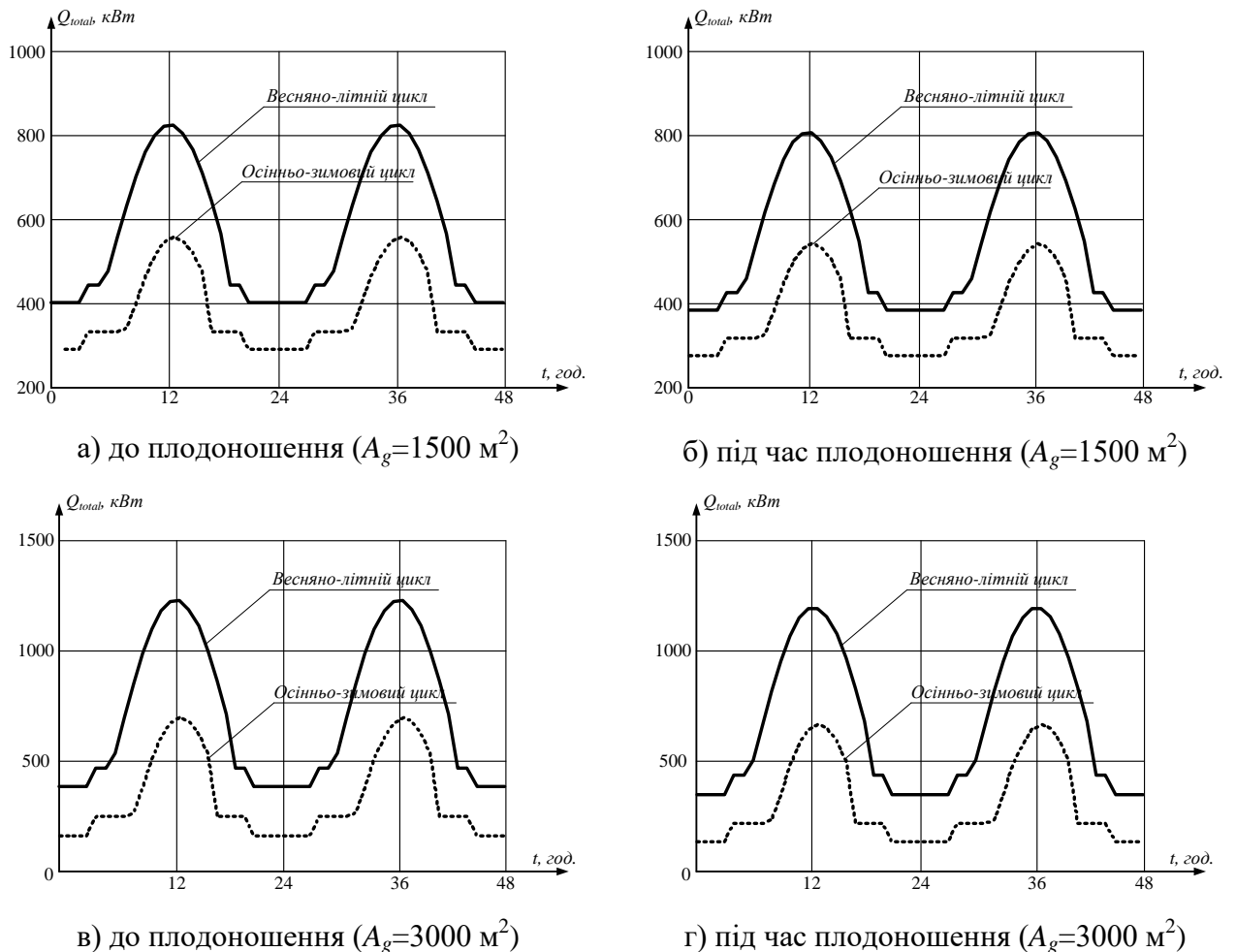
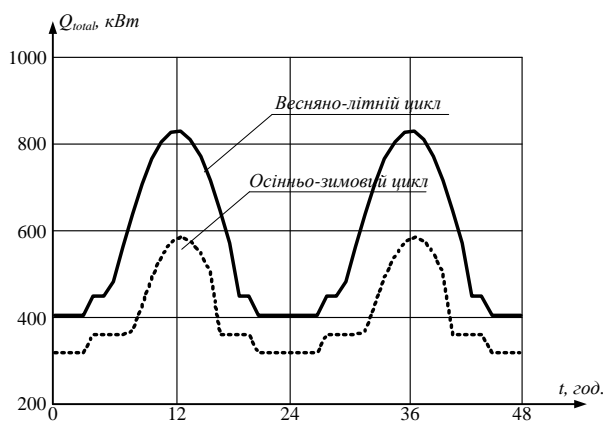
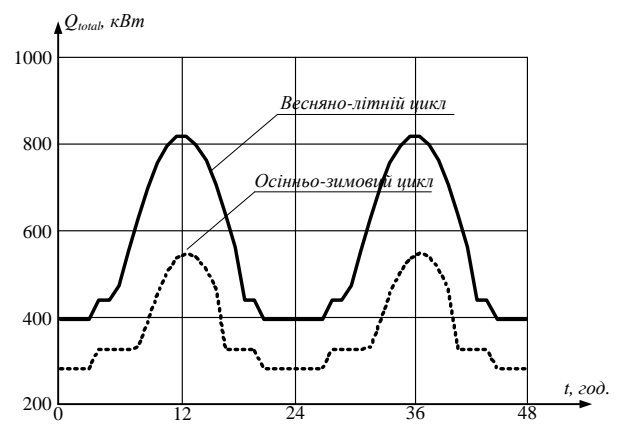


Рисунок 3.9 – Залежності розподілу теплової енергії в теплиці під час вирощування огірків

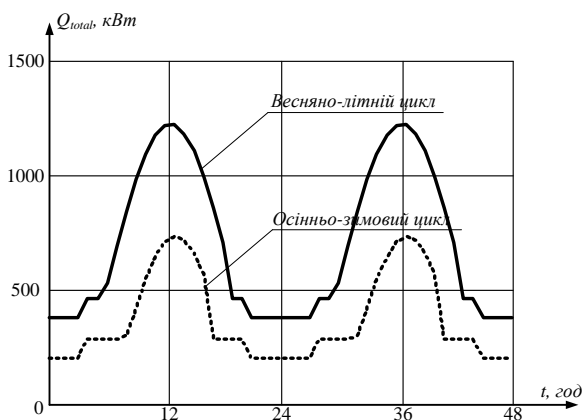
На підставі отриманих даних, які наведено на рис. 3.9 і 3.10, може бути оцінена динаміка температури в теплицях на базі рівняння (3.1). Диференційне рівняння розв'язано аналітично за наступних початкових умов: $T_{air\ in}(0)=3,77\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для осінньо-зимового циклу вирощування та $T_{air\ in}(0)=15,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ – для весняно-літнього циклу вирощування. Отримані результати моделювання добової динаміки температури в зоні вирощування теплиць для огірків і томатів з обліком періодів вегетації та сезонності вирощування наведено на рис. 3.11 і 3.12.



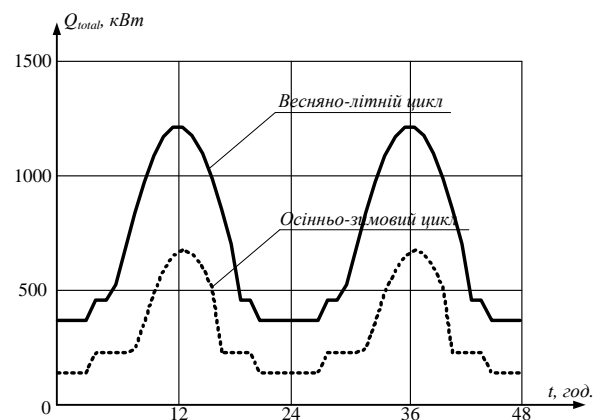
а) до плодоношення ($A_g=1500\text{ m}^2$)



б) під час плодоношення ($A_g=1500\text{ m}^2$)



в) до плодоношення ($A_g=3000\text{ m}^2$)



г) під час плодоношення ($A_g=3000\text{ m}^2$)

Рисунок 3.10 – Залежності розподілу теплової енергії в теплиці під час вирощування томатів

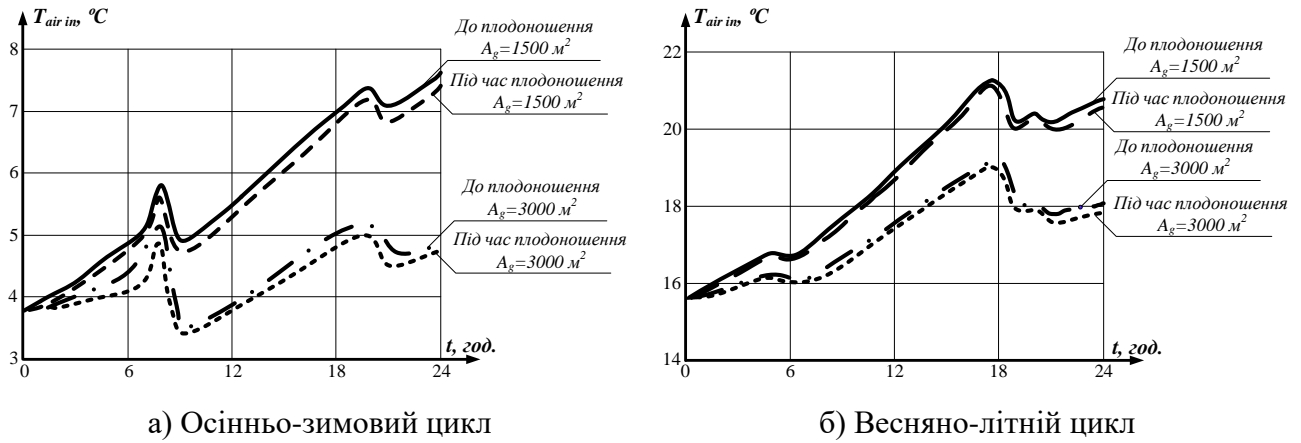


Рисунок 3.11 – Добова динаміка температури під час вирощування огірків у промислових теплицях

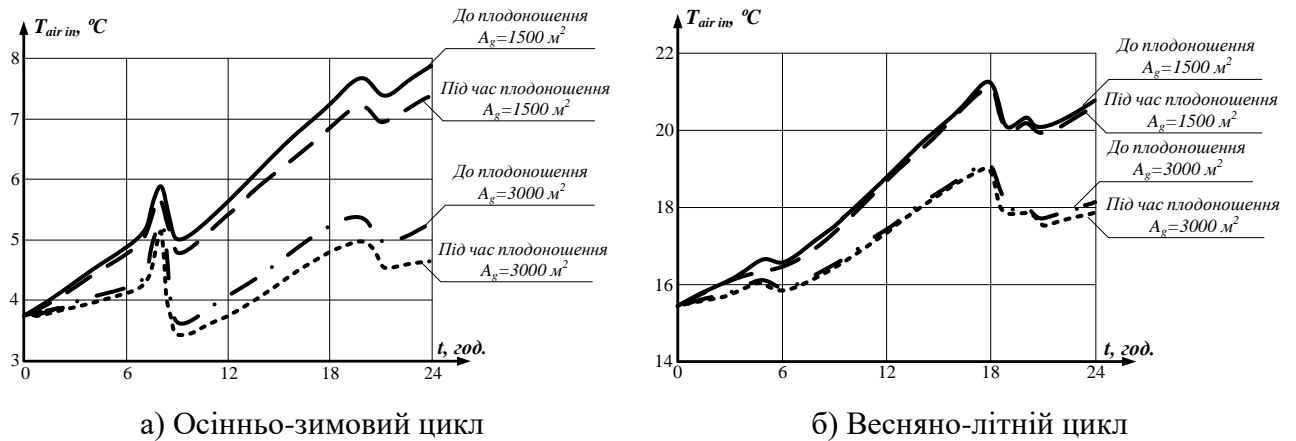


Рисунок 3.12 – Добова динаміка температури під час вирощування томатів у промислових теплицях

На підставі розробленої математичної моделі з обліком даних щодо місячної динаміки температури повітря за довгостроковий період було оцінено необхідне значення сумарної питомої теплової енергії ($Q_{total\ sp}$, кВт·год/м³) в зоні вирощування, як показано на рис. 3.13 і 3.14.

Отримані значення свідчать про кількість енергії на один кубічний метр, яку потрібно забезпечити в зоні вирощування теплиць протягом однієї години, з обліком регламентованих вимог до оптимальних температур для огірків і томатів до і під час вегетації.

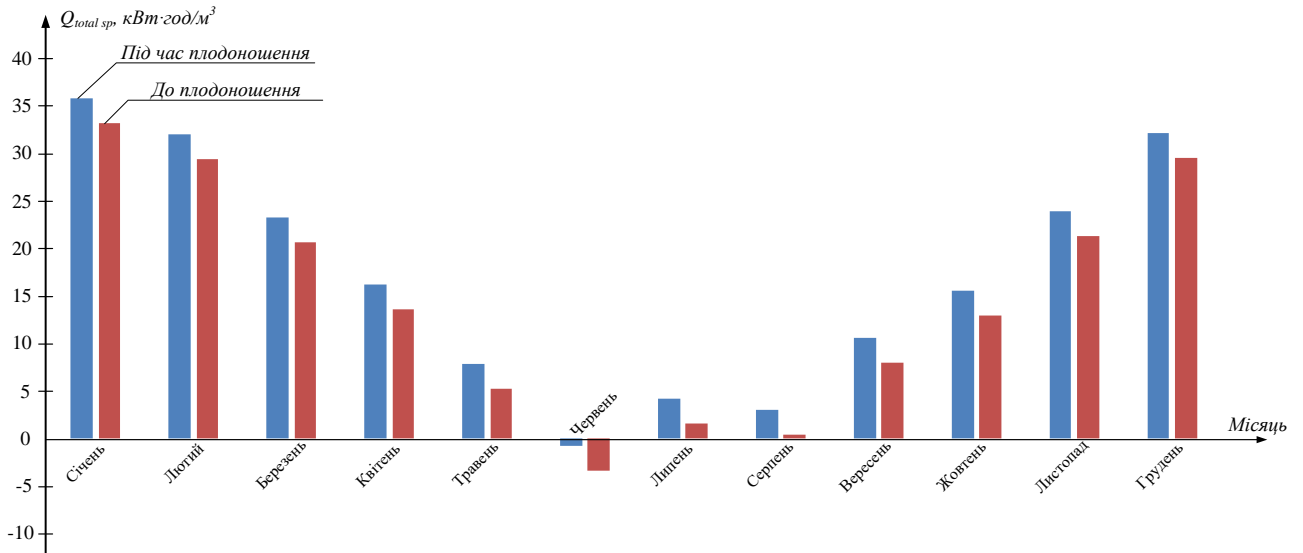


Рисунок 3.13 – Місячна динаміка сумарної питомої теплової енергії під час вирощування огірків у промислових теплицях

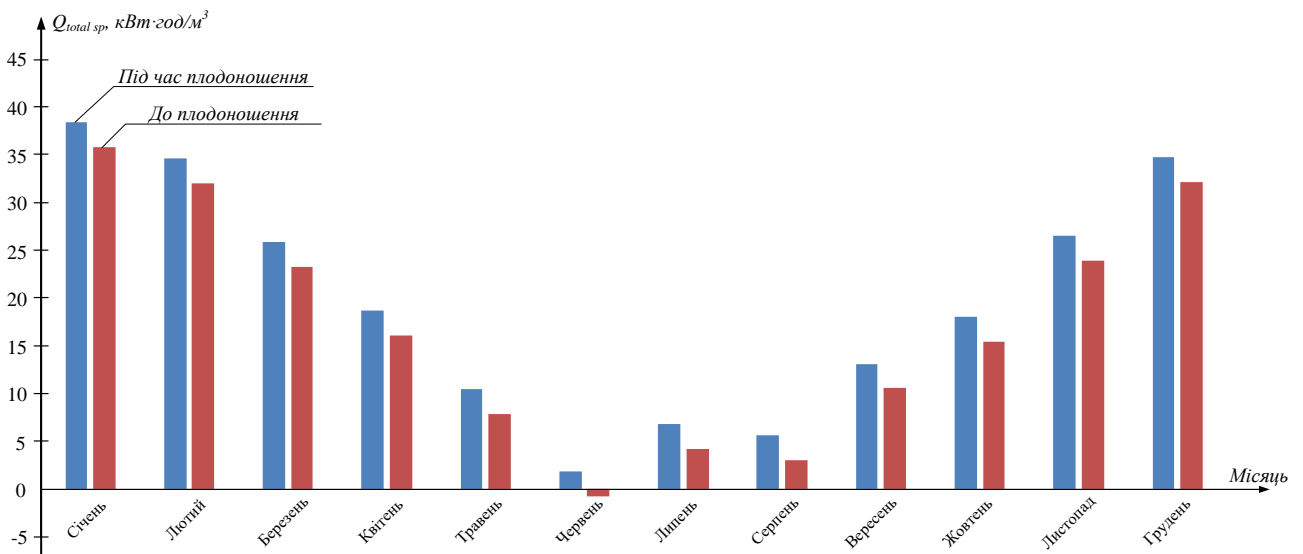


Рисунок 3.14 – Місячна динаміка сумарної питомої теплової енергії під час вирощування томатів у промислових теплицях

Шляхом аналізу результатів моделювання динаміки температури в зоні вирощування теплиць, які наведено на рис. 3.11– 3.14, встановлено наступне:

– під час вирощування культур у осінньо-зимовий цикл за умови надходження теплової енергії від сонця, систем опалення і штучних систем

доосвітлення в кількості отриманій за вищевикладених кліматичних умов і параметрів джерел є недостатньою, що обумовлює необхідність збільшення потужності систем опалення та прецизійного керування ними за результатами комп'ютеризованого моніторингу внутрішніх і зовнішніх кліматичних параметрів;

– під час вирощування культур у весняно-літній цикл за умови надходження теплової енергії від сонця, систем опалення і штучних систем досвічування, а також сумарних втрат енергії у кількості отриманій за вищевикладених параметрів джерел є завищеною, що обумовлює необхідність прецизійного керування системами вентиляції та затінення за результатами комп'ютеризованого моніторингу внутрішніх і зовнішніх кліматичних параметрів;

– оціночні середні значення постійної сумарної питомої теплової енергії, яка є достатньою для забезпечення регламентованих режимів вирощування типових тепличних культур, є наступними: в осінньо-зимовий цикл вирощування: для огірків до плодоношення – 22,4 кВт·год/м³, під час плодоношення – 25,1 кВт·год/м³; у весняно-літній цикл: для огірків до плодоношення – 3,5 кВт·год/м³, під час плодоношення – 8,9 кВт·год/м³; в осінньо-зимовий цикл вирощування: для томатів до плодоношення – 25,1 кВт·год/м³, під час плодоношення – 27,6 кВт·год/м³; у весняно-літній цикл: для томатів до плодоношення – 8,9 кВт·год/м³, під час плодоношення – 11,6 кВт·год/м³.

– облік типів і періодів вегетації культур, сезонності й геометричних розмірів теплиць призводить до складного вигляду функції динаміки температури, що обумовлює практичну неможливість реалізації підсистем моніторингу параметрів температурного режиму вирощування з використанням класичних підходів до трансформації вимірювальної інформації на базі відомих аналітичних залежностей, а отже, виникає необхідність побудови таких підсистем на базі теоретичного апарату нечіткої логіки.

На підставі проведених досліджень із розробки математичної моделі

процесу вимірювального моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць було уточнено функціональну схему процедур отримання й аналізу вимірювальної інформації щодо температурного режиму вирощування в режимі реального часу, як показано на рис. 3.15.

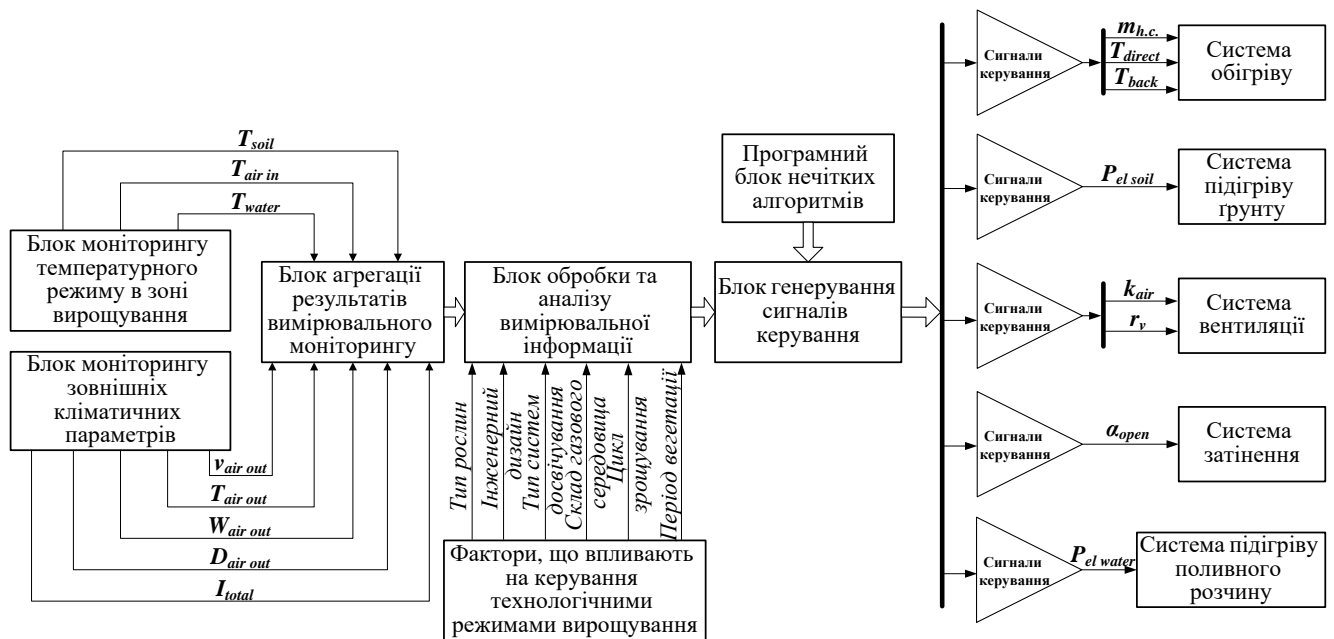


Рисунок 3.15 – Уточнена функціональна схема процедури комп'ютеризованого моніторингу параметрів температурного режиму вирощування

На рис. 3.15 введено наступні позначення: T_{water} – температура поливного розчину; T_{soil} – температура ґрунту; $T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування; $T_{air\ out}$ – температура повітря навколишнього середовища; $W_{air\ out}$ – вологість повітря навколишнього середовища; $v_{air\ out}$ – швидкість руху потоків повітря навколишнього середовища; $D_{air\ out}$ – напрямок руху потоків повітря навколишнього середовища; I_{total} – загальнодобове сонячне випромінювання; $m_{h.c.}$ – витрата теплоносія; T_{direct} – температура подачі теплоносія; T_{back} – температура теплоносія, що відводиться з системи опалення; $P_{el\ soil}$ – споживана електрична потужність системою обігріву ґрунту; r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції; k_{air} – кратність обміну повітрям; α_{open} – кут відкриття механізмів зашторювання системи затінення; $P_{el\ water}$ – споживана

електрична потужність системою підігріву поливного розчину.

Таким чином, запропонована функціональна схема, яку наведено на рис. 3.15, дозволяє реалізувати функцію адаптивного до типів і періодів вегетації культур автоматичного керування технологічними режимами вирощування з обліком факторів сезонності та інженерного дизайну теплиць за результатами неруйнівного комп'ютеризованого моніторингу основних характеристик внутрішнього мікроклімату теплиць і зовнішніх атмосферних параметрів у режимі реального часу.

3.2 Математична модель моніторингу технологічного режиму зволоження повітря зони вирощування теплиць

Комп'ютеризований моніторинг вологості повітря зони вирощування аналогічно з температурними вимірюваннями є динамічним процесом, параметри якого обумовлено явищами масопереносу між внутрішнім об'ємом теплиці та довколишнім середовищем, а також фізико-біологічними процесами зростання культур. На підставі вищесказаного було запропоновано узагальнену структурну схему процесу моніторингу, що описує впливи параметрів на процеси масообміну вологою, яку наведена на рис. 3.16.

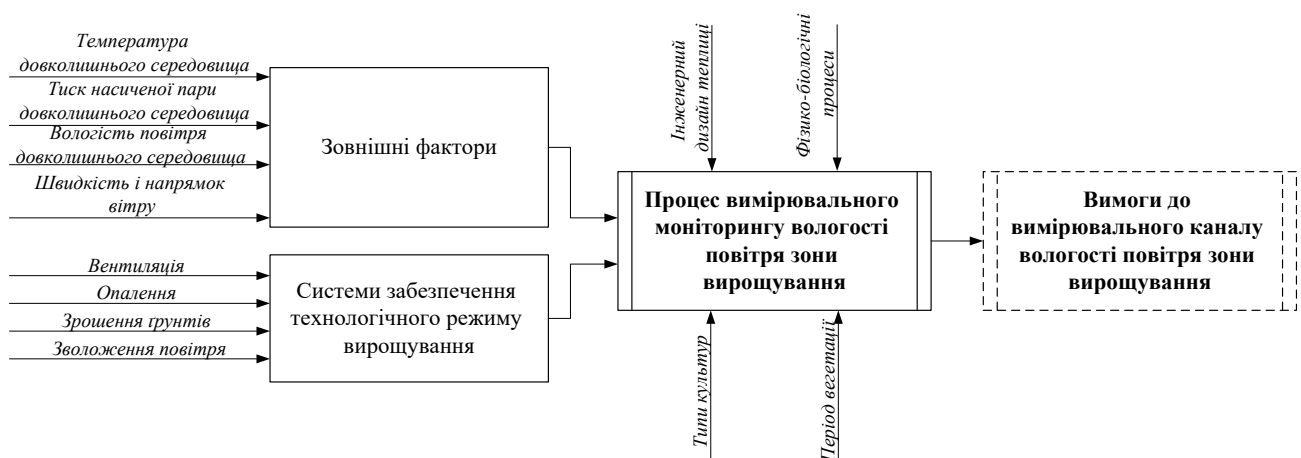


Рисунок 3.16 – Структурна схема моніторингу вологості повітря теплиці

Таким чином, з обліком актуальних вимог до технологічних режимів вирощування та сучасного інженерного дизайну тепличних комплексів базовим рівнянням під час побудови математичної моделі процесу моніторингу вологості повітря зони вирощування теплиць є:

$$\frac{dW_{air\ in}(t)}{dt} = \frac{L_{air\ in}}{\rho_{air} V_g} (C_e (P_{air\ out}(t) - P_{air\ in}(t)) - (W_{air\ in}(t) - W_{air\ out}(t))) + Z_{total\ hum}(t), \quad (3.18)$$

де $W_{air\ in}$ – відносна вологість повітря зони вирощування, %; $W_{air\ out}$ – відносна вологість повітря навколишнього середовища, %; t – час, с; V_g – об'єм зони вирощування теплиці, м³; ρ_{air} – густина повітря, кг/м³; $L_{air\ in}$ – різниця між витратою свіжого повітря та витратою повітря, що відходить із теплиці, м³/с; C_e – коефіцієнт перенесення водяної пари в повітрі, кг/(м³·Па); $P_{air\ out}$ – тиск насиченої пари довколишнього середовища, Па; $P_{air\ in}$ – тиск насиченої пари зони вирощування, що є функцією температури повітря, Па; $Z_{total\ hum}$ – різниця між швидкістю подачі та відведення вологи зі зони вирощування, %/с.

Під час моделювання процесу неруйнівного комп'ютеризованого онлайн моніторингу вологості повітря зони вирощування теплиць прийнято чисельні значення технологічних і конструктивних параметрів у відповідності до табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Технологічні параметри під час моделювання динаміки вологи повітря зони вирощування теплиці

Параметр	Прийняте значення	Одиниці вимірювання
Коефіцієнт переносу водяної пари (C_e)	$2,8 \cdot 10^{-8}$	кг/(м ³ ·Па)
Густина повітря (ρ_{air})	1,292	кг/м ³
Об'єм теплиці ($V_g = A_g \cdot h_g / 4$)	1875; 3750	м ³
Швидкість руху потоків повітря (v_{air})	1	м/с

За аналогією з моделюванням температурного режиму вирощування під

час побудови математичної моделі динаміки вологи в зоні вирощування в якості базових культур було обрано томат і огірок з наступними характерними періодами вегетації: до і під час плодоношення в осінньо-зимовий та весняно-літній цикли вирощування. Основні вимоги до температуро-вологісних режимів вирощування зазначених типів культур наведено в першому розділі дисертації «Сучасний стан наукових досліджень і практичних розробок комп'ютеризованих інформаційно-вимірювальних систем моніторингу стану мікроклімату теплиць» в табл. 3.9. Середнє значення вологості повітря довколишнього середовища встановлено за даними Українського гідрометеорологічного центру: для осінньо-зимового циклу – 81 %, для весняно-літнього 65 % за 2019 рік.

На підставі порівняльного аналізу середніх значень вологості повітря довколишнього середовища та регламентованих вимог до вологості повітря зони вирощування встановлено загальні вимоги до продуктивності систем зволоження повітря теплиць, а саме:

– додатковий рівень зволоження (+) / відведення вологи (–) для огірків у осінньо-зимовий цикл вирощування до плодоношення –6 %, під час плодоношення +9 %; у весняно-літній цикл до плодоношення +10 %, під час плодоношення +15 %;

– додатковий рівень зволоження (+) / відведення вологи (–) для томатів у осінньо-зимовий цикл вирощування до плодоношення –21 %, під час плодоношення –16 %; у весняно-літній цикл до плодоношення –5 %, під час плодоношення +5 %.

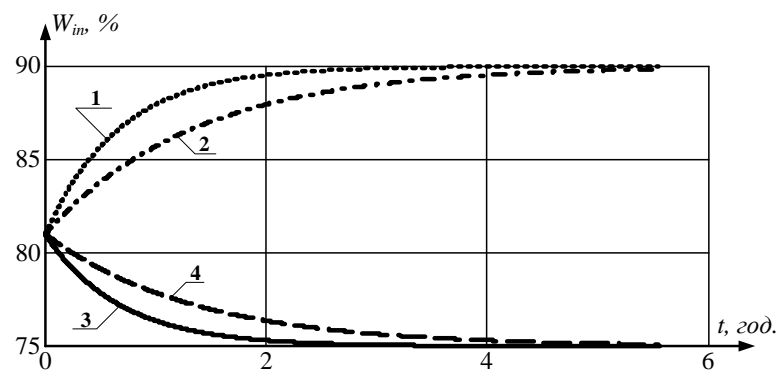
Отримані результати моделювання динаміки вологи у повітрі зони вирощування теплиць на базі диференційного рівняння (3.18) і прийнятих чисельних параметрів (табл. 3.8) наведено на рис. 3.17 і 3.18.

На підставі кількісного та якісного аналізу отриманих результатів із побудови та дослідження математичної моделі процесу вимірювального моніторингу вологості повітря зони вирощування встановлено наступне:

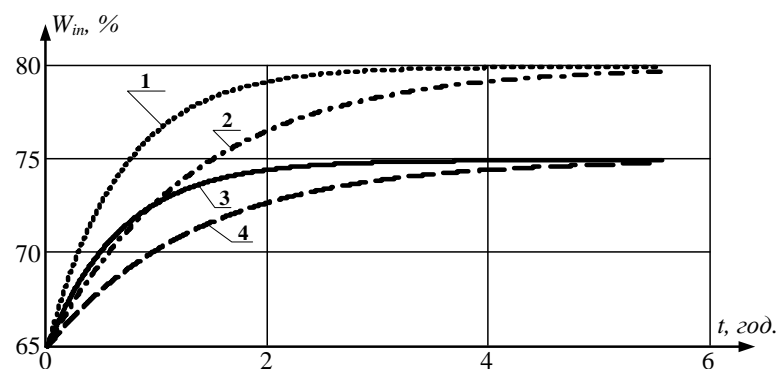
– часовий діапазон досягнення регламентованого сталого значення

вологості повітря зони вирощування залежить від об'єму теплиць, типів і періоду вегетації й сезонного циклу вирощування та змінюється в діапазоні 1,5 год. до 2 год. за номінальної продуктивності систем зволоження й вентиляції;

– облік значної кількості атмосферних параметрів, конструктивних характеристик теплиць і фізико-біологічних процесів вирощування тепличних культур, а також наявність нелінійних функціональних зв'язків вологості повітря з наявним рівнем вологи в ґрунті та температурою повітря зони вирощування обумовлює необхідність побудови підсистеми моніторингу вологісного режиму вирощування тепличних культур на базі адаптивних алгоритмів трансформації інформації з використанням математичного апарату теорії нечіткої логіки.

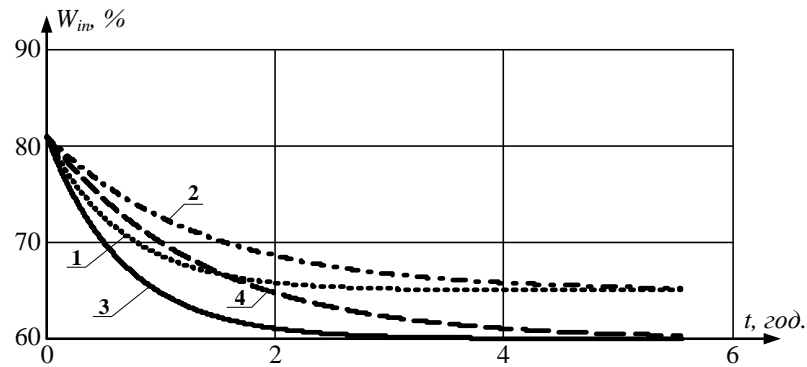


а) Осінньо-зимовий цикл

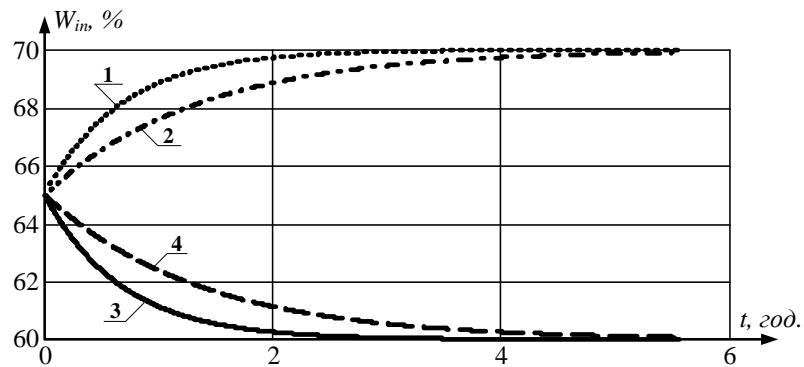


б) Весняно-літній цикл

Рисунок 3.17 – Результати моделювання зміни вологості повітря для огірків
 (1 – Під час плодоношення, $V_g=1875 \text{ м}^3$; 2 – Під час плодоношення, $V_g=3750 \text{ м}^3$;
 3 – До плодоношення, $V_g=1875 \text{ м}^3$; 4 – До плодоношення $V_g=3750 \text{ м}^3$)



а) Осінньо-зимовий цикл



б) Весняно-літній цикл

Рисунок 3.18 – Результати моделювання зміни вологості повітря для томатів (1 – Під час плодоношення, $V_g=1875 \text{ м}^3$; 2 – Під час плодоношення, $V_g=3750 \text{ м}^3$; 3 – До плодоношення, $V_g=1875 \text{ м}^3$; 4 – До плодоношення $V_g=3750 \text{ м}^3$)

На підставі проведених досліджень із розробки математичної моделі комп'ютеризованого моніторингу вологості повітря зони вирощування теплиць уточнено функціональну схему процедури агрегації та обробки вимірювальної інформації щодо вологісного режиму тепличного вирощування (рис. 3.19).

На рис. 3.19 введено наступні позначення: $P_{air\ in}$ – тиск насиченої пари зони вирощування; $P_{air\ out}$ – тиск насиченої пари довколишнього середовища; $W_{air\ in}$ – відносна вологість повітря зони вирощування; $W_{air\ out}$ – відносна вологість повітря навколишнього середовища; $v_{air\ out}$ – швидкість руху потоків повітря навколишнього середовища; $D_{air\ out}$ – напрямок руху потоків повітря навколишнього середовища; r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції; k_{air} – кратність обміну повітрям; CON_{water} – витрата поливного

розчину; CON_{steam} – витрата рідини для зволоження повітря.

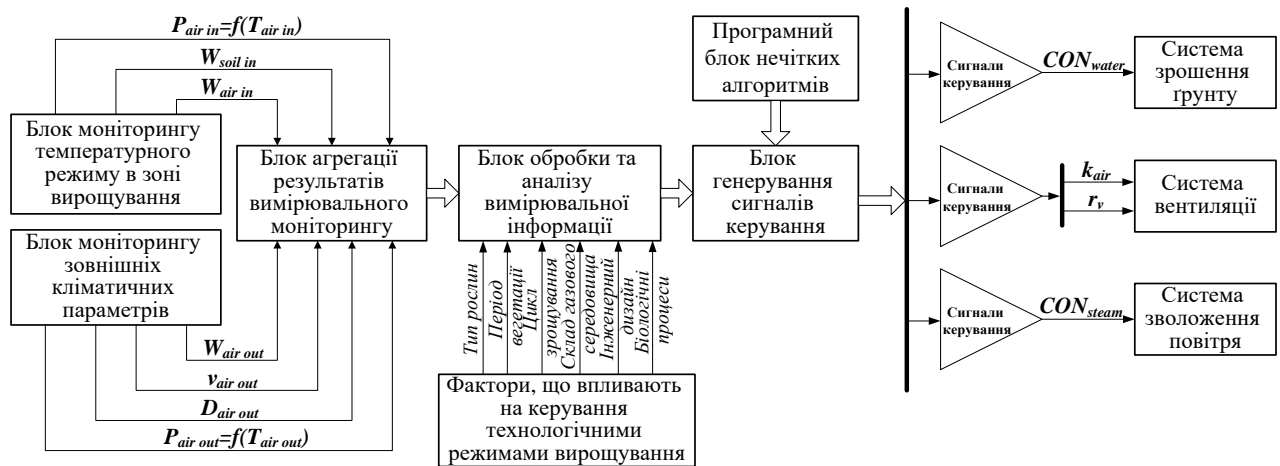


Рисунок 3.19 – Уточнена функціональна схема процедури моніторингу вологісного режиму вирощування

Отже, розроблена функціональна схема, яку наведено на рис. 3.19, дозволяє реалізувати функцію адаптивного до типів і періодів вегетації культур прецизійного керування технологічними режимами вирощування з обліком факторів сезонності та інженерного дизайну теплиць за результатами комп'ютеризованого вимірювального моніторингу характеристик внутрішнього мікроклімату й зовнішніх атмосферних параметрів у режимі реального часу.

3.3 Математична модель моніторингу динаміки вуглекислого газу в зоні вирощування теплиць

В якості базової технології під час побудови та дослідження математичної моделі моніторингу концентрації вуглекислого газу в зоні вирощування культур у тепличних умовах використано систему подачі чистого (зрідженого) вуглекислого газу з використанням труб малого діаметра, як показано на рис. 3.20. Така технологія дозволяє виконувати прецизійне автоматичне дозування вуглекислого газу з обліком добової динаміки фотосинтетичної активності,

регулювати відстань від джерела CO₂ до рослин, а також рівномірно розподіляти газ у зоні вирощування теплиць. Однак, заявлений тип систем має ряд технологічних недосконалостей, які пов'язано з обмеженістю результатів досліджень щодо закономірностей оптимальної витрати CO₂ в залежності від типів вирощуваних культур і періодів їх вегетації, що призводить до відсутності алгоритмів адаптивного моніторингу режимів живлення рослин вуглекислим газом. Моделювання процесу динаміки вуглекислого газу для промислових теплиць виконувалося за умов і накладених обмежень, які наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9 – Параметри й умови під час моделювання процесу моніторингу динаміки концентрації вуглекислого газу

Умова, що накладається	Прийняте обмеження
тип вирощуваних культур	індетермінантні сорти томатів та огірків
концентрація вуглекислого газу в області джерел у початковий момент часу	$C_{CO_2}(0,0)=0,3 \%$
концентрація вуглекислого газу в основі теплиці в початковий момент часу	$C_{CO_2}(H,0)=0,15 \%$
оптимальний для підживлення рівень концентрації вуглекислого газу, який встановлений в теплиці в початковий момент часу	$C_{max}=0,2 \%$
коефіцієнт молекулярної дифузії вуглекислого газу	$D_{CO_2}=0,14 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ – для томатів; $D_{CO_2}=0,22 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ – для огірків
тип теплиці	овочева, цілорічного використання
матеріал теплиці	полікарбонат
висота теплиці	$H=4 \text{ м}$
координати досліджуваної динаміки вуглекислого газу Z (відстань від джерела газу до локації вирощуваних культур)	$Z_{11}=3,7$ (висота куща томата в період висаджування $h=0,3 \text{ м}$); $Z_{12} = 2,8$ (висота куща томата в період плодоношення $h=1,2 \text{ м}$); $Z_{21}=3,8$ (висота куща огірка в період висаджування $h=0,2 \text{ м}$); $Z_{12} = 3,2$ (висота куща томата в період плодоношення $h=0,8 \text{ м}$)
фізичні процеси	ізотермічний процес

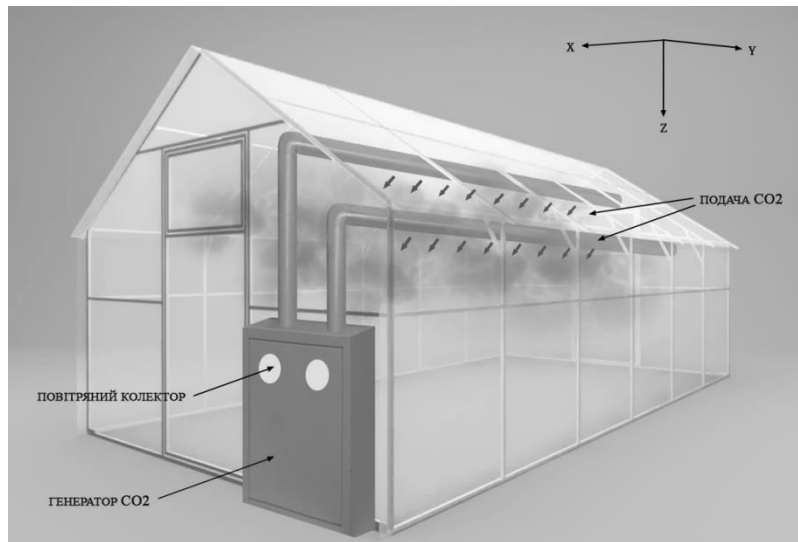


Рисунок 3.20 – Технологічна схема дозування вуглекислого газу в теплиці

В основу розроблюваної моделі процесу вимірювального моніторингу концентрації CO_2 покладено наступне рівняння балансу маси:

$$\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{sour}} - \varphi_{\text{CO}_2}^{\text{vent}} - \varphi_{\text{CO}_2}^{\text{phot}} = 0, \quad (3.19)$$

де $\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{sour}}$ – кількість вуглекислого газу, що надходить до теплиці, %; $\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{vent}}$ – кількість вуглекислого газу, що відводиться з теплиці, %; $\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{phot}}$ – кількість вуглекислого газу, що споживається рослинами під час фотосинтезу, %. Поширення вуглекислого газу в зоні вирощування теплиць відбувається під впливом двох процесів, одним з яких є молекулярна дифузія, а іншим – перенесення молекул під час руху потоків повітря (конвекція). Зазвичай ці процеси протікають одночасно. Отже, з обліком рівняння (3.19) для ізотермічного випадку, рівняння конвективної дифузії CO_2 має такий вигляд:

$$\frac{\partial C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial t} = D_{\text{CO}_2} \left(\frac{\partial^2 C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial z^2} \right) - \underbrace{\left(\vec{V}_x \frac{\partial C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial x} + \vec{V}_y \frac{\partial C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial y} + \vec{V}_z \frac{\partial C_{\text{CO}_2 \text{ in}}}{\partial z} \right)}_{\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{vent}}} + \varphi_{\text{CO}_2}^{\text{sour}}(x, y, z, t) - \varphi_{\text{CO}_2}^{\text{phot}}(x, y, z, t), \quad (3.20)$$

де $C_{CO_2 in}$ – концентрація вуглекислого газу; D_{CO_2} – коефіцієнт молекулярної дифузії вуглекислого газу; \vec{V}_x , \vec{V}_y , \vec{V}_z – швидкість руху потоків повітря за відповідними координатами.

На підставі аналізу технологічних схем живлення рослин вуглекислим газом у тепличних умовах (рис. 3.20) і фізико-хімічних властивостей вуглекислого газу, введено припущення, що інтенсивність зміни концентрації вуглекислого газу за координатою z (висота) у порівнянні з координатами x (довжина) та y (ширина) набагато більше, так як CO_2 є важчим за чисте повітря, що призводить до його осідання в напрямку координати z . З аналізу допустимих швидкостей руху повітря в зоні вирощування встановлено, що градієнт концентрацій у напрямку координат x і y може бути прийнятий таким, що дорівнює нулю, що обґрунтовує припущення відсутності перенесення газу ($\partial^2 C_{CO_2 in} / \partial x^2 = 0$, $\partial^2 C_{CO_2 in} / \partial y^2 = 0$).

Розв'язання задачі побудови та аналізу математичної моделі процесу динаміки вуглекислого газу в умовах теплиць, яке описується рівнянням (3.20), може бути отримано з використанням методу джерел. Фізичний зміст цього методу полягає в отриманні поля концентрації вуглекислого газу, що утворюється розподіленими в просторі й часі точковими джерелами дифузії.

Отже, задачу, що розв'язується, можна сформулювати таким чином: теплиця є замкнутою системою, в якій протікають процеси виділення вуглекислого газу від точкових джерел, з початковим розподілом концентрації $C_{CO_2 in(0)}$ і граничними умовами $C_{CO_2 in}(0,t)=C_1$ і $C_{CO_2 in}(H,t)=C_2$; у початковий момент часу в теплиці досягнуто необхідний рівень концентрації вуглекислого газу $C_{CO_2 in(0)}=C_{max}$, і джерела дифузії вимкнуті ($\varphi_{CO_2}^{sour}(x, y, z, t) = 0$); конвективне масоперенесення вуглекислого газу відсутнє ($\varphi_{CO_2}^{vent}(x, y, z, t) = 0$); під час аналізу динаміки CO_2 у теплиці відбувається поглинання газу рослинами з рівномірною щільністю; оціночне значення інтенсивності поглинання CO_2 не залишається постійною величиною, а залежить від типів і періодів вегетації культур.

На підставі аналізу, викладених вище процесів динаміки вуглекислого газу в промислових теплицях, диференційне рівняння приймає такий вигляд:

$$\frac{\partial C_{CO_2 in}}{\partial t} = D_{CO_2} \frac{\partial^2 C_{CO_2 in}}{\partial z^2} - \varphi_{CO_2}^{phot}, \quad (3.21)$$

Розв'язання диференційного рівняння (3.21) з використанням методу функцій Гріна у загальному вигляді може бути знайдено з виразу:

$$C_{CO_2 in}(z, t) = f_1(z) + f_2(z, t) - f_3(z, t), \quad (3.22)$$

де $f_1(z)$ – функція, яка описує початковий розподіл концентрацій CO_2 у теплиці за нульових граничних умов і відсутності споживання газу; $f_2(z, t)$ – функція, яка описує граничні умови розподілу CO_2 у теплиці за нульових початкових умов і відсутності споживання газу; $f_3(z, t)$ – функція, яка описує споживання газу рослинами під час фотосинтезу за нульових початкових і граничних умов.

Таким чином, функція $f_1(z)$ у рівнянні (3.22) є рішенням для стаціонарної дифузії вуглекислого газу в умовах теплиць, тобто рішенням рівняння виду:

$$\frac{\partial^2 C_{CO_2 in}}{\partial z^2} = 0 \text{ з граничними умовами } f_1''(z)=0, f_1(0)=C_1, f_1(H)=C_2:$$

$$f_1(z) = C_1 + \frac{z}{H}(C_2 - C_1), \quad (3.23)$$

де C_1 і C_2 – граничні концентрації вуглекислого газу в точках джерела газу і в області рослин, відповідно, %; H – відстань від джерела газу до грядок з рослинами, м; z – змінна інтегрування (координата), м.

Функція $f_2(z, t)$ є розв'язанням рівняння для нестационарного випадку:

$$\frac{\partial f_2}{\partial t} = D_{CO_2} \cdot \left(\frac{\partial^2 f_2}{\partial z^2} \right), \quad (3.24)$$

з простими граничними умовами $f_2(z, 0) = C_{max} - f_1(z)$.

На підставі аналізу літературних джерел щодо нестационарних диференціальних рівнянь математичної фізики отримано розв'язання диференціального рівняння (3.24):

$$f_2(z, t) = \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left(\frac{C_2 \cdot \cos(n\pi) - C_1}{n\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi z}{H}\right) \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2 D_{CO_2} t}{H^2}} \right] + \frac{4}{\pi} C_{max} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot \sin\left(\frac{(2k+1)\pi z}{H}\right) \cdot e^{-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D_{CO_2} t}{H^2}}, \quad (3.25)$$

де C_1 і C_2 – граничні концентрації вуглекислого газу в точках джерела газу і в області рослин, відповідно, %; n , k – порядковий номер імпульсу, який утворюється під час багаторазових відбиттів молекул CO_2 від стінок теплиці; H – відстань від джерела газу до грядок з рослинами (приблизно дорівнює висоті теплиці), м; C_{max} – необхідний рівень концентрації вуглекислого газу, який встановлено в теплиці в початковий момент часу, %; D_{CO_2} – коефіцієнт молекулярної дифузії вуглекислого газу, m^2/c ; z , t – змінні інтегрування (координата й час), відповідно, м та с.

Функція $f_3(z, t)$ у рівнянні (3.22), яка описує споживання газу рослинами під час фотосинтезу за нульових початкових і граничних умов, отримана шляхом аналізу загального вигляду рівнянь математичної фізики, наведених у джерелах та має вигляд:

$$f_3(z, t) = \frac{4H^2 \varphi_{CO_2}^{phot}}{\pi^3 D_{CO_2}} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(2k+1)^3} \cdot \sin\left(\frac{2k+1}{H} \cdot z\right) \times \left(1 - e^{-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D_{CO_2} t}{H^2}} \right) \right), \quad (3.26)$$

де H – відстань від джерела газу до грядок із рослинами, м; $\varphi_{CO_2}^{phot}$ – кількість CO_2 , що споживається рослинами в результаті фотосинтезу, %/с; D_{CO_2}

– коефіцієнт молекулярної дифузії CO_2 , $\text{м}^2/\text{с}$; n, k – порядковий номер імпульсу; z, t – змінні інтегрування, відповідно, м та с .

Отже, під час підстановки рішень (3.23), (3.25) і (3.26) до рівняння (3.22), отримано математичну модель, яка описує процеси динаміки вуглекислого газу в зоні вирощування теплиць:

$$\begin{aligned}
 C_{\text{CO}_2 \text{ in}}(z, t) = & \underbrace{\left\{ C_1 + \frac{z}{H}(C_2 - C_1) \right\}}_{f_1(z)} + \\
 & + \underbrace{\left\{ \frac{2}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \left[\left(\frac{C_2 \cdot \cos(n\pi) - C_1}{n\pi} \right) \cdot \sin\left(\frac{n\pi z}{H}\right) \cdot e^{-\frac{n^2 \pi^2 D_{\text{CO}_2} t}{H^2}} \right] + \right.}_{f_2(z, t)} \\
 & \left. + \frac{4}{\pi} C_{\text{max}} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{1}{2k+1} \cdot \sin\left(\frac{(2k+1)\pi z}{H}\right) \cdot e^{-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D_{\text{CO}_2} t}{H^2}} \right\}}_{f_2(z, t)} - \\
 & - \underbrace{\left\{ \frac{4H^2 \varphi_{\text{CO}_2}^{\text{phot}}}{\pi^3 D_{\text{CO}_2}} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{1}{(2k+1)^3} \cdot \sin\left(\frac{2k+1}{H} \cdot z\right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{(2k+1)^2 \pi^2 D_{\text{CO}_2} t}{H^2}} \right) \right) \right\}}_{f_3(z, t)},
 \end{aligned} \tag{3.27}$$

де C_1 і C_2 – граничні концентрації вуглекислого газу в точках джерела газу і в області рослин, %; H – відстань від джерела газу до грядок з рослинами, м ; C_{max} – необхідний рівень концентрації вуглекислого газу, який встановлено в теплиці в початковий момент часу, %; D_{CO_2} – коефіцієнт молекулярної дифузії CO_2 , $\text{м}^2/\text{с}$; $\varphi_{\text{CO}_2}^{\text{phot}}$ – кількість CO_2 , що споживається рослинами під час фотосинтезу, $\%/ \text{с}$; n, k – порядковий номер імпульсу; z, t – змінні інтегрування, відповідно, м та с .

На підставі розробленої математичної моделі процесу вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу в умовах промислових теплиць (3.27) з обліком необхідної для ефективного фотосинтезу заявлених вище типів і періодів вегетації культур концентрації CO_2 та її градієнта в замкнутому

просторі отримано нормовані до максимального значення ($C_{max}=0,2\%$) характеристики динаміки двоокису вуглецю (рис. 3.21). На рис. 3.21 позначено: 1 – для індетермінантних сортів томатів до плодоношення, $h=0,3$ м; 2 – для індетермінантних сортів томатів під час плодоношення, $h=1,2$ м; 3 – для індетермінантних сортів огірків до плодоношення, $h=0,2$ м; 4 – для індетермінантних сортів огірків під час плодоношення, $h=0,8$ м.

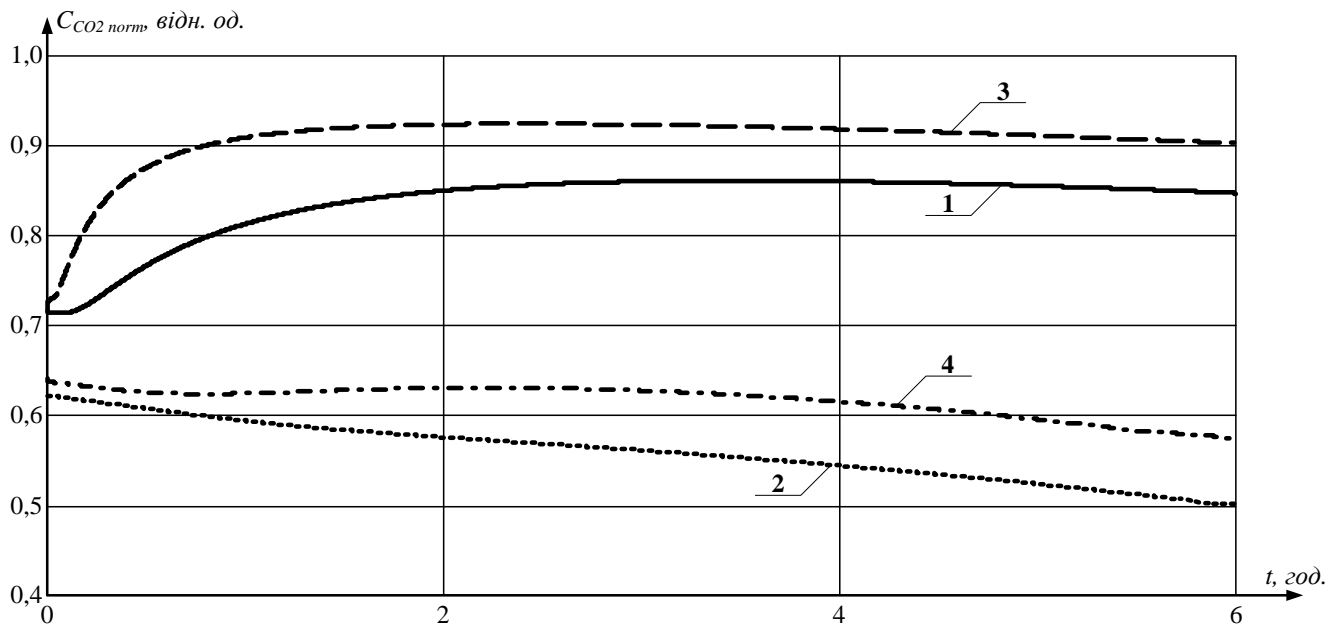


Рисунок 3.21 – Результати моделювання динаміки вуглекислого газу

Кількісний аналіз результатів моделювання процесу динаміки вуглекислого газу в умовах промислових теплиць, які наведено на рис. 3.21, довів, що він може бути розділений на характерні етапи, в яких: явища дифузії та фотосинтезу знаходяться в різних пропорціях між собою (від 0,2 до 2 год. у залежності від типів і періодів вегетації культур) та сталий режим, у якому спостерігається рівновага дифузії та фотосинтезу практично рівні між собою (кутовий коефіцієнт нахилу функцій на рис. 3.21 наближується до нуля, від 2 до 5 год. у залежності від типів і періодів вегетації культур).

Таким чином, на підставі отриманих результатів розробки та дослідження математичної моделі процесу вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу в зоні вирощування було встановлено перелік фізичних і

конструктивних параметрів теплиць та фізико-біологічних факторів і явищ, які впливають на функціональні характеристики відповідних систем живлення тепличних культур двоокисом вуглецю, як показано на рис. 3.22.



Рисунок 3.22 – Уточнена функціональна схема процедури вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу під час вирощування

На рис. 3.22 введено наступні позначення: $T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування; $C_{CO2\ in}$ – концентрація двоокису вуглецю в зоні вирощування; $v_{air\ in}$ – швидкість руху потоків повітря в теплиці; $v_{air\ out}$ – швидкість руху потоків повітря навколишнього середовища; $C_{CO2\ out}$ – концентрація двоокису вуглецю в атмосфері довколишнього середовища; $D_{air\ out}$ – напрямок руху потоків повітря навколишнього середовища; r_v – відсоток відкриття механізмів системи вентиляції; k_{air} – кратність обміну повітрям; CON_{CO2} – витрата двоокису вуглецю.

Отже, розроблена функціональна схема, яку наведено на рис. 3.22, дозволяє реалізувати функцію адаптивного до типів і періодів вегетації культур прецизійного керування технологічними режимами підкормки тепличних культур вуглекислим газом з обліком вищезаявлених інформативних параметрів і дестабілізуючих факторів за результатами комп'ютеризованого неруйнівного вимірювального моніторингу основних характеристик

внутрішнього мікроклімату теплиць і зовнішніх атмосферних параметрів у режимі реального часу з подальшою нечіткою трансформацією вимірювальної інформації.

3.4 Висновки до розділу

В даному розділі магістерської кваліфікаційної роботи розроблено математичну модель та досліджено процес моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць, що дозволило обґрунтувати вимоги до апаратних і програмних компонент КС; розроблено та проаналізовано на якісному й кількісному рівнях математичну модель процесу моніторингу вологості повітря зони вирощування; розроблено та досліджено математичну модель комп'ютеризованого моніторингу концентрації вуглекислого газу, в результаті аналізу отриманих даних встановлено перелік фізичних і конструктивних параметрів теплиць та фізико-біологічних факторів і явищ, які впливають на функціональні характеристики відповідних систем живлення тепличних культур двоокисом вуглецю.

4 ВИМОГИ ДО АПАРАТНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

4.1 Вимоги до апаратно-програмного забезпечення комп'ютеризованої системи моніторингу стану мікроклімату теплиць

Промислові тепличні комплекси являють собою складні інженерні споруди, в яких повинен забезпечуватись безперервний прецизійний моніторинг мікрокліматичних параметрів із подальшою автоматичною обробкою та інтерпретацією інтегрального стану мікроклімату зони вирощування, що в свою чергу, визначає темпи, обсяги та якість виробництва овочевої продукції. Методи математичного, фізичного та імітаційного моделювання біо- та агрофізичних процесів, що протікають у тепличних комплексах, все частіше використовуються в якості засобів інтерпретації результатів комплексних експериментальних досліджень і спостережень. Значний прогрес у вдосконаленні методів моделювання, а також їх успішного застосування в практичній діяльності обумовлено високими темпами розвитку в області комп'ютерних технологій під час вирішення задач чисельного моделювання процесів, що протікають в умовах вирощування овочевих культур у штучних агроecosистемах. Такий підхід дозволяє провести основні етапи циклу досліджень із розробки й проектування КІВС моніторингу стану мікроклімату теплиць різного ієрархічного рівня.

Обґрунтування режимів функціонування КІВС моніторингу стану мікроклімату теплиць в умовах невизначеності вимірювань пов'язане з вирішенням задачі формалізованого опису досліджуваної системи. Сумарна невизначеність комплексного вимірювального моніторингу параметрів мікроклімату теплиць включає в себе: невизначеність математичного опису структури системи та її складових; динамічної моделі мікроклімату теплиць, як об'єкту контролю; вплив зовнішніх дестабілізуючих факторів і моделі агрегації

та інтерпретації інформації та ін. Також існує складність комплексного обліку внутрішніх і зовнішніх взаємодестабілізуючих впливів у динамічному режимі, які збурюють КІВС і обмежують об'єктивність аналізу вимірювальної інформації.

В основу формалізованого опису досліджуваної КІВС покладено теорію мультисенсорної агрегації та обробки вимірювальної інформації. Таким чином, базуючись на теорії мультисенсорних систем, комплексний результат обробки та аналізу вимірювальної інформації щодо інтегрального стану мікроклімату може бути знайдений наступним чином. Вимірювальні дані, що генеруються на виході сенсорів розглядаються, як сукупність впливних факторів:

$$V = \{v_i\}, \quad (4.1)$$

де V – вектор вихідних сигналів сенсорів системи; v_i – вихідний сигнал сенсора; $i=1, 2, \dots, m$ – порядковий номер сенсора системи.

З обліком припущення, що інтегральний стан мікроклімату може приймати n різних значень на підставі результатів вимірювань розподілених фізичних параметрів, множину рішень можна представити формалізованим описом:

$$U = \{u_j\}, \quad (4.2)$$

де U – вектор множини рішень щодо інтегрального стану мікроклімату; u_j – можливий стан мікроклімату; $j=1, 2, \dots, n$ – порядковий номер стану мікроклімату. Також під час використання теорії мультисенсорних систем обов'язковим є облік факторних вагових коефіцієнтів фізичних параметрів аналізованого середовища задля попередження впливу на рішення системи потужності сигналу в діапазоні між вимірювальними точками:

$$A = \{a_i\}, \quad (4.3)$$

де A – вектор вагових коефіцієнтів вихідних сигналів сенсорів; a_i – вагові коефіцієнти кожного сенсора; $i=1, 2, \dots, m$ – порядковий номер сенсора.

Вагові коефіцієнти сенсорів системи визначаються як коефіцієнти чутливості стану мікроклімату до впливних факторів і мають задовольняти умові:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m a_i = 1; \\ a_i \geq 0. \end{cases} \quad (4.4)$$

У відповідності до показників рівнів можливих інтегральних станів мікроклімату теплиць із обліком кожного фактору в загальній сукупності може бути сформована нечітка матриця належностей:

$$R = \{r_{i,j}\}_{m \times n}, \quad (4.5)$$

де $r_{i,j}$ – параметр, який демонструє вірогідність належності вихідного сигналу сенсора (v_i) до можливого стану мікроклімату (u_j).

Вірогідність виникнення кожного з інтегральних станів мікроклімату теплиць (B) можна отримати шляхом нечіткої трансформації через використання операції композиції вектора (A) і матриці (R):

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_m) \circ \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n), \quad (4.6)$$

де $b_j = \sum_{i=1}^m a_i \cdot r_{i,j}$ ($i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n$) – кореляційний зв'язок належності між двома елементами спостережень у $j^{\text{му}}$ стані.

Результати вимірювань фізико-хімічних параметрів мікроклімату теплиць

відносяться до локального рівня прийняття рішень за кожним сенсором відносно діапазонів фазифікації змінних. На підставі отриманих результатів локальної фазифікації синтезується глобальне рішення щодо інтегрального стану мікроклімату, яке базується на незалежних рішеннях від кожного сенсора системи, як показано на рис. 4.1.

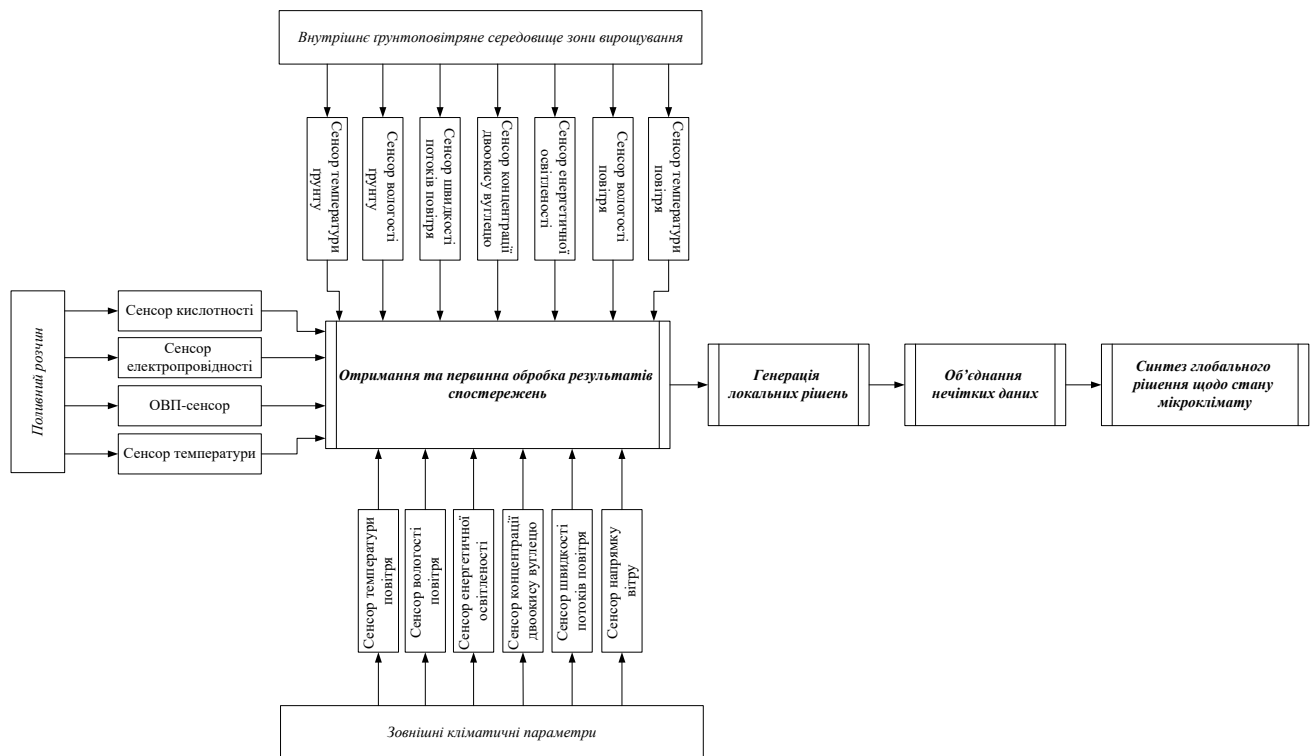


Рисунок 4.1 – Узагальнена структурна схема трансформації вимірювальної інформації з використанням досліджуваної КІВС моніторингу стану мікроклімату теплиць

У досліджуваній мультисенсорній КІВС $m=17$ сенсорів формують вектор вихідних сигналів $V=(v_1, v_2, \dots, v_{17})$. На підставі результатів формування вектора V генерується вектор локальних рішень D . Кількість елементів цього вектора в розроблюваній системі визначається за формулою (4.7), яка отримана з обліком умови генерації локального рішення на підставі комплексної інформації вимірювального моніторингу однойменних фізико-хімічних величин у внутрішньому та зовнішньому середовищах:

$$k = m - p, \quad (3.7)$$

де k – кількість елементів вектора локальних рішень; m – кількість елементів вектора вихідних сигналів сенсорів; p – кількість сенсорів однойменних фізико-хімічних величин у внутрішньому та зовнішньому середовищах теплиць, дорівнює 5 (температура повітря, вологість повітря, енергетична освітленість, швидкість потоків повітря, концентрація двоокису вуглецю). Отже, з обліком формули (4.7), вектор локальних рішень системи для кожного сенсора (сукупності сенсорів) має наступний вигляд $D=(d_1, d_2, \dots, d_{12})$. Кожне локальне рішення системи може бути розділено на j піддіапазонів та після передане до блоку об'єднання нечітких даних із метою синтезу глобального рішення щодо інтегрального стану мікроклімату.

Наступним кроком формалізованого опису досліджуваної КІВС є визначення функцій належності локальних та глобального рішень на підставі результатів вимірювального моніторингу впливних фізичних параметрів. З обліком характерних особливостей задачі комп'ютеризованого неруйнівного вимірювального моніторингу та проведеного аналізу світового досвіду побудови систем агротехнічного призначення на базі нечіткої логіки було обрано кусково-лінійні функції належності (трикутні й трапеційні), які задовольняють умові «розташоване в інтервалі». З метою забезпечення необхідного значення чутливості регулювання параметрів мікроклімату теплиць у досліджуваній задачі різницю регламентованих та поточних значень (визначається на підставі вихідних сигналів сенсорів) фізико-хімічних параметрів мікроклімату фазифіковано наступними лінгвістичними змінними: значно нижче норми (VL), нижче норми (L), норма (N), вище норми (H), значно вище норми (VH). Зовнішні кліматичні параметри фазифіковано такими термами: нижче встановленої в зоні вирощування (L), дорівнює встановленій в зоні вирощування (N), вище встановленої в зоні вирощування (H). Локальні рішення системи розділено також на п'ять піддіапазонів трапеційних функцій, що обумовлено використанням принципу широтно-імпульсного керування привідними та / або силовими блоками систем регулювання технологічних

процесів вирощування тепличних культур. Глобальне рішення щодо інтегрального стану мікроклімату формується на підставі принципу ієрархічного групування: окремо об'єднуються локальні рішення від блоків сенсорів ґрунту, аерогазового складу зони вирощування та параметрів поливного розчину; відбувається формування глобального рішення шляхом об'єднання рішень від трьох вищенаведених підсистем. Глобальне рішення (ІМС) фазифіковано п'ятьма можливими станами: значно нижче норми (GVL), нижче норми (GL), норма (GN), вище норми (GH), значно вище норми (GVH). Таким чином, у відповідності до принципів концептуального моделювання, розроблено загальну структурну схему трансформації вимірювальної інформації, яку представлено на рис. 4.2 ($T_{air\ in}$ – температура повітря в зоні вирощування; $T_{air\ out}$ – температура повітря навколишнього середовища; T_{water} – температура поливного розчину; T_{soil} – температура ґрунту; $W_{air\ in}$ – вологість повітря зони вирощування; $W_{air\ out}$ – вологість повітря навколишнього середовища; W_{soil} – вологість ґрунту; $v_{air\ in}$ – швидкість руху повітря в зоні вирощування; $E_{e\ in}(\lambda)$ – енергетична освітленість зони вирощування; $E_{e\ out}(\lambda)$ – енергетична освітленість у довколишньому середовищі; $C_{CO2\ in}$ – концентрація двоокису вуглецю в зоні вирощування; $C_{CO2\ out}$ – концентрація двоокису вуглецю в повітрі навколишнього середовища; $D_{air\ out}$ – напрямок вітру навколишнього середовища; pH_{water} – кислотність поливного розчину; OPR_{water} – ОВП поливного розчину; EC_{water} – електропровідність поливного розчину).

Таким чином, наведена на рис. 4.2 структурна схема трансформації вимірювальної інформації щодо інтегрального стану мікроклімату теплиць, із точки зору техніки автоматичного контролю й керування, є складним і багатозв'язним об'єктом, що вимагає застосування спеціальних інтелектуальних алгоритмів вимірювального моніторингу параметрів мікроклімату під час протікання технологічних процесів вирощування, задля забезпечення умов автономності, оперативності й прецизійності вимірювань та генерування сигналів керування за кожним вихідним параметром.

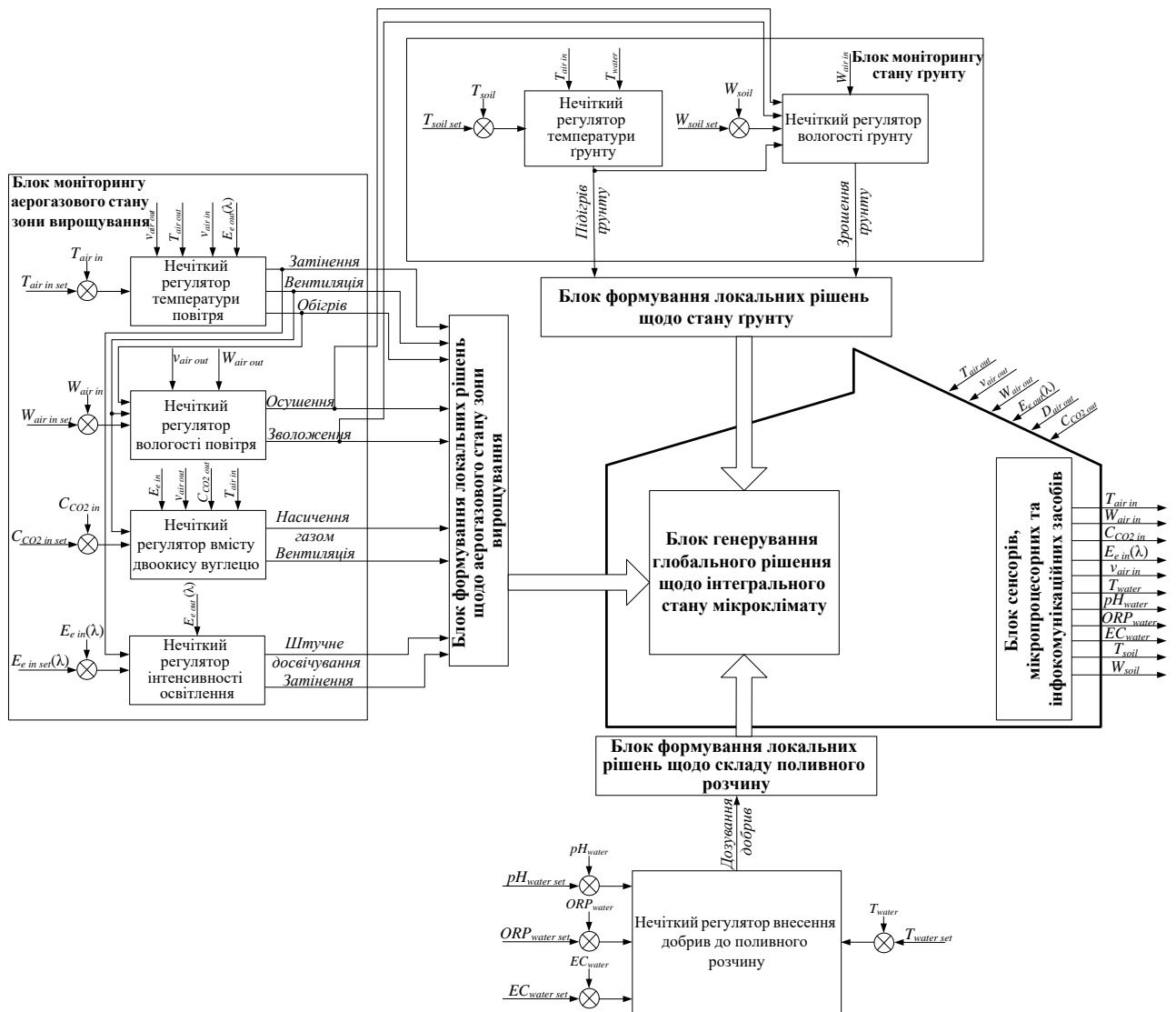


Рисунок 4.2 – Структурна схема трансформації вимірювальної інформації щодо інтегрального стану мікроклімату теплиць

4.2 Висновки до розділу

На підставі аналізу отриманих результатів щодо формалізованого опису досліджуваної КІВС, можна зробити висновок щодо доцільності й перспективності використання нечітких інтелектуальних технологій трансформації вимірювальної інформації щодо інтегрального стану мікроклімату теплиць із обліком існуючих вітчизняних і закордонних нормативних документів, що враховують інженерний дизайн споруд захищеного ґрунту, а також типи й періоди вегетації вирощуваних культур.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

5.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 5.1 та 5.2.

Таблиця 5.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	54	55	59
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		56,0		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 5.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	0	75	0
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	58	0	60
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	64,3		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [37]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (5.1)$$

де $k_{нов}$, $k_{теор}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{нов} = 56,0$, $k_{теор} = 64,3$ балів;

0,6 та 0,4 – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{нау} = 0,6 \cdot k_{нов} + 0,4 \cdot k_{теор} = 0,6 \cdot 56,0 + 0,4 \cdot 64,33 = 59,33 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{нау}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць», даний рівень становить 59,33 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

5.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

5.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп,

науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників.

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [37]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (5.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=24$ дні.

$$Z_o = 15340,00 \cdot 24 / 24 = 15340,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
1. Керівник проекту	15340,00	639,17	24	15340,00
2. Інженер-проектувальник АСУ	15150,00	631,25	24	15150,00
3. Консультант (агроном тепличного господарства)	15200,00	633,33	5	3166,67
4. Лаборант	6845,00	285,21	14	3992,92
Всього				37649,58

Основна заробітна плата робітників.

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (5.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (5.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [37];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 24$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,50 \cdot 1,65 / (24 \cdot 8) = 86,37 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 86,37 \cdot 8,00 = 690,94 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
1. Розміщення обладнання	8,00	4	1,50	86,37	690,94
2. Інсталяція програмного забезпечення	5,10	5	1,70	97,88	499,20
3. Підготовка автоматизованого робочого місця проектувальника	4,20	2	1,10	63,34	266,01
4. Встановлення компонентів системи контролю мікроклімату теплиці	16,00	4	1,50	86,37	1381,88
5. Налаштування режимів роботи	5,20	3	1,35	77,73	404,20
6. Контроль процесу випробування та протікання експерименту	4,20	5	1,70	97,88	411,11
Всього					3653,33

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників.

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{дод}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{дод}}}{100\%}, \quad (5.5)$$

де $H_{\text{дод}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 10%.

$$Z_{\text{дод}} = (37649,58 + 3653,33) \cdot 10 / 100\% = 4130,29 \text{ грн.}$$

5.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{од}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%}, \quad (5.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (37649,58 + 3653,33 + 4130,29) \cdot 22 / 100\% = 9995,31 \text{ грн.}$$

5.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць». Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей. Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (5.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 2,0 \cdot 215,00 \cdot 1,12 - 0 \cdot 0 = 481,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
1. Папір канцелярський офісний	215,00	2,0	0	0	481,60
2. Компакт-диски (CD)	12,00	4,0	0	0	53,76
3. Офісна тека FIX-120	125,00	3,0	0	0	420,00
4. Канцелярські товари (ручки, файли, бокси)	201,00	2,0	0	0	450,24
5. Тонер для принтера	850,00	0,1	0	0	95,20
6. Вода технічна, м ³	15,00	0,2	0	0	3,36
7. Фум-стрічка, м	3,40	0,8	0	0	3,05
8. Наповнювач (імітатор ґрунту)	8,50	100,0	0	0	952,00
9. Труба ПНД-10 (d-15)	90,00	3,5	0	0	352,80
10. Труба вентиляційна ПП (d-120)	62,00	3,50	0	0	243,04
11. Плівка поліетиленова, м ²	9,20	40,00	0	0	412,16
12. Термокабель, м	125,00	8,00	0	0	1120,00
Всього					4587,21

5.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (5.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$K_6 = 1 \cdot 320,00 \cdot 1,12 = 358,40$ грн.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Каркас моделі теплиці	1	320,00	358,40
Регулятор тиску	1	68,00	76,16
Вентилятор	2	350,00	784,00
Фільтр повітряний	2	15,00	33,60
Клапан електромагнітний	1	123,00	137,76
Розпилювач	4	42,00	188,16
Комплект підключення поливу	1	215,00	240,80
Датчик вологості	2	45,00	100,80
Датчик температури	2	68,00	152,32
Мікроконтролер	1	275,00	308,00
Комплект кабелів	2	126,00	282,24
Насос	1	654,00	732,48
Джерело живлення	1	322,00	360,64
Блок керування системи моніторингу	1	1890,00	2116,80
Лампи спектральні	2	88,00	197,12
Всього			6069,28

5.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення. Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (5.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;
 $C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.; K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1,10 \dots 1,12$); k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 5820,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 6460,20 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Програматор цифровий	1	5820,00	6460,20
Метрологічний комплекс МВК-14	1	12350,00	13708,50
Всього			20168,70

5.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення. Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{прог}} = \sum_{i=1}^k C_{\text{прог}} \cdot C_{\text{прог},i} \cdot K_i, \quad (5.10)$$

де $C_{\text{прог}}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;
 $C_{\text{прог},i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.; K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$); k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{\text{прог}} = 4692,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 5208,12 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 5.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	4692,00	5208,12
Пакет Microwave Office	1	3864,00	4289,04
Пакет MATLAB SIMULINK	1	4328,00	4804,08
Всього			14301,24

5.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{е}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (5.11)$$

де $Ц_{б}$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн; $t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців; $T_{е}$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (45599,00 \cdot 1) / (2 \cdot 12) = 1899,96 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 5.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	45599,00	2	1	1899,96
Обладнання виводу інформації Лазерний принтер EPSON LaserJet Pro M102w c Wi-Fi (G3Q35A)	6599,00	4	1	137,48
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	7845,00	5	1	130,75
Офісна оргтехніка	7899,00	5	1	131,65
Приміщення лабораторії досліджень	643000,00	20	1	2679,17
ОС Windows 11	8380,00	2	1	349,17
Пакет Microsoft Office 2019	7864,00	2	1	327,67
Всього				5655,84

5.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (5.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,23 \cdot 160,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 228,16 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Програмно-аналітичний комплекс проектування на базі ПК ASUS i5-DJK-0002415	0,23	160,0	228,16
Обладнання виводу інформації Лазерний принтер EPSON LaserJet Pro M102w c Wi-Fi (G3Q35A)	0,12	9,0	6,70
Робоче місце інженера-дослідника спеціалізоване	0,13	160,0	128,96
Офісна оргтехніка	0,72	3,2	14,28
Програматор цифровий	0,03	4,0	0,74
Вентилятор	0,02	120,0	14,88
Насос	0,10	120,0	74,40
Лампи спектральні	0,15	120,0	111,60
Метрологічний комплекс MBK-14	0,30	120,0	223,20
Всього			802,92

5.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень. Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (z_o + z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (5.13)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», приймемо $H_{cb} = 25\%$.

$$B_{cb} = (37649,58 + 3653,33) \cdot 25 / 100\% = 10325,73 \text{ грн.}$$

5.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (z_o + z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (5.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», приймемо $H_{cn} = 35\%$.

$$B_{cn} = (37649,58 + 3653,33) \cdot 35 / 100\% = 14456,02 \text{ грн.}$$

5.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_g = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ig}}{100\%}, \quad (5.15)$$

де H_{ig} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ig} = 70\%$. $I_g = (37649,58 + 3653,33) \cdot 70 / 100\% = 28912,04$ грн.

5.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 130\%$.

$$B_{нзв} = (37649,58 + 3653,33) \cdot 130 / 100\% = 53693,79$$
 грн.

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{\text{заг}} = Z_o + Z_p + Z_{\text{дод}} + Z_n + M + K_g + B_{\text{снец}} + B_{\text{прз}} + A_{\text{обл}} + B_e + B_{\text{св}} + B_{\text{ст}} + I_g + B_{\text{изв}}. \quad (5.17)$$

$$B_{\text{заг}} = 37649,58 + 3653,33 + 4130,29 + 9995,31 + 4587,21 + 6069,28 + 20168,70 + 14301,24 + 5655,84 + 802,92 + 10325,73 + 14456,02 + 28912,04 + 53693,79 = 214401,28 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{\text{заг}}}{\eta}, \quad (5.18)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,95$.

$$ZB = 214401,28 / 0,95 = 225685,56 \text{ грн.}$$

5.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер. Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (5.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I=4$; n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n=0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n=1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n=2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n=3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n=2$; T_C – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_C=3$; R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R=4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R=3$; якщо нижче відомих результатів, то $R=1$. Прийmemo $R=4$; B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B=225685,56$ грн; t – час проведення дослідження. Прийmemo $t=0,08$ років, (1 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [37].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^2 \cdot 3 \cdot 4 / 225,7 \cdot 0,08 = 10,21.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5.4 Висновок до розділу

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» складають 225685,56 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Комп'ютеризована система моніторингу стану мікроклімату теплиць» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи було обґрунтовано необхідність безперервного моніторингу наступних параметрів: температура повітря й ґрунту, інтенсивність сонячного опромінення, період освітлення, відносна вологість повітря і ґрунту, концентрація вуглекислого газу в повітрі, кислотність, електрична провідність, окислювально-відновлювальний потенціал і температура поливного розчину.

У другому розділі магістерської кваліфікаційної роботи проаналізовано відомі технічні рішення з побудови систем моніторингу стану мікроклімату теплиць. У результаті цього встановлено, що на сьогоднішній день недостатньо опрацьованими є питання апаратно-програмного та інформаційно-вимірювального забезпечення відповідних систем.

Встановлено, що вирішення питань розробки й дослідження КС моніторингу стану мікроклімату в складі автоматичних комплексів керування дозволить підвищити ефективність тепличного вирощування.

В третьому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розроблено математичну модель та досліджено процес моніторингу температури повітря в зоні вирощування теплиць, що дозволило обґрунтувати вимоги до апаратних і програмних компонент КІВС:

– оціночні середні значення постійної сумарної питомої теплової енергії, яка є достатньою для забезпечення регламентованих режимів вирощування типових тепличних культур, є наступними: в осінньо-зимовий цикл вирощування: для огірків до плодоношення – 22,4 кВт·год/м³, у період плодоношення – 25,1 кВт·год/м³; в весняно-літній цикл: для огірків до плодоношення – 3,5 кВт·год/м³, у період плодоношення – 8,9 кВт·год/м³; в осінньо-зимовий цикл вирощування: для томатів до плодоношення – 25,1 кВт·год/м³, у період плодоношення – 27,6 кВт·год/м³; в весняно-літній цикл: для томатів до плодоношення – 8,9 кВт·год/м³, у період плодоношення – 11,6 кВт·год/м³;

– облік типів і періодів вегетації культур, сезонності й геометричних розмірів теплиць призводить до складного вигляду функції динаміки температури, що обумовлює практичну неможливість реалізації підсистем моніторингу параметрів температурного режиму вирощування з використанням класичних підходів до трансформації вимірювальної інформації на базі відомих аналітичних залежностей, а отже, виникає необхідність побудови таких підсистем на базі теоретичного апарату нечіткої логіки.

Розроблено та проаналізовано на якісному й кількісному рівнях математичну модель процесу моніторингу вологості повітря зони вирощування:

– часовий діапазон досягнення регламентованого сталого значення вологості повітря зони вирощування залежить від об'єму теплиць, типів і періодів вегетації й сезонного циклу вирощування культур та змінюється в діапазоні 1,5 год. до 2 год. за номінальної продуктивності систем зволоження й вентиляції;

– облік значної кількості атмосферних параметрів, конструктивних характеристик теплиць і фізико-біологічних процесів вирощування тепличних культур, а також наявність функціональних зв'язків вологості повітря з поточним рівнем вологи в ґрунті та температурою й тиском повітря зони вирощування обумовлює необхідність побудови підсистеми комп'ютеризованого моніторингу вологісного режиму вирощування тепличних культур на базі адаптивних алгоритмів із використанням математичного апарату теорії нечіткої логіки.

Розроблено та досліджено математичну модель комп'ютеризованого моніторингу концентрації вуглекислого газу. В результаті аналізу отриманих даних встановлено перелік фізичних і конструктивних параметрів теплиць та фізико-біологічних факторів і явищ, які впливають на функціональні характеристики відповідних систем живлення тепличних культур двоокисом вуглецю: явища дифузії та фотосинтезу знаходяться в різних пропорціях між собою (від 0,2 до 2 год. у залежності від типів і періодів вегетації культур) та сталий режим, у якому спостерігається рівновага дифузії та фотосинтезу

практично рівні між собою (від 2 до 5 год. у залежності від типів і періодів вегетації культур).

У четвертому розділі магістерської кваліфікаційної роботи проведено аналіз отриманих результатів щодо формалізованого опису досліджуваної КІВС, зроблено висновок щодо доцільності й перспективності використання нечітких інтелектуальних технологій трансформації вимірювальної інформації щодо інтегрального стану мікроклімату теплиць із обліком існуючих вітчизняних і закордонних нормативних документів, що враховують інженерний дизайн споруд захищеного ґрунту, а також типи й періоди вегетації вирощуваних культур.

Також, у п'ятому розділі магістерської кваліфікаційної роботи розраховано економічну ефективність від впровадження системи. На основі порівняння системи з існуючими аналогами доведено її перевагу над ними.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ting K.C., Lin T., Davidson P.C. Integrated urban controlled environment agriculture systems. In book: LED Lighting for Urban Agriculture. Singapore, 2016. P. 19–36.
2. Shamschiri R., Kalantari F., Ting K.C., Thorp K.R., Hameed I.A., Weltzien C., Ahmad D., Shad Z.M. Advances in greenhouse automation and controlled environment agriculture: A transition to plant factories and urban agriculture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018. Vol. 11 (1). – P. 1–22.
3. Nelkin J., Caplow T. Sustainable controlled environment agriculture for urban areas. *Acta horticulturae*. 2008. Vol. 801. P. 449–455.
4. Kacira M., Sase S., Okushima L. Optimization of vent configuration by evaluating greenhouse and plant canopy ventilation rates under wind-induced ventilation. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*. 2004. Vol. 47 (6). P. 2059–2067.
5. Waaijenberg D., Sonneveld P.J. Greenhouse design for the future with a cladding material combining high insulation capacity with high light transmittance. *Acta horticulturae*. 2004. Vol. 633. P. 137 – 143.
6. Graefe J., Sandmann M. Shortwave radiation transfer through a plant canopy covered by single and double layers of plastic. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2015. Vol. 201. P. 196–208.
7. Pollet I.V., Pieters J.G. PAR transmittances of dry and condensate covered glass and plastic greenhouse cladding. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002. Vol. 110 (4). P. 285–298.
8. Good agricultural practices for greenhouse vegetable crops: Principles for mediterranean climate areas / W. Baudoin et al. Rome: FAO, 2013. 640 p.
9. Good Agricultural Practices for greenhouse vegetable production in the South East European countries / W. Baudoin et al. Rome: FAO, 2017. 449 p.
10. American Society of Agricultural and Biological Engineers ANSI/ASAE

- EP406.4 JAN2003 (R2008) Heating, Ventilating and Cooling Greenhouses. URL: <http://materialstandard.com/wp-content/uploads/2019/07/ANSI-ASABE-E-P406-4-JAN2003-R2008.pdf>
11. Hellickson M.A., Walker J.N. Ventilation of agricultural structures. St. Joseph: American Society of agricultural engineers, 1983. 372 p.
12. NGMA: Greenhouse Heating Efficiency Design Considerations. URL: https://www.hort.vt.edu/ghvegetables/documents/Greenhouse%20Heating_Energy/HeatingEffnNGMA.pdf
13. Food and agriculture organization of the united nations: FAOSTAT. URL: <http://www.fao.org/faostat/en/#home>
14. Both A.J., Benjamin L., Franklin J., Holroyd G., Incoll L.D., Lefsrud M.G., Pitkin G. Guidelines for measuring and reporting environmental parameters for experiments in greenhouses. *Plant Methods*. 2015. Vol. 11 (43). P. 1–18.
15. ВНТП АПК-19-07. Тепличні і оранжерейні підприємства. Споруди захищеного ґрунту для фермерських (селянських) господарств: Відомчі норми технологічного проектування. [Чинний від 2007-08-01]. Вид. офіц. Київ: М-во аграр. політ. України, 2007. 140 с.
16. NCERA-101: Committee on Controlled Environment Technology and Use. URL: <https://www.controlledenvironments.org/wpcontent/uploads/sites/6/2017/05/Greenhouse-Guidelines.pdf>
17. Laktionov I., Vovna O., Zori A. Concept of low cost computerized measuring system for microclimate parameters of greenhouses. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2017. Vol. 23 (4). P. 668–673.
18. Jorgensen M.H. Agricultural field production in an ‘Industry 4.0’ concept. *Agronomy Research*. 2018. Vol. 16 (1). P. 94–102.
19. Chybowski L, Gawdzinska K.. Selected issues regarding achievements in component importance analysis for complex technical systems. *Scientific Journals of the Maritime University of Szczecin*. 2017. Vol. 52 (144). P. 137–144.
20. Espiritu J.F., Coit D.W., Prakash U. Component criticality importance measures

- for the power industry. *Electric Power Systems Research*. 2007. Vol. 77. P. 407–420.
21. Kuo W., Zhu X. *Importance Measures in Reliability, Risk, and Optimization: Principles and Applications*. Hoboken: John Wiley & Sons Inc., 2012. 472 p.
 22. Chybowski L. *Application of External Events Vectors for Defining Reliability Structure of Fishing Vessels Power, Propulsion and Technological Plants*. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2009. Vol. 18 (2A). P. 45–50.
 23. VYR: Importance measures for the dynamic flowgraph methodology. URL: <https://www.vtt.fi/inf/julkaisut/muut/2011/VTT-R-00525-11.pdf>
 24. Ministry of Agriculture and Forestry: Supports the growth, diversification and sustainability of Alberta's agriculture and forest industries. URL: <https://www.alberta.ca/agriculture-and-forestry.aspx>
 25. Ahn Y.D., Bae S., Kang S.-J. Power Controllable LED System with Increased Energy Efficiency Using Multi-Sensors for Plant Cultivatio. *Energies*. 2017. Vol. 10 (1607). P. 1–13.
 26. Vu Q.M. *Automated Wireless Greenhouse Management System: Master of Engineering Thesis / School of Engineering and Advanced Technology Massey University, Palmerston North, 2011*. 173 p.
 27. Shirsath D.O., Kamble P., Mane R., Kolap A., More R.S. IoT based smart greenhouse automation using Arduino. *International Journal of Innovative Research in Computer Science & Technology*. 2017. Vol. 5 (2). P. 234–238.
 28. Zade A.V., Harwani S., Bawankule P. A smart green house automation system by wireless sensor networks. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2017. Vol. 5 (3). P. 48–50.
 29. Xu F., Chen J., Zhang L., Zhan H. Self-tuning Fuzzy Logic Control of Greenhouse Temperature using Real-coded Genetic Algorithm. 9th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision (Singapore, 05 Dec. 2006). Singapore, 2006. P. 1–6.
 30. Pan H., Xing W., Xu S., Lin X. Design of a new intelligent fuzzy control system of greenhouse temperature. 7th World Congress on Intelligent Control and

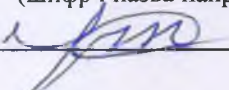
- Automation (Chongqing, 25 – 27 Jun. 2008). Chongqing, 2008. P. 8869–8872.
31. Ito K., Hara Y. Multipoint-measurement multipoint-heating greenhouse temperature control with wooden pellet fuel using an adaptive model predictive control approach with a genetic algorithm. 25th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED) (Valletta, 03 – 06 July 2017). Valletta, 2017. P. 54 – 59.
 32. Tykhan M., Dilay I., Markovych V. Study of the influence of a fast changing temperature on metrological characteristics of the tensoresistive pressure sensor. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. Vol. 1 (7). P. 30–37.
 33. Du Y.S., Ma J., Qin L.L., Zhang H.B., Wu G. Application of generalized predictive control algorithm for temperature control in modern greenhouse. 35th Chinese Control Conference (CCC) (Chengdu, 27 – 29 July 2016). Chengdu, 2016. P. 4342–4347.
 34. Robles Algarin C., Polo Llanos A. Low-Cost Fuzzy Logic Control for Greenhouse Environments with Web Monitoring. Electronics. 2017. Vol. 6 (71). P. 1–12.
 35. Faouzi D., Bibi-Triki N., Mohamed B., Abene A. Optimization, Modeling and Simulation of Microclimate and Energy Management of the Greenhouse by Modeling the Associated Heating and Cooling Systems and Implemented by a Fuzzy Logic Controller using Artificial Intelligence. Informatica. 2017. Vol. 41. P. 317–331.
 36. Chandraprabha M., Uma K. Controlling of Green House Parameters through GSM and LabVIEW System. International Journal for Scientific Research & Development. 2017. Vol. 5 (7). P. 358–362.
 37. Література: Методичні вказівки до виконання економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт / Уклад. : В. О. Козловський, О. Й. Лесько, В. В. Кавецький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 42 с.

Додаток А
(обов'язковий)


ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ
МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

Виконав: студентка 2-го курсу, групи КІВТ-21м
спеціальності 152 – Метрологія та інформаційно-
вимірювальна техніка

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

 Філіпенко І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц., доц. каф. ІРТС

 Маньковська В.С.
(прізвище та ініціали)

«16» 12 2022 р.

Вінниця ВНТУ - 2022 рік



Рисунок 1 – Структурна схема моніторингу температури зони вирощування

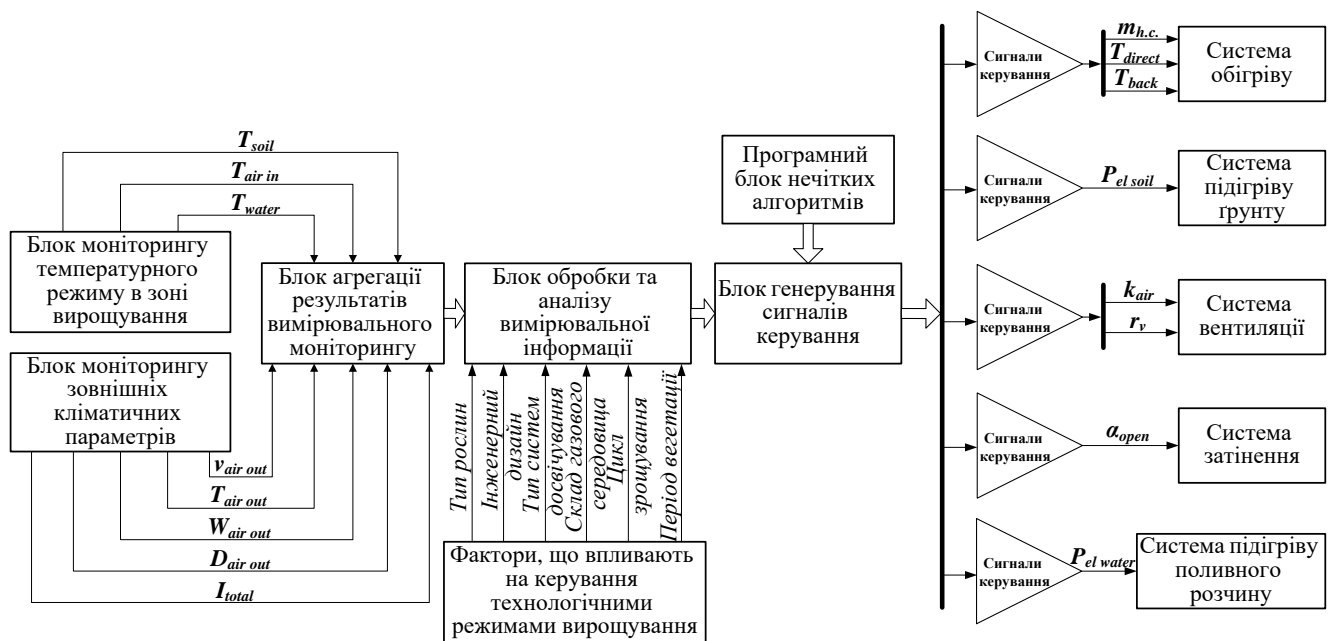


Рисунок 2 – Уточнена функціональна схема процедури комп'ютеризованого моніторингу параметрів температурного режиму вирощування



Рисунок 3 – Структурна схема моніторингу вологості повітря теплиці

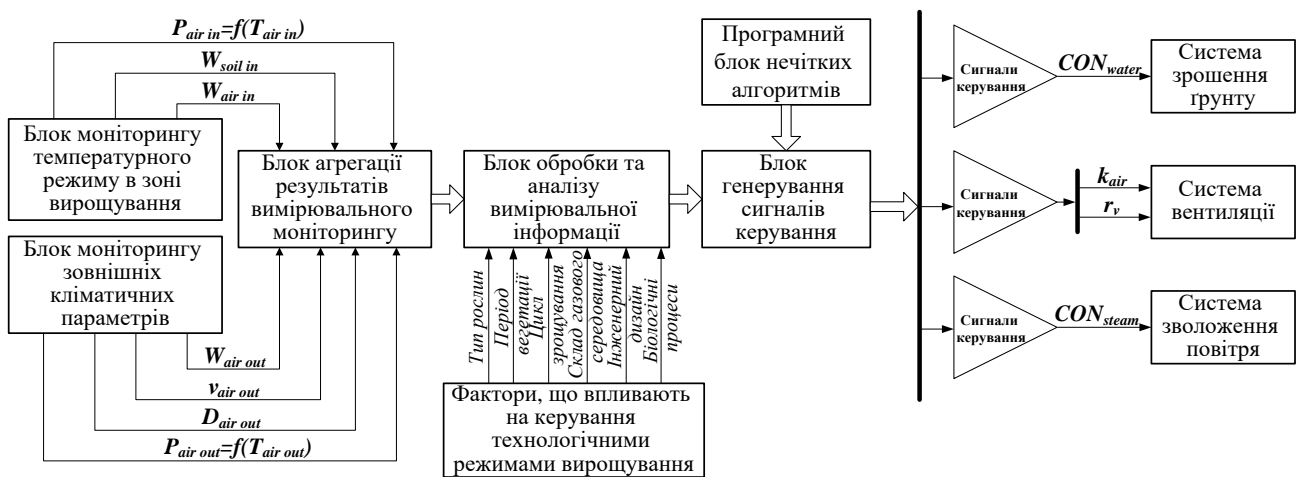


Рисунок 4 – Уточнена функціональна схема процедури моніторингу вологісного режиму вирощування

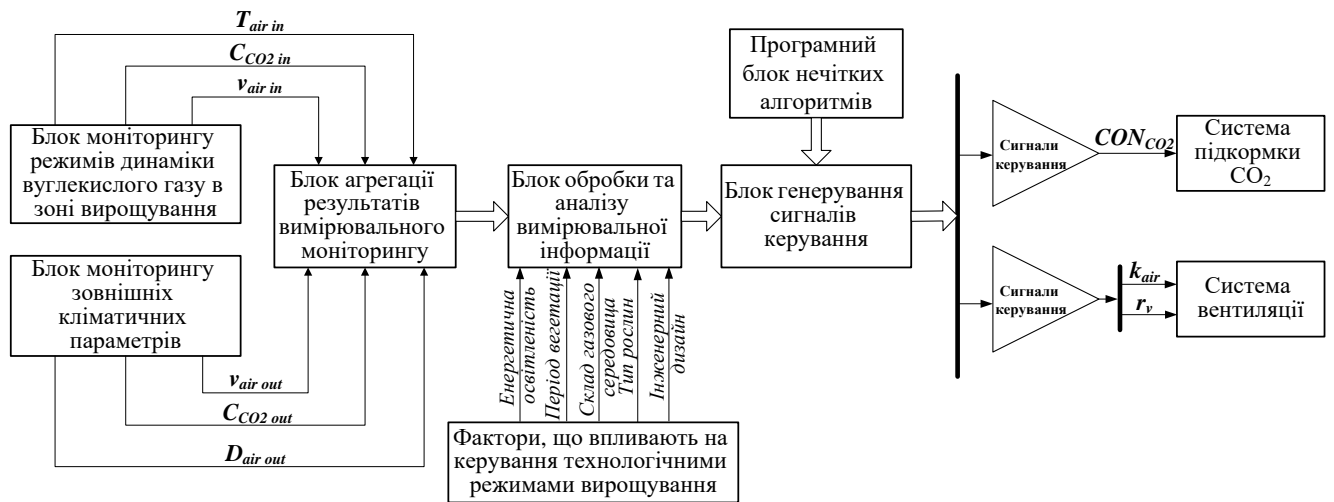


Рисунок 5 – Уточнена функціональна схема процедури вимірювального моніторингу концентрації вуглекислого газу під час вирощування

Додаток Б
(обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ РОБОТИ
КОМП'ЮТЕРИЗОВАНА СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ СТАНУ
МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦЬ

**ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ**

Назва роботи: «Комп'ютеризована система моніторингу
стану мікроклімату теплиць»

Тип роботи: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)

Підрозділ кафедра ІРТС
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unichesk

Оригінальність 96,4% Схожість 3,6%

Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

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


Особа, відповідальна за перевірку


(підпис)

Маньковська В.С.
(прізвище, ініціали)


Ознайомлені з повним звітом подібності, який був згенерований системою Unichesk щодо роботи.

Автор роботи


(підпис)

Філіпенко І. В.
(прізвище, ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Маньковська В.С.
(прізвище, ініціали)