

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет ракетно-космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

Пояснювальна записка
до дипломного проєкту (роботи)
(тип кваліфікаційної роботи)

магістр

(освітній ступінь)

на тему «Методика 3D моделювання системи “гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних»

ХАІ.407.465М.24О103.1704068ПЗ

Виконав: студент(ка) 2 курсу групи № 465М

Спеціальність 103 Науки про Землю
(код та найменування)

Освітня програма Космічний моніторинг Землі
(найменування)

Кошель І.О.

(прізвище та ініціали студента (ки))

Керівник: Даншина С.Ю.

(прізвище та ініціали)

Рецензент: Іващук Б.М.

(прізвище та ініціали)

Харків – 2024

**Міністерство освіти і науки України
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»**

Факультет ракетно – космічної техніки

Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 Науки про Землю

—
(код та найменування)
Освітня програма Космічний моніторинг Землі
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Станіслав ГОРЕЛИК

(підпис)

« 23 » жовтня 2023 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кошель Ігор

Олексійович

—
(прізвище, ім'я, по батькові)
Тема випускної роботи «Методика 3D моделювання системи “гідропонного”
вирощування з використанням дистанційних даних»

керівник кваліфікаційної роботи Даншина С.Ю., к. т. н, професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету №2001-уч від «15» листопада 2023 року

2. Термін подання студентом кваліфікаційної роботи 11.01.2024

3. Вихідні дані до роботи

1) Дистанційні дані з безпілотних літальних апаратів

2) Програмне забезпечення (SolidWorks)

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)

Розгляд системи керування автономних гідропонних комплексів. Проектування алгоритмів роботи способом побудування блок-схем. Дослідження системи вертикального комплексу на вирощуванні двох видів культур.

5. Перелік графічного матеріалу Презентація роботи в Microsoft Power Point з поясненням особливостей сучасного вертикального гідропонного комплексу, його перспективи, алгоритму роботи виконавчих вузлів. Результат експериментального дослідження розглянутих системних вузлів.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Основна частина	<u>Даншина С.Ю.</u>	23.10.23	11.01.24
	<i>Завідуючий кафедрою 407</i>		

Нормоконтроль _____ Красовська І.Г. «19» 01 2024 р.
 (підпис) (ініціали та прізвище)

7. Дата видачі завдання _____ 23.10.2023 _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Аналіз та дослідження ВГК	23.10.23-8.11.23	
2	Актуальність роботи , огляд джерел	9.11.23-19.11.23	
3	Опис існуючих ВГК	20.11.23-28.11.23	
4	Розбір алгоритму роботи системи автоматизації тепличного комплексу	29.11.23-2.12.23	
5	3D моделювання та дослідження алгоритму роботи системи ВГК	3.12.23-14.12.23	
6	Розрахунок економічної частини	15.12.24-30.12.23	
7	Написання пояснювальної записки та презентації	2.01.24-11.01.24	

Студент _____
 (підпис)

Ігор КОШЕЛЬ
 (ініціали та прізвище)

**Керівник дипломної
 (кваліфікаційної) роботи** _____
 (підпис)

Світлана ДАНШИНА
 (ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження - процеси побудови 3D моделей системи "гідропонного" вирощування з використанням дистанційних даних.

Мета роботи: підвищення ефективності управління системи "гідропонного" вирощування за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних.

Методи дослідження: методика 3D моделювання системи "гідропонного" вирощування з використанням дистанційних даних.

Отримані результати: розроблена методика 3D моделювання системи ВГК дозволила підвищити ефективність управління системою "гідропонного" вирощування за рахунок комплексного використання контактних і дистанційних даних.

Ключові слова: ГІДРОПОНІКА, 3D МОДЕЛЬ, СІТІ ФЕРМА, ДИСТАНЦІЙНІ ДАННІ, ЗАПОБІГАННЯ ГОЛОДУ, ЕФЕКТИВНЕ ВИРОЩУВАННЯ РОСЛИН, АЕРОПОНІКА, ІНОВАЦІЙНЕ ФЕРМЕРСТВО.

ABSTRACT

The object of research is the process of building 3D models of the "hydroponic" cultivation system using remote data.

The purpose of the work: increasing the efficiency of the management of the "hydroponic" cultivation system due to the complex use of contact and remote data.

Research methods: the method of 3D modeling of the "hydroponic" cultivation system using remote data.

Obtained results: the developed technique of 3D modeling of the VHC system allowed to increase the efficiency of the management of the "hydroponic" cultivation system due to the complex use of contact and remote data.

Keywords: HYDROPONICS, 3D MODEL, CITY FARM, REMOTE SENSING, HUNGER PREVENTION, EFFICIENT PLANT GROWING, AEROPONICS, INNOVATIVE FARMING.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 РДОПИС ІСНУЮЧИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГІДРОПОННИХ КОМПЛЕКСІВ, ОСОБЛИВОСТІ ІХ ВСТАНОВЛЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ.....	10
1.1 Особливості ВГК, його відмінність від ГТК	10
1.2 Установка і експлуатація ВГК	14
1.3 Регульовані параметри в системі ВГК	15
1.3.1 Освітлення	15
1.3.2 Регулювання оптимальної температури і вологості в ВГК	16
1.3.3 Підтримка рівня вуглекислотного газу CO ₂	19
1.3.4 Гідропонний полив	20
РОЗДІЛ 2 РОЗБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО І ВЕРТИКАЛЬНОГО ГІДРОПОННОГО КОМПЛЕКСУ.....	24
2.1 Існуючий алгоритм роботи, автоматизованої ГТК	24
2.2 Алгоритм керування окремими параметрами ВГК	27
2.2.1 Алгоритм керування температурою	28
2.2.2 Алгоритм керування вологістю	29
2.2.3 Алгоритм керування освітленням	30
2.2.4 Алгоритм керування подачі CO ₂	32
2.3 Алгоритм керування цілою системою ВГК	32
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ НА ДАНИХ ЗРОСТАННЯ РОЗГЛЯНУТИХ КУЛЬТУР.....	40
3.1 Вихідні параметри досліджуваного тепличного комплексу	40
3.2 Результати систем керування ВГК на прикладі вирощування культури №1	44
3.3 Результати систем керування ВГК на прикладі вирощування культури №2	50

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА 3D МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ “ГІДРОПОННОГО” ВИРОЩУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ.....	57
4.1 Аналіз програмного забезпечення для побудови 3D моделювання системи “гідропонного”	57
4.2 Побудова 3D моделей у SOLIDWORKS	58
4.3 Створення бази геоданих стану культур у ВКГ за основними параметрами	59
4.4 Система прийняття рішень для підвищення ефективністю управління системи “гідропонного” вирощування	61
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕНЬ.....	63
5.1 Важливість розвитку ринку вертикальних гідропонних комплексів.	63
5.2 Тенденції розвитку вертикальних гідропонних комплексів з позиції стартапу «iFarm».	64
5.3 Розрахунок капітальних вкладень	65
5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	67
5.4.1 Фонд оплати праці	67
5.5 Розрахунок річних доходів	70
5.6 Розрахунок чистого прибутку	71
5.7 Розрахунок періоду окупності вертикальної ферми	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	73
ДОДАТОК А Плакат за темою «Методика 3D моделювання системи “гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних»	75
ДОДАТОК Б Презентація за темою «Використання даних ДЗЗ для вибору земельної ділянки під будівництво нафтопереробного комбінату»	

ВСТУП

Кілька десятків років тому теплиці представляли собою компактні засклені, або обтягнуті плівкою споруди без будь-яких технічних ознак. Сьогодні – це сучасні тепличні комплекси з регульованим освітленням і мікрокліматом, обладнанням, що дозволяє вирощувати практично будь-які культури круглий рік. Конкуренція і бажання отримати максимальний врожай з найменшими витратами, постійно рухають науку вперед, радує аграрія новими розробками. Одними з яких є вертикальні тепличні комплекси, які були запропоновані ще в 1999 році. Вертикальне землеробство хоч і стало можливим з винаходом світлодіодів в 60-х роках 20 століття, але прорив стався в останні 10 років, коли світлодіоди стали доступними і настільки ефективними, що вони скасовують економіку внутрішнього землеробства. А повна автономність дозволяє дотримуватися обраних режимів вирощування зелені дистанційно, а участь людини в процесі робить мінімальним. Основною перевагою вертикальних тепличних комплексів, є збільшення врожайності при меншій площі землі, а також можливість вирощувати велику кількість культур одночасно, оскільки культури не використовують одні і ті ж ділянки землі для вирощування. Виробництво більшої кількості продуктів харчування при менших витратах є критичною проблемою в міру зростання населення світу.

Одним із завдань побудови вертикальних автономних вертикальних комплексів полягає в тому, що планета голодує, скептично налаштовані люди, можуть заперечити, нібито формально голодують тільки слаборозвинені держави Азії і Африки, але мало хто замислюється про масштаби даної проблеми. Сьогодні кожен дев'ятий житель планети голодує, тобто майже 820 мільйонів, ще згідно з даними ВООЗ 1.3 мільярда відчують нестачу їжі. Багато країн в сучасному світі відчують нестачу орних земель, до 2050-го року населення планети зросте до 9.5 мільярда, до того ж, якщо додати сюди кліматичні зміни, і зменшення запасів прісної води, картина майбутнього

вийде не з приємних. Нам потрібно буде виробляти більше продовольства, не маючи більше землі, з меншою кількістю води і не забруднюючи наше довкілля. І тут полягає питання, як же збільшити обсяги продовольства. Такі пережитки минулого, як незорані поля, бабусині городи, їм на заміну прийшли спочатку звичайні теплиці, а після вертикальні гідропонні комплекси.

Розвивається типологія вертикальних тепличних комплексів, вона надала нові можливості для архітектури та міського проектування, об'єднавши виробництво продуктів харчування і архітектуру. Концепти майбутнього в області агропромислової архітектури передбачають інтеграцію вертикальних ферм з містом, в так званому симбіотичному відношенні. У багатьох пропозиціях передбачається, що комплекси в найближчому майбутньому будуть збирати органічні відходи, вуглекислий газ, гній, CO₂ і надлишок тепла від заводів і фабрик, перетворювати їх в біогаз для опалення та охолодження. Таким чином, не тільки зможуть вирощувати їжу, але і допомагати в розробці стійких рішень для кращого використання енергії, тепла, відходів і води.

Мета роботи:

– підвищення ефективності управління системи “гідропонного” вирощування за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних

Основна ідея гідропоніки полягає в тому, щоб надавати рослинам всі необхідні елементи живлення без використання ґрунту. Це може бути досягнуто за допомогою різних систем, таких як система крапельного зрошення, фільмова гідропоніка, аеропоніка та інші.

Переваги гідропоніки включають більший контроль над умовами росту рослин, ефективне використання води та поживних розчинів, відсутність забруднення ґрунту, швидший ріст рослин, а також можливість вирощування рослин у місцях з обмеженим доступом до ґрунту. Гідропоніка застосовується як у великих сільськогосподарських комплексах, так і в домашніх умовах для вирощування різноманітних культур.

РОЗДІЛ 1 РДОПИС ІСНУЮЧИХ ВЕРТИКАЛЬНИХ ГІДРОПОННИХ КОМПЛЕКСІВ, ОСОБЛИВОСТІ ІХ ВСТАНОВЛЕННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЯ

1.1 Особливості ВГК, його відмінність від ГТК

Вертикальний гідропонний комплекс – це теплиця з багатоярусним розташуванням рослин. Основними передумовами побудови вертикальних гідропонних автономних комплексів послугувало постійне зростання населення планети, а також вплив кліматичних факторів, що в доступному для огляду майбутньому призведе до нестачі територій сільськогосподарського призначення. Вертикальний гідропонний комплекс планується не тільки, як елемент міського середовища, а й може бути побудований в місцях, зазвичай непридатних, для сільського господарства за рахунок своєї автономності, та ізольованості від зовнішніх чинників. Наприклад, можна вирощувати пшеницю в пустелях Близького Сходу, де дані комплекси могли використовувати сонячну енергію. Розміщення комплексів, безпосередньо у споживача, в містах – це єдиний спосіб позбутися від нескінченних транспортних потоків, що забезпечують доставку продуктів з полів, а також від необхідності організації їх складування і реалізації. При цьому, курс на енергоефективність, енергонезалежність і автоматизацію процесів, дозволить забезпечувати населення якісною, свіжою і дешевою сільськогосподарською продукцією цілий рік.

На відміну від інших тепличних комплексів, ВГК представляють собою контрольовану середу вирощування. Кожен вид культур має план зростання, адаптований під його потреби, наприклад, в поживних речовинах і світлі. Ця контрольована середа захищає посіви від стихій, таких як вітер, дощ і мороз, через їх розміщення в приміщенні, що означає менші втрати врожаю в екстремальних, або несподіваних погодних умовах, безпечно довкілля призводить до нульового рівня шкідників і інвазивних бактерій. Система усуває, в цілому, необхідність в пестицидах і гербіцидах, завдяки чому, продукція екологічно чиста. Вертикальні системи переробляють воду і добрива, дозволяють вирощувати продукцію з меншою кількістю 70-95% води, необхідної для звичайного вирощування рослин.

При цьому єдина вода, яку видобувають протягом циклу зростання – є водою споживання рослин, а вся вода, що залишилася, рециркулює назад, через систему фільтрів і повторно вводиться в зрошення. Використання спеціальних світлодіодних спектрів, автоматизованого зрошення і кліматконтролю дозволяє фермі стандартизувати кожен цикл зростання, виробляючи однакову кількість, якість і розмір врожаю, що, в свою чергу, призводить до стандартизованої врожайності.

Також, дозволяє вирощувати велику кількість культур одночасно, оскільки культури не використовують одні і ті ж ділянки землі. Існує кілька основних моделей вирощування: гідропоніка – це метод вирощування рослин, при якому коріння знаходяться в пористому середовищі, через яке постійно циркулює водний розчин; аеропоніка – це один з видів гідропоніки, при якому коріння висять в трубах, а насос із заданою періодичністю обприскує коріння живильним розчином. Для прикладу порівняння ефективності технологій вирощування нижче (рис. 1.1), представлена схема ефективності гідропоніки і аеропоніки в порівнянні з традиційним землеробством.

	Урожай	Швидкість дозрівання	Витрати води
Аеропоніка	130%	150%	10%
Гідропоніка	110%	120%	30%
Традиц. землеробство	100%	100%	100%

Рисунок 1.1 – Порівняння ефективності вирощування культур за допомогою новітніх технологій

За даними NASA, аеропоніка на 20% ефективніше гідропоніки, проте обладнання коштує дорожче. Крім того, якщо система обприскування вийде з ладу, або вимкнеться світло, то рослини можуть загинути протягом декількох годин. Отже, варто подбати про резервні способи харчування [1]. Вертикальний тепличний комплекс дозволяє проводити більш свіжі продукти харчування для міських жителів, яке одночасно знижує викиди вуглецю, що утворюється при

вирощуванні овочів, або їх транспортуванні. Дослідження показали, що вертикальні ферми знижують загальні викиди CO₂ на 65-93% в порівнянні зі звичайними теплицями. Через обмежене землекористування вертикальне землеробство менш руйнівне для місцевих рослин і тварин, що веде до подальшого збереження місцевої флори і фауни.

Але існує кілька нюансів, у вертикальних тепличних комплексах, не так все гладко, мінусом ВГК – є великі початкові витрати на установку і комплектуючі. У порівнянні з традиційними фермами, так само основною проблемою на сьогоднішній час – є споживання надмірної енергії. Для цього наука аграріїв, шукає способи для використання меншої кількості енергії, і пошук економічних поновлюваних джерел енергії для скорочення експлуатаційних витрат. Вертикальні ферми можуть виробляти більше забруднення, ніж традиційні ферми або теплиці, якщо в енергії використовується не відновлювальна енергія. На даний момент, по світу існує безліч компаній, нових стартапів зі своїми інноваційними проектами вирощування різних видів культур.

Один із прикладів – це компанія «Aero Farms», розташована в США Манхеттен. Їх технології вертикального сільського господарства майбутнього, такий підхід дозволяє вирощувати листову зелень, в закритих приміщеннях без сонця і ґрунту, при цьому використовувати на 95% менше води, ніж при традиційному способі поливу. Вертикальні ферми більше нагадують дата центри. Розумні датчики аналізують стан рослин і рівень освітлення, системи поливу, та підживлення добривами включаються автоматично. Людина ж відіграє другорядну роль, а комп'ютерні системи одночасно обробляють великі обсяги даних, і постійно адаптують умови зростання овочів, в порівнянні з традиційним підходом до сільського господарства. Вертикальні ферми значно продуктивніші, і як раніше було відзначено, займають менше місця. Рослини розміщуються в лотки, покладені один на одного особливим чином, вони займають до 10 м в висоту. При подібному підході, звільняється величезна кількість землі, яка використовувалася, якби рослини перебували в ґрунті. Цей підхід дозволяє «Aero Farms» вирощувати приблизно в 10 разів більше рослин, ніж класична ферма площею 5000 км². Замість

сонячних променів, рослини купаються в світлодіодних променях, весь час працюють вентилятори, а кожні кілька годин рослина автоматично обприскуються добривами [2], [3].

«Aero Farms» використовують уже два відомих метода вирощування аеропоніки і гідропоніки. Саме цей підхід і дозволяє на 95% скоротити використання води, в порівнянні зі звичайними господарствами, а також на 50% скоротити використання добрив. До того ж на фермі не використовуються пестициди, оскільки зелень росте в приміщенні, вплива шкідників немає взагалі. Стартап збирає 30 врожаїв на рік. Вони використовують спеціальні алгоритми для оцінки типу інтенсивності світла, вміст поживних речовин, температури, зволоженість і рівень CO₂.

У світі існує, так само, один з нових проєктів шведської харчової технологічної компанії «Plantagon». Вона представляє собою офісну будівлю, яка забезпечує їжею всіх своїх постояльців. Виробництво їжі відбувається за рахунок інтеграції в будівлю гідропонних вертикальних грядок. Побудувати його планується в Лінчепінге і назвати Світовим продовольчим будівлею. Воно буде виробляти не менше 550 тон овочів на рік, що забезпечить їжею приблизно 5000 чоловік. Для обслуговування рослин і збору врожаю буде використовуватися автоматизована система, що забезпечує низькі поточні витрати. Автономна система контролю буде стежити за всіма параметрами: освітленістю, температурою, забезпеченням поживними речовинами і якістю повітря. Сінгапур, Гонконг і США вже заявили, що якщо концепція виявиться успішною, то вони готові її розвивати [2], [3].

Глобальною проблемою вертикальних тепличних комплексів – є споживання енергії, щоб виростити в 10 разів більше зелені, потрібно в 10 разів більше споживання енергії. А це в свою чергу, призводить до додаткового викиду CO₂ в атмосферу, не найкращий аргумент на користь екологічного виробництва, але завдяки інтенсивному використанню альтернативних джерел енергії, таким, як сонячні батареї, фермам вже вдалося збільшити ефективність освітлення на 50%.

Стрімко розвивається ринок альтернативної енергії, що дозволить в найближчому майбутньому скоротити витрати енергії вдвічі.

1.2 Установка і експлуатація ВГК

Основні особливості установки. Дану технологію можна впровадити в майже будь-яку сферу життя: велику промисловість, ресторанний і готельний бізнес, особисте користування в житловому приміщенні. Щоб контролювати вертикальний тепличний комплекс на 1000м^2 потрібно 6-10 чоловік: рослинники, фасувальники, прибиральники, оператор відвантаження, бухгалтер, директор виробництва, підсобний робітник – їх кількість залежить від завдань ферми, таких як, промислове виробництво, експериментальна лабораторія, вирощування під потреби власних ресторанів і кафе.

Вона складається з 3 відділень:

Перша камера пророщування, в ній рослини проводять від доби до трьох;

Друга розсадне відділення, де салати і пряні трави ростуть 10-14 днів;

Третя зона вирощування, де рослини перебувають до моменту збору.

У відділеннях різний мікроклімат, оскільки на кожному етапі зростання, зелені необхідно забезпечити відповідне світло, вологість, температуру і підгодовування. Також на виробництвах додатково обладнані окрема кімната для фасування продукції і простір для персоналу. Вертикальна ферма площею вирощування 1000м^2 використовує $69\ 000\ \text{кВт} \cdot \text{рік}$ на місяць – $0,16\ \text{кВт}$ на 1м^2 . Стелажі, обладнані світлодіодними лампами для прискореного росту рослин, розроблені інженерами. Що стосується витрат води за добу, ферма витрачає в середньому 8м^3 (8000л) холодної водопровідної води, 2м^3 (2000л) вона очищає через осмотичний фільтр і використовується для вирощування рослин. Ще 6м^3 залишаються нефільтрованими і йдуть на виробничі та технологічні потреби, як миття піддонів, підлог і т. д. [4].

У приміщенні обов'язково має бути проведено центральне опалення. В основному, встановлені в фермі LED-лампи виділяють тепло, якого вдень досить для обігріву вертикальної ферми і кімнати, в якій вона знаходиться.

1.3 Регульовані параметри в системі ВГК

Відомо, що величина врожаю і його якість, а також собівартість виробництва залежать від точного регулювання балансу таких факторів, як температури, LED освітленості, режиму вологості повітря і субстрату, вмісту кисню, CO₂ в приміщенні і доступних елементів живлення. До їх регулювання потрібно приділити особливу увагу.

1.3.1 Освітлення

Одним з нових перспективних етапів розвитку тепличного освітлення – є так зване LED освітлення. Недолік світла – є серйозною проблемою в зимовий період, коли світловий день стає коротшим, коли сонячне світло відсутнє, або його недостатньо для ефективного вирощування рослин. Вертикальні ферми, або більш широко поширені в Європі вертикальні "ферми контейнери", є хорошими прикладами ефективного використання світлодіодного освітлення. Штучне освітлення повинно забезпечувати асиміляцію, яке необхідно для росту рослин. Світлодіодне освітлення дозволяє збільшити урожай з кожного квадратного метра і скоротити період розвитку рослини. LED світло зі специфічним спектром світла являє собою ідеальне рішення, інші лампи не вирішують цю проблему, вони будуть випромінювати тільки тепло, що буде тільки шкодити. У кожного виду рослини свої вимоги до рівня освітленості, яке також може відрізнятися в залежності від стадії розвитку рослини.

Всі рослини можна розділити на так звані три групи по вимогливості до освітлення. Першими з них, є світлолюбні види, які в природі ростуть у відкритому просторі і не можуть терпіти навіть легкого затінення. Рослини цієї

групи вважають за краще рівень освітленості не менше 10000 LUX. Наступний тип – тіньовитривалі рослини, які вимагають рівня освітленості від 3000-5000 LUX. І на останок тіньолюбиві рослини, які можуть розвиватися при рівні освітленості 500-1000 LUX [5].

При недоліках світла, першою вірною ознакою, рослина скидає листя. А неправильний режим освітлення, встановлений для вирощування рослин, може сприяти, до жовтіння і висихання тієї чи іншої рослини. Плодоносні рослини не розквітають в належний час, або цвітуть, але їх квітки менше і нижче за якістю, по відношенню до норм для цього виду культур. Зазвичай яскраві і насичені листя рослини стають просто зеленими. Доказом відсутності росту рослини свідчать витягнуті стебла з довгими міжвузлями. При надлишку рівня світла рослини так само скидають листя, з'являються плями і опіки на листях. Щоб подібних ситуацій не було, необхідно дуже відповідально підходити до регулювання освітлення в тепличному комплексі, до проблем подібного типу необхідно підходити різнобічно.

Існує прямий зв'язок між фотосинтезом і інтегралом спектрального та денного світла (DLI) фотосинтетичного випромінювання (PAR). Найбільш ефективні довжини хвиль для фотосинтезу – червоні 660 нм, а сині 430-450 нм з великим відношенням блакитного в спектрі є кращими в період вегетації. Синій спектр сприяє розвитку інгібіторів росту, які стимулюють формування рослини, покращують щільність і товщину листя і стебла. Світло з великим коефіцієнтом червоного спектра, особливо з піком в 660 нм, найкраще підходить для цвітіння, плодоношення і розвитку кореневої системи.

1.3.2 Регулювання оптимальної температури і вологості в ВГК

Найважливіше підтримувати оптимальну температуру і вологість в тепличному комплексі. Почнемо з параметра температури, якщо її значення буде вище оптимальних значень, то рослини будуть відчувати сильний стрес, можуть початися некрози, тканина листових пластинок буде в'янути і відмирати.

Запилення при підвищеній температурі буде значно гірше. При зниженій температурі сповільняться всі обмінні процеси, рослини банально не будуть рости і розвиватися. Запилення також буде сильно утруднено, знизиться імунітет, значно скоротиться урожай, і його дозрівання буде помітно розтягнуто. У таблиці нижче (табл. 1.1) наведено приклади оптимальної температури в період до плодоношення, та під час.

Таблиця 1.1 – Оптимальна температура для комфортного вирощування культур

Культура	Температура вдень	Температура вночі	До плодоношен.	В період плодоношен.
Огірки	+20-24 °С	+20-22 °С	+19-22 °С	+24-28 °С
Томати	+22-24 °С	+16-18 °С	+19-20 °С	+24-26 °С
Салатні росл.	+20-23 °С	+10-11 °С	+19-21 °С	+22-24 °С
Базілік	+21-23 °С	+16-20 °С	+18-20 °С	+23 °С
Руколла	+21-22 °С	+15-19 °С	+19-20 °С	+22-23 °С

Автоматичні системи здатні максимально ефективно знизити ризик перегріву, або переохолодження повітря в ВГК в 2 рази.

Обмін внутрішнього і зовнішнього повітря в вертикальних гідропонних комплексах відбувається в спеціальній камері рециркуляції і кондиціонування. Вентиляція контролює атмосферу всередині, забезпечує охолодження повітря, так як для багатьох рослин регулярний приплив свіжого повітря просто необхідний. Для автоматизації теплиці великого розміру потрібна установка спеціальної автоматизованої системи обігріву. Вона дозволяє контролювати атмосферу всередині приміщення. Сьогодні така система відрізняється крайньою простотою, вона включає в себе датчики температури, електромагнітні реле, нагрівачі і електро-вентилятори

[6].

Для більшості використовуваних на сьогодні теплиць діє принцип: підвищилася температура – спрацьовують датчики і запускаються системи рециркуляції повітря, включається вентиляція. В системі керування застосовуються електротермометри, які визначають показники поточної температури, її відхилення від максимального і мінімального значень, порівнюють з даними останнього спостереження. Оскільки температурний режим залежить від типу систем опалення та досвічування, рівня LED освітлення, особливостей культури і впливає на вологість повітря, координувати показники краще за допомогою бездротових електронних термогігrometerів, або програмованих контролерів. Вони передають сигнал операторської станції на модулі дискретного введення-виведення, а потім через підключення до інтерфейсу, процесорні вузли активують, або вимикають периферійні пристрої – теплове обладнання та екрани, кулер і додаткові вентилятори. Для отримання найбільш точних результатів, датчики слід розташовувати в різних частинах і на неоднакових по висоті рівнях.

Як відомо, в ВГК за рахунок своєї споруди найпростіше управляти вологістю і температурою повітря. У подібних теплицях, на прикладі п'ятого покоління, так звані «Ультраклім», температура на різних поверхнях істотно відрізняється. Оскільки холодні площини охолоджують навколо себе повітря, в подібному типі приміщеннях його можна осушити при направленні на поверхню з температурою нижче точки утворення роси, а потім відвести крапельну вологу за межі комплексу. При цьому автоматичні датчики температури і вологості слід розташовувати в місцях потенційного холоду, а також над рослинами і в нижніх рівнях, і не забувати їх регулярно перевіряти за допомогою психрометра.

Контролери вологості призначені для керування вологістю тумано утворюючих систем в теплицях. Вони розроблені для двох цілей. Перша – це розпорошення води для зниження температури всередині теплиці і управляється датчиком температури, і друга – це підтримка вологості в приміщенні на заданому програмою рівні. У режимі зниження температури, контролер функціонує в циклічному режимі, і час циклів залежить від заданої температури. Крім того, є

можливість установки роботи за часом. У режимі туманно-утворення, або підтримки заданої вологості, він працює незалежно від температури і часу.

Оптимізувати вологість повітря можна і за рахунок зміни температури верхніх і нижніх реєстрів. Для цього в теплиці повинні бути встановлені термометри та гігрометри. Однак слід пам'ятати, що при стандартному розподілі тепла, тобто знизу-вгору, циркуляція повітряного потоку дуже сильна, тому випаровування зростає. Для запобігання утворення сильного струменю повітря, автоматика повинна посилити температуру верхнього реєстру.

1.3.3 Підтримка рівня вуглекислотного газу CO₂

Низький вміст вуглекислого газу в повітрі теплиці – є чинником, що обмежує врожайність. У природних умовах концентрація вуглекислого газу в повітрі знаходиться на рівні 300-400 ppm., або близько 10 кг на га CO₂ в обсязі повітря рівного внутрішньому об'єму теплиці площею 1 га. При максимальних же рівнях ФАР (фотосинтетичний активній радіації), споживання CO₂ рослинами в процесі фотосинтезу може наближатися до 20 кг · год ділене на га, що відповідає необхідній постійній концентрації вуглекислого газу в повітрі теплиці на рівні 1000-1500 ppm. Утворений дефіцит лише частково покривається за рахунок припливу атмосферного повітря.

Дефіцит CO₂ – це найбільш серйозна проблема, ніж дефіцит елементів мінерального живлення, в середньому рослина синтезує з води і вуглекислого газу 94% маси сухої речовини, решта 6% рослина отримує з мінеральних добрив. Поряд з режимом мінерального живлення, регулюванням температури і вологості. Підгодівля CO₂ грає дуже важливу роль в управлінні вегетативним і генеративним балансом рослини. Підвищення активності фотосинтезу збільшує пул асимілянтів і стимулює розвиток рослин в генеративному напрямку. При цьому до кореневої системи доходить значно більше поживних речовин, тому посилюється зростання молодих коренів, активізується поглинання елементів мінерального живлення, підвищується стійкість рослини до несприятливих факторів середовища, в тому

числі до підвищеної температури повітря. Підживлення вуглекислим газом здійснюється протягом усього періоду вирощування рослин від появи сходів до припинення вегетації. Підвищена концентрація CO₂ частково компенсує недолік освітленості [7].

Відносно обладнання, система дозування CO₂ також включає в себе датчик CO₂ і набір датчиків токсичних газів, повнофункціональну систему керування, так званий клімат-комп'ютер. При програмуванні кліматкомп'ютера на відкриття фрамуг слід врахувати, що при систематичній підгодівлі допустима більш висока температура в теплиці. Для забезпечення рівномірної концентрації CO₂ в повітрі по площі теплиці і поліпшення газообміну рослин, у високих теплицях застосовується група спеціальних циркуляційних вентиляторів, що створюють рівномірний круговий рух повітря всередині споруди. У вертикальних тепличних комплексах використовуються різні види подачі в системи CO₂. Найкращим варіантом на сьогоднішній час – є подача чистого вуглекислого газу з балону – це дуже простий метод. Перевага використання чистого CO₂ полягає в тому, що він не виробляє водяну пару і тепло.

З мінусів такого способу можна відзначити високу початкову вартість проекту. З такими системами, при цьому, якщо розглядати придбання, як довгострокове капіталовкладення з перспективою, то вартість витрат на обслуговування буде набагато нижче. Вартість заправки балона вуглекислим газом невелика, адже для заправки системи вам потрібно лише перезавантажити балон, або замінити його на заздалегідь підготовлений.

1.3.4 Гідропонний полив

Система гідропонного поливу забезпечує подачу необхідної кількості води з необхідним набором елементів живлення. Безпосередньо, до кореневої зони рослини, що дозволяє забезпечити оптимальний поживний і водяноповітряний режим тепличного субстрату. Підвищується врожайність овочевих культур, скорочуються витрати води і добрив, знижується захворюваність рослин і

зменшується ризик їх поширення. Підготовка води для краплинного поливу здійснюється через систему фільтрації, яка забезпечує очищення води від присутньої в ній суспензії твердих частинок.

Для методу гідропоніки існують свої типи розчинних вузлів. Даний вузол забезпечує автоматичне приготування живильного розчину, програмований за часом подачу розчину до стелажів з рослинами, збір і вторинне використання дренажного розчину в гідропонних установках. Нижче (рис. 1.2) показаний зовнішній вигляд розчинного вузла для гідропонних салатних комплексів [8].



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд розчинного вузла

Як правило, такий розчинний вузол здійснює полив цілодобово. У зв'язку з цим, до даного вузла пред'являються підвищені вимоги по надійності. Як комп'ютер керування, використовується контролер. Незважаючи на те, що вузол використовується повністю, збирається повторний розчин, параметри харчування в ньому все одно підтримуються на заданому рівні за допомогою постійного подвійного вимірювання електропровідності ЕС і рН розчину. Розчинний вузол здійснює постійну циркуляцію розчину через гідропонні стелажні установки з зеленими культурами. При необхідності, пристрій додає воду в циркуляцію і щомиті виробляє подвійний контроль показників ЕС і рН.

Існує так само вузол методу "прилив-відлив". Розчинний вузол для розсадних комплексів забезпечує якісне приготування живильного розчину,

планування і проведення поливу – підтопленням "прилив-відлив" на гідропонних установках. Розчин що проходить через гідропонні стелажні установки збирається і може бути використаний в процесі приготування розчинів для наступних поливів. Нижче на рис. 1.3, показаний зовнішній вигляд розчинного вузла для розсадних комплексів [8].



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд розчинного вузла «прилив-відлив»

Розчинний вузол дозволяє організувати індивідуальну подачу живильного розчину для окремих фрагментів гідропонного комплексу з контролем часу поливу і витрати розчину. Він підходить, як для гідропонних установок з автоматичним зливом, так і для установок обладнаних автономними клапанами зливу. Керована комп'ютером, система дозації рідких мінеральних добрив забезпечує приготування живильних розчинів з точно витриманою концентрацією поживних речовин. Принцип роботи вузла складається в виготовленні живильного розчину по заданих параметрах ЕС і рН, шляхом змішування з водою двох, або більше маткових розчинів і кислоти. Особливістю розчинного вузла для розсадних комплексів, є можливість повної рециркуляції маточного розчину, для цього на вході в вузол встановлений додатковий датчик концентрації [8].

РОЗДІЛ 2 РОЗБІР АЛГОРИТМУ КЕРУВАННЯ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО І ВЕРТИКАЛЬНОГО ГІДРОПОННОГО КОМПЛЕКСУ

2.1 Існуючий алгоритм роботи, автоматизованої ГТК

У системах горизонтальних тепличних комплексів апаратна частина системи складається з блоку керування контролера мікроклімату, комплексу датчиків для збору відомостей про теплиці, блоку ручного керування і релейної комутації. Збір даних і головне керування мікрокліматом здійснює контролер, але для найбільш зручного перегляду і завдання параметрів мікроклімату, а також для внесення коригувань в керування, через спеціальне програмне забезпечення персонального комп'ютера.

Для збору даних, про параметри тепличного клімату, встановлюється комплекс датчиків, що дозволяє оперативно стежити, за відхиленнями від заданого мікроклімату, для своєчасного коригуючого впливу. У стандартному виконанні поставляються наступний набір датчиків, які використовуються для розрахунку керуючих впливів: температура і вологість повітря в центрі теплиці; концентрація CO₂; температура скління; температура листа рослини; температура ґрунту; температура повітря в верхній точці теплиці; температура повітря по периметру теплиці; температура теплоносія у всіх контурах обігріву.

Для повноцінного підтримання мікроклімату тепличних комплексів використовується метеостанція, яка дозволяє знімати найбільш важливі показники зовнішнього середовища:

- температура і вологість зовнішнього повітря;
- інтенсивність сонячної радіації; - швидкість і напрямок вітру.

Всі дані, одержувані з метеостанції, враховуються при розрахунку керуючих впливів, що дозволяє при зміні стану зовнішнього середовища своєчасно компенсувати цей вплив.

У блоці змонтований пульт ручного керування, дозволяє вибирати, або автоматичне, або ручне керування окремими механізмами. До контролера

підключається віддалений персональний комп'ютер (ПК). Спеціальна програма, що встановлюється на ПК, дозволяє графічно відображати динаміку зміни всіх вимірюваних і заданих властивостей мікроклімату, показань датчиків, розрахованих керуючих впливів. При зміні користувачем параметрів, що впливають на керування, програма контролює їх на допустимість і не дозволяє передати в контролер помилкові дані. ПК може автоматично змінювати в алгоритми роботи системи, що дозволяє поліпшити якість керування.

Програмне забезпечення системи дозволяє в наочній формі планувати динаміку мікроклімату протягом доби, згідно агротехнічним вимогам. При зміні завдання мікроклімату, параметри інтерполюються, тобто комп'ютер забезпечує необхідний плавний перехід, з одного стану клімату теплиці в інше. Багато фахівців рекомендують задавати різні режими мікроклімату для похмурих і сонячних днів, але при завданні програми в комп'ютер, користувач не може передбачити яким буде наступний день, тому система автоматизованого керування мікрокліматом, забезпечена алгоритмом автоматичної корекції завдання по сонячній радіації. Крім цього, для підтримки необхідної вологості, часом доводиться міняти температурний режим теплиці. Для цього використовується алгоритм автоматичної корекції завдання по вологості. Дані коефіцієнти дозволяють підлаштувати алгоритми корекції завдання під особливості конкретної теплиці і під рекомендації технологів.

Для поліпшення керування мікрокліматом в теплиці іноді встановлюють захисні екрани. Контролер за допомогою 17 коефіцієнтів дозволяє задавати різні режими роботи екрану. Перший з яких затемнюючий, він зменшує кількість сонячної радіації, що надходить в теплицю і знижує небезпеку перегрівів рослин, зниження втрати тепла – термічний, а затемнюючий, в свою чергу, змінює тривалість фотоперіоду. Також в процесі, можливо задавати комбіновані види робіт екрану.

Механізми кватиркової вентиляції використовуються, як для підтримки теплового, так і вологісного режиму в теплиці. Як і для системи обігріву, так і для системи вентиляції, якість роботи алгоритму можна коригувати. Щоб знизити

ризик виникнення аварійних ситуацій в алгоритмі керування використовується ряд коефіцієнтів, що дозволяють планувати частоту спрацьовування приводу фрамуг. Крім того, в системі передбачений захист фрамуг і рослин від сильного вітру, низької зовнішньої температури та опадів. Для керування вологістю в контролері, передбачений алгоритм синхронізації роботи систем вентиляції і обігріву, для мінімізації тепловтрат.

Відносно системи обігріву, після розрахунку необхідного завдання і аналізу даних з датчиків, контролер по закладеним в нього алгоритмам, впливає на мікроклімат теплиці за допомогою включення виконавчих механізмів. Для керування обігрівом теплиці використовується домінуючепідпорядковане керування. Домінуючим є етап, на якому відбувається обчислення температури теплоносія, що враховує час реакції теплиці, параметри внутрішнього і зовнішнього клімату. Підлеглим вважається етап автоматичної підтримки розрахованої температури теплоносія, на якому коригується положення змішувального клапана так, щоб вимірювана температура в контурі зрівнялася з розрахованою.

Обчислення температури теплоносія здійснюється не тільки за ступенем неузгодженості розрахункового і вимірюного клімату теплиці, а й з урахуванням подальшого впливу швидкоплинних факторів таких, як сонце, зовнішня температура, вітер, опади, що дозволяє прогнозувати зміну температури в теплиці і вчасно протидіяти цим змінам.

Алгоритм систем працює таким чином, що при підвищенні потужності сонячного випромінювання можна передбачити, що температура в теплиці буде рости, тому при збільшенні потужності сонячного випромінювання тут же проводиться розраховане зниження температури теплоносія. При зниженні зовнішньої температури повітря, з урахуванням швидкості вітру і ступеня відкриття фрамуг, проводиться розраховане підвищення теплоносія в контурах обігріву. При включенні досвічування, відразу знижується температура теплоносія на задану величину, а при виключенні температура теплоносія підвищується.

На підставі аналізу отриманих даних, контролер насамперед обчислює температуру теплоносія для нижнього контуру, який є основним контуром обігріву. Далі на підставі вже одержаної розрахункової температури теплоносія першого контуру і заданих режимів роботи, йде розрахунок для інших контурів обігріву. Залежно від призначення для кожного контуру обігріву, в теплиці може бути встановлений контрольний датчик, який буде коригувати розраховану температуру теплоносія для вирівнювання теплового поля.

Таким чином, в даній системі обігріву, керування контурами взаємозалежно, що не дозволяє прийти до ситуації, в якій нагрів одного контуру компенсується охолодженням іншого, що призводить до нестабільного керування. Для кожного з контурів можлива установка мінімальної температури теплоносія. Якщо мінімум не встановлений, то при надлишку тепла, системою передбачено автоматичне відключення циркуляційних насосів. Крім цього, контролер дозволяє обмежити максимальні температури теплоносія індивідуально для кожного контуру, що запобігає висушуванню ґрунту і опіків рослин. Універсальність даної системи, передбачає якісну роботу, як в теплицях з розділеними контурами обігріву, так і в теплицях з одним обігрівують контуром.

2.2 Алгоритм керування окремими параметрами ВГК

Проект керування і контролю клімату в вертикальних комплексах є типовим. У приміщенні з хорошою термоізоляцією вирощуються різні види культур, які вимагають деяких постійних кліматичних умов, або плавна їх зміна. Температура, вологість і рівень CO вимірюються за допомогою датчиків, формуються коригувальні дії, що управляють, які реалізуються за допомогою опалювальної системи, системи вентиляції, системи подачі газу CO. У приміщенні також знаходиться пульт управління оператора і системи збору інформації. При відхиленні значень кліматичних умов в ВГК від норми, автоматично приймаються керуючі впливи. При зміні нормальних умов, за допомогою пульта оператора приймаються керуючі впливи, які повертають систему в нормальний режим.

2.2.1 Алгоритм керування температурою

Будь-які, навіть незначні, відхилення температури гальмують розвиток рослин і можуть привести до розвитку захворювань, в'янення посадок. Для цього потрібна оптимальна температура.

Розглянемо алгоритм роботи терморегуляції в ВГК. Відповідно до блок-схеми рис. 2.1, включає в себе введення температурних даних через системну програму пульта керування, а точніше мінімально і максимально допустимої температури. Після чого, система опитує датчик, який в свою чергу, зчитує показники верхнього и нижнього контуру, потім передає дані на мікроконтролер, МК виробляє обробку отриманої інформації, від датчика температури, і виводить інформацію на ПК.

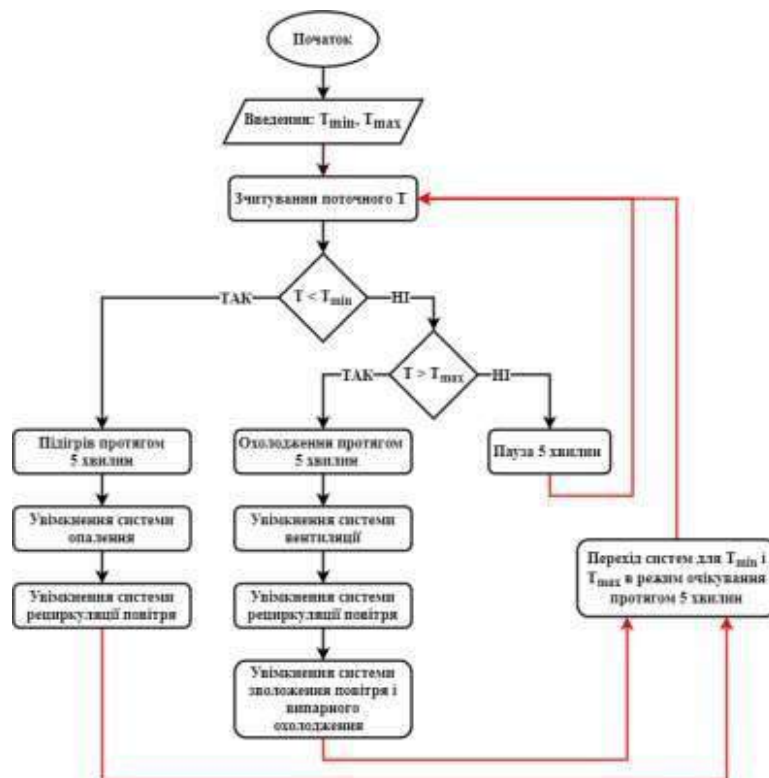


Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму роботи системи контролю температури

В умовах опитування на даній блок-схемі, системою, датчика температури, якщо за умовою $T < T_{\min}$, вмикаються системи підігріву тепличного комплексу на 5 хвилин, системи рециркуляції розподіляють рівномірно температурні поля для подальшого точного вимірювання. Якщо $T > T_{\min}$, мікроконтролер наступною уставкою опитує умову $T > T_{\max}$, якщо замір негативний, відбувається запуск систем охолодження на 5 хвилин. Система вентиляції, у свою чергу, допомагає в підтримці оптимальної температури, а система до зволоження і випарного охолодження для штучного зниження параметрів. У позитивному випадку задана 5 хвилина пауза, в послідуячому режимі очікування протягом 5 хвилин, з наступним опитуванням датчика температури.

2.2.2 Алгоритм керування вологістю

Рівень вологості є ключовою складовою для зростання, життєдіяльності будь-якої культури. Представлена блок-схема рис. 2.2, описує спрощений алгоритм роботи системи зволоження, вертикального тепличного комплексу.

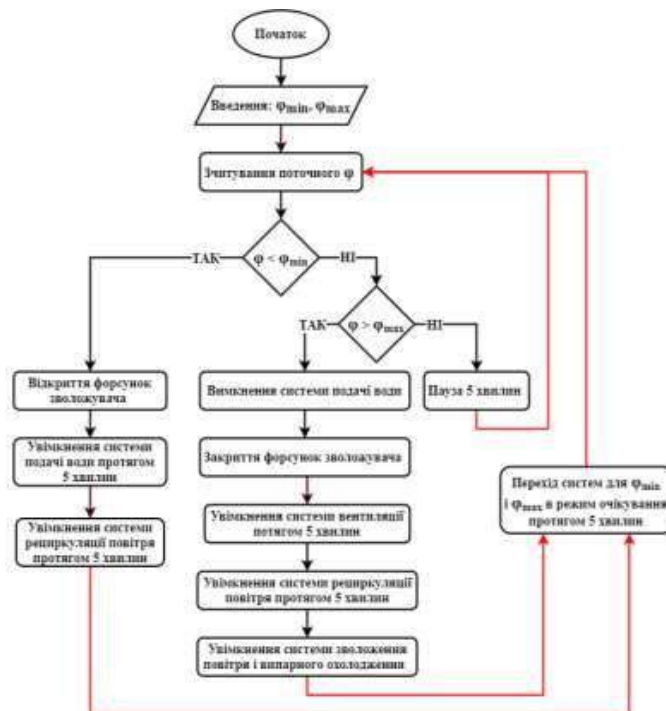


Рисунок 2.2 – Блок-схема алгоритму роботи системи контролю вологості

Після введення даних системним оператором, мікроконтролер опитує датчики вологості, якщо значення вологості середовища ВГК $\varphi > \varphi_{\max}$ перевищує значення уставки, система закриває форсунки зволожувача, а потім запускає ключові системи такі, як вентиляція, вони необхідні для витримування оптимальних температур в періоди з надмірної вологості і температури. Система рециркуляції в тепличному комплексі призначена для штучного перемішування повітря з метою досягнення більш рівномірного розподілу температурних полів в обсязі вертикальних споруд, зниження перегріву рослин, активізації в них біологічних процесів. Включення системи випарного охолодження і дозволення повітря, призначені для штучного зниження температури повітря.

Якщо значення $\varphi < \varphi_{\min}$ менше заданого мінімуму рівня вологості, система відкриває форсунки зволожувача, запускає системи ізометричного зволоження, за допомогою виконавчих пристроїв. Для комфортної підтримки клімату в ВГК, оптимальна дія систем протягом 5 хвилин. Після стабілізації оптимальних параметрів вологості, система переходить в режим очікування 5 хвилин, з повторним запитом зчитування поточного рівня вологості.

2.2.3 Алгоритм керування освітленням

Сонячне світло формує фотосинтетичні і морфологічні апарати рослин. Щоб ті, чи інші культури плодоносили, необхідно змоделювати хвильові діапазони, які підходять для них. Правильно організована система освітлення здатна генерувати достатню кількість світла, щоб забезпечити високу врожайність овочів, зелені, квітів і навіть екзотичних фруктів. Вкрай важливо, при цьому дотримуватися фотоперіоду – так звану довжину світлового дня у рослин. Поява LED ламп дозволило створити вертикальні тепличні комплекси, де можна забезпечити природний ріст рослин в умовах повної відсутності світла.

Прикладом будуть LED лампи компанії «iFarm», які світять білим світлом, що включає в себе червоний, синій, жовтий і зелений спектри, завдяки чому повністю замінюють сонце. Тоді як бікolorні, які часто вважають

найефективнішими, видають тільки червоний і синій діапазони, що на ділі набагато менш корисно для рослин.

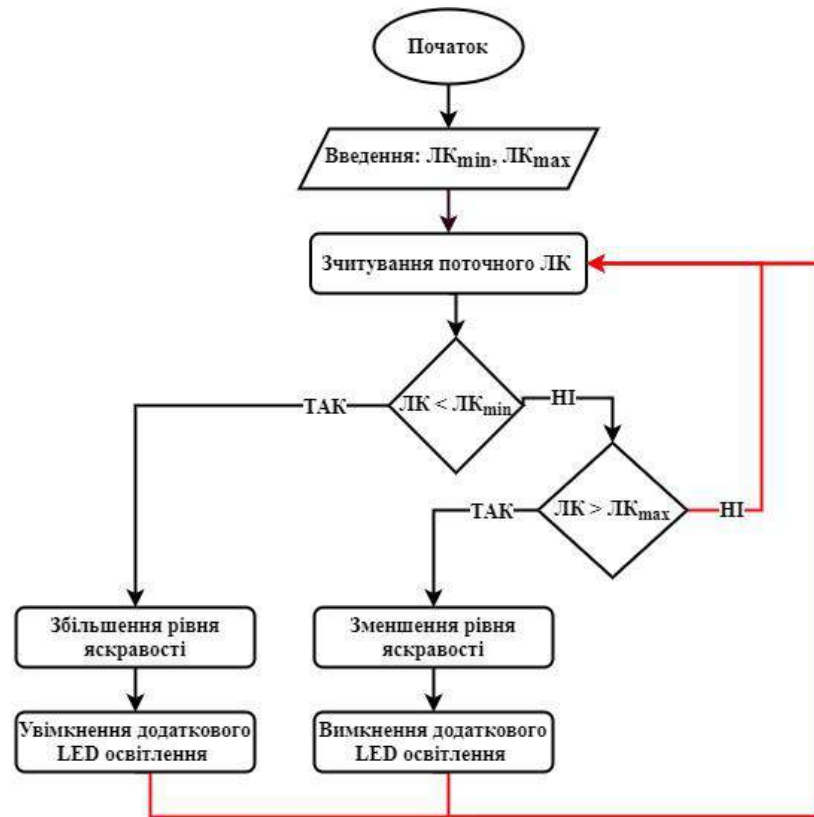


Рисунок 2.3 – Блок-схема алгоритму роботи освітлення та асиміляції

Виходячи з сильної сприйнятливості рослин до рівня спектра освітлення, запропонований алгоритм в даній блок схемі (рис. 2.3). Різні види культур, в залежності від їх стадії росту, вимагають різні рівні насиченості, яскравості світла, різної довжини світлового дня. Для цього, мікроконтролер опитує датчики LED освітлення, якщо рівень ЛК менше мінімально заданої, система збільшує необхідний рівень яскравості, включає додаткове освітлення. Якщо рівень ЛК вище заданої уставки, встановленої довжиною сонячного дня, мікроконтролер знижує рівень яскравості, а також відключає додаткове LED освітлення.

2.2.4 Алгоритм керування подачі CO₂

Подача чистого вуглекислого газу в вертикальному тепличному комплексі відбувається за допомогою балонів CO_2 , або ж коли вуглекислота в рідкому стані зберігається в транспортній, або стаціонарній вуглекислотній ємності. Після чого газифікатором та іншими виконуючими вузлами подається в систему. Але хорошою перевагою використання чистого CO_2 полягає в тому, що він не виробляє водяну пару і тепло. При такому способі подачі CO_2 використовують вуглекислотний балон, редуктор з необхідними регуляторами подачі і електромагнітним клапаном для відключення системи подачі CO_2 в потрібний проміжок часу. Такі системи підключають до контролерів, або систем клімат-контролю, які в свою чергу, при досягненні необхідної концентрації, або в необхідний час, відключають напругу і електромагнітний клапан перекриває подачу газу. Так, як в вертикальних тепличних комплексах використовується гідропоніка і аеропоніка, подача CO_2 так само є важливим фактором, який впливає на зростання культур. Це найбільш прийнятний спосіб насичення вертикальних тепличних комплексів

CO_2 .

2.3 Алгоритм керування цілою системою ВГК

Запропонований варіант алгоритму роботи системи вертикального гідропонного комплексу, заснований на розборі існуючих тепличних комплексів 5 покоління. Регулювання відбувається за допомогою виконавчих вузлів і елементів. Важливими контрольованими параметрами, як: вологість і температура повітря, температура води, подача корисного розчину, а також достатній рівень CO_2 і освітлення з додатковою асиміляцією. Повний вид блок-схеми керування за виконавчими вузлами вертикального гідропонного комплексу представлено у додатку А.

Головний керуючий блок-контролер, за допомогою комп'ютера, на рис 2.4, керує клімат контролем, який в свою чергу включає в себе такі основні системи керування для регулювання параметрами як:

- системи вентиляції;
- системи теплоносія;
- системи гідропоніки;
- системи підживлення CO₂;
- системи досвічування.

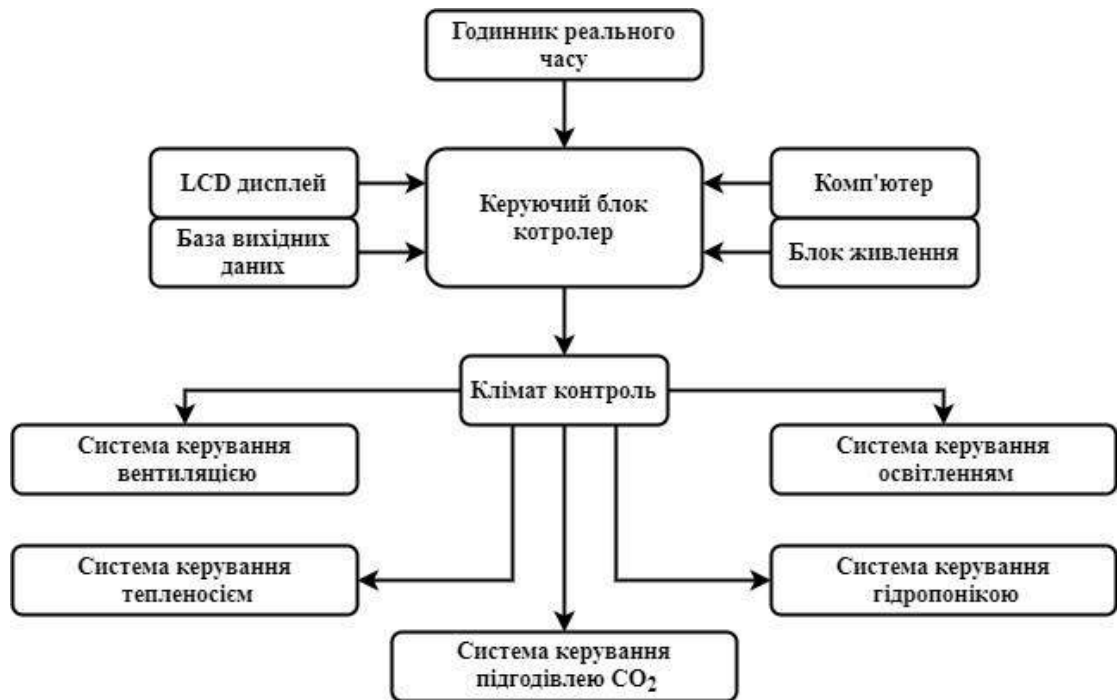


Рисунок 2.4 – Блок-схема головного керуючого блоку

Блок живлення формує напругу комп'ютерних систем, а також виконує функції стабілізації і захисту від незначних перешкод живлячої напруги. У базі вихідних даних зберігаються всі аналізи систем керування за різний період зростання різних видів культур. Це дозволяє системному адміністратору ретельно налаштовувати системи ВГК.

Системи вентиляції на рис. 2.5, дозволяють створювати всередині споруди хороший повітрообмін. Необхідність налагодженого повітрообміну, визначається обов'язковим запиленням рослин для їх продуктивної вегетації. Вентилятори в теплиці вже давно є важливою частиною кліматичної системи. Крім своєї здатності доставляти вуглекислий газ і кисень рослинам, змішувати теплі і холодні

потоки повітря, вентилятори можуть запобігати хворобам і захищати рослини від теплового стресу.

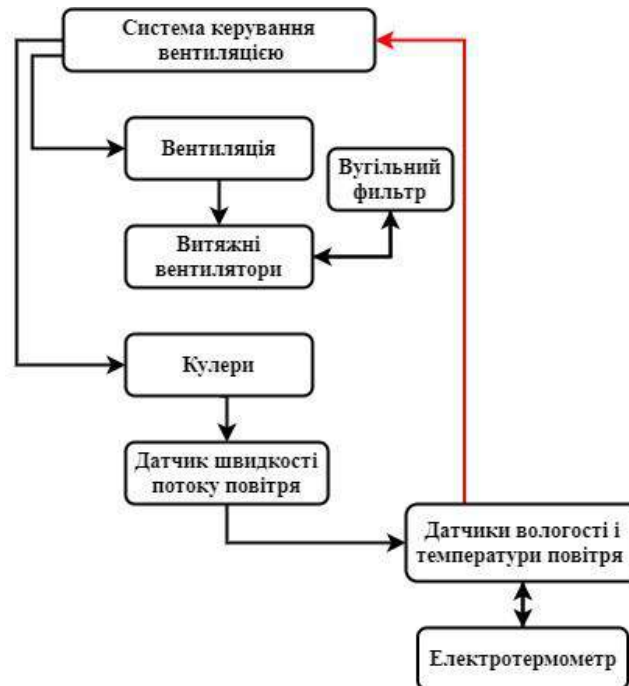


Рисунок 2.5 – Блок-схема системи керування вентиляцією ВТК

Для збереження вирощуваних культур необхідно враховувати, що холодний повітряний потік проходить вниз, а теплий піднімається вгору. Для рівномірного температурного змішання буде корисною рециркуляція повітря, наприклад, за допомогою вентиляторів, кулерів. Система включає в себе, вентиляцію з витяжними вентиляторами. Припливний обсяг повинен дорівнювати витяжному. Для цього, вентиляційні отвори споруджуються однакового розміру. Вентилятори, що підключаються до електричної мережі, монтуються, як всередині припливного отвору, так і всередині витяжного. Витяжні вентилятори монтуються зверху, ближче до стелі, для того, щоб потік прохолодного свіжого повітря перетинав теплицю, підхоплюючи на своєму шляху гаряче вологе повітря. А встановлення вугільного фільтра на витяжний вентилятор забезпечує видалення до 90-95% неприємних запахів.

Кулери розташовані на бічних панелях стелажів, які наведені в алгоритмі нижче, функціонують з датчиками швидкості вітру для створення оптимального потоку повітря. Датчики вологості повітря і температури, з доповненням електротермометра, розташовані у верхній і нижній частині стелажів теплиці. Вони дозволяють зчитувати з точністю потрібні параметри повітря, а також температури в тепличному комплексі в цілому. Температурні датчики дозволяють механізмам самостійно вмикатися та вимикатися для терморегуляції мікросередовища.

Система керування теплоносієм на рис. 2.6, включає в себе котел з ТЕН-ом, який нагріває воду до потрібної температури. Вода через резервуар запасу, за допомогою потужного насоса, який дозволяє створити потрібний тиск, надходить через виконуючий вузол фільтрації в систему поливу.

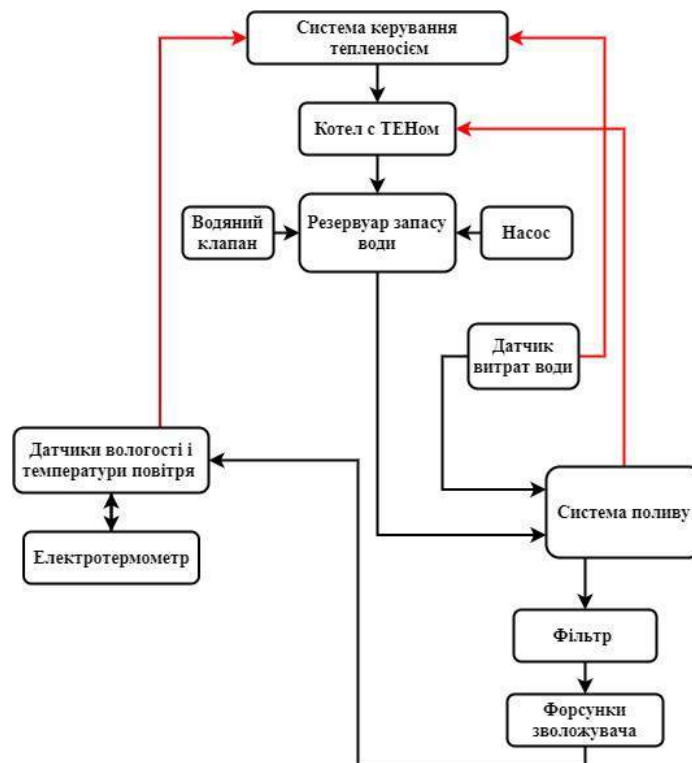


Рисунок 2.6 – Блок-схема системи керування теплоносієм в ВГК

Датчики витрати води зчитують і фіксують значення, а після передають дані в систему керування. Через систему поливу, пов'язану з гідропонною системою, проходячи фільтр, вода надходить на форсунки зволожувача.

Поруч з ними розташовані спеціальні датчики вологості повітря і температури, які зчитують температуру і вологість.

Система керування гідропонікою на рис. 2.7, працює за принципом прилив-відлив. Дренажна система дозволяє вертикальному комплексу позбутися зайвої дощової води. Через вузол фільтрації переходить у вузол змішування дренажної води з поливальною водою. Він включає в себе термічний і ультрафіолетовий дезінфектори.

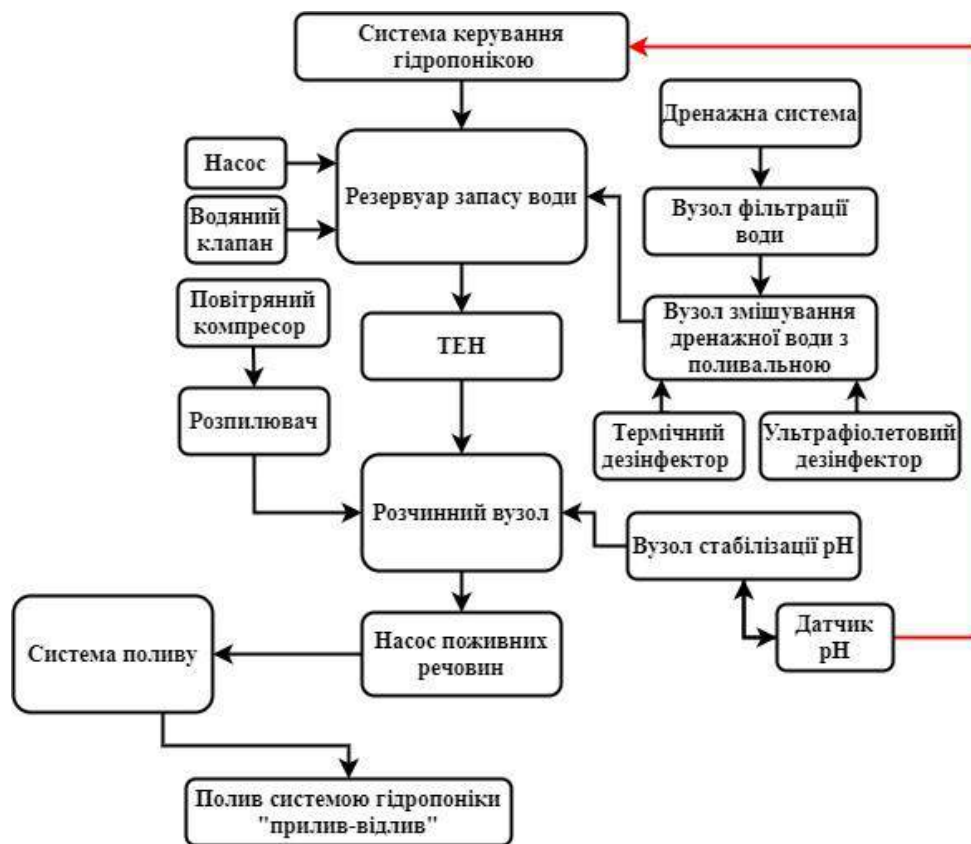


Рисунок 2.7 – Блок-схема роботи керування гідропонікою в ВГК

За допомогою термічного дезінфектора, знищуються шкідливі бактерії, а також грибок і різного роду віруси. З доповненням ультрафіолетового дезінфектора, запобігає відтворення мікроорганізмів. Після проходження всіх необхідних процедур, вода надходить в спеціальний резервуар, з якого в свою чергу за допомогою насоса, через нагрівальний ТЕН, після заданого нагріву, вода потрапляє в розчинний вузол. Він в свою чергу, за допомогою повітряного

компресора і розпилювача, змішує матковий розчин з очищеною водою. Вузол стабілізації рН і рециркуляції нейтралізує бікарбонати і здійснює контроль рН розчинів, за допомогою датчика, дозволяє передавати дані в систему керування. Принцип вимірювання рН заснований на використанні рН-чутливого електрода, контрольного електрода і температурного елемента для створення потенціалу, пропорційного показника рН у розчину.

Система керування підгодівлею CO_2 на рис. 2.8, здійснюється в межах від 0,03% до 0,1%, в залежності від освітленості, температури повітря і часу доби, за рішенням оператора. Вуглекислота в рідкому стані зберігається в вуглекислотній ємності. З ємності, рідка фаза CO_2 подається в газифікатор, який в автоматичному режимі підтримує тиск в ємності постійним.

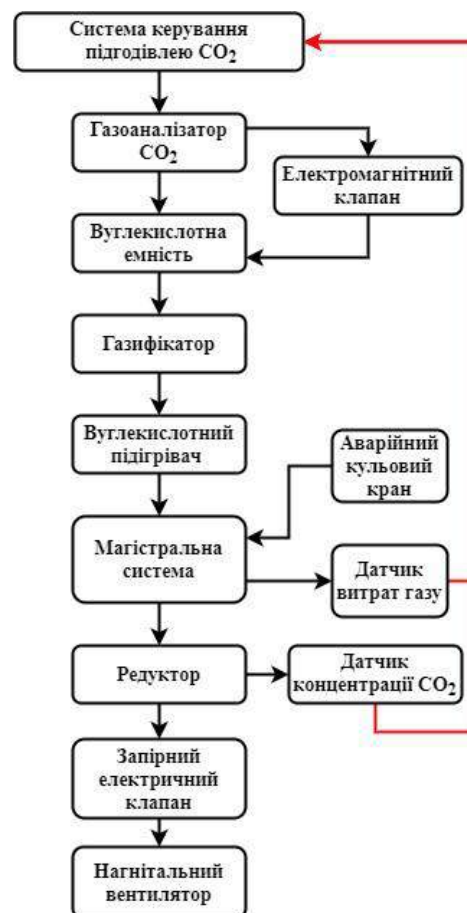


Рисунок 2.8 – Блок-схема роботи системи CO_2 в ВГК

Газова фаза CO_2 подається в вуглекислотний підігрівач, звідки газ під тиском 4-6 атмосфер, нагнітається в магістральну систему газоходів, виконаних з поліетиленових труб різного діаметру. Газ з магістрального трубопроводу

проходить через кульовий аварійний кран, а далі через редуктор. Редуктор в свою чергу, знижує тиск до 2 атмосфер, а після проходить через запірний електричний датчик і надходить в теплицю на нагнітальний вентилятор. Незалежною подачею газу в контури теплиці управляють датчики CO₂, які в свою чергу по команді від контролера, управляють клапаном закріпленим за даним контуром.

Система керування освітленням на рис. 2.9, керує не тільки основним, але і асиміляційним освітленням, воно застосовується в відділеннях, де вирощуються культури з великим споживанням штучного сонячного світла.

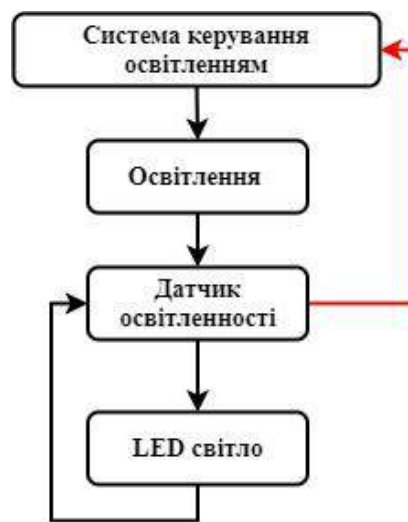


Рисунок 2.9 – Блок-схема роботи системи освітлення в ВГК

При встановленні в теплиці штучного освітлення, слід звернути увагу, що асиміляційне світло має меншу область спектра, ніж той який потрібен оку людини для розрізнення кольорів. З цієї причини для рослин виробляються спеціальне LED освітлення, що випромінюють світло в різних прийнятних від культури спектрах. Датчик освітлення має вологозахист, дозволяє відстежувати рівень світлового випромінювання, що потрапляє в поле видимості системи. Промені світла фокусуються за допомогою фотоелемента. Коли досягається певний поріг яскравості мінімуму і максимуму, система керування за допомогою детектора, створює напругу, яка використовується приладом в якості сигналу для замикання ланцюга і блокування деяких електричних пристроїв.

Вже згадана система керування вертикальним гідропонним комплексом включає спеціально розроблене програмне забезпечення для контролю вузлів. Це універсальний інструмент управління, який в свою чергу дозволяє безпомилково і автоматично планувати посадки. Надає інструменти моніторингу мікроклімату, і виробництва на ВГК. Дозволяє отримувати прогнозований урожай в задані терміни, прикладом виду програми буде компанія «iFarm» у додатку Б.

РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМ НА ДАНИХ ЗРОСТАННЯ РОЗГЛЯНУТИХ КУЛЬТУР

3.1 Вихідні параметри досліджуваного тепличного комплексу

Вже згадана, система керування з її алгоритмом роботи, була впроваджена в вертикальний гідропонний комплекс. За основу в дослідженнях пропонується варіант вертикальної гідропонної ферми, аналогом за мінімальної квадратури буде компанія «iFarm», на 48м^2 (рис 3.1).



Рисунок 3.1 – Вертикальна теплична ферма компанії iFarm (48м^2) :

1) зволожувач; 2) кондиціонер; 3) бак з живильним розчином; 4) модуль дорошування зелені; 5) насос; 6) модуль для розсади; 7) балон з CO_2 ; 8) концентрат живильного розчину; 9,10) бак для зберігання чистої води; 11) фільтр для води; 12) комп'ютер з програмою, що управляє; 13) блок автоматики.

Площа приміщення дорівнює 48м^2 , а площа посадок – 35м^2 . Але варто зазначити, на відміну від загальної системи керування в ВГК, потрібна різна потужність обладнання, в залежності від квадратури комплексу. Для дослідження

приміщення має бути обладнане, в першу чергу гідропонною системою, обігрівачами, правильно підібраним спектром освітлення і системою вентиляції. Стелажний спосіб вирощування дозволяє ефективно використати площі теплиці (рис 3.2).

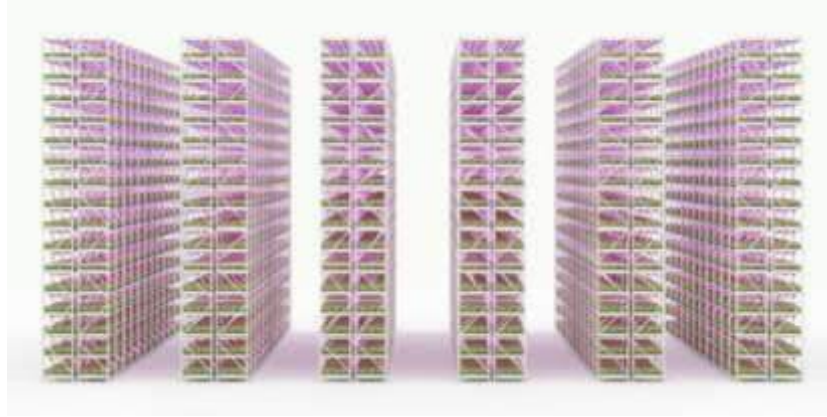


Рисунок 3.2 – Вид стелажного способу вирощування

В якості обігрівача, підтримки мікроклімату, буде 1 побутовий кондиціонер фірми «GREE». Кондиціонер, в свою чергу, при досягненні заданої температури переходить на знижену потужність. Параметр потужності обігріву – 5,8 кВт, охолодження – 5,0 кВт. Таким чином, дозволяє дуже точно підтримувати температуру на заданому рівні в приміщенні. А інверторний тип продовжує термін служби кондиціонера на 30-50% і економить електроенергію в середньому на 30% більше, ніж звичайні моделі. Структурна схема інверторного кондиціонера представлена нижче (рис. 3.3). Він також забезпечує додаткову вентиляцію, а функція «Saraga» сприяє усуненню зайвої вологи.

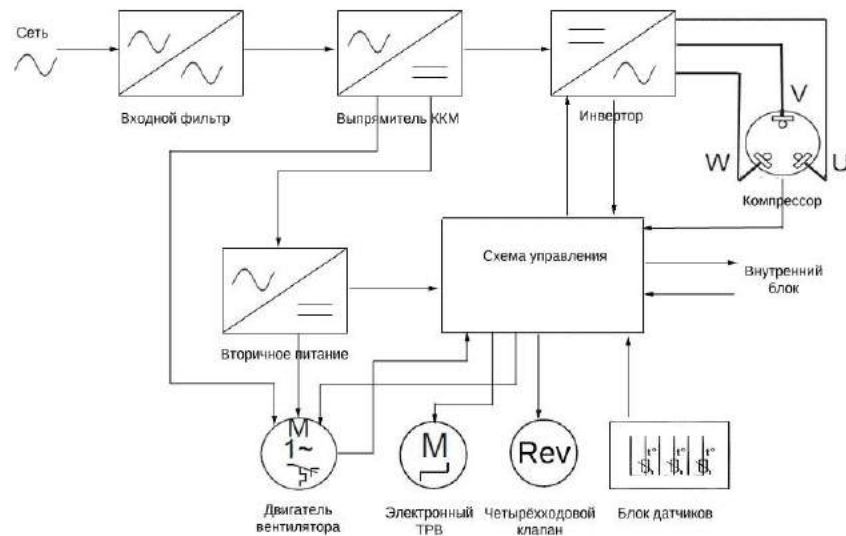


Рисунок 3.3 – Схема інверторного кондиціонера [9]

Для підвищення концентрації CO_2 варто не забувати за посилення вентиляції. Крім підвищення концентрації, за допомогою вентиляції, знижується відносна вологість повітря. Вуглекислота важча за повітря і тому опускається до підлоги. Якщо не буде елементарного перемішування повітря, то вуглекислота поступово вивітриться. Також за допомогою гідропонних системи «прилив-відлив» (рис. 3.4), дозволимо створити рівномірний режим харчування рослин. Вона дає можливість в багаторазовому використанні живильного розчину і відсутності ручної праці при поливі.

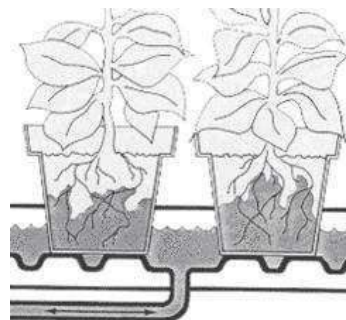


Рисунок 3.4 – Ілюстрація потоку води в гідропонній системі «прилив-відлив»

Система має високу продуктивність, а для отримання, умовно порівнюючи з великими установками, 500кг зеленого корму, комплексу потрібно всього 1м³ води, тобто 2л води на 1 кг. Аналог ферми на 48м² доводиться, в середньому, 110кг врожаю зелені в місяць. А максимальна витрата електрики в установці великих комплексів для гідропоніки становить в середньому 5 кВт на добу. Дана система дуже проста. Рослини розміщуємо в стелажі, які періодично заповнюються водою, багатою поживними речовинами, яка пізніше йде в резервуар.

За замовчуванням, вертикальна ферма вимагає системи штучного освітлення, так як за допомогою потрібного спектру, рівню освітленості, вона скорочує терміни вегетації культур і в цілому підвищує врожайність. Ця система дозволяє рівномірно розподілити потік світла (рис. 3.5).

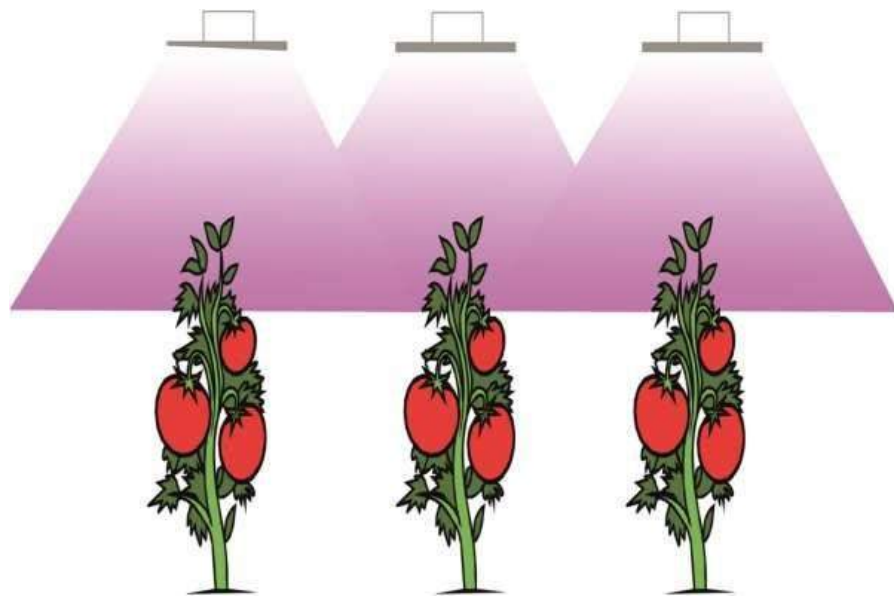


Рисунок 3.5 – Розміщення освітлення в теплиці щодо вирощуваної культури

В основному промислові теплиці оснащуються натрієвими лампами, які мають спектр, максимально наближений до сонячного світла. Для великих комплексів цей тип помітно економічний і має тривалий термін експлуатації. Так, як ринок повний різним асортиментом світлодіодних світильників і ламп, підходящим варіантом в дослідженні, є фіто світильники (рис. 3.6). Вони використовують спеціальні світлодіоди з досить високою потужністю. А також дозволяють домогтися необхідного спектра освітлення, комбінуючи світлодіоди в

потрібному співвідношенні спектрів, або використовуються повно спектральні світлодіоди.



Рисунок 3.6 – Зовнішній вид фіто «LED» світильника

Потужність світильників підбираємо, виходячи з площі теплиці.

Оптимальним значенням в стадіях плодоношення культур становить 80-160 Вт/м². Включення допоміжного підсвічування, так званої асиміляції, буде здійснюватися не більше ніж 12-18 годин на добу.

Всі дані по культурах №1 і №2, для дослідження систем керування, надані фахівцями, які працюють в тепличному комплексі Запорізької області. А також, дані про температуру і вологість зовнішнього середовища від 60 до 90 днів вирощування, були взяті з архіву 2020 року в місті Бердянську [10].

3.2 Результати систем керування ВГК на прикладі вирощування культури №1

Як культура №1, для дослідження роботи систем, з урахуванням стелажного способу вирощування, була обрана суниця. За допомогою гідропонної системи, методом періодичного підтоплення, при вирощуванні суниці замість ґрунту використовуємо живильний розчин, що підводять до коренів рослин і до субстрату (рис. 3.7).

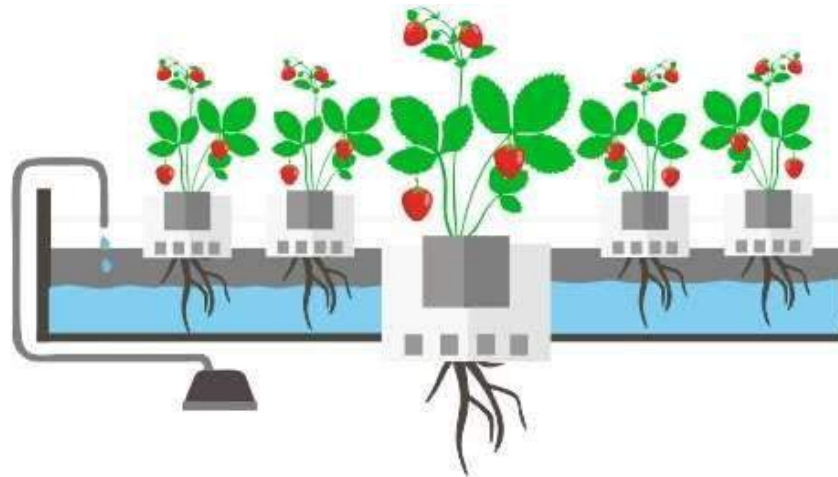


Рисунок 3.7 – Подача живильного розчину до коріння суниці [11]

Він циркулює в посадочних модулях, вирощування може відбуватися, як горизонтально, так і вертикально. Рослинам необхідний регулярний полив, для кожного періоду розвитку робиться розчин певного складу. Не варто забувати про те, що посадка рослини повинна здійснюватися на відстані, між ними близько 25см, а між рядами – 40см (рис. 3.8). Висаджується дана культура в добре зволожений субстрат.

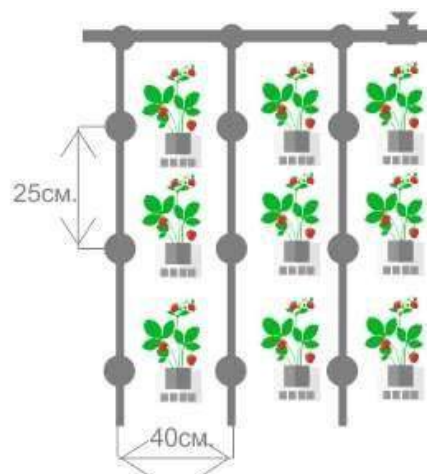


Рисунок 3.8 – Схема посадки суниці [9]

Перевірка кислотності рН і електропровідності ЕС аналізується для суниці кожен новий тиждень. Нормальний рН від 5.5 до 6.5, а ЕС від 1.8 до 2.2 одиниць.

Для появи плодів у суниці, потрібно її штучно запилювати. Необхідні параметри для вирощування, зі зміною періоду зростання наведені в таблиці (табл. 3.1).

Таблиця 3.1 – Параметри суниці з урахуванням стадії її зростання

Параметри	Проростання	Цвітіння	Плодоношення	Час доби
Температура T, °C	16-18	18-20	20-25	День
	8-12	14-18	17-19	Ніч
Вологість повітря, φ	80-90%	70-80%	70-75%	Сер.доб.
Вологість субстрату НВ,%	65-70%	70-75%	75-80%	Сер.доб.
Освітлення, ЛК	10000-14000	14000- 18000	18000-20000	Сер.доб.
Тривал. світл. дня	14-18 год	14-16 год	12-14 год	–
Гідропоніка і CO ₂ , PPM	600-1000	1000-1260	1260-1540	Сер.доб.

У звичайних умовах суниця зацвітає через 25-30 днів. Цвітіння відбувається від 15 до 35 днів, а від початку цвітіння до дозрівання перших ягід проходить близько 30 днів. У вертикальному гідропонному комплексі зростання будь-яких культур збільшується в півтора рази. За допомогою досвічування, при довжині світлового дня 16 годин, суниця зацвітає через 10-

14, а починає плодоносити через 30 днів. Плодоношення відбувається протягом 2 місяців, після чого слідує період спокою.

При вимірюванні параметрів у вертикальній фермі дослідження проводилося від 2-ох до 3 місяців, з початку серпня до кінця жовтня. Для того, щоб перевірити роботу системи, і її незалежність від будь-яких зовнішніх факторів, для порівняння, в перебігу зростання культури, з періодичністю кожні 5 днів знімалися не тільки параметри в вертикальній фермі, але і зовнішнього середовища в місті Бердянську Запорізької області.

Діаграми температури і вологості були побудовані, виходячи з:

- необхідного значення для зростання культури №1; □ - вимірювання параметрів зовнішнього середовища; □ - вимірювання параметрів в теплиці.

Нижче будуть представлені отримані точкові діаграми температури протягом 90 днів (рис. 3.9) та (рис 3.10).

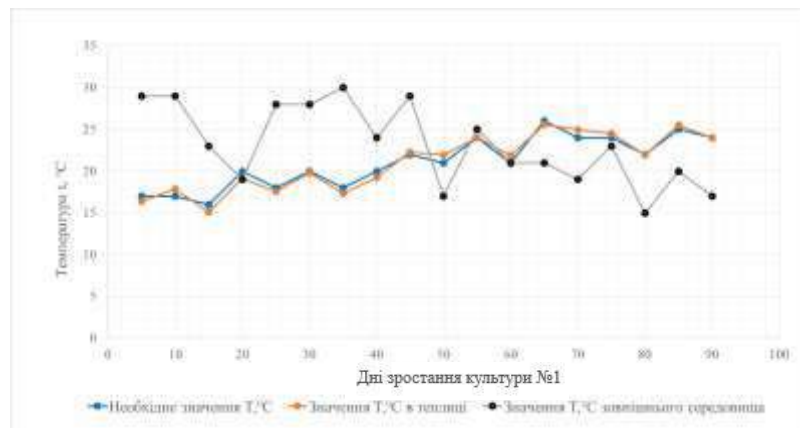


Рисунок 3.9 – Діаграма рівня температури вдень за 3-ьома значеннями

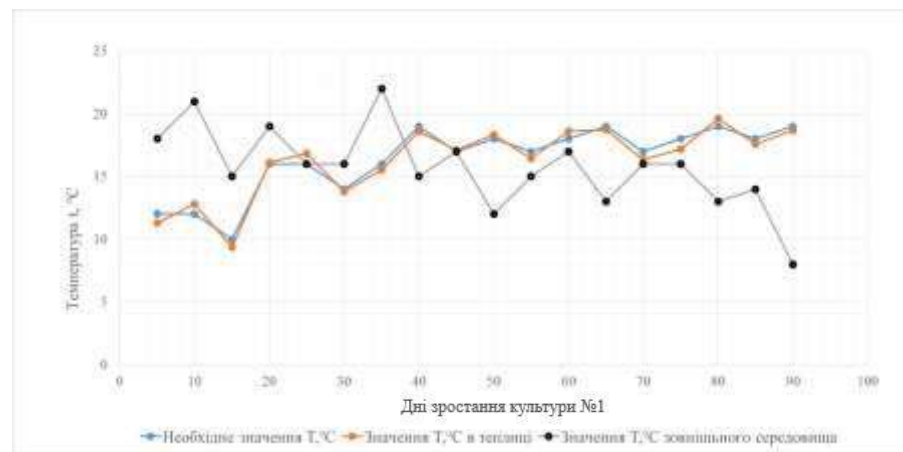


Рисунок 3.10 – Діаграма рівня температури вночі за 3-ьома значеннями

Можна відзначити, що виходячи з отриманих даних температури вдень і вночі, а також необхідної і вимірної в теплиці, системи керування вертикальної ферми підтримують потрібний діапазон, незалежно від зовнішнього середовища. Також за допомогою вентиляції і систем рециркуляції повітря, параметри

вологості мають маленьку похибку в процентному співвідношенні від необхідної (рис. 3.11) та (рис. 3.12).

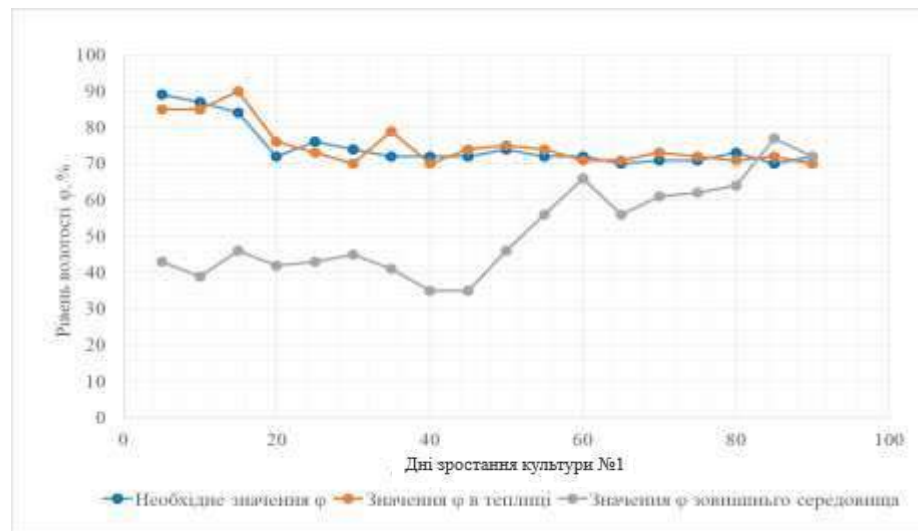


Рисунок 3.11 – Діаграма рівня вологості вдень за 3-ьома значеннями

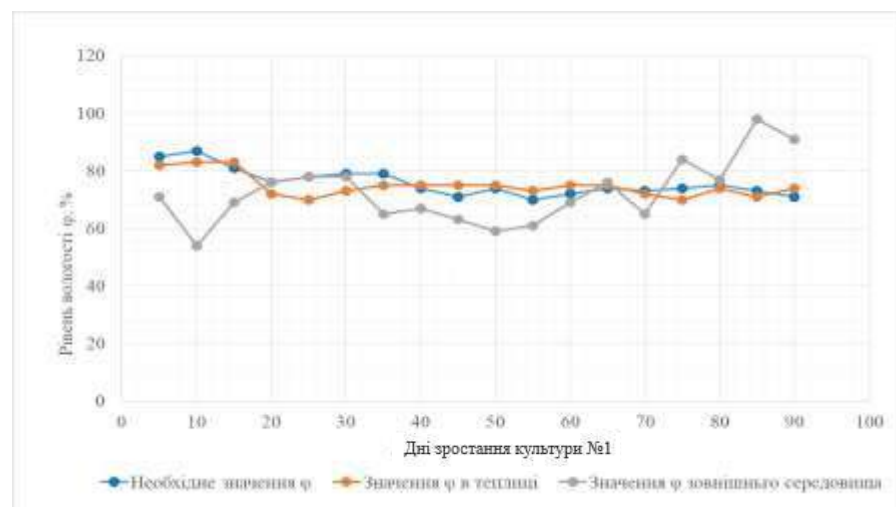


Рисунок 3.12 – Діаграма рівня вологості вночі за 3-ьома значеннями

Система керування дозволяє максимально точно підтримувати потрібний рівень вологості субстрату. Це можна відзначити на наступній діаграмі (рис. 3.13). Зі зменшенням вологості повітря для комфортної вегетації потрібно підвищення вологості відсотку НВ субстрату.

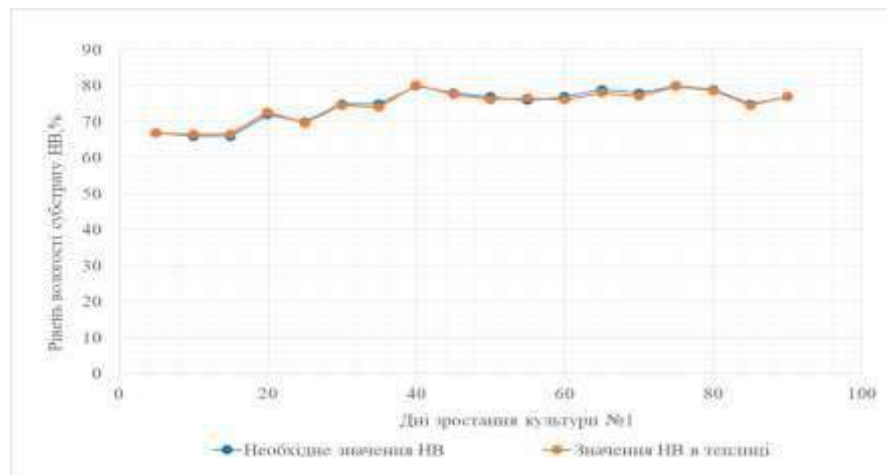


Рисунок 3.13 – Діаграма необхідного та виміряного рівня вологості субстрату

Рівень концентрації РРМ для культури №1 зі зміною стадії її зростання, за даними в таблиці 3.1, вимагає підвищення РРМ від 600 до 1560 одиниць. Періодичність по запису даних був змінений з 5 до 2 днів. Система керування гідропонікою дозволяє максимально точно підтримувати потрібний діапазон концентрації РРМ (рис. 3.14).

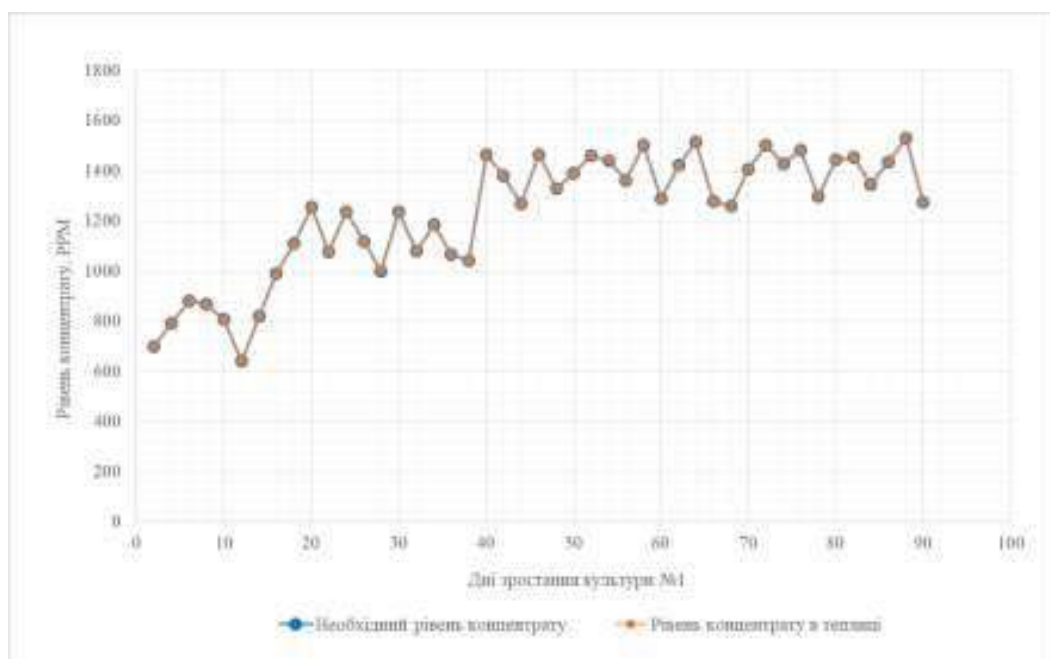


Рисунок 3.14 – Діаграма концентрації розчину гідропоніки

Згідно таблиці 3.1 освітлення суниці відбувається 12-18 годин. Так, як вертикальна теплиця є закритою від будь-яких зовнішніх факторів, в такому випадку використовується штучне освітлення. Але варто зазначити, що максимально точним вузлом в системі керування є не тільки гідропонний вузол, а й система, що відповідає за освітлення і асиміляцію (рис. 3.15).

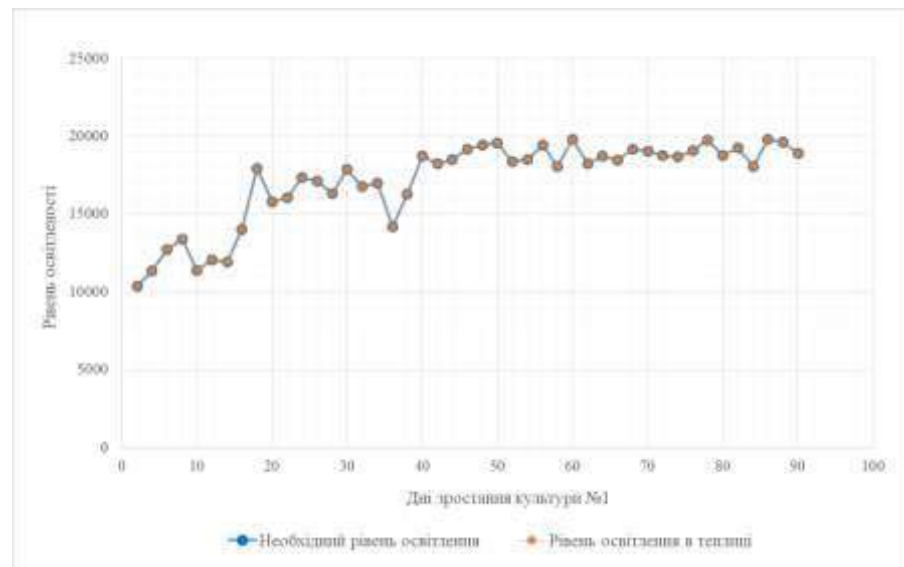


Рисунок 3.15 – Діаграма рівня освітлення та асиміляції

З даних діаграм можна зробити висновок, що вертикальна ферма підтримує потрібний рівень параметрів з мінімальною похибкою при вирощуванні культури №1.

3.3 Результати систем керування ВГК на прикладі вирощування культури №2

Виходячи з пункту 3.2, розглянемо варіанти дослідження іншого виду культури в закритій вертикальній екосистемі, з іншими вимогами до мікроклімату. Таким чином, в якості культури №2 є огірки. Вся стадія зростання від посіву до перших плодів займає до 2 місяців (рис. 3.16).

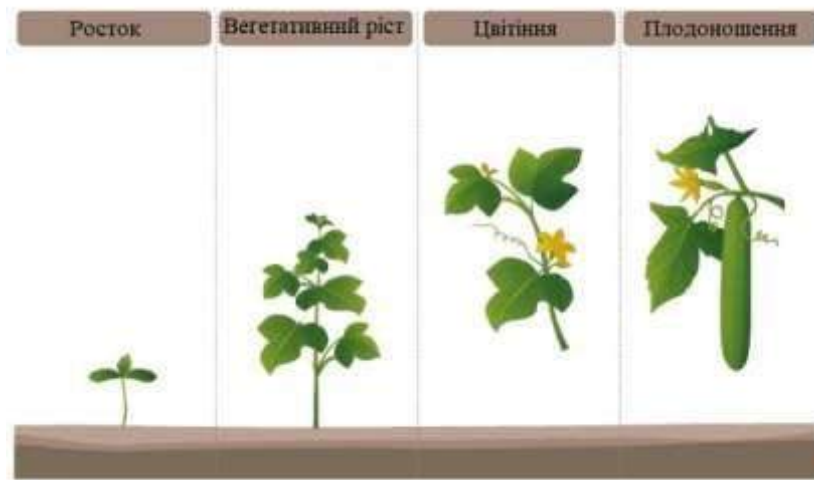


Рисунок 3.16 – Вид культури №2 зі зміною стадії росту

Для гарної врожайності огірків потрібна хороша циркуляція повітря і правильно підібране харчування, він дуже теплолюбний. Для повноцінного розвитку огірка потрібно 12 годинний день. Збільшення світлового дня до 16 годин стимулює плодоношення, але знижує врожайність. Необхідні параметри для вирощування культури №2 наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Параметри для вирощування огірків, з урахуванням стадії його зростання

Параметри	Проростання	Цвітіння	Плодоношення	Час доби
Температура, Т, °С	18-22	24-28	24-30	День
	15-18	16-20	16-20	Ніч
Вологість повітря, ф	60-75%	70-80%	80-95%	Сер.доб.
Вологість субстрату, НВ %	75-80%	80-85%	60-75%	Сер.доб.
Освітлення, ЛК	6000-9000	10000- 14000	14000-20000	Сер.доб.
Тривал. світл. дня	14-18 год	14-16 год	12-14 год	–
Гідропоніка і CO ₂ , PPM	400-900	900-1190	1190-1750	Сер.доб.

Виходячи з таблиці 3.2, рівень концентрації, освітлення, а також температура і вологість повітря збільшується при переході культури №2 в іншу стадію зростання. Система керування вертикальної ферми, як можна відзначити на діаграмах, з мінімальною похибкою від потрібних значень параметрів, справляється з поставленими завданнями. При вимірі всі параметри замірялися з такою ж періодичністю, що і дослідження культури №1. Діаграми температури і вологості були побудовані, виходячи з даних необхідного значення, заміряного в ВГК і зовнішнього середовища (рис. 3.17), (рис. 3.18).

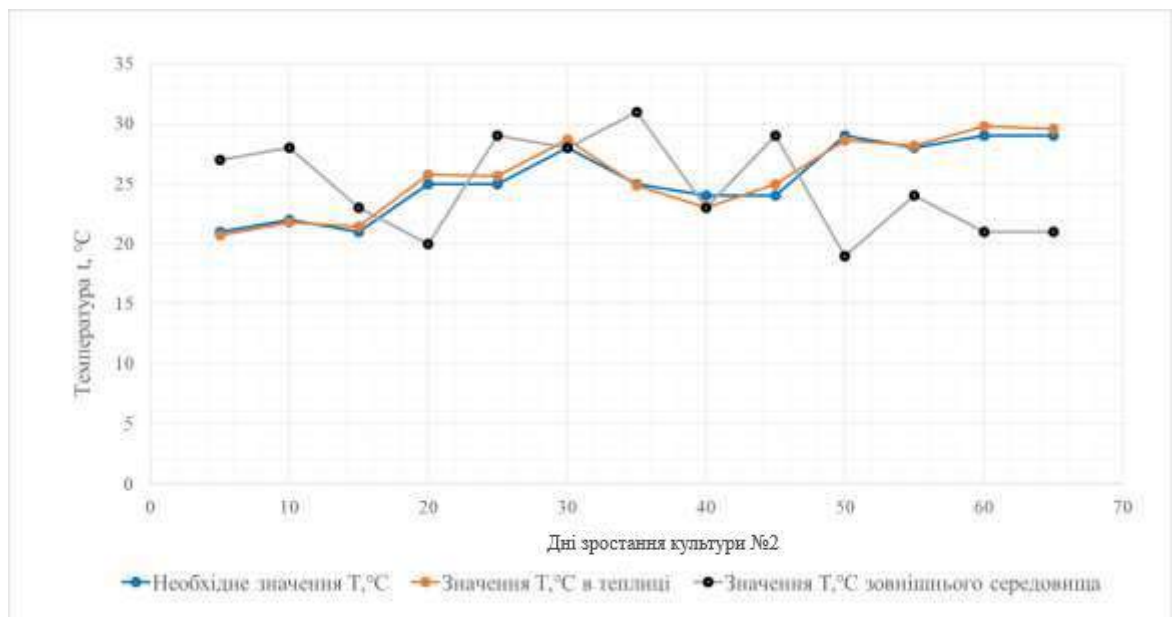


Рисунок 3.17 – Діаграма рівня температури вдень за 3-ьома значеннями

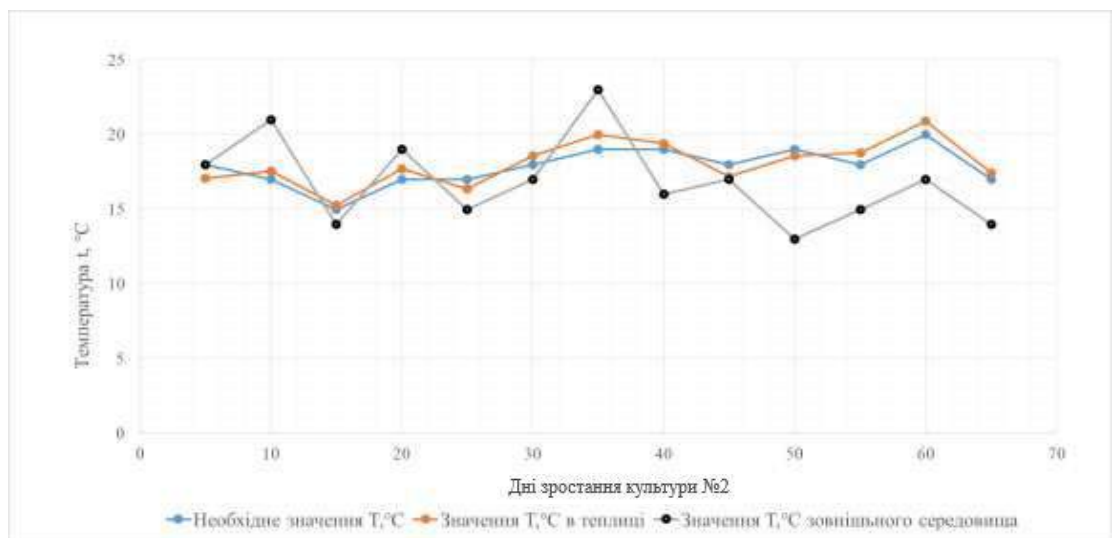


Рисунок 3.18 – Діаграма рівня температури вночі за 3-ьома значеннями

Варто зазначити, що температура вдень і вночі ніяк не впливає на внутрішній мікроклімат вертикальної теплиці. Культурі №2 потрібна висока вологість повітря, при низькій ж істотно знижується запилення і зростання плоду. При дуже низькому рівні вологості зовнішнього середовища вдень рис

3.19, і високою – вночі рис. 3.20, система ВГК підтримує постійний відсоток водяної пари.

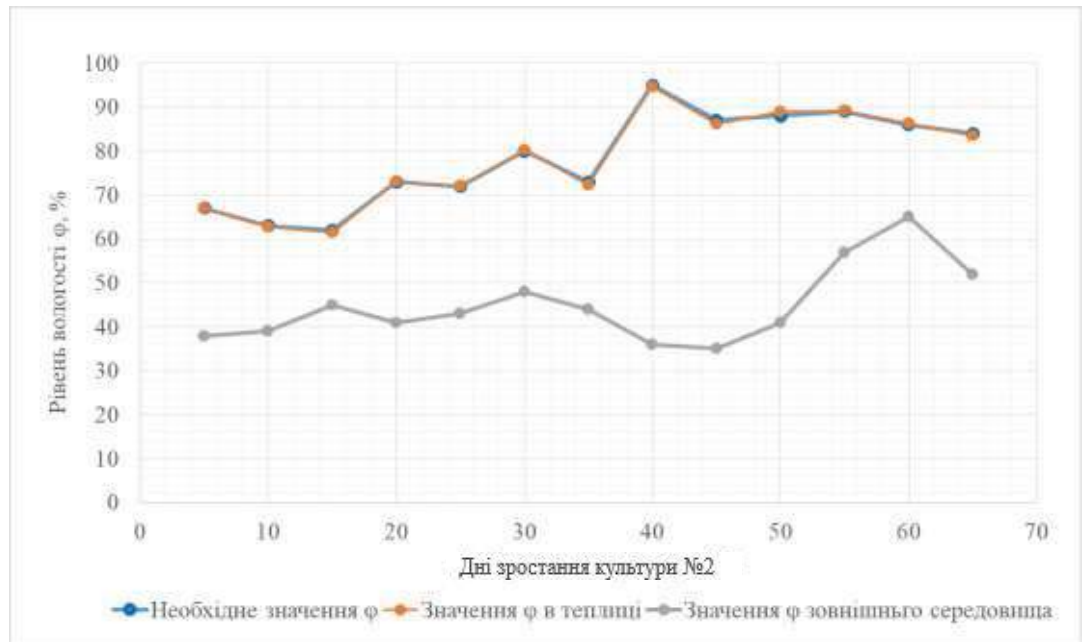


Рисунок 3.19 – Діаграма рівня вологості вдень за 3-ьома значеннями

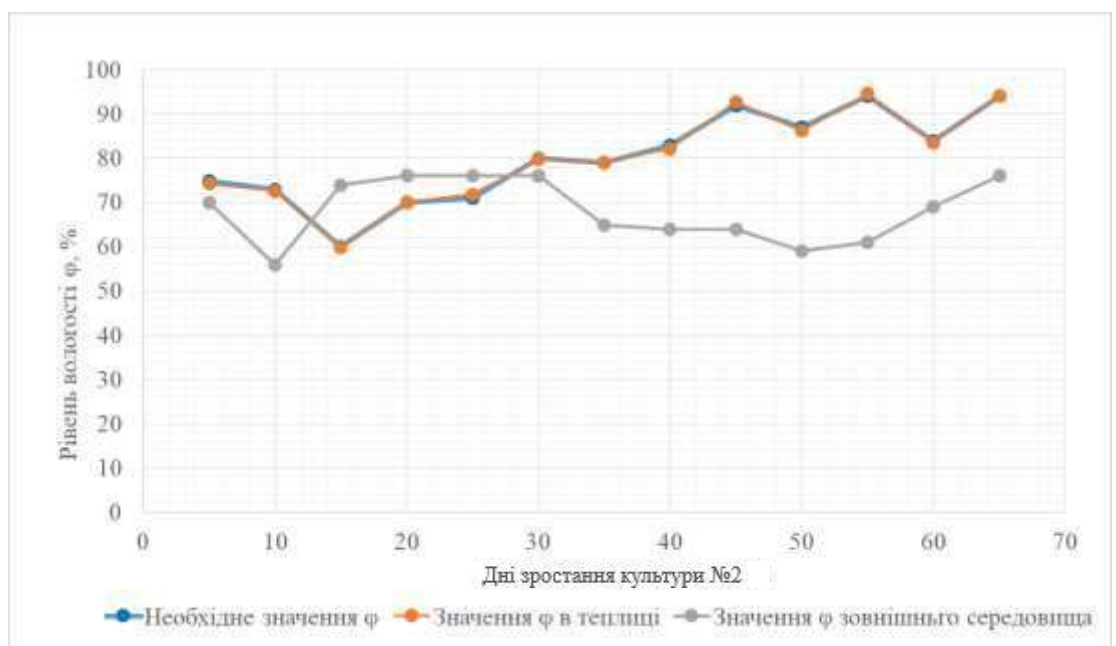


Рисунок 3.20 – Діаграма рівня вологості вночі за 3-ьома значеннями

Культура №2 при підвищенні відсотку вологості повітря вимагає зниження вологості субстрату до 60-70%. Система керування вертикальним тепличним комплексом практично повторює в процентному співвідношенні необхідний рівень субстрату в гідропоніці (рис. 3.21).

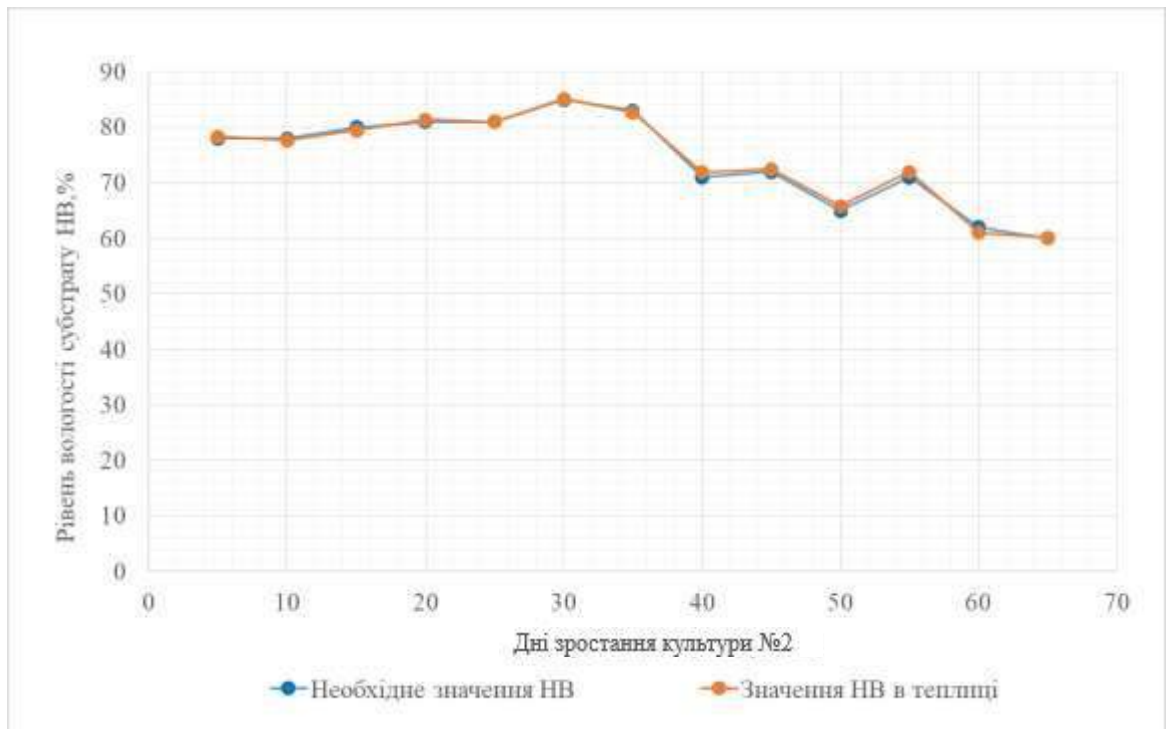


Рисунок 3.21 – Діаграма необхідного та виміряного рівня вологості субстрату

Рівень концентрації для культури №2 від початку вегетації, виходячи з таблиці 3.2, дорівнює 400-900ppm, після чого плавно змінюється до діапазону 900-1190ppm, а плодоношення відбувається в межах 1190-1750ppm. Гідропонний вузол системи керування, фактично, максимально мінімілізує відхилення від необхідного значення (рис. 3.22).

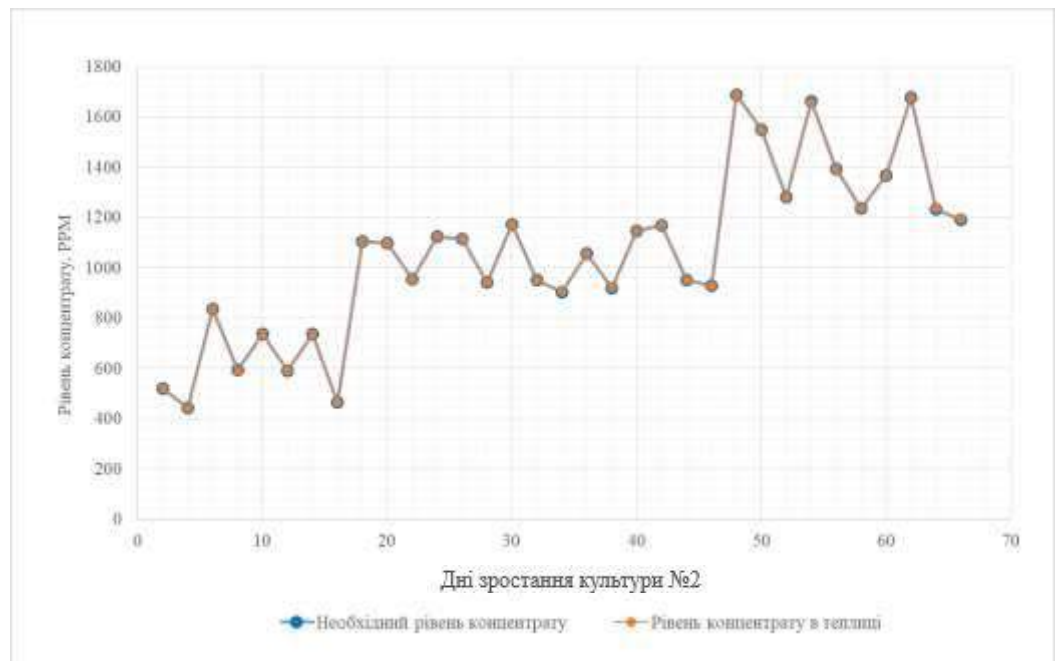


Рисунок 3.22 – Діаграма концентрації розчину гідропоніки

Аналогічна ситуація з системою освітлення і асиміляцією. Вона так само справляється з необхідним рівнем освітлення протягом усього зростання культури №1, №2 (рис 3.23).

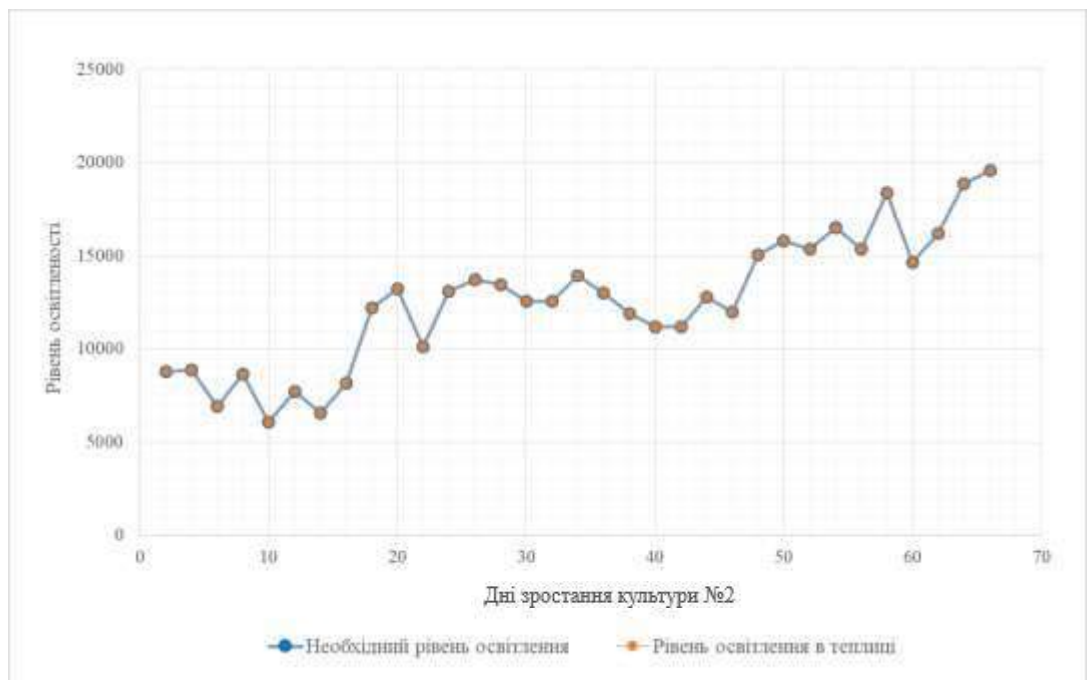


Рисунок 3.23 – Діаграма рівня освітлення та асиміляції

Спираючись на побудовані діаграми роботи систем керування на даних культури №1 і №2, вибору двох різних культур з різними вимогами до мікроклімату, можна зробити висновок, що дійсно вертикальний тепличний комплекс може підтримувати потрібні параметри. При цьому похибка від потрібного діапазону є мінімальною. А незалежність екосистеми ВГК від будь-яких зовнішніх факторів, як було зазначено вище, дозволяє вирощувати різні види зелені, овочів, фруктів цілий рік. Доступна, в більших масштабах вирощування, реалізація ВГК в міському, пустельному середовищі, є не тільки великою перспективою в розвитку великої врожайності, а й підтримці в майбутньому зеленої енергетики.

РОЗДІЛ 4 МЕТОДИКА 3D МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ “ГІДРОПОННОГО” ВИРОЩУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ДИСТАНЦІЙНИХ ДАНИХ

4.1 Аналіз програмного забезпечення для побудови 3D моделювання системи “гідропонного”

3D моделювання розроблялось за допомогою програмного забезпечення Solid Works. Solid Works є ядром інтегрованого комплексу автоматизації підприємства, за допомогою якого здійснюється підтримка життєвого циклу виробу згідно з концепцією CALS — технологій, включаючи двонаправлений обмін даними з іншими Windows-застосунками та створення інтерактивної документації.

Програма з'явилась в 1993 році та складала конкуренцію таким продуктам як AutoCAD та Autodesk Mechanical Desktop, SDRC I-DEAS і Pro/ENGINEER, Solid Edge.

В залежності від класу задач, що розв'язуються, замовникам пропонується три базових конфігурації системи: SolidWorks, SolidWorks Professional та SolidWorks Premium.

Завдання, які вирішуються:

Конструкторська підготовка виробництва:

- 3D проектування виробів (деталей і зборок) будь-якого ступеня складності з урахуванням специфіки виготовлення.
- Створення конструкторської документації.
- Промисловий дизайн.
- Проектування комунікацій (електроджгутів, трубопроводи тощо.).
- Інженерний аналіз (міцність, стійкість, теплопередача, частотний аналіз, динаміка механізмів, газо / гідродинаміка, оптика і світлотехніка, електромагнітні розрахунки, аналіз розмірних ланцюгів і ін.).
- Експрес-аналіз технологічності на етапі проектування.

Технологічна підготовка виробництва:

- Проектування оснащення і інших засобів технологічного оснащення.
- Аналіз технологічності конструкції виробу.
- Аналіз технологічності процесів виготовлення (лиття пластмас, аналіз процесів штампування, витяжки, гнуття та ін.).
- Розробка технологічних процесів.
- Матеріальне та трудове нормування.

- Механообробка: розробка керуючих програм для верстатів з ЧПУ, верифікація УП, імітація роботи верстата. Фрезерна, токарна, токарно-фрезерна і електроерозійна обробка, лазерна, плазмова і гідроабразивна різання, вирубні штампи, координатно-вимірювальні машини.
- Управління даними і процесами на етапі ТПП.

Управління даними і процесами:

- Робота з єдиною цифровою моделлю виробу.
- Електронний технічний і розпорядчий документообіг.
- Технології колективної розробки.
- Робота територіально-розподілених команд.
- Ведення архіву технічної документації.
- Проектне управління.
- Захист даних.
- Підготовка даних для ERP, розрахунок собівартості.

4.2 Побудова 3D моделей у SOLIDWORKS

SolidWorks - це потужне програмне забезпечення для 3D-САПР, що використовується в передових розробках та дизайні. Він в основному використовується для проектування механічних компонентів, продуктів та машин та має широкий спектр застосувань у різних галузях, таких як аерокосмічна, автомобільна та виробництво медичного обладнання.

Характеристики SolidWorks:

SolidWorks має повний набір інструментів проектування, включаючи розширені можливості моделювання, моделювання збірок, моделювання та аналізу, а також креслення та деталізації. Він забезпечує спільну роботу в режимі реального часу і може інтегруватися з іншими програмними програмами для підвищення продуктивності.

Переваги SolidWorks:

Однією з основних переваг SolidWorks є можливість швидкого створення складних моделей та складання, а також можливість моделювання та тестування конструкцій перед їх виготовленням. Він також має велику спільноту користувачів, які діляться порадами, рекомендаціями та кращими практиками, що спрощує його вивчення та використання.

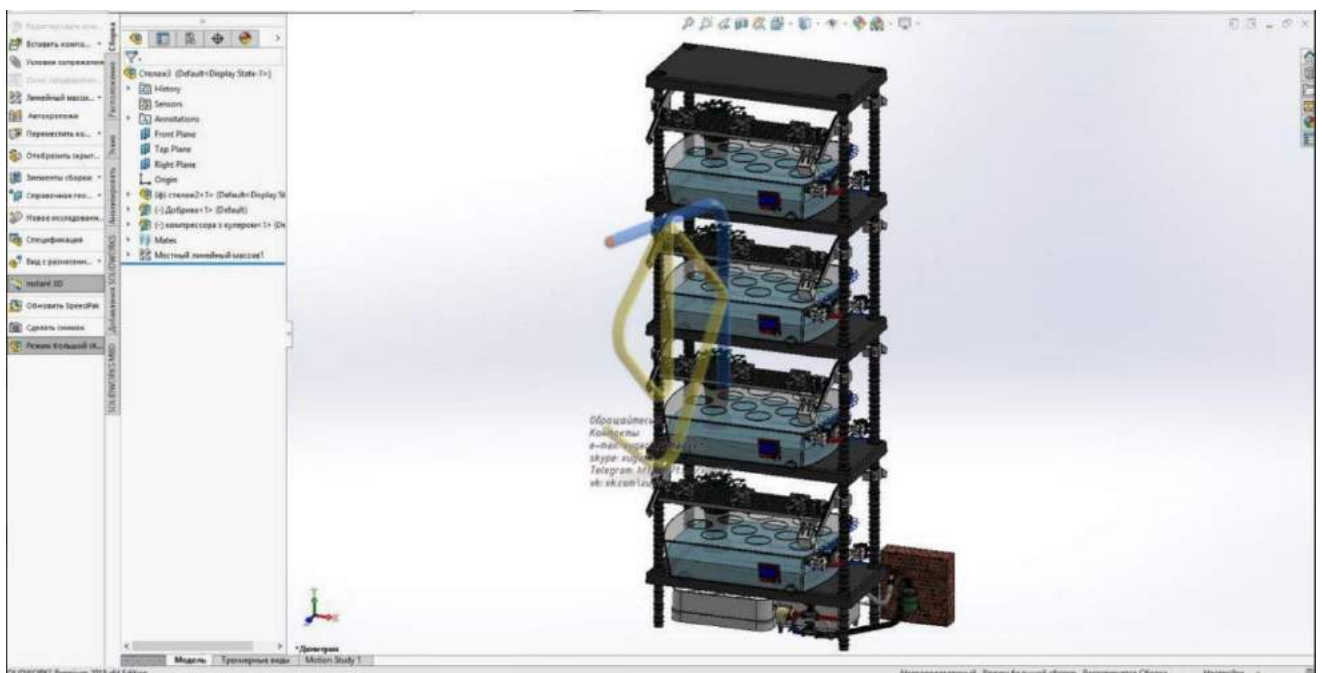
Обмеження SolidWorks:

Одним з обмежень SolidWorks є його висока вартість, яка може стати перешкодою для входу на ринок для малих підприємств та приватних осіб. Він

також має круту криву навчання та вимагає навчання для ефективного використання. Крім того, це може бути не найкращим вибором для певних галузей, таких як архітектура чи графічний дизайн.

Вартість SolidWorks:

SolidWorks доступний через різні варіанти ліцензування, включаючи безстрокові, тимчасові та орендні ліцензії. Вартість безстрокової ліцензії може становити від кількох тисяч до десятків тисяч доларів залежно від редакції та кількості місць. Термінові ліцензії та ліцензії на оренду є більш гнучкими та доступними варіантами для приватних осіб та малого бізнесу.



4.3 Створення бази геоданих стану культур у ВГК за основними параметрами

Описать откуда берутся данные про параметри (описать датчики). Как часто проводятся измерения

Описать как формируется таблица

Мікроклімат приміщення – сукупність змінних параметрів, які визначають стан внутрішнього середовища приміщення, виробничих цехів, складів тощо. Мікрокліматичні показники значно впливають на самопочуття рослин та обслугованого персоналу, який перебуває у приміщенні підприємства, також на

технологічний процес, працездатність та довговічність обладнання, збереження сировини і готової продукції. Моніторинг показників мікроклімату потребує комплексного підходу – дуже важливо контролювати не тільки різні параметри приміщення, а й враховувати їхню взаємозалежність. Система контролю мікроклімату є обов'язковою ланкою для більшості промислових сфер, і потребує застосування спеціалізованого вимірювального обладнання, що відрізняється високими показниками точності. Показники мікроклімату значно впливають на широкий спектр факторів, необхідних для нормальної життєдіяльності та роботи в приміщенні. Так від температури повітря на робочому місці безпосередньо залежить комфорт та врожайність рослин. Підтримка оптимальної температури у приміщенні дозволяє регулювати захисні процеси організмів, запобігати зростання захворюваності рослин, поширення інфекцій, зберегти стан продукції тощо. Крім цього, температурна стабільність необхідна для здійснення виробничих процесів, зберігання матеріалів та продукції. Температурні показники тісно взаємопов'язані з рівнем відносної вологості повітря, у зв'язку з чим їх контролю часто залучають багатофункціональне устаткування. Для моніторингу застосовуються спеціальні вимірювачі температури та вологості повітря – термогігрометри. Відносна вологість повітря грає важливу роль забезпечення комфортних умов на промислових об'єктах. Оптимальні показники вологості в приміщеннях необхідні для ефективної роботи та відпочинку, створення певних виробничих умов, виключення низки факторів, здатних завдати шкоди обладнанню та перешкоджати нормальному зберіганню матеріалів. Швидкість руху повітряних потоків також необхідно враховувати для формування мікроклімату у виробничих приміщеннях. Контроль цього показника необхідний досягнення необхідного ступеня повітрообміну у приміщенні, надання сприятливого на здоров'я і самопочуття працівників та виробничого процесу. Одна і та ж швидкість руху повітря за різної температури може впливати на вирощування рослин як позитивно, так і негативно. Саме тому для комплексного контролю та регуляції всіх мікрокліматичних параметрів застосовуються багатофункціональні прилади та комплекси моніторингу. За для досягнення максимального результату необхідно враховувати показники ряд показників :

- Вміст CO₂
- Концентрацію поживних речовин у розчині
- Температуру та вологість повітря
- Рівень освітлення тощо.

Об'єкт	Умовні координати			Культура	День вегетації	Час	Вимірювані параметри			
	X	Y	Z				Т,С	Вологість %	Освітлення, люкс	Конц. розчину, ppm
ВГК №3	10	5	0							
Стелаж №1	10	5	0,5	№1	10	10:35	18	63	13100	840
Стелаж №2	10	5	1	№1	10	10:35	18,2	63	13150	850
Стелаж №3	10	5	1,5	№2	20	10:35	18,3	64	13500	840
Стелаж №4	10	5	2	№2	20	10:35	18,4	64	13520	830

4.4 Система прийняття рішень для підвищення ефективності управління системи “гідропонного” вирощування

Створення база геоданих дозволяє оперативно приймати рішення щодо якісного управління ВГК. Аналіз наявних статистичних даних у режимі реального часу дозволяє оперативно приймати рішення щодо запобігання негативних наслідків.

Система прийняття рішень наведена у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Система прийняття рішень

№ з.п	Проблема	Наслідки	Вирішення
1	Люксметр фіксує брак світла (2000 LUX)	Уповільнення вегетаційних процесів	ЦК автоматично збільшує рівень освітлення (10000+ LUX)
2	Термогігрометр фіксує надмірну вологість	Втрата врожаю	ЦК вмикає додаткові потужності системи вентиляції
3	Датчик температурі фіксує пониження температури	Уповільнення вегетаційних процесів, втрата врожаю	ЦК уповільнює процес рекуперацій та збільшує температуру опалення

РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕНЬ

5.1 Важливість розвитку ринку вертикальних гідропонних комплексів.

На даний час, актуальність даної теми полягає у тому, що з ростом світового населення збільшується ймовірність того, що все більше людей в країнах, будуть відчувати проблеми в нестачі їжі. Вертикальні ферми не вимагають великої площі і їх можна розміщувати у великих містах, які сьогодні стали основними споживачами їх продукції. На практиці вони можуть розташовуватися практично в будь-яких високих будівлях. В тому числі, і старих будівлях промислового призначення.

Дуже багато аналітиків, які прогнозують, що в найближчі роки ринок комплексних вертикальних ферм і пов'язаних з ним технологій буде рости. Мова в першу чергу йде про потужне, але економне освітлення, 3Dпринтери, аналіз даних, ІТ, добрива та насіння. За даними дослідження «Markets and Markets» середньорічний темп росту технологій з урахуванням складного відсотка 9.75% має дуже велику перспективу в інноваціях (рис.4.1).

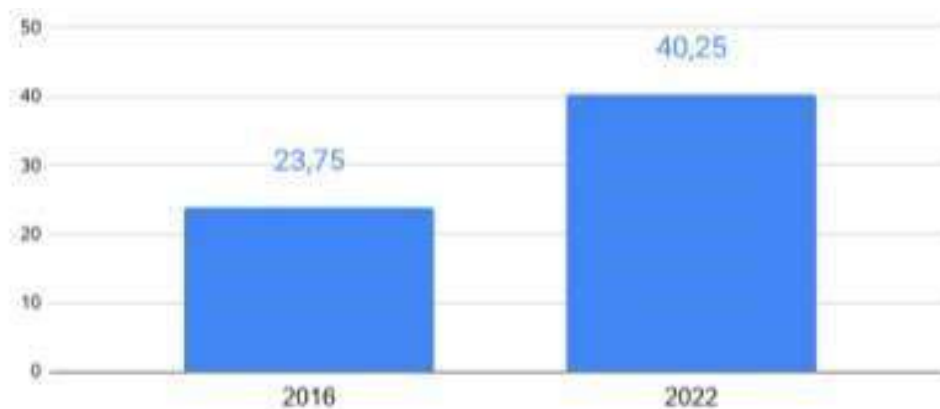


Рисунок 4.1 – Обсяг ринку технологій для вертикальних ферм, \$ млрд

З географічної близькості виробничих потужностей до потенційних ринків збуту відбувається суттєва економія, як витрат на перевезення взагалі, так і паливно-мастильних матеріалів. А це, крім усього іншого, веде до зменшення шкідливих викидів, які пропорційні відстані від місця виробництва до місця

споживання. І, зауважу, що це йдеться про величезні відстанях: при класичному землеробстві його продукція, в середньому, долає до 2000 кілометрів, перш ніж потрапляє до споживача. Друга складова економії паливно-мастильних матеріалів, а з нею і зменшення шкідливих викидів, полягає у відсутності сільгосптехніки, що працює з рослинами.

Також ще однією перевагою вертикальних комплексів, є економія водних ресурсів. Сьогодні з проблемою забезпечення прісною водою стикаються багато країн. Розуміючи, що сільськогосподарська сфера витрачає близько 70% всієї споживаної води в світі, стає зрозумілою гострота проблеми. У свою чергу, вертикальні ферми витрачають на 75 - 95% менше води, ніж традиційне землеробство. Таким чином, економія очевидна.

5.2 Тенденції розвитку вертикальних гідропонних комплексів з позиції стартапу «iFarm».

Компанія «iFarm» з Новосибірська, вже в другий раз, вийшла у фінал і визнана кращим агрофуд-стартапом 2020, на престижному європейському конкурсі «The Europa's Awards», який 11 років визначає найбільш інноваційні технологічні стартапи Європи. Вертикальна ферма «iFarm», являє собою фабрику для міського вертикального фермерства в закритих приміщеннях. Технології, дозволяють круглий рік вирощувати абсолютно здорові рослини, без використання пестицидів. Автоматизований клімат, система «розумного» харчування і світлодіодне освітлення власної розробки, забезпечують рослини всім необхідним, для швидкого зростання. Урожай дозріває в два рази швидше, ніж на полі. Управляє посадками, від прогнозів попиту до обліку збуту продукції, і видає чіткі сценарії для персоналу ферми, контролюючи їх виконання.

Вертикальні ферми легко і просто масштабуються, їх можна зводити будь-якої конфігурації - від 50 до більш ніж 1000 м². Компанія «iFarm» провела 36 експериментів за останні півроку роботи вертикальної ферми, з насінням, світлом, харчуванням і кліматом. Так само за цей час було посаджено до 3 млн насіння.

Загалом проведено 100 агрохімічних аналізів. За останній час, компанія отримала 458 заявок на покупку технології, 17 з них за кордону. Технології цікавлять замовників з Фінляндії, Латвії, Саудівської Аравії, Об'єднаних Арабських Еміратів, Іспанії, Канади, Чилі та інших країн.

Для розрахунку економічної частини проекту «встановлення вертикальної ферми» слід включити такі розрахунки:

- розрахунок капітальних вкладень;
- розрахунок експлуатаційних витрат;
- розрахунок річних доходів;
- розрахунок прибутку;
- розрахунок періоду окупності.

5.3 Розрахунок капітальних вкладень

Капітальні вкладення являють собою кошти, спрямовані на придбання нових підприємств; розширення, реконструкцію і технічне обладнання діючих підприємств.

Таблиця 5.1 – Основні виробничі обладнання тепличного комплексу

№	Найменування	Од. вимірювання	Кількість	Вартість , грн.	Загальна вартість, грн.
1	Комплект теплиці 48м ²	1	1	760900	760900
Підсумок					760900

У мінімальну комплектацію, для автоматизації вертикальної тепличної ферми входить встановлені вузли в дослідницькому пункті (рис. 3.2):

- кондиціонер з зволожувачем повітря (1,2);
- бак з живильним розчином (3);

- два модулі для розсади (6) і дорощування зелені (4) у розмірі трьох одиниць;
- насос (5);
- балон з CO₂ (7);
- концентрат живильного розчину (8);
- бак для підготовки живильного розчину (9);
- бак та фільтр для чистої води (10,11);
- комп'ютер (12) з керуючою програмою та блоком автоматики (13);
- Wi-Fi модулі.

При монтажі обладнання, будемо використовувати вже готову структуру споруди або приміщення.

Розрахунок витрат на монтаж устаткування:

Вартість обладнання: $K_{об.} = 760900$ грн.

Витрати на монтажні роботи складають 10% від вартості обладнання:

$$K_M = K_{об.} \cdot 10\%$$

$$K_M = 760900 \cdot 10\% = 76090 \text{ грн.}$$

Непередбачені витрати складають 1% від вартості обладнання:

$$K_{неп} = K_{об.} \cdot 1\%$$

$$K_{неп} = 760900 \cdot 1\% = 7609 \text{ грн.}$$

Сумарні капітальні витрати:

$$K = K_{об.} + K_M + K_{неп}$$

$$K = 760900 + 76090 + 7609 = 844599 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Розрахунок експлуатаційних витрати, пов'язан з експлуатацією техніки підприємства.

До цих витрат відносяться:

- матеріальні витрати (витрати на оплату електроенергії);
- заробітна плата персоналу;
- єдиний соціальний внесок; амортизаційні відрахування;
- інші витрати.

5.4.1 Фонд оплати праці

Таблиця 4.2 – Мінімальний штат для обслуговування вертикальних ферм 48м²

Посада	Заробітна плата, грн.	Кількість людей	Робочі місяці	Загальна заробітна плата за рік, грн.
Начальник	20000	1	12	240000
Головний інженер	15000	1	12	180000
Головний бухгалтер	12000	1	12	144000
Монтажник	9000	2	12	216000
Електромонтер	9000	3	12	324000
Агроном	9000	6	12	648000
Оператор	8000	3	12	288000
Підсумок				2040000

Розрахунок фонду основної оплати праці:

$$\text{ФОП}_{\Sigma} = \text{ФОП} + \text{Пр} + \text{Дз},$$

де Пр – премії, які складають 25% від ФОП;

Дз – додаткові затрати, які складають 10% від ФОП.

$$\text{ФОП}_{\Sigma} = 2040000 + 510000 + 204000 = 2754000 \text{ грн.}$$

Єдиний соціальний внесок 22% від ФОП:

$$O_{\text{соц}} = 2754000 \cdot 22\% = 605880 \text{ грн.}$$

Амортизаційні відрахування:

У даному випадку термін служби обладнання 10 років, амортизаційні відрахування складають 10% :

$$A_a = K_{\text{об.}} \cdot 10\%$$

$$A_a = 760900 \cdot 10\% = 76090 \text{ грн.}$$

Матеріальні витрати M_v складаються з витрат на матеріали і запчастини, які складають 3% від K – сумарних капітальних витрат.

$$M_v = K \cdot 3\%$$

$$M_v = 844599 \cdot 3\% = 25337,97 \text{ грн.}$$

Витрати на оплату електроенергії визначаються виходячи з потужності споживаної обладнанням, часу роботи і тарифів на електроенергію.

Вертикальний тепличний комплекс у мінімальній комплектації площа якої

становить 48м^2 , а площа робочої посадки 35м^2 , буде розрахований за спожиту енергію посадочної площі:

$$E = D \cdot K \cdot T \cdot 365 \cdot 1.69$$

де D – посадочна площа, $D = 35$;

K – витрати енергії комплексу $\text{КВт}/\text{год.}$, $K = 0.17 \text{ КВт}/\text{год.}$;

T – годин на добу, $T = 24$ години

$$E = 35 \cdot 0,17 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 1,69 = 88086 \text{ грн.}$$

Сумарні матеріальні витрати :

$$M_{в\Sigma} = M_{в} + E$$

$$M_{в\Sigma} = 25337,97 + 88086 = 113423,97 \text{ грн.}$$

Таким чином, експлуатаційні витрати:

$$E_{\text{витр}} = \text{ФОП}_{\Sigma} + O_{\text{соц}} + A_a + M_{в\Sigma}$$

$$E_{\text{витр}} = 2754000 + 605880 + 76090 + 113423,97 = 3549393,97 \text{ грн.}$$

Для більш наочної картинки занесемо дані в таблицю:

Таблиця 5.4 – Експлуатаційні витрати в рік

№	Назва витрат	Річні затрати, грн
1	Фонд оплати праці	2 754 000
2	Єдиний соціальний внесок	605 880
3	Амортизаційні відрахування	76 090
4	Сумарні матеріальні витрати	90 368
Підсумок		3 526 338

5.5 Розрахунок річних доходів

Кожного року, за статистикою компанії «iFarm», продає в середньому 60 технологій теплиць общою площею 48м². У даному випадку разовий дохід являє собою технічне планове обслуговування.

Технічне планове обслуговування:

$$P_{\text{пто}} = N_o * N_{\text{то}} * P_{\text{то}}$$

$$P_{\text{пто}} = 60 \cdot 1 \cdot 15000 = 900000 \text{ грн}$$

де $P_{\text{то}}$ – вартість технічного обслуговування, $P_{\text{то}} = 15000$ грн.

N_o – кількість об'єктів, $N_o = 60$.

$N_{\text{то}}$ – кількість обслуговувань об'єктів на рік, $N_{\text{то}} = 1$.

Непланове технічне обслуговування складатиме 10% від вартості доходу технічного обслуговування:

$$P_{\text{неп}} = P_{\text{пто}} * 10\%$$

$$P_{\text{неп}} = 900000 * 10\% = 90000 \text{ грн.}$$

Знайдемо повну вартість обслуговування з 60 об'єктів:

$$P_{\text{об}} = P_{\text{пто}} + P_{\text{неп}}$$

$$P_{\text{об}} = 900000 + 90000 = 990000 \text{ грн.}$$

Вартість монтажу з 60 об'єктів:

$$P_{\text{мон}} = N_o * P_{\text{мон}}$$

$$P_{\text{мон}} = 60 * 76090 = 4565400 \text{ грн.}$$

де $P_{\text{мон}}$ – вартість монтажу, $P_{\text{мон}} = K_m = 76090$.

N_o – кількість об'єктів, $N_o = 60$.

Загальний дохід в рік:

$$P_{\text{заг}} = P_{\text{об}} + P_{\text{мон}}$$

$$P_{\text{заг}} = 990000 + 4565400 = 5555400 \text{ грн.}$$

5.6 Розрахунок чистого прибутку

Знайдемо річний прибуток :

$$P_{\text{річ}} = P_{\text{заг}} - E_{\text{витр}}$$

$$P_{\text{річ}} = 5555400 - 3549393,97 = 2006006,03 \text{ грн.}$$

Податок на прибуток – 18% річних:

$$H = P_{\text{річ}} \cdot 0.18 = 361081 \text{ грн}$$

Чистий прибуток:

$$P_{\text{чист}} = P_{\text{річ}} - H$$

$$P_{\text{чист}} = 2029062 - 361081 = 1644925.03 \text{ грн.}$$

5.7 Розрахунок періоду окупності вертикальної ферми

Розрахунком періоду окупності можна відобразити проміжок часу, за який капітальні витрати окупляться і почнуть приносити прибуток. Термін окупності розраховується за формулою:

$$T = K/P_{\text{чист}}$$

$$T = 3549393,97/1644925.03 = 2.1 \text{ року.}$$

ВИСНОВКИ

Аналіз наявних методик «гідропонного» вирощування показав, що найбільш ефективні ті системи, які комплексно використовують контактні та дистанційні дані за контролем параметрів.

Ефективне вирощування культур у ВГК можливий тільки за рахунок створення алгоритмів контролю за параметрами середовища й системою управління вертикального гідропонного комплексу.

Розроблена методика 3D моделювання системи ВГК дозволила підвищити ефективність управління системою “гідропонного” вирощування за рахунок комплексного використання контактних і дистанційних даних.

Практичне використання запропонованої методики дозволило підвищити врожайність культур на 12,5% за рахунок оперативної системи прийняття рішень на основі постійно оновлюємих геоданих про стан культур у режимі реального часу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Вертикальные фермы в Украине [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://businessforecast.by/partners/vertikalnye-fermy-vukraine-chno-gde-i-pochem/> .
2. Aero Farms – An environmental champion [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://aerofarms.com/>.
3. Фермы растущие ввысь [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: http://erazvitie.org/article/fermi_rastushie_vvis.
4. iFarm – технологии для выращивания натуральных овощей, ягод и зелени [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: [https:// ifarm.fi/](https://ifarm.fi/)
5. Светодиодное освещение для теплиц [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://nashaferma.com.ua/news/svetodiодное-osvescheniedlya-teplits> .
6. От контроля – к управлению: обзор климатических систем [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: [https:// agro-green.com.ua](https://agro-green.com.ua)
 Углекислота жидкая, CO₂, двуокись углерода, диоксид углерода [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://gidro.techgroup.pro/uglekislota>.
7. Разработка эскизного проекта «умная теплица» [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://propoliv.com/blog/teplitsy/umnaya-teplitsa-ili-it-pomidory-sovremennye-resheniya-v-pomoshch-sadovodu/>
8. Структурная схема инверторного кондиционера [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://profik.com.ua/ustrojstvo-invertora-kondicionera-princip-raboty-invertora-v-kondicionere-kak-rabotaet-invertor-kondicionera/>
9. Архів погоди у Бердянську [Электронный ресурс]. Режим доступа до ресурсу: <https://pogoda.meta.ua/Zaporizka/Berdianskyi/Berdiansk/archive/>.

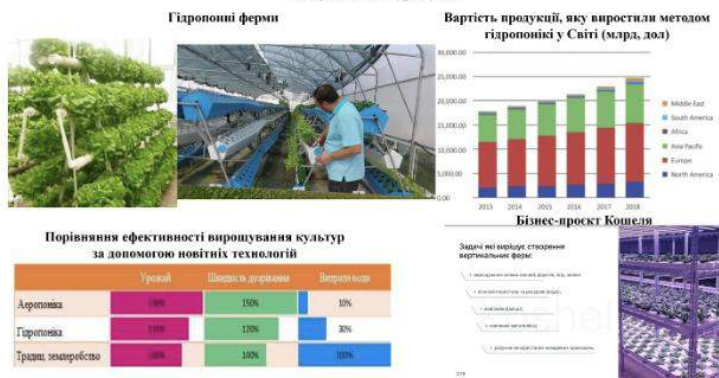
10. Выращивание клубники на гидропонике [Електронний ресурс].
Режим доступу до ресурсу: <https://agrodom.com.ua>
11. Кошель І.О. Гідропоніка – як технологія майбутнього // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Комп'ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. 29-30 листопада 2023р. м. Житомир

ДОДАТОК А

Методика 3D моделювання системи «гідропонного» вирощування з використанням дистанційних даних

Виконавець *Кошель І.О.*Керівник *д.т.н., проф. Данишина С.Ю.*

Актуальність роботи



Мета роботи:

підвищення ефективності управління системи «гідропонного» вирощування за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних

Отримані результати

Поняття про «гідропонне» вирощування та систему вертикального гідропонного комплексу (ВГК)

Гідропоніка - це метод вирощування рослин, при якому коріння рослин знаходяться в середовищі без ґрунту, а їхні корені зазвичай занурюються у водні розчини, які містять необхідні поживні речовини для забезпечення росту та розвитку рослин.

Основна ідея гідропоніки полягає в тому, щоб надавати рослинам всі необхідні елементи живлення без використання ґрунту. Це може бути досягнуто за допомогою різних систем, таких як система крапельного зрошення, фільмова гідропоніка, аеропоніка та інші.

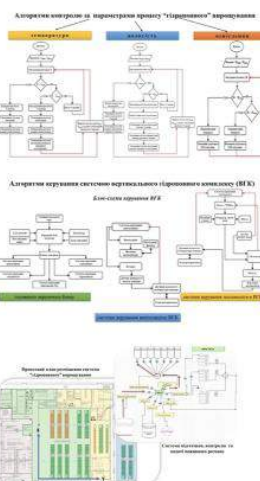
Переваги гідропоніки включають більший контроль над умовами росту рослин, ефективне використання води та поживних розчинів, відсутність забруднення ґрунту, швидкий ріст рослин, а також можливість вирощування рослин у місцях з обмеженим доступом до ґрунту.

Гідропоніка застосовується як у великих сільськогосподарських комплексах, так і в домашніх умовах для вирощування різноманітних культур.



Типова вертикального гідропонного комплексу (ВГК):

- 1) зволожувач;
- 2) кондиціонер;
- 3) бак з живильним розчином;
- 4) модуль дорощування зелені;
- 5) насос;
- 6) модуль для росади;
- 7) базон з CO₂;
- 8) концентрат живильного розчину;
- 9,10) бак для зберігання чистої води;
- 11) фільтр для води;
- 12) комп'ютер з програмою, що управляє;
- 13) блок автоматики.



Формування вирощуваних значень, для вирощування культур у ВГК

культура N1 - Помідор	Параметр	Значення	Питання	Відповідь	
культура N2 - Огірок	Температура повітря	18-22	18-20	18-20	Діаг.
	Температура ґрунту	18-22	18-20	18-20	Діаг.
	Відносна вологість повітря	60-70%	70-80%	70-75%	Сир. під.
	Відносна вологість ґрунту	60-70%	70-80%	70-75%	Сир. під.
культура N3 - Огірок	Температура повітря	18-22	18-20	18-20	Діаг.
	Температура ґрунту	18-22	18-20	18-20	Діаг.
	Відносна вологість повітря	60-70%	70-80%	70-75%	Сир. під.
	Відносна вологість ґрунту	60-70%	70-80%	70-75%	Сир. під.

Програме забезпечення для побудови 3D моделі системи «гідропонного» вирощування

Апаратні вимоги	Можливість використання SolidWorks для геоінформаційних технологій в 3D моделюванні
ОС Windows 10/11	✓ 3D моделювання - SolidWorks дозволяє створювати 3D моделі об'єктів, використовуючи 3D-сканування об'єктів або записи.
Процесор Intel Core i5/i7	✓ Точність даних - За допомогою функції «Сканування» можна отримувати точні дані про об'єкти в SolidWorks.
ОЗУ 16 GB або більше	✓ Продуктивність - SolidWorks дозволяє використовувати швидкісні функції управління даними.
Відекарта Спеціалізована відеокарта з підтримкою 3D	✓ Висока якість зображення - Спеціалізовані відеокарти забезпечують високу якість зображення.

Дистанційні дані для 3D моделювання системи «гідропонного» вирощування

Використання БПЛА



Дистанційне фотографування з фотоапарата



Apple iPhone 7 Plus

Основна камера	12 Мп + 12 Мп
Особливості основної камери	Підтримка режиму 4K, Опані, 3-об'єктив, Темпоспівня, Широкосмуковий зйомки
Кількість основних камер	2
Залик відео основної камери	4K/30FPS/1080P/720P
Додатково	Екрановий об'єктив з фізичною 2,5-кратною оптичною зумом (роздільність 10-кратний збільшення при фізичній 2,5-кратній зум-лінзі)



Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
Факультет ракетно-космічної техніки
Кафедра геоінформаційних технологій та космічного моніторингу Землі
кваліфікаційна робота магістра
спеціальність 103 «Науки про Землю»
освітня програма «Космічний моніторинг Землі»

ДОДАТОК Б

Методика 3D моделювання системи “Гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних

Виконав: студент групи 465м
Кошель І.О.
Керівник: д.т.н., проф.
Даншина С.Ю.

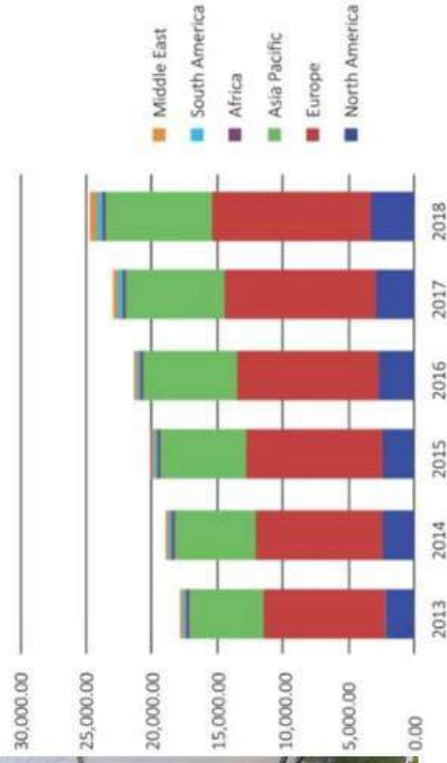
Харків - 2024

Актуальність роботи

Гідропонні ферми



Вартість продукції, яку виростили методом гідропоніки у Світі (млрд, дол)



Порівняння ефективності вирощування культур за допомогою новітніх технологій



Бізнес-проект Кошеля

Задачі які вирішує створення вертикальних ферм:

- вирощування свіжих овочів, фруктів, ягід, зелени
- економія простору та ресурсів (води)
- нові робочі місця
- озелення мегаполісів
- розумне використання наявних приміщень

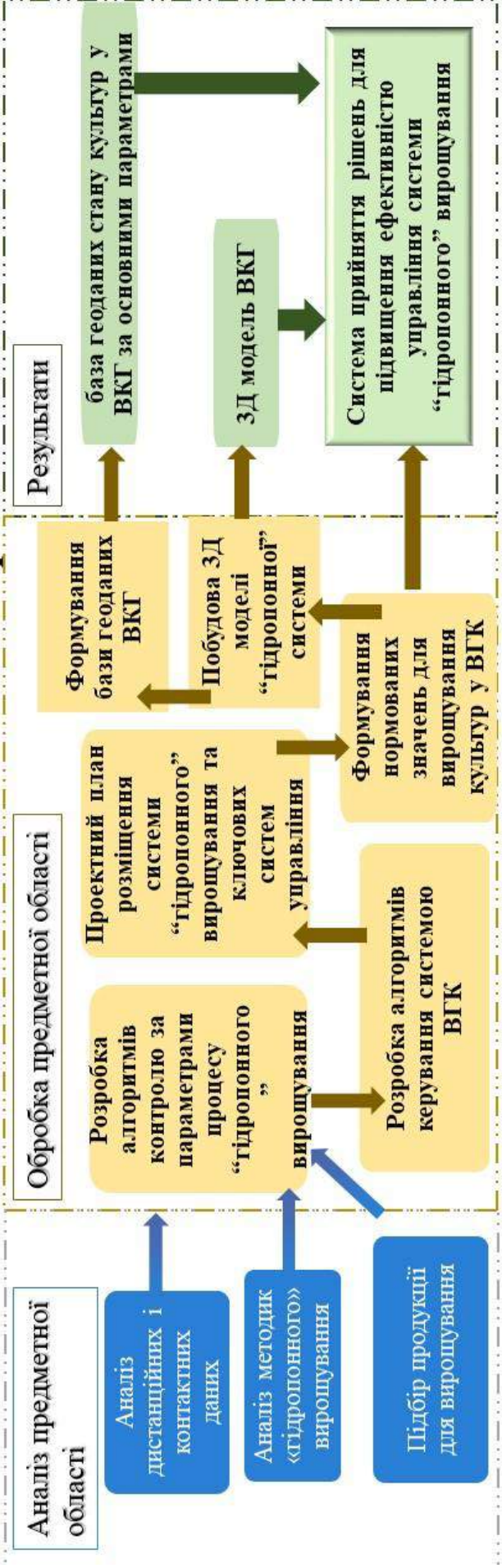


МЕТА РОБОТИ – підвищення ефективності управління системи “гідропонного” вирощування за рахунок комплексного використання контактних та дистанційних даних

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ: процеси побудови 3D моделей системи “гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних

ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ: методика 3D моделювання системи “гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних

Схема основних етапів роботи



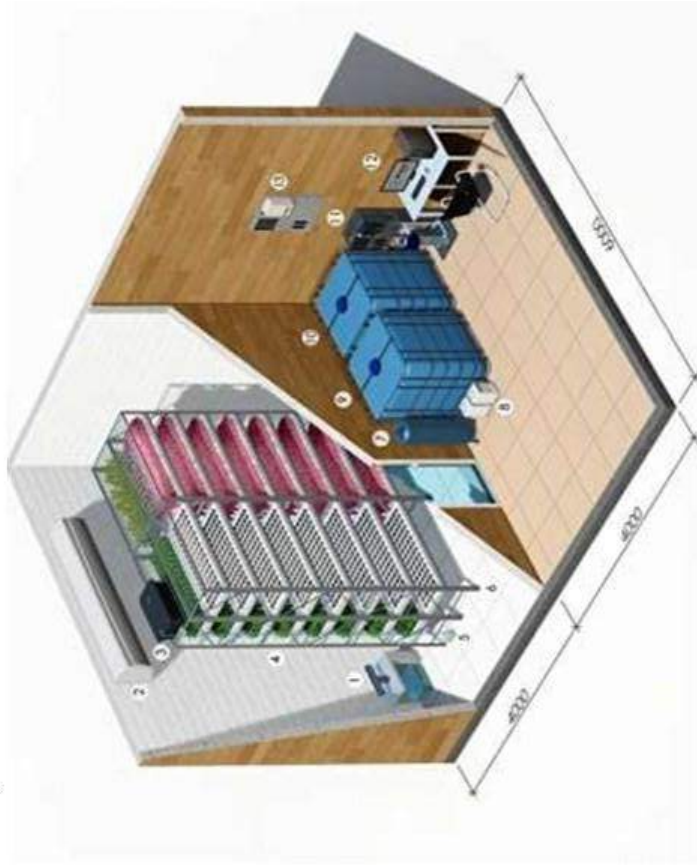
Поняття про “гідропонне” вирощування та систему вертикального гідропонного комплексу (ВГК)

Гідропоніка – це метод вирощування рослин, при якому коріння рослин знаходяться в середовищі без ґрунту, а їхні корені зазвичай занурюються у водні розчини, які містять необхідні поживні речовини для забезпечення росту та розвитку рослин.

Основна ідея гідропоніки полягає в тому, щоб надавати рослинам всі необхідні елементи живлення без використання ґрунту. Це може бути досягнуто за допомогою різних систем, таких як система крапельного зрошення, фільмова гідропоніка, аеропоніка та інші.

Переваги гідропоніки включають більший контроль над умовами росту рослин, ефективне використання води та поживних розчинів, відсутність забруднення ґрунту, швидший ріст рослин, а також можливість вирощування рослин у місцях з обмеженим доступом до ґрунту.

Гідропоніка застосовується як у великих сільськогосподарських комплексах, так і в домашніх умовах для вирощування різноманітних культур.



Типова вертикального гідропонного комплексу (ВГК):

- 1) зєоложувач; 2) кондиціонер; 3) бак з живильним розчином;
- 4) модуль дорощування зелені; 5) насос; 6) модуль для розсади; 7) балон з CO_2 ; 8) концентрат живильного розчину; 9,10) бак для зберігання чистої води; 11) фільтр для води; 12) комп'ютер з програмою, що управляє; 13) блок автоматики.

Асортимент продукції вертикальної ферми

Наша наукова основа:
перспективний підхід
дозволяє вирощувати смачну
їжу в чистій, ефективній
і стабільній спосіб.

- Базілік червоний
- Базілік зелений
- Руколла
- Шпинат
- Мікрогрін
- Бок чой
- Мангольд
- Помідори
- Огірки
- Салат Лолло Роса
- Салат Айсберг
- Салат Лолло Біонда
- Салат Саланова
- Салат Романо
- Салат Батхерд

та багато іншого.....

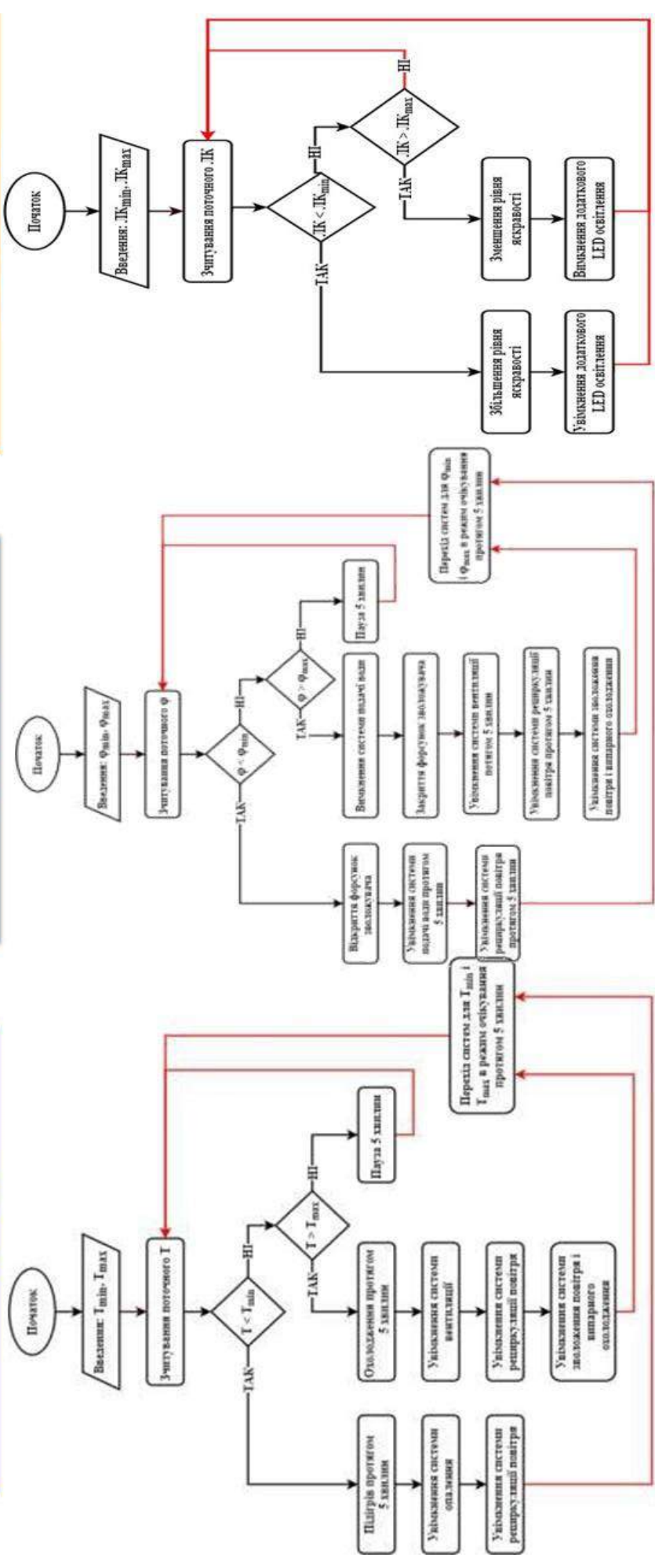


Алгоритми контролю за параметрами процесу "гідропонного" вирощування

температура

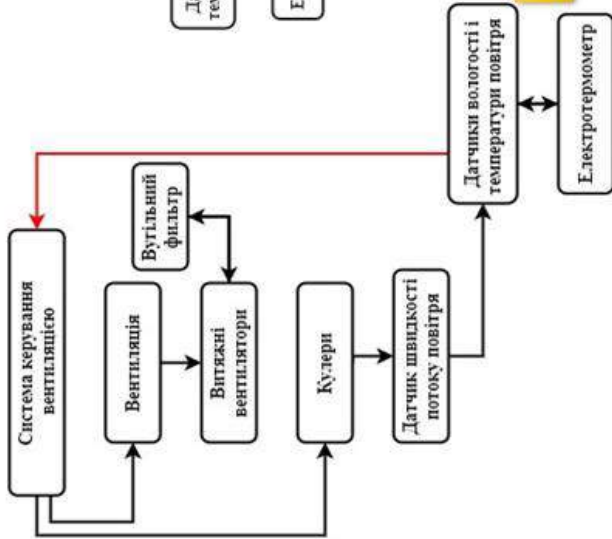
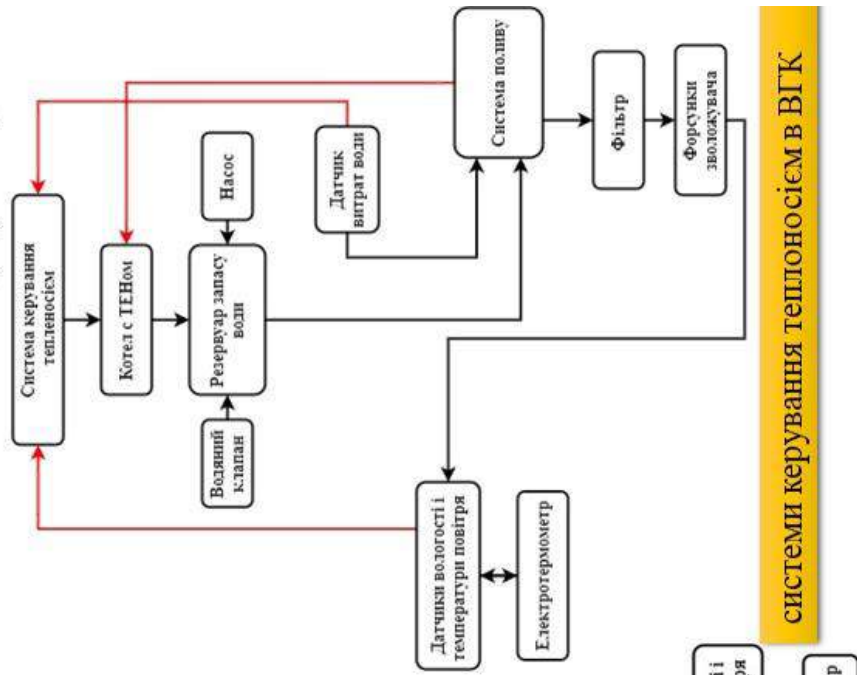
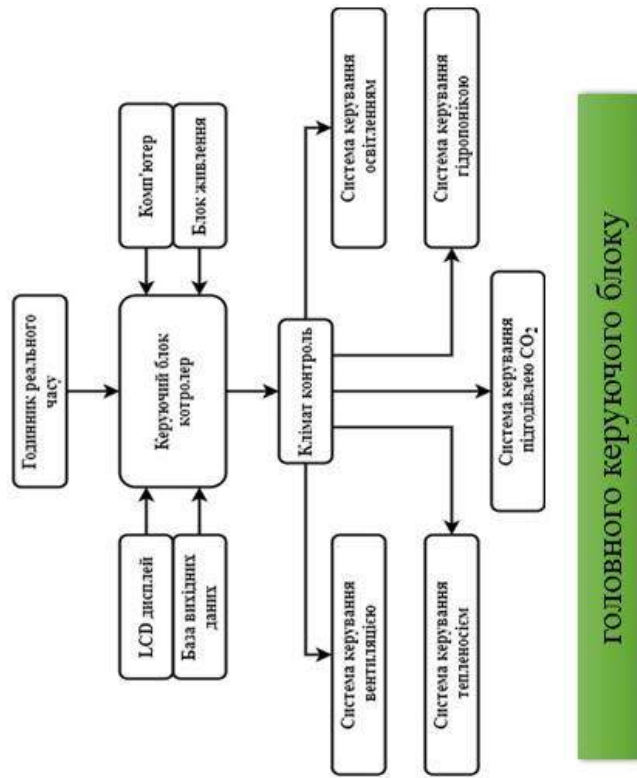
вологість

освітлення



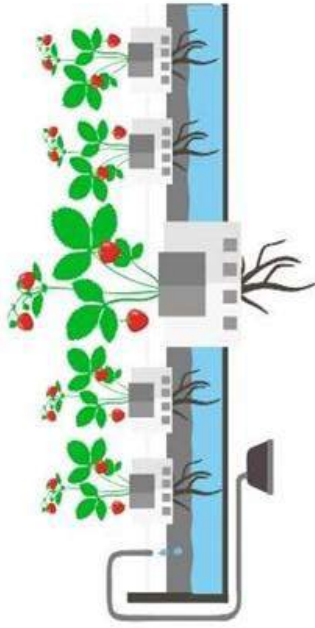
Алгоритми керування системою вертикального гідропного комплексу (ВГК)

Блок-схеми керування ВГК



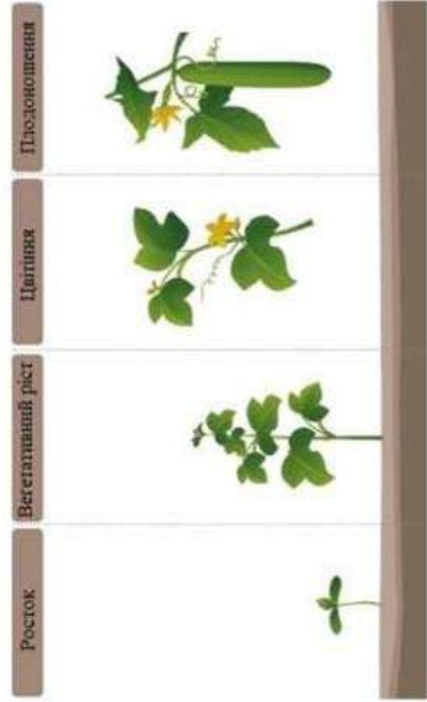
Формування нормованих значень для вирощування культур у ВГК

культура №1 - Полуниця



Параметри	Проростання	Цвітіння	Плодоношення	Час доби
Температура T, °C	16-18 8-12	18-20 14-18	20-25 17-19	День Ніч
Вологість повітря, φ	80-90%	70-80%	70-75%	Сер.доб.
Вологість субстрату НВ, %	65-70%	70-75%	75-80%	Сер.доб.
Освітлення, ЛК	10000-14000	14000-18000	18000-20000	Сер.доб.
Тривал. світл. дня	14-18 год	14-16 год	12-14 год	–
Гідропоніка і CO ₂ , PPM	600-1000	1000-1260	1260-1540	Сер.доб.

культура №2 - Огірок



Параметри	Пророст.	Цвітіння	Плодоношення	Час доби
Температура, T, °C	18-22 15-18	24-28 16-20	24-30 16-20	День Ніч
Вологість повітря, φ	60-75%	70-80%	80-95%	Сер.доб.
Вологість субстрату, НВ %	75-80%	80-85%	60-75%	Сер.доб.
Освітлення, ЛК	6000-9000	10000-14000	14000-20000	Сер.доб.
Тривал. світл. дня	14-18 год	14-16 год	12-14 год	–
Гідропоніка і CO ₂ , PPM	400-900	900-1190	1190-1750	Сер.доб.

Програмне забезпечення для побудови 3D моделі системи “Гідропонного” вирощування



Апаратні вимоги

	2022	2023	2024
Процесор	64-розрядна; Intel або AMD		
ОЗУ	16 ГБ або більше PDM Contributor/Viewer або Electrical Schematic: 8 ГБ або більше		
Відеокарта	Сертифіковані відеокарти та драйвери		
Накопичувачі	Для оптимальної продуктивності рекомендується використовувати SSD-накопичувачі		

Можливості використання SolidWorks для геоінформаційних технологій й 3D моделювання



3D-моделювання: SolidWorks дозволяє створювати деталізовані 3D-моделі географічних об'єктів або ландшафтів.



Імпорт даних: За допомогою інструменту Geomagic for SOLIDWORKS можна імпортувати 3D-скани прямо в SolidWorks.



Прецизійне проектування: SolidWorks дозволяє виконувати точне проектування з використанням розширених інструментів CAD.



Введення системи умовних тривимірних прямокутних координат



Дистанційні дані для 3Д моделювання системи «гідропонного» вирощування

Використання БПЛА



Квадрокоптер DJI Mini 3 Pro RC (CP.MA.00000492.01)

Матриця: 1/1.3" (CMOS)
Камера: з камерою
Ефективна кількість пікселів: 48 Мп
Функція повернення на точку зльоту: з функцією
Об'єктив: FOV 82.1° (еквівалент формату 24 мм) f/1.7 (діапазон зйомки: від 1 м до ∞)
Діапазон ISO: фото 100-6400, 100-6400 (відео авто), відео 100-6400 (ручний)
Підвіс для камери: є
Швидкість електронного затвора: 2 - 1/8000 с
Максимальний розмір зображення: 8064 x 6048
Режими відеозапису: 2.7K: 2720x1530 24/25/30/48/50/60fps, FHD: 1920x1080

Дистанційне фотографування з фотоапарата



Apple iPhone 7 Plus



Основна камера 12 Мп + 12 Мп
Особливості основної камери Підтримка знімання 4K
Спалах
Стабілізація
Телеоб'єктив
Ширококутний об'єктив
Кількість основних камер 2
4K/3840x2160/стереозвук
Запис відео основної камери Ширококутний об'єктив: діафрагма f/1.8/телеоб'єктив: діафрагма f/2.8/
шестипівнісний об'єктив/двократний оптичний зум (фото/відео)/10-кратний
цифровий зум (фото)/6-кратний цифровий зум (відео)
Додатково

Побудова 3Д моделі системи “гідропонного” вирощування з використанням дистанційних даних

Дистанційні дані (знімки з БПЛА, фотоапарату)



Внесення геометричних характеристик елементів ВГК та їх орієнтування



Побудова 3Д моделі в SolidWorks



ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕНЬ

	Капітальні вкладення	844599 грн		Експлуатаційні витрати	3526338
<ul style="list-style-type: none"> - Гідропонний комплекс: кондиціонер з зволожувачем повітря (1,2); - бак з живильним розчином (3); - два модулі для розсади (6) і дорощування зелені (4) у розмірі трьох одиниць; - насос (5); - балон з CO₂ (7); - концентрат живильного розчину (8); - бак для підготовки живильного розчину (9); - бак та фільтр для чистої води (10,11); - комп'ютер (12) з керуючою програмою та блоком автоматики (13); - Wi-Fi модулі. 	<ul style="list-style-type: none"> - матеріальні витрати (витрати на оплату електроенергії); - заробітна плата персоналу; - єдиний соціальний внесок; - амортизаційні відрахування; - інші витрати. 	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">3549393</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">2040000</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">605 880</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;">76 090</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">90 368</div>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">Розрахунок річних доходів</div> <p><i>Технічне планове обслуговування:</i></p> $P_{пто} = N_o * N_{то} * P_{то} \quad \mathbf{9000000 \text{ грн}}$ <p><i>Непланове технічне обслуговування</i></p> $P_{неп} = P_{пто} * 10\% \quad \mathbf{900000 \text{ грн}}$ <p><i>Повну вартість обслуговування з 60 об'єктів</i></p> $P_{об} = P_{пто} + P_{неп} \quad \mathbf{9900000}$	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px; text-align: center;">періоду окупності 2.1 року</div> <p><i>Вартість монтажу з 60 об'єктів</i></p> $P_{мон} = N_o * P_{мон} \quad \mathbf{4565400}$ <p><i>Загальний дохід в рік</i></p> $P_{заг} = P_{об} + P_{мон} \quad \mathbf{5555400}$ <p><i>Розрахунок чистого прибутку</i></p> $P_{чист} = P_{річ} - H \quad \mathbf{1644925}$	

Висновки

1. Аналіз наявних методик «гідропонного» вирощування показав, що найбільш ефективні ті системи, які комплексно використовують контактні та дистанційні дані за контролем параметрів
2. Ефективне вирощування культур у ВГК можливий тільки за рахунок створення алгоритмів контролю за параметрами середовища й системою управління вертикального гідропонного комплексу
3. Розроблена методика 3D моделювання системи ВГК дозволила підвищити ефективність управління системою “гідропонного” вирощування за рахунок комплексного використання контактних і дистанційних даних.
4. Практичне використання запропонованої методики дозволило підвищити врожайність культур на 51,3% за рахунок оперативної системи прийняття рішень на основі постійно оновлюємих геоданих про стан культур у режимі реального часу.

Апробації

1. Кошель І.О. Гідропоніка – як технологія майбутнього // VI Всеукраїнська науково-технічна конференція. Комп’ютерні технології: інновації, проблеми, рішення. 29-30 листопада 2023р. м. Житомир