

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Лисенко Олексій Васильович

УДК 631.331

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ
СКЛАДОВИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В
КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ**

208 «Агроінженерія»

Подається на здобуття освітнього ступеня _магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Медведський О.В.
к.т.н., доцент

АНОТАЦІЯ

Лисенко Олексій Васильович. Підвищення надійності та ефективності складових систем керування мікрокліматом в культивацийних спорудах захищеного ґрунту – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

У кваліфікаційній роботі викладено аналіз основних вимог до автоматизованих систем керування мікрокліматом в культивацийних спорудах захищеного ґрунту, обґрунтовано критерії вибору комплектації систем керування мікрокліматом, розроблено структурну схему автоматизованої системи управління мікрокліматом, побудовано модель функціонування приводу вентиляційних фрамуг в архітектурній споруді захищеного ґрунту, обґрунтовано аналітичну модель можливих технічних станів складових систем природньої вентиляції.

Перед системами мікроклімату висувається ряд основних вимог, основною з яких є можливість легкого і чіткого керування параметрами мікроклімату, а також їх висока надійність. Зазвичай підвищення надійності таких систем тягне за собою значне збільшення їх вартості, тому виникає необхідність забезпечення роботоздатності таких систем.

Обґрунтовано процес контролю технічного стану систем управління мікроклімату у виробничих відділеннях тепличних комплексів, призначених для вирощування сільськогосподарської продукції захищеного ґрунту.

Одержані результати дослідження допомагають краще зрозуміти процеси надійності при експлуатації зубчастих рейок у теплицях та можуть слугувати основою для покращення їх конструкції і обслуговування.

Ключові слова: мікроклімат, зубчаста рейка, надійність, технічний стан, система вентиляції, захищений ґрунт, якісні показники.

ANNOTATION

Lysenko Oleksiy Vasylyovych. Enhancing the reliability and efficiency of components in climate control systems of cultivated structures in protected grounds – Master's thesis as a manuscript.

Master's Thesis for obtaining the educational degree of Master in Specialty 208 – Agroengineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

This master's thesis presents an analysis of the main requirements for automated climate control systems in cultivated structures with protected grounds, identifies the features of climate control systems, justifies the criteria for selecting the configuration of climate control systems, and develops a structural diagram of an automated climate control system. It also develops a functional model of the ventilation flap actuator in an architectural structure with protected ground and justifies the analytical model of possible technical states of the components of natural ventilation systems.

A number of main requirements are put forward for climate systems, the primary of which is the ability for easy and precise control of climate parameters, as well as their high reliability. Usually, increasing the reliability of such systems leads to a significant increase in their cost, hence the necessity to ensure the operational capability of these systems arises.

The process of controlling the technical state of climate control systems in the production units of greenhouse complexes intended for growing agricultural products in protected grounds is substantiated.

The obtained research results help to better understand the reliability processes during the operation of gear racks in greenhouses and may serve as a basis for improving their design and maintenance.

Keywords: microclimate, gear rack, reliability, technical condition, ventilation system, protected ground, quality indicators.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ У ТЕПЛИЦЯХ	9
1.1 Основні вимоги автоматизованих систем керування теплицями	9
1.2. Особливості систем управління мікрокліматом в культивацийних спорудах захищеного ґрунту.	11
1.3. Вимоги до автоматизованої системи керування модульної стаціонарної теплиці	13
Висновки по 1 розділу	14
2. КРИТЕРІЇ ВИБОРУ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТОМ	15
2.1 Критерії вибору систем керування мікрокліматом	15
2.2 Вибір засобів вимірювання параметрів мікроклімату	19
Висновки по 2 розділу	20
3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ	21
3.1. Аналіз структури автоматизованої система керування мікрокліматом в теплиці	21
3.2. Структурна схема зв'язку складових системи керування мікрокліматом	22
3.3. Впровадження фрактальних стратегій для забезпечення енергоефективності культивацийних споруд захищеного ґрунту	29
3.4 Використання фрактального аналізу для обґрунтування вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг теплиць	32

Висновки по 3 розділу	35
4.ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИВОДІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ФРАМУГ, ЯК СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСНОТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ В ТЕПЛИЦІ	36
4.1. Структурна схема системи вентиляції культиваційних споруд захищеного ґрунту	36
4.2. Конструктивні особливості приводів вентиляційних фрамуг	38
4.3. Модель експлуатації приводу вентиляційних фрамуг та граф станів і переходів приводу вентиляційних фрамуг в різні можливі стани	39
Висновки по 4 розділу	43
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	44
ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА	45

ВСТУП

Актуальність теми. Важливим фактором, що впливає на ефективність вирощування продукції закритого ґрунту, є широке впровадження автоматизованого управління та контролю параметрів мікроклімату, високоефективних і надійних в експлуатації систем підвищення вологості та зниження температури.

Використання тепличних комплексів в Україні за останні роки набуло широкого розповсюдження. Пов'язане це, перш за все, можливістю отримувати продукцію рослинництва в заданий період року, при цьому керувати як якістю продукції так і врожайністю.

При вирішенні завдань забезпечення якісних та кількісних показників продукції рослинництва захищеного ґрунту виникає необхідність створення складних систем мікроклімату, що дають змогу забезпечити оптимальні умови росту рослин, при цьому використовувати якомога менше енергетичних засобів. Тому, перед системами мікроклімату висувається ряд основних вимог, основною з яких є можливість легкого і чіткого керування параметрами мікроклімату, а також їх висока надійність. Зазвичай підвищення надійності таких систем тягне за собою значне збільшення їх вартості, тому виникає необхідність забезпечення роботоздатності таких систем.

Робота виконана згідно програми «Підвищення надійності машин і обладнання» реєстраційний номер 0124U002629

Мета і задачі досліджень.

Метою кваліфікаційної роботи є забезпечення якісних та кількісних показників продукції рослинництва шляхом підвищення надійності та ефективності складових систем керування мікрокліматом в культиваційних спорудах захищеного ґрунту.

Задачами кваліфікаційної роботи є:

- аналіз основних вимог до автоматизованих систем керування мікрокліматом в культиваційних спорудах захищеного ґрунту;

- визначення особливостей систем управління мікрокліматом культивацийних спорудах захищеного ґрунту;
- обґрунтування критеріїв вибору комплектації систем керування мікрокліматом;
- розробка структурної схеми автоматизованої системи управління мікрокліматом в культивацийних спорудах захищеного ґрунту;
- побудова моделі функціонування приводу вентиляційних фрамуг в архітектурній споруді захищеного ґрунту;
- обґрунтування математичної моделі можливих технічних станів складових систем природньої вентиляції.

Об'єкт дослідження – процес контролю технічного стану систем управління мікроклімату у виробничих відділеннях тепличних комплексів, призначених для вирощування сільськогосподарської продукції захищеного ґрунту.

Предмет дослідження – автоматизована система контролю мікроклімату у виробничих відділеннях тепличних комплексів, призначених для вирощування сільськогосподарської продукції захищеного ґрунту.

Методи досліджень:

- зіставлення методів і засобів для вимірювання параметрів мікроклімату;
- способи формалізації, моделювання, оцінки та прогнозування;
- методи математичного і фізичного моделювання, включаючи експертні оцінки, принципи чисельної інтерполяції та екстраполяції функцій;
- техніки алгоритмізації, основи теорії автоматичного управління, а також базові принципи електротехніки та схемотехніки;
- методи математичної статистики та аналіз експериментальних даних.

Публікації.

За кваліфікаційної роботи опубліковано 3 тез.

1. Лисенко О.В. Забезпечення надійності складових систем

керування мікрокліматом в умовах вирощування продукції захищеного ґрунту / О.В. Лисенко, В. М. Савченко // // *Збірник тез доповідей X Міжнародної наукової конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* (18 Квітня 2024). Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. 2024. – С. 87-88

2. Лисенко О.В. Впровадження фрактальних стратегій для забезпечення енергоефективності культиваційних споруд захищеного ґрунту / О.В. Лисенко, В. М. Савченко // *Синергетика, фрактали і нові технології: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*. 3-5 червня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 110-113

3. Лисенко О.В. Використання фрактального аналізу для обґрунтування вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг теплиць / О.В. Лисенко, В. А. Балаболов // *Синергетика, фрактали і нові технології: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції*. 3-5 червня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 121-128

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел. Основний текст магістерської роботи викладений на 44 сторінках, повний обсяг роботи становить 47 сторінок, включаючи 26 рисунків та 1 таблиць. Список використаних джерел нараховує 15 найменування і розміщений на 2 сторінках.

1. АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КЛІМАТОМ У ТЕПЛИЦЯХ

1.1 Основні вимоги автоматизованих систем керування теплицями

Основні типи промислових споруд захищеного ґрунту – ангарні та блокові теплиці. Блочні теплиці - це капітальні споруди, а рочні теплиці можуть бути як сезонними, так і капітальними. Сезонні теплиці оснащені різними пристроями підтримки температури: теплогенераторами, калориферами, фрамугами. Механізація процесів у них перебуває на низькому рівні. В роботі [1] проаналізовано вплив взаємозв'язок культиваційних споруд та технологічних систем галузі рослинництва захищеного ґрунту і їх вплив на параметри мікроклімату при вирощуванні продукції рослинництва.

Теплиці в капітальному виконанні облаштовані більш ґрунтовно (див. рис. 1.1).



Рис.1.1 Зовнішній вигляд блочної (модульної) капітальної теплиці

В останні роки ведеться активна робота із заміни застарілих автоматичних засобів управління. На ринку послуг з'являються різноманітні пропозиції щодо їх реконструкції.

Сучасні теплиці мають наступне обладнання для управління мікрокліматом: контури опалення теплиці, систему «ростових» труб; теплокалорифери; циркуляційні вентилятори; систему природнього вентильовання теплиці у вигляді моторизованих фрамуг; теплозахисні та притіняючі екрани (системи зашторювання), водовипарне охолодження, систему асиміляційного освітлення рослин тощо. Все це обладнання має бути об'єднане в єдину систему керування з можливістю застосування різної тактики.

У міжсезоння, коли теплиці порожні та йде підготовка до нового обороту, доцільним буде режим енергозбереження, тобто максимальна економія енергоресурсів за умови продовження роботи систем теплопостачання. У початковий період вегетації, коли закладається майбутній урожай, потрібна підтримка режимів мікроклімату з максимально можливою точністю. У весняний та літній періоди при високому рівні сонячної радіації важливо захистити рослини від опіків, а теплицю від надходження надлишків теплової енергії ззовні, але водночас забезпечити необхідний градієнт температур в об'ємі архітектурної споруди захищеного ґрунту. В роботі [2] відображені раціональні схеми та формальні моделі контролю процесами мікроклімату в промислових теплицях, а також в роботі [3] наведена класифікація способів зняття перегріву рослин в умовах захищеного ґрунту. У період вегетації рослин потрібно дотримання вологого режиму, що досягається шляхом зволоження, а також маніпуляціями вентиляційними фрамугами та рециркуляційними вентиляторами. Зростання рослин супроводжується впливом системи труб «ростового» обігріву. Враховуючи технологічні параметрами необхідно забезпечити оптимальний температурно-вологісний режим біля точки росту рослин (рис. 1.2).

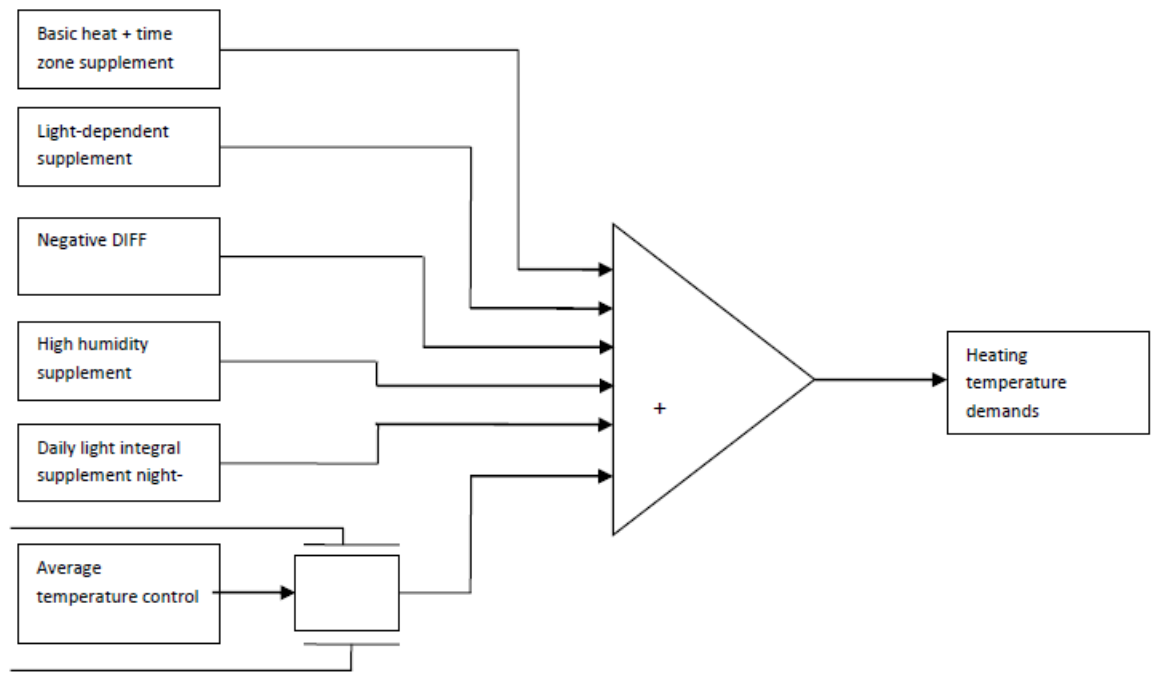


Рис.1.2 Схема комплексного забезпечення температурно-вологісного режиму в теплиці

Розроблена методика «режиму добової інтегрованої температури», дає можливість економії енергоресурсів. Особливістю цього методу є пониження нічних температур при природному підвищенні денної температури за рахунок сонячної радіації, але з дотриманням допустимої різниці між денною та нічною температурою.

Внаслідок цього рослина розвивається під впливом середньодобової температури. Температурна інтеграція ґрунтується на здатності рослини, за рахунок саморегуляції, компенсувати вплив занадто високих або відносно низьких температур. Отже, основна властивість системи управління – її гнучкість, що до реалізації зазначених режимів роботи чи його комбінації.

1.2 Особливості систем управління мікрокліматом в культивацийних спорудах захищеного ґрунту.

Теплопостачання блокових теплиць спочатку проектувалося за багатоконтурною схемою (3-4 і більше контуру на теплицю), ангарні теплиці

спроектовані за одноконтурною схемою. Багатоконтурність блокових теплиць дозволяє створювати ефективніші системи АСУ.

При цьому відбувається розподіл потоків теплоносія на первинні та вторинні контури (рис.1.3)

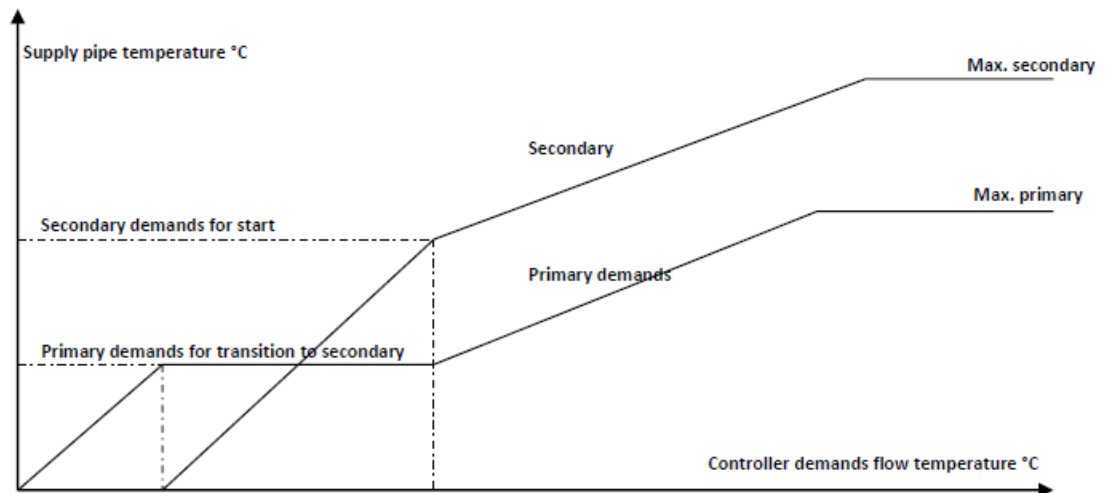


Рис. 1.3 Діаграма перепуску теплоносія з первинного на вторинний контури

Потреба в температурі потоку для первинного шунта, який призупиняє підвищення температури в трубах первинного контуру і перерозподіляє потік теплоносія у відповідності до вимог до труб вторинного контуру. Вторинний шунт бере на себе подачу теплоносія в трубопроводі, доки встановленні значення параметрів не досягнуть свого максимуму для подальшого паралельного розподілення теплоносія між первинним та вторинним контурами.

У деяких господарствах з ангарними теплицями було проведено роботи з поділу контурів опалення теплиць на два типи – шатровий та надґрунтовий, оскільки це є умовою успішної автоматизації. Крім цього ангарні теплиці оснащені трубопроводами обігріву ґрунту. В автоматичі блокових теплиць використовується контроль технічного стану виконавчих пристроїв за допомогою відповідних датчиків.

1.3 Вимоги до автоматизованої системи керування модульної стаціонарної теплиці

Перелік завдань, який має забезпечувати автоматика системи керування мікрокліматом модульної теплиці:

1. Розробка системи автоматичного керування технологічним процесом контролю мікроклімату розподіленої в загальному об'ємі теплиці.
2. Підвищення точності вимірювання параметрів внутрішнього середовища (повітря) та вологості субстрату, шляхом заміни датчиків температури та вологості на інтелектуальні
3. Управління всіма виконавчими механізмами модульної теплиці.
4. Застосування частотного регулювання швидкості обертання рециркуляційних вентиляторів.
6. Забезпечення дистанційного (віддаленого) налаштування параметрів мікроклімату без зупинення технологічного процесу.
7. Робота з базою даних різних режимів системи керування мікрокліматом в залежності від фаз росту та вегетації рослин.
9. Забезпечення можливості зміни та додавання нових режимів та поправочних коефіцієнтів з урахуванням особливостей зростання продукції рослинництва захищеного ґрунту.
10. Забезпечення на програмному рівні захисту виконавчих механізмів.
9. Регулярне проведення самодіагностики та у разі появи несправності, відображення аварійної ситуації на табло блоку керування та на моніторі оператора в диспетчерській.

Висновки по 1 розділу:

1. При реконструкції старих та будівництві нових промислових теплиць основним критерієм оцінки роботи системи керування мікрокліматом внутрішнього середовища є економія енергоресурсів, частка яких є найбільшою в собівартості вирощеної продукції, а також її кількісні та якісні

показники. Саме це і є визначальним у виборі стратегії діяльності підприємств галузі захищеного ґрунту.

2. Сучасні теплиці мають наступне обладнання для управління мікрокліматом: контури опалення теплиці, систему «ростових» труб; теплокалорифери; циркуляційні вентилятори; систему природнього вентилявання теплиці у вигляді моторизованих фрамуг; теплозахисні та притіняючі екрани (системи зашторювання), водовипарне охолодження, систему асиміляційного освітлення рослин тощо. Все це обладнання має бути об'єднане в єдину систему керування з можливістю застосування різної стратегії керування

2. КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

2.1 Критерії вибору систем керування мікрокліматом

Основою якості підтримки мікроклімату є точність виміру фізичних параметрів і насамперед температури повітря. Якщо з вимірюванням температури теплоносія проблем не виникає, то до вимірювання температури повітря потрібно підійти з особливою вимогливістю. Для вимірювання значень параметрів мікроклімату слід використовувати спеціальні датчики (рис. 2.1)



Рис.2.1. Спеціалізовані датчики для вимірювання значень параметрів мікроклімату в теплиці: датчик кімнатної температура RT10• Квантовий датчик Q20В• Датчик сонячної радіації SC21В• Датчик температури води в акумуляційному баку PF5 (PF10)• Датчик температури теплоносія E10•

Крім цього, слід звернути увагу на конструктивні особливості датчиків. Корпус повинен захищати датчик від прямої дії сонячних променів і водночас не повинен створювати навколо нього застійної зони. Для цих цілей зазвичай

застосовується циліндричний контейнер, оснащений циркуляційним вентилятором та групою датчиків (рис. 2.2)



Рис.2.2 Комбінований датчик RTF 6 для вимірювання рівня температури, вологості та концентрації CO₂ в теплиці

Наступна вимога відноситься до вимірювального приладу та схеми з'єднання з ним датчика (рис.2.3). Нині чотири провідна схема з'єднання є обов'язковою. Слід застосовувати прилади промислового виробництва з відповідною сертифікацією та класом точності не менше 0,25. Слід пам'ятати, що помилка у вимірі температури 2,5 °C веде до зміни теплоспоживання до 10%, а помилка вимірювання зовнішнього повітря такий результат дає при зміні температури на 1 °C.

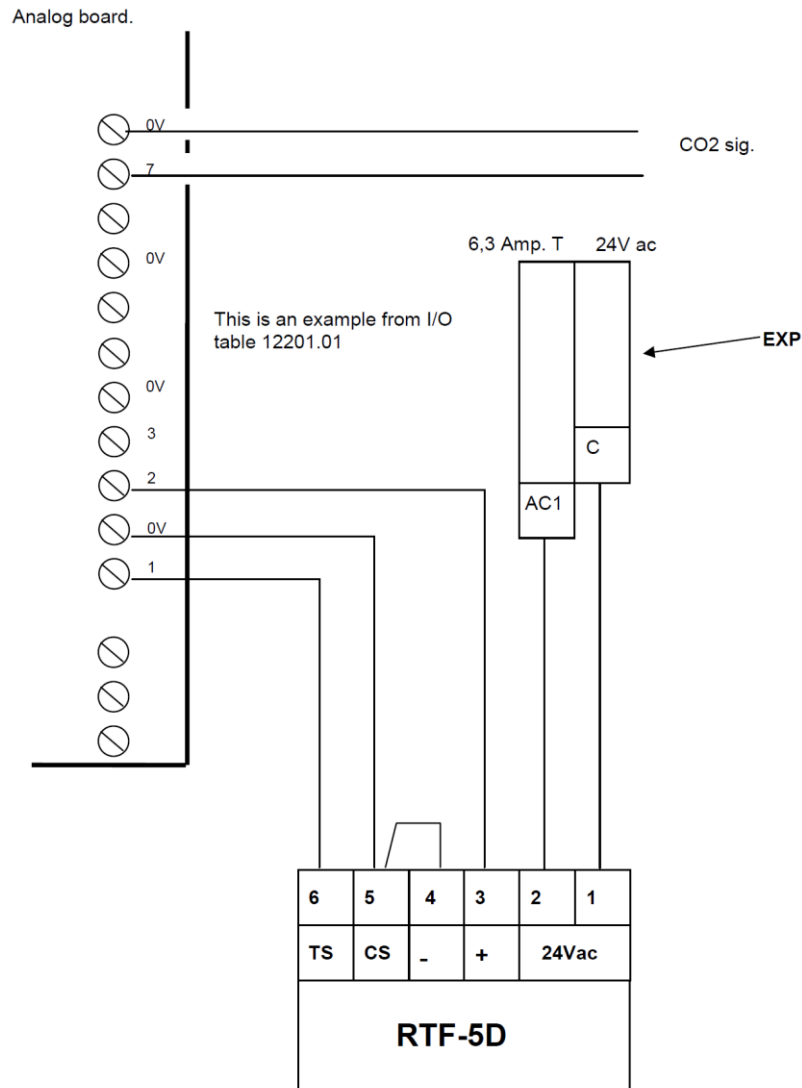


Рис. 2.3 Схема підключення комбінованого датчику RTF до модуля вводу/виводу комп'ютеризованого блоку керування мікрокліматом

Конструктив із датчиками температури необхідно розміщувати у верхній третині рослини (зоні зростання), по одному датчику на одну кліматичну зону. Слід звертати увагу на формування температурного поля. Бажано, щоб різниця температур по горизонталі на площі теплиці була не більше 1 °C, тут допоможуть тихохідні вентилятори рециркуляції (потужністю до 400 Вт з робочим колесом 500 мм).

Не варто встановлювати потужні вентилятори, оскільки при роботі значно підвищується швидкість руху повітря в теплиці, і, відповідно,

зростають втрати тепла через інтенсивність теплообміну через скляне покриття теплиці. При швидкості повітря біля покрівлі понад 1 м/с витрата тепла зростає на 1%, а витрата електроенергії на 7%.

Для захисту рослин від сонячної радіації та загалом теплиці від втрати тепла застосовують захисні екрани. Для переміщення екранів частіше використовується рейкова передача з приводом від мотор-редуктора. З функціональним призначенням екранів необхідно визначитися на етапі проектування. Екрани виготовляються з різними коефіцієнтами теплоізоляції та світловідбиття. Необхідно вирішити, який із способів застосування екрану кращий – для економії тепла або захисту від сонячної радіації. Використовуючи екран, треба пам'ятати, що найбільш оптимальна зовнішня радіація становить близько 200 Вт/м². Цим показником необхідно керуватися при виборі прозорості екрана. В роботі [5] досліджено вплив шторних екранів на внутрішню температуру в теплицях

Найбільш зручний та ефективний спосіб подачі газу до рослин через поліетиленові рукави, розкладені на підлозі теплиці. Продуктивність установки для подачі газу в даний час повинна бути не менше 120-140 м³/га, щоб забезпечувати вміст вуглекислого газу в теплиці, що не вентильовується, 0,1% (1000 ppm). Рівень вуглекислого газу впливає на строки вегетації та урожайність. Але підвищення рівня значно впливає на виробничий персонал, що може призвести до виробничого травматизму та профзахворюваності. В роботах [6,7,8] проведено аналіз впливу технічного стану систем підживлення рослин двоокисом вуглецю на виробничий персонал теплиць, а також на виробничі процеси.

Для обліку метеорологічних даних під час управління мікрокліматом необхідна метеостанція. Основою системи управління є центральний процесорний пристрій (комп'ютер, контролер).

2.2 Вибір засобів вимірювання параметрів мікроклімату

На підставі проведеного аналізу та розробленої схеми автоматизації основними контрольованими параметрами, від яких залежить зростання та вегетація рослин є:

- вологість усередині теплиці;
- вологість субстрату;
- температура всередині теплиці та субстрату
- акумулятивний рівень сонячної радіації.

Вимірювальний блок кріпиться в підсобному приміщенні і служить для перетворення аналогових сигналів, що надходять від датчиків в цифрові. Отримані цифрові сигнали надходять у контролер системи керування.

Мокрі та сухі датчики для вимірювання психрометричної різниці застосовується досі багатьма виробниками промислово виготовлених теплиць. Даний тип датчиків вимагає використання примхливої при експлуатації системи змочування (для мокрого датчика) з ванною для води, рівень якої постійно потрібно підтримувати. Це знижує надійність та ускладнює конструкцію сушильної камери за рахунок більшої кількості вузлів у системі. Вихід з ладу будь-якого з вузлів призводить до спотворення показань, а у випадках недбалого відношення обслуговуючого персоналу виникають порушення техпроцесу і в кінцевому підсумку це позначається на якості росту рослин. Крім цього використання даного типу датчиків (на основі психрометричної різниці) призводить до подорожчання обслуговування та ускладнює саму конструкцію. Ця технологія, як правило, характерна для тепличних господарств для вирощування невибагливих рослин.

При виборі датчика необхідно враховувати вимоги до діапазону та точності вимірювання вологості сушильного агента, тип вихідного сигналу, а саме:

- Діапазон вимірювання вологості: 0-100%;
- Точність вимірювання: 1%;

- Аналоговий вихід: 0-10 В або 4-20 мА.

Висновки по 2 розділу

1. Не варто встановлювати потужні вентилятори, оскільки при роботі значно підвищується швидкість руху повітря в теплиці, і, відповідно, зростають втрати тепла через інтенсивність теплообміну через скляне покриття теплиці
2. Для захисту рослин від сонячної радіації та загалом теплиці від втрати тепла необхідно застосовувати захисні екрани
3. Конструктив із датчиками температури необхідно розміщувати у верхній третині рослини (зоні зростання), по одному датчику на одну кліматичну зону
4. При виборі датчика необхідно враховувати вимоги до діапазону та точності вимірювання вологості сушильного агента, тип вихідного сигналу

3. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СПОРУДАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

3.1. Аналіз структури автоматизованої система керування мікрокліматом в теплиці

Схему автоматизації технологічного процесу вирощування продукції рослинництва у блочних стаціонарних теплицях відповідно до вимог щодо функціонування тепличного господарства з системою опалення та системою зрошення відображена на рис. 3.1.

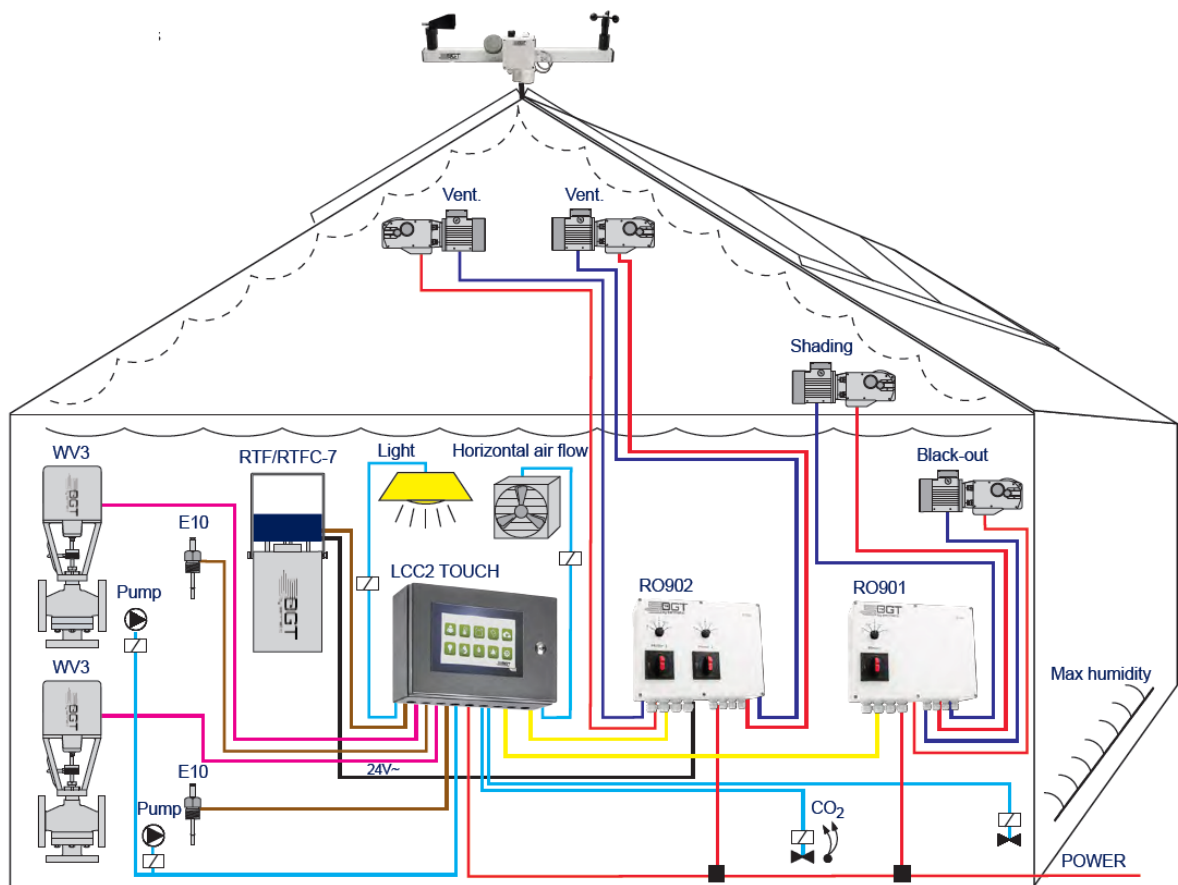


Рис. 3.1 Автоматизована система керування мікрокліматом в теплиці

Клімат-контроль – система автоматизованого керування процесами догляду за рослинами закритого ґрунту, яка управляє:

1. Підтриманням заданого температурно-вологісного режиму в теплиці, шляхом керування системами обігріву, вентиляції, освітлення, керування температурно-вологісного режиму крапельного зрошування.
2. Вибором режимів зрошення рослин (кількість циклів зрошення, необхідна концентрація добрив в розчині) на основі даних температурно-вологісних режимів в теплиці, системи освітлення і подачі команд на поливальний міксер.

Всі процеси контролю та операційних налаштувань здійснюються за допомогою комп'ютеризованого модуля керування параметрами мікроклімату, який зв'язаний сигнальними проводами з усіма технологічними системами в теплиці.

3.2. Структурна схема зв'язку складових системи керування мікрокліматом

Система автоматизованого керування процесами догляду за рослинами на рівні програмного забезпечення Superlink, об'єднує:

- Систему опалення теплиць
- Систему вентиляції (відкриття-закриття фрамуг).
- Систему освітлення теплиць.
- Систему зашторювання.
- Систему підвищення вологості типу
- Систему зрошування.
- Автономну метеостанцію.

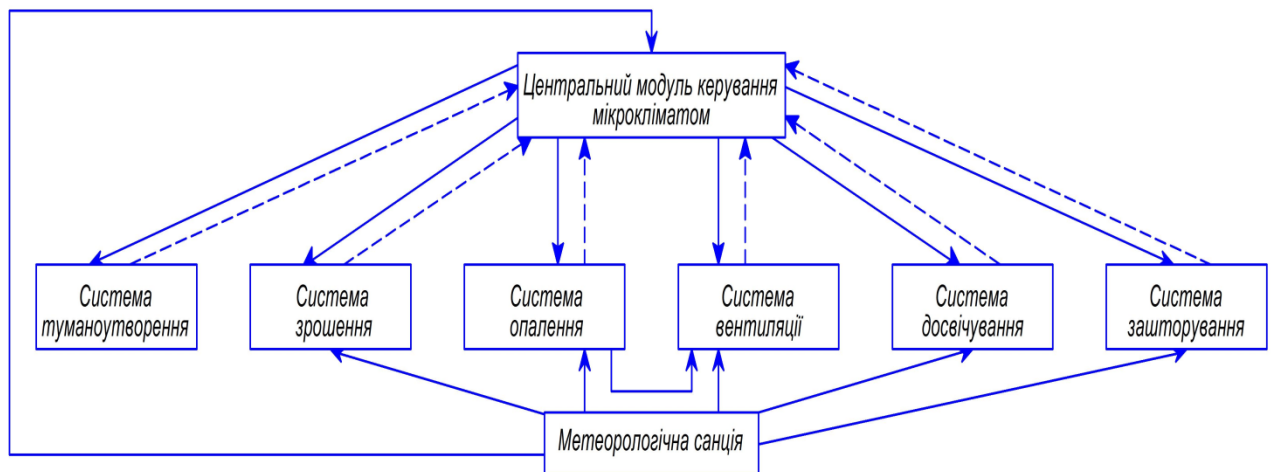
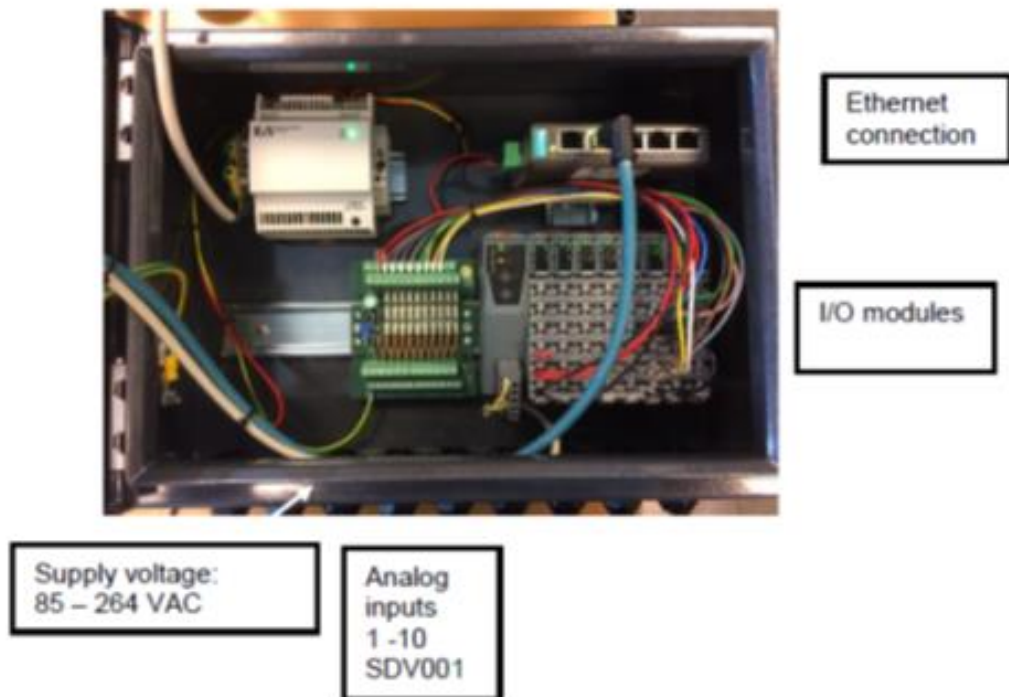


Рис. 3.2. Структурна схема зв'язку складових системи керування мікрокліматом

На першому (нижньому) рівні – забезпечується збір технологічної інформації з вимірювальних перетворювачів та управління виконавчими механізмами та релейною автоматикою. Сигнали з вимірювальних перетворювачів температури та вологості обробляються програмованим логічним контролером (ПЛК).



Рис. 3.3 Програмований логічний контролер



**Рис. 3.4 Програмований логічний контролер LCC 2 (Senmatic, Данія)
керування параметрами мікроклімату**

Контролер, за заданим алгоритмом управління параметрами мікроклімату, формує сигнали керування на виконавчі механізми відповідних контурів. Управління параметрами мікроклімату та зрошування відбувається за допомогою набірних модулів вводу/виводу сигналів керування (I/O modules)

Блок модулів вводу/виводу складається з модуля зв'язку, модуля живлення та ряду входів і виходів (залежно від налаштування вводу/виводу). На рис.3.5 відображено компоновка модуля вводу/виводу сигналів керування LCC 2.

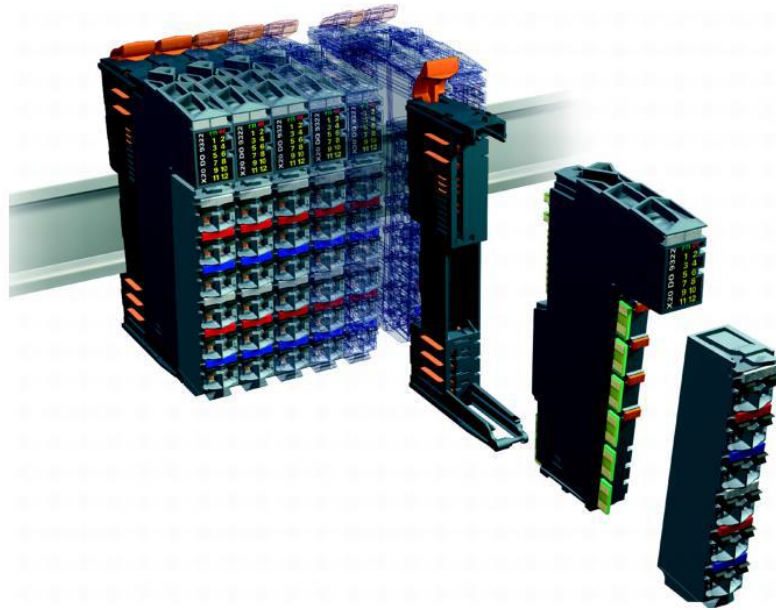


Рис. 3.5 Компоновка модуля вводу/выводу сигналов керування LCC2

На рисунку зображено кілька цифрових модулів виводу, які зібрані та встановлені на DIN-рейку. Кожен модуль складається з 3 частин. Перший модуль є модулем шини, який також функціонує як основа для всіх модулів введення/виведення 24 В X20. Це також модуль, який використовується для монтажу модуля на DIN-рейку (рис.3.6.)

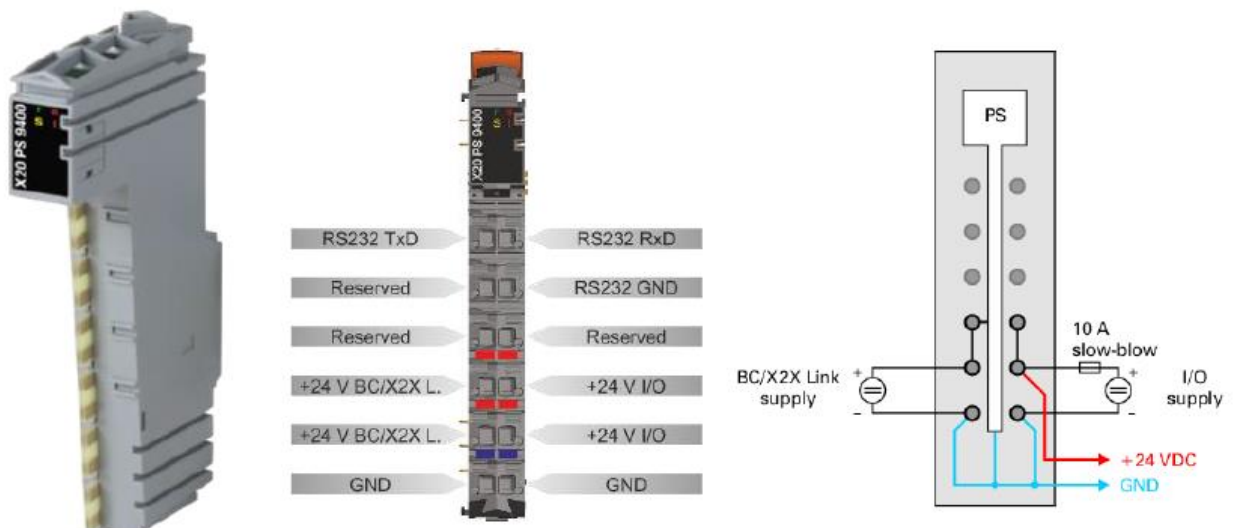


Рис. 3.6 Модуль живлення X20PS9400

Модуль X20PS9400 є модулем живлення для модулів введення/виведення. Цей модуль завжди розміщується під номером 2, якщо

дивитися зліва від блоку модуля.

Другий модуль — це модуль вводу/виводу X20 — це буде модуль живлення, модуль цифрового вводу/виводу або аналоговий модуль вводу/виводу. Третій модуль - це кінцевий модуль, в який повинні бути змонтовані сигнальні кабелі.

Кожен з модулів (в залежності від принципу керування тими чи іншими органами управління) має аналогові та цифрові слоти для вводу та виводу сигналів (рис.3.7)

Exp:

Digital inputs 2
Digital outputs 18
Analog inputs 8
Analog outputs 2

X20 CP 0292	X20 PS 9502	X20 DI 2371	X20 DO 8322	X20 DO 8322	X20 DO 2322	X20 AI 4622	X20 AO 2622
-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

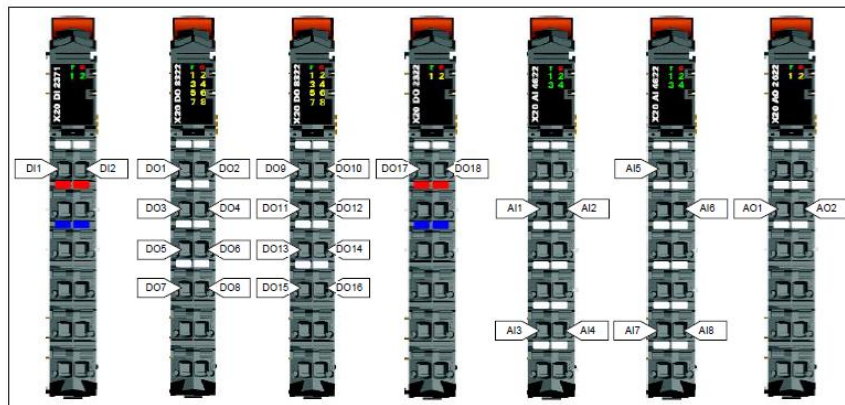


Рис.3.7 Аналогові та цифрові слоти для вводу та виводу сигналів LCC 2

Схема підключення клапанів системи опалення та водовипарного зволоження до ПЛК представлена на рисунку 3.6

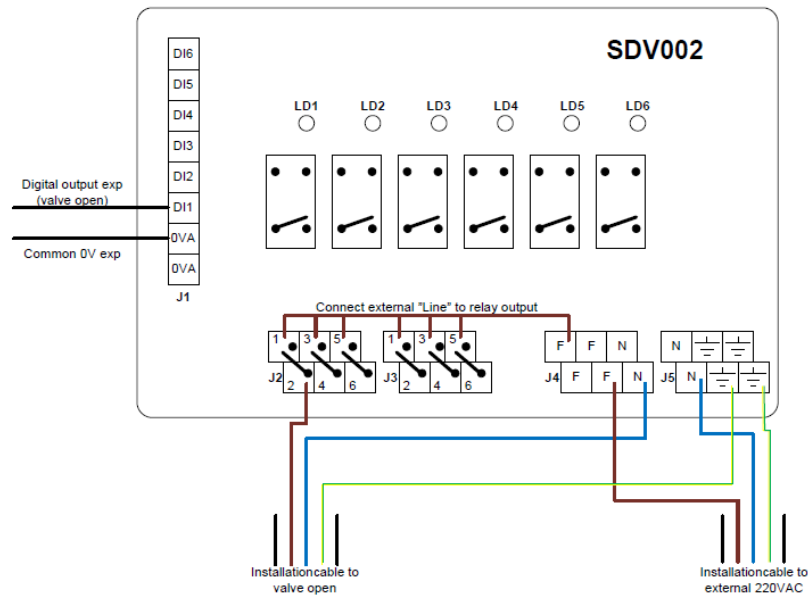


Рис.3.8 Схема підключення виконавчих органів системи опалення та водовипарного зволоження до розширювального комутаційного блоку ПЛК

Система вентиляційних фрамуг та система зашторювання енергозберігаючими/затіняючими екранами є невід'ємною складовою керування температурновологісним режимом всередині культивативної споруди захищеного ґрунту. ПЛК подає сигнал на органи керування відповідними системами, які представлені у вигляді реле типу RO 901/902. Схема підключення виконавчих органів представлена на рисунку 3.9

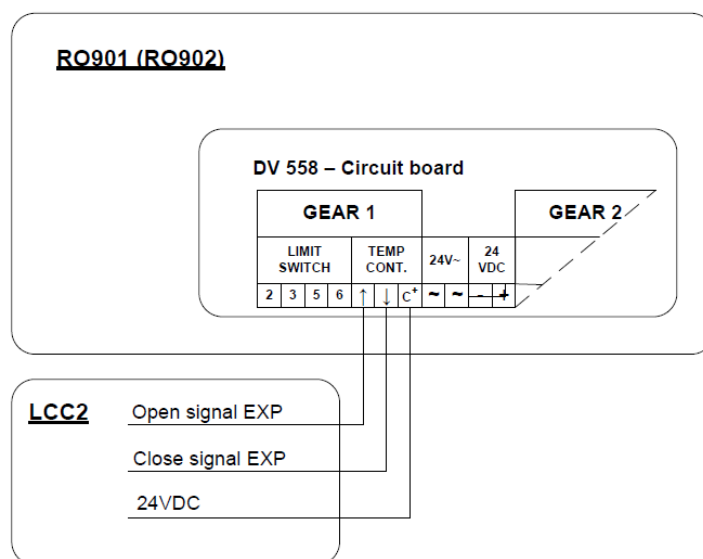


Рис. 3.9 Схема підключення виконавчих органів системи вентиляційних фрамуг та системи зашторювання

До обладнання даного рівня відноситься пульт керування та ПЛК, встановлені в диспетчерській або безпосередньо у відділенні. Промисловий комп'ютер об'єднаний мережею з розподіленим обладнанням та підключений до локального сегменту тепличного господарства через мережу Ethernet на третьому рівні .

Структурну схему автоматизованої системи управління технологічним процесом регулювання кліматом усередині тепличного середовища зображено на рис. 3.10.

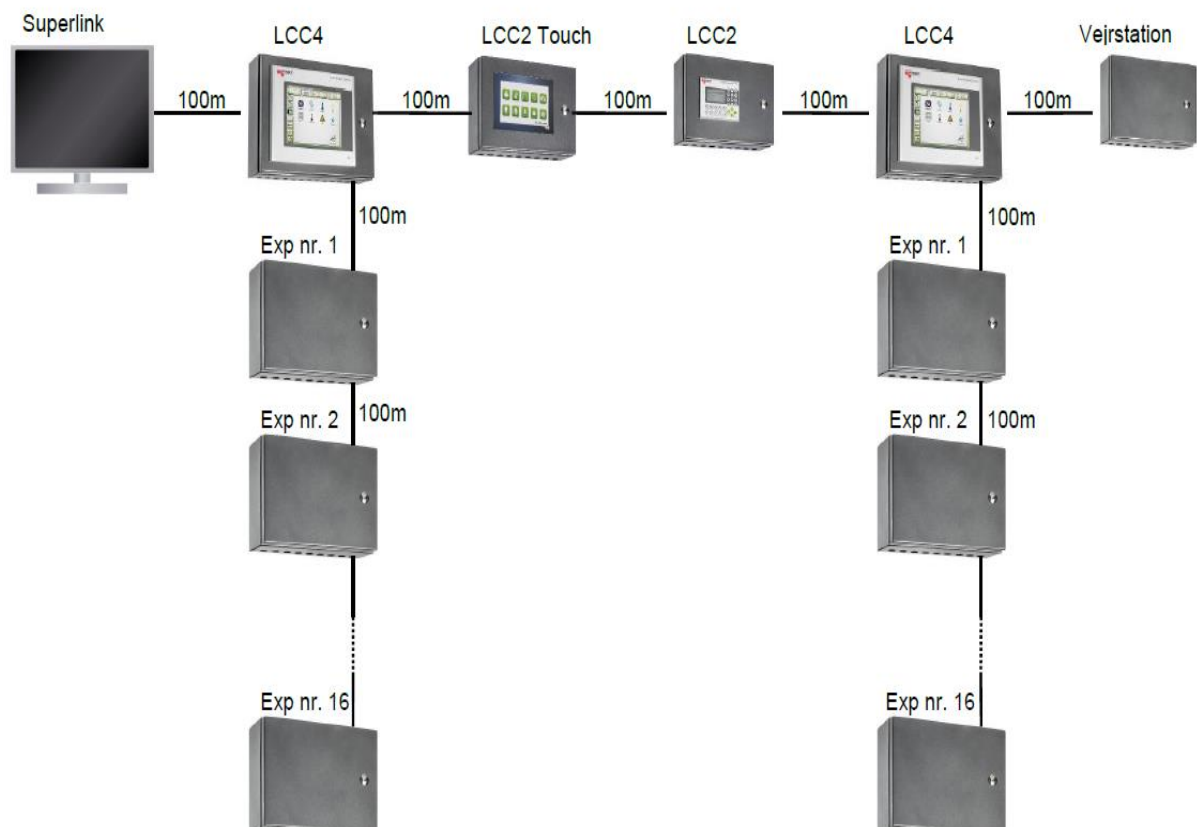


Рис. 3.10 Структурна схема АСУ МКТ

Протоколювання, архівування та оперативний контроль здійснюється за допомогою централізованої програми Superlink, що встановлена на персональному комп'ютері оператора (Рис. 3.11).

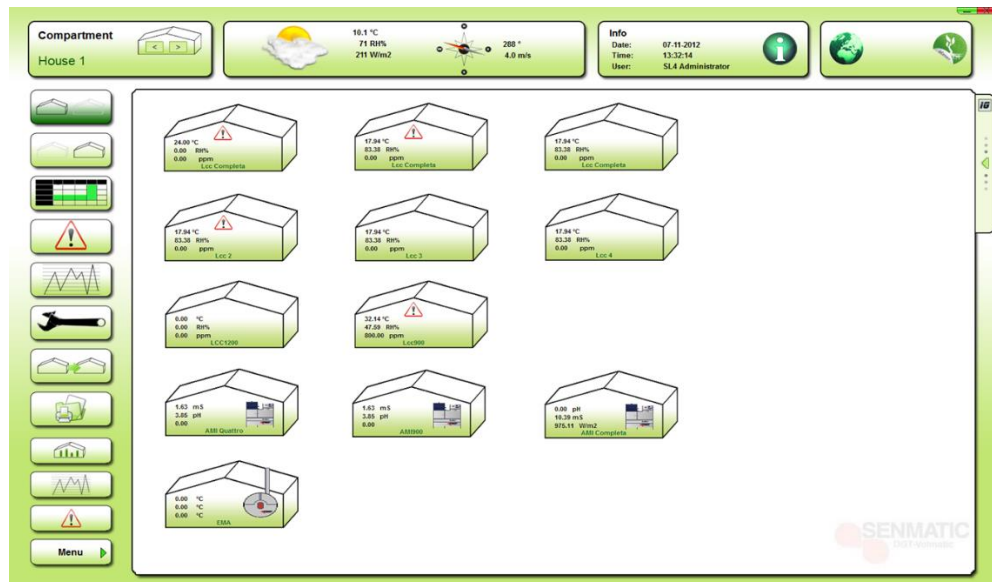


Рис. 3.11 Інтерфейс програми Superlink

3.3. Впровадження фрактальних стратегій для забезпечення енергоефективності культиваційних споруд захищеного ґрунту

Система мікроклімату в теплиці є критично важливою для забезпечення оптимальних умов для росту і розвитку овочевих культур. Правильне налаштування і управління параметрами мікроклімату, такими як температура, вологість, рівень CO₂ і освітленість, мають прямий вплив на якісні і кількісні показники врожаю. В роботах [1,2, 3, 4, 6] розглянуті питання впливу типу конструкцій теплиць та культиваційних систем на параметри мікроклімату при вирощуванні продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту. Збалансований мікроклімат сприяє активному росту рослин, підвищує врожайність і забезпечує високу якість овочевої продукції.

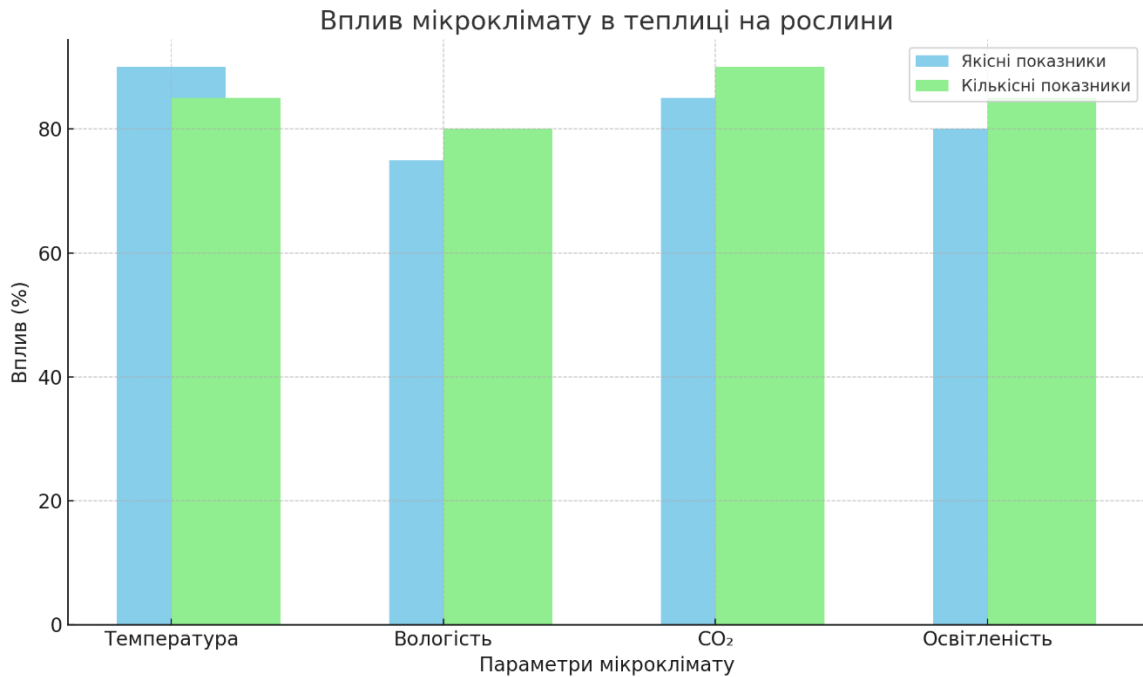


Рис. 3.12. Вплив параметрів мікроклімату в теплиці на якісні та кількісні показники рослин

Використання сучасних технологій, таких як фрактальні стратегії для оптимізації систем керування мікрокліматом, може значно покращити енергоефективність теплиць і підвищити їхню продуктивність. Впровадження фрактальних стратегій у забезпеченні енергоефективності теплиць дозволяє підвищити ефективність використання ресурсів та зменшити витрати на енергію. Фрактальні методи, завдяки своїй здатності аналізувати та моделювати складні системи, допомагають оптимізувати управління енергією, зменшуючи при цьому втрати та підвищуючи продуктивність.

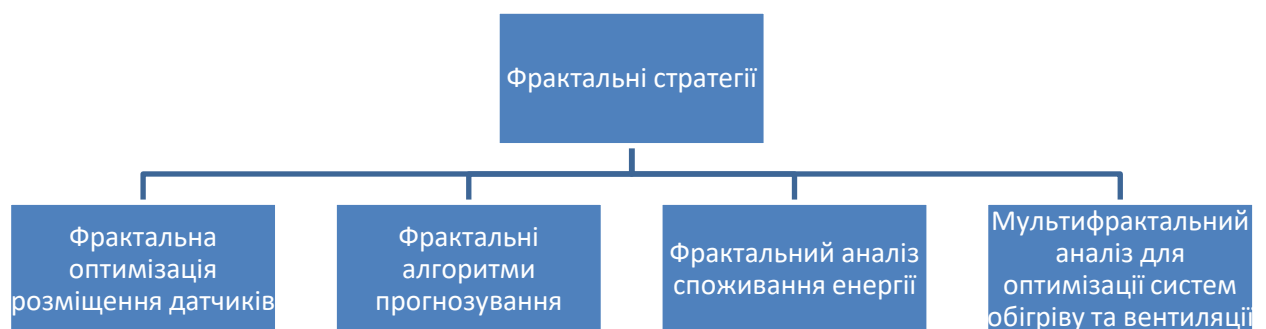


Рис. 3.13 Основні фрактальні стратегії для забезпечення енергоефективності культивацийних споруд захищеного ґрунту

Застосування наступних фрактальних стратегій дозволяє:

1. Фрактальна оптимізація розміщення датчиків - датчики розміщуються у теплиці за принципом фрактальної геометрії (наприклад, килим Серпінського або фрактал Коха), що забезпечує детальне та рівномірне покриття простору теплиці, що дозволяє точно контролювати мікроклімат.
2. Фрактальний аналіз споживання енергії - дані про споживання енергії аналізуються за допомогою фрактальної розмірності та мультифрактального спектру, при цьому виявлені аномалії дозволяють ідентифікувати періоди неефективного використання енергії та розробити стратегії для їх усунення.
3. Прогнозування потреби в енергії - використання фрактальних стохастичних процесів для моделювання та прогнозування потреби в енергії, що дозволяє планувати енергоспоживання та оптимізувати роботу енергетичних систем у теплиці.
4. Оптимізація систем обігріву та вентиляції - аналіз даних про температуру та вологість з використанням мультифрактального аналізу для виявлення нерівномірностей та оптимізація роботи систем обігріву та вентиляції для забезпечення рівномірного розподілу тепла та повітря з мінімальним використанням енергії.

Перевагами реалізації фрактальних стратегій в галузі рослинництва захищеного ґрунту є :

- Точність: фрактальні моделі надають більш точні прогнози та можливості керування завдяки обліку складних природних процесів.
- Адаптивність: системи, що використовують фрактальні алгоритми, краще адаптуються до змін у середовищі.
- Ефективність: оптимізація ресурсів і енергії забезпечує сталий розвиток теплиць та мінімізує витрати

Застосування фрактальних стратегій для забезпечення енергоефективності теплиць дозволяє значно підвищити ефективність використання енергії та знизити витрати. Фрактальні методи забезпечують

точний аналіз та оптимізацію систем керування мікрокліматом, що сприяє створенню стабільного та оптимального середовища для вирощування рослин при мінімальних витратах енергії. Це є ключовим фактором для підвищення продуктивності та стійкості теплиць

3.3 Використання фрактального аналізу для обґрунтування вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг теплиць

Надійність складових систем мікроклімату в теплицях, як зазначається в роботі [9], є критично важливою для досягнення високих кількісних та якісних показників продукції рослинництва. Надійність цих систем впливає на здатність підтримувати оптимальні умови для росту і розвитку рослин. В роботах [10,11] проведений аналіз впливу технічного стану складових систем керування мікрокліматом на якісні та кількісні показники продукції рослинництва.

Як зазначається в роботі [12] достовірна інформація про напружено-деформований стан і закономірності його зміни може бути отримана шляхом вирішення задачі граничного значення теорії пластичності при цьому при розв'язуванні задач з теорії пластичності пористого тіла дослідження потребують використання аналітичних, чисельних, експериментальних та розрахункових методів з використанням сучасних спеціалізованих програмних комплексів.

В роботі [13] доведено, що фрактальний аналіз є потужним інструментом для дослідження складних структур і процесів, що може бути важливими при виборі матеріалу для зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг у теплицях.

Використання фрактального аналізу для обґрунтування вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг у теплицях дозволяє врахувати кілька важливих аспектів (таблиця 3.1):

Таблиця 3.1

Аспекти використання фрактального аналізу при обґрунтуванні вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг

№	Аспект	Наслідок
1	Мікроструктура матеріалу	фрактальний аналіз можна використати для оцінки мікроструктури матеріалу, виявлення особливостей пористості чи дефектів, при цьому мікроструктурні показники можуть впливати на механічні властивості, що важливо для роботи зубчастих рейок під навантаженням
2	Тріщини та втома матеріалу	фрактальний аналіз дозволяє досліджувати процеси утворення тріщин і втоми матеріалу, при цьому можна визначити, як різні матеріали реагують на тривалі циклічні навантаження, що є критично важливим для довготривалої експлуатації в умовах теплиці
3	Шорсткість і тертя	детальний аналіз поверхні зубчастих рейок, включаючи оцінку фрактальних характеристик шорсткості, дозволяє передбачити рівень зношування і тертя між робочими елементами, що допоможе вибрати матеріал, який зменшить зношуваність і покращить ефективність механізму
4	Моделювання поведінки під навантаженням	завдяки фрактальним моделям можна симулювати поведінку матеріалу під реальними умовами експлуатації, що допоможе передбачити, чи витримають зубчасті рейки специфічні умови вологості й температурних коливань, які характерні для теплиць
5	Стійкість до корозії	аналіз особливостей поверхні може також дати уявлення про корозійну стійкість матеріалу

Таким чином, фрактальний аналіз може надати комплексну оцінку властивостей та поведінки різних матеріалів, полегшуючи вибір найбільш відповідного матеріалу для виготовлення зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг в теплицях.

Особливої уваги заслуговує аспект моделювання поведінки зубчастої рейки приводу вентиляційних фрамуг теплиць під навантаженням, адже це може бути досить трудомістким завданням через складні геометричні форми зубчастої рейки та властивості самого матеріалу. Використання фракталів може допомогти в цьому процесі шляхом створення більш реалістичних та

точних моделей поверхонь та структур, які імітують природні нерівності та дефекти.

Алгоритм моделювання поведінки зубчастої рейки приводу вентиляційних фрамуг теплиць представлений на рисунку 3.14.

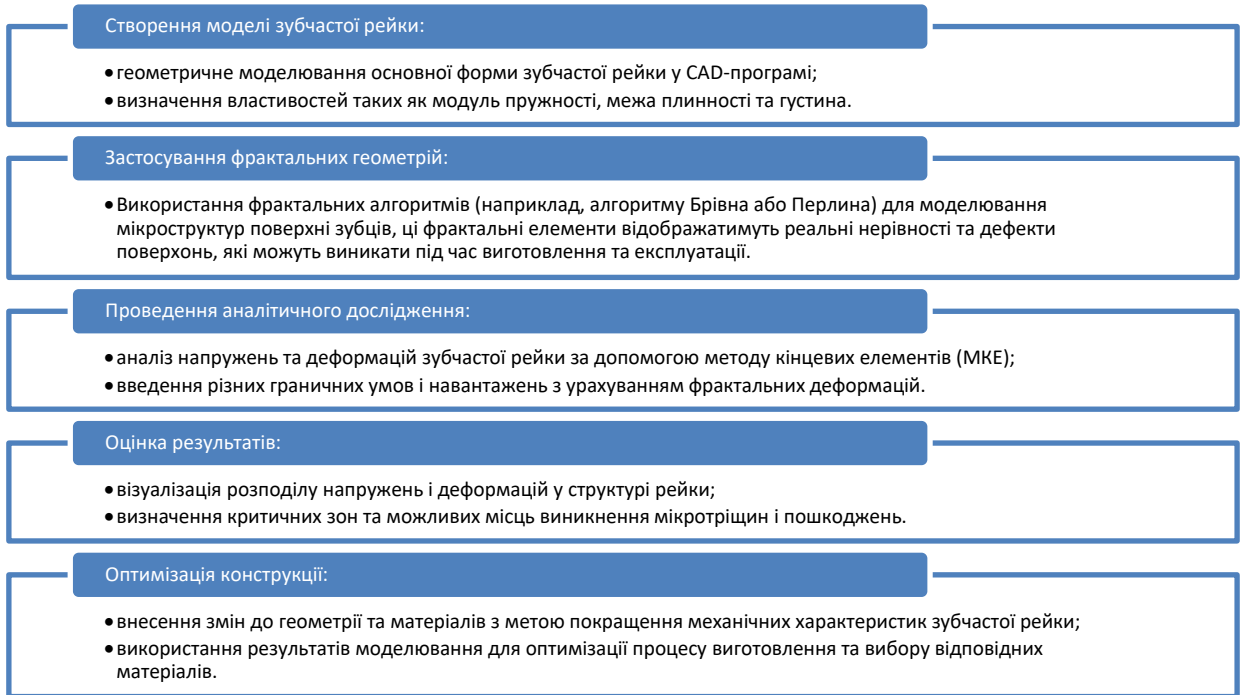


Рис.3.14 Алгоритм моделювання поведінки зубчастої рейки приводу вентиляційних фрамуг теплиць

Використання алгоритмів Брівна (Brownian) та Перліна (Perlin), що широко використовуються для генерації природних текстур і мікроструктур, зокрема в комп'ютерній графіці та моделюванні поверхонь, у випадку з моделюванням мікроструктур зубців зубчастої рейки для вентиляційних фрамуг теплиць, можуть бути дуже корисними. Використовуючи ці алгоритми, можна створити точні й реалістичні моделі мікроструктур, що підвищить ефективність проектування й експлуатації зубчастих рейок вентиляційних систем у теплицях.

При цьому слід зазначити, що фрактальне моделювання використовують для аналізу складних систем з нерегулярними структурними елементами. Використовувати фрактальні алгоритми для прогнозування поведінки

зубчастої рейки системи вентиляції теплиці можна через аналіз повторюваних структур та експоненційного росту явищ.

Перевагами використання фракталів є:

- Фрактальні алгоритми допомагають створити більш точні моделі поверхонь зубчастих рейок, що відображають фактичні нерівності та дефекти на їх поверхні.
- Прогнозування поведінки зубчастих рейок системи приводу вентиляційних фрамуг дозволяє краще прогнозувати їх поведінку під навантаженням, зокрема в умовах динамічних навантажень та зношування.
- Реалістичні моделі дозволяють зменшити кількість фізичних випробувань, що економить час та ресурси.

Таким чином, фрактальне моделювання надає потужний інструмент для дослідження і вдосконалення зубчастих рейок, забезпечуючи більш точні і надійні результати.

Висновки по 3 розділу

1. Завдяки фрактальним моделям можна симулювати поведінку матеріалу під реальними умовами експлуатації, що допоможе передбачити, чи витримають зубчасті рейки специфічні умови вологості й температурних коливань, які характерні для теплиць
2. Фрактальний аналіз можна використати для оцінки мікроструктури матеріалу, виявлення особливостей пористості чи дефектів, при цьому мікроструктурні показники можуть впливати на механічні властивості, що важливо для роботи зубчастих рейок під навантаженням
3. Фрактальне моделювання надає потужний інструмент для дослідження і вдосконалення зубчастих рейок, забезпечуючи більш точні і надійні результати.

4. ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПРИВОДІВ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ ФРАМУГ, ЯК СКЛАДОВОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВОЛОГІСНОТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ В ТЕПЛИЦІ

4.1. Структурна схема системи вентиляції культивацийних споруд захищеного ґрунту

Система вентиляції забезпечує природне провітрювання теплиці і сполучного коридору, зовнішнім повітрям за допомогою вентиляційних отворів, які перебувають у покрівлі або у верхній огорожі.

Система вентиляції дозволяє відкривати у всіх прольотах до 25% площі теплиці. Цього достатньо, щоб надходила необхідна кількість зовнішнього повітря необхідного для дотримання оптимальних температур у періоди з надлишковою сонячною інсоляцією. Відкривання вентиляційних отворів промислових теплиць може відбуватися автоматично або вручну натисканням кнопки. В залежності від зовнішніх кліматичних умов встановлюється необхідний кут відкривання кватирок і відповідно необхідна площа вентиляційних отворів.

Механізм відкривання-закривання кватирок оснащується мотор-редуктором, який забезпечує їх одночасне відкриття або закриття на всій площі кожного прольоту теплиці. Всі механізми комплектуються рейковим механізмом, установленим на верхньому поясі ферми в центральній частині теплиці з рейками, штангами, роликовими опорами.

Також до системи вентиляції відноситься рециркуляція повітря в теплиці, яка призначена для штучного перемішування повітря з метою досягнення більш рівномірного розподілу температурних полів в об'ємі споруди, зниження перегріву рослин, активізації біологічних процесів у рослинах, ліквідації зон з підвищеною вологістю особливо в періоди, коли природна вентиляція через кватирки неможливою чи є малоефективною.

Структурна схема надійності складових природньої та примусової

(рециркуляційної систем) вентилявання архітектурних споруд захищеного ґрунту представлені на рисунку 4.1.

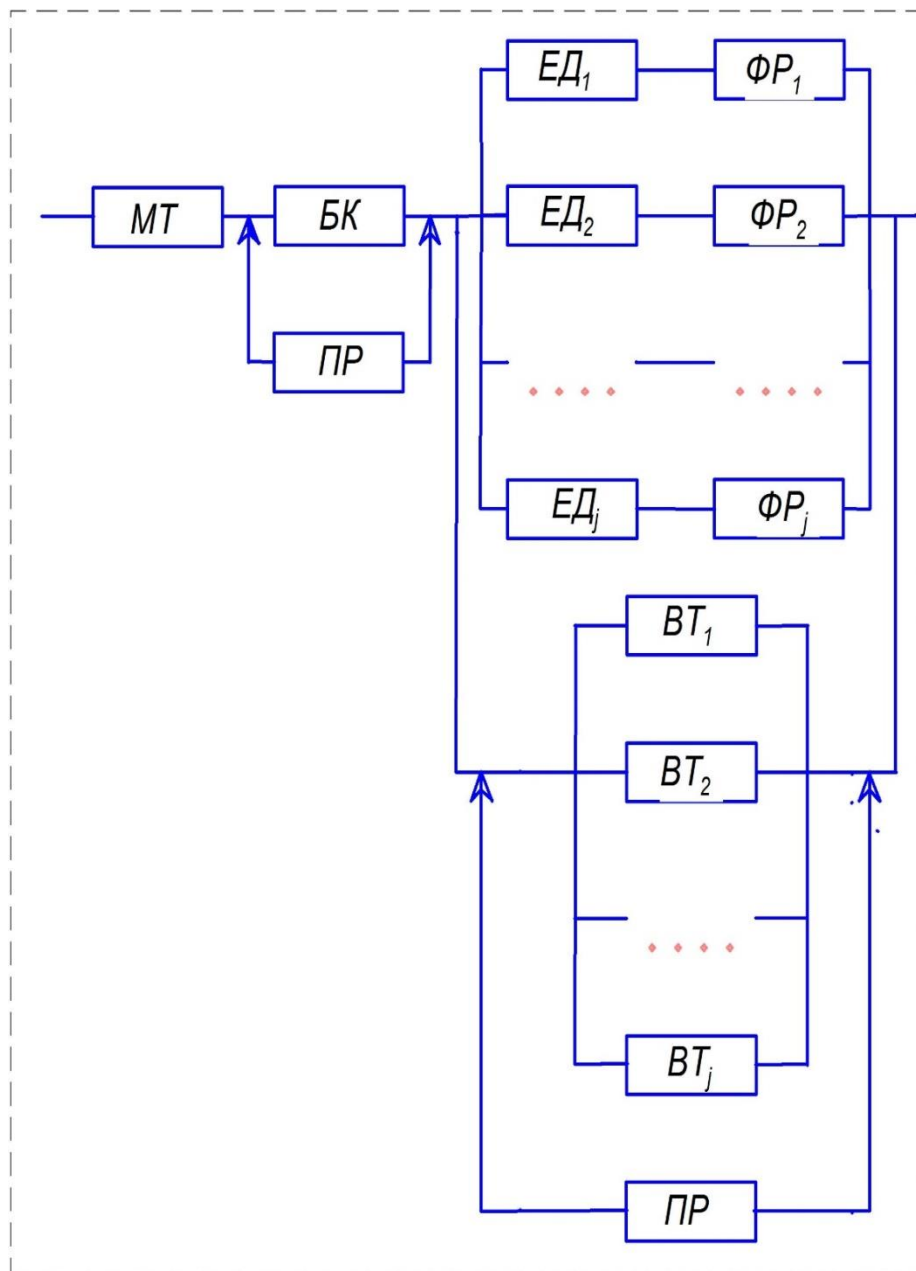


Рис. 4.1. Структурна схема вентиляції теплиці

Де: МТ – метеорологічна станція; БК – блок керування; ПР – пуск вручну; ЕД – електродвигуни; ФР – фрамуги; ВТ – вентилятори.

При цьому з точки зору надійності особливий інтерес представляють вентиляційні фрамуги, а особливо надійність їх приводів, таких як мотор редуктори та зубчасті рейки, технічний стан яких впливає на надійність системи в цілому.

4.2. Конструктивні особливості приводів вентиляційних фрамуг

В роботах [13,18] розглянуті питання впливу технічного стану складових системи вентилявання культивацийних споруд захищеного ґрунту на якісні та кількісні показники продукції рослинництва.

При цьому для забезпечення надійності та довговічності приводів вентиляційних фрамуг в культивацийних спорудах захищеного ґрунту потрібно керуватись наступними аспектами при їх виборі:

Відстань між гребнем і торцем вентиляційної пройма дорівнює довжині зубчастої рейки приводу вентиляційної фрамуги. Це означає якщо відстань 100 см, необхідно використовувати стійку 100 см (рис.4.2).

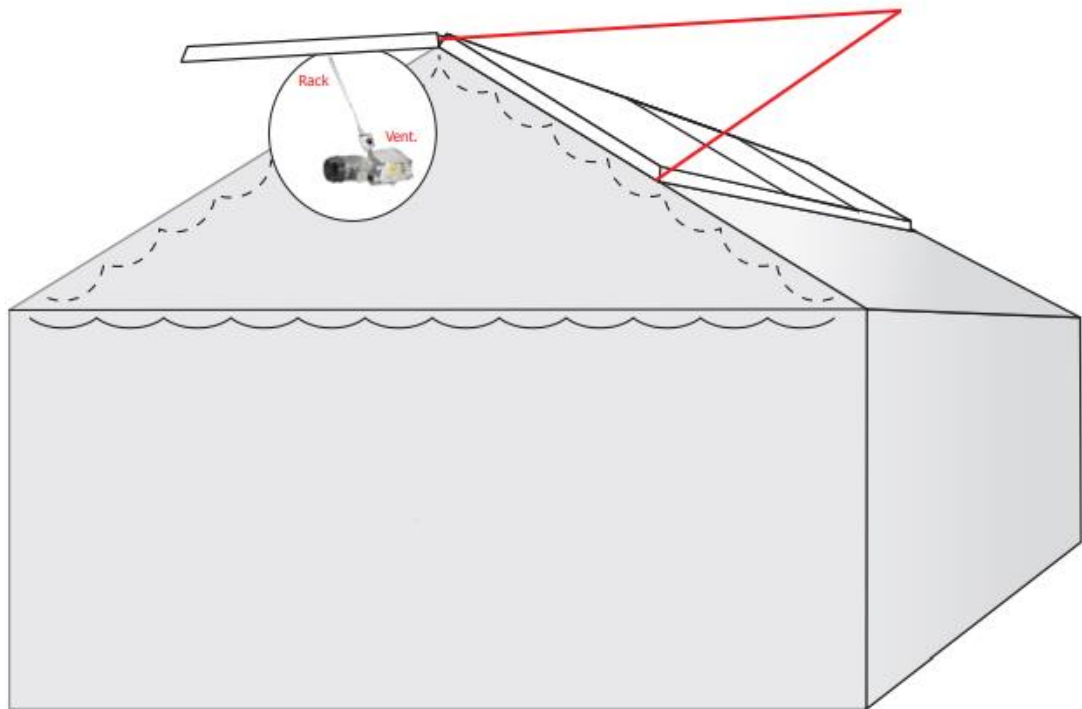


Рис. 4.2. Обґрунтування типорозміру зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг

Вигнуті зубчасті рейки використовується для теплиць з обмеженим верхнім простором. Для всіх інших цілей використовуються прямі зубчасті рейки.



Рис. 4.3. Конструктивні особливості зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг

Для стандартної теплиці шириною 50 м при відстані між стійками 2 м рекомендується при загальній вазі матеріалу (скло, пластик, алюміній і т.д.) 15 кг на м². - пр. розрахунку: (секція вікна Д1,50 м x Ш1 м) x 50 м теплиця = 75 м² x 15 кг = 1125 кг. При цьому зубчасті рейки приводу вентиляційних фрамуг витримують 50 % загальної ваги = 562,5 кг, а саме 562,5 кг / 25 рейок = навантаження 22,5 кг на кожну зубчасту стійку.

4.3. Модель експлуатації приводу вентиляційних фрамуг та граф станів і переходів приводу вентиляційних фрамуг в різні можливі стани

Схема траєкторної поведінки зубчастої рейки, як складової системи керування вологіснотемпературним режимом в теплиці, детально описує надійність підсистеми, як важливого елемента системи керування мікрокліматом в культивацийній споруді захищеного ґрунту (рис.4.4) . Вона поєднує в собі різні технічні стани в яких може знаходитись система в цілому.

Розуміння цих станів є критичним для управління ризиками в тепличному господарстві, планування обслуговування і покращення конструкції форсунок з метою підвищення їхньої надійності та довговічності.

Граф станів і переходів опорного підшипника зубчастої рейки, що визначає його різноманітні можливі стани, розроблено на основі аналізу зміни його технічного стану з роботоздатного в нероботоздатний через різні причини, а також повернення до робочого стану після ремонту. Цей аналіз став

основою для створення графу, що описує ці процеси з урахуванням швидкості їх виникнення.

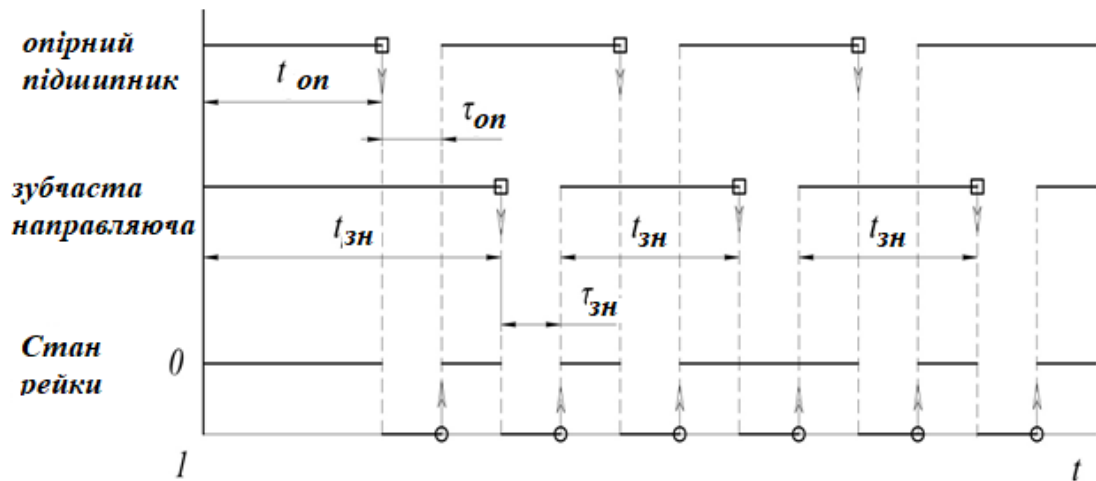


Рис. 4.4. Схема траєкторної поведінки зубчастої рейки, як складової системи керування вологіснотемпературним режимом в теплиці:

□ – настання функціональної відмови;

○ – завершення ремонтнообслуговуючих робіт (відновлення роботоздатного стану).

Граф для зубчастої рейки, як технічної системи, що може перебувати в одному роботоздатному стані та двох станах пов'язаних з функціональними відмовами опорного підшипника та геометрією зубчастої рейки, наведено на рисунках 4.5.

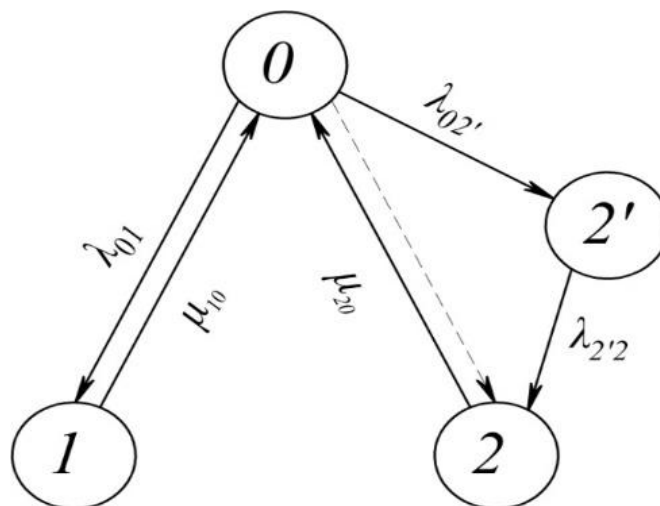


Рис. 4.5. Граф станів і переходів зубчастої рейки:

«0» – роботоздатний стан зубчастої рейки;

«1» – нероботоздатний стан спричинений функціональною відмовою опорного підшипника;

«2» – нероботоздатний стан спричинений функціональною відмовою направляючої зубчастої рейки (зміна геометрії, спрацювання зубців тощо);
 «2'» – додано фіктивно проміжний стан , щоб спростити розрахунки

Стан форсунки варіюється від знаходження в роботоздатному до переходу в нероботоздатний з такою інтенсивністю процесів:

λ_{01} - інтенсивність відмов пов'язана з технічним станом опорного підшипника;

μ_{10} - інтенсивність відновлення роботоздатного стану опорного підшипника;

μ_{20} - інтенсивність відновлення роботоздатного стану направляючої зубастої рейки (заміна або ремонт);

λ'_{01} - інтенсивність відмов при переході з роботоздатного в проміжний стан;

$\lambda_{2'2}$ - інтенсивність відмов при переході з проміжного стану до настання функціональної відмови направляючої зубастої рейки.

Використання графів станів і переходів дозволяє скласти стохастичні диференціальні рівняння (рівняння Колмогорова) для динамічної рівноваги ймовірностей різних станів системи, таких як зубчата рейка з опорним підшипником. Ці рівняння допомагають зрозуміти, як змінюються ймовірності уникнення відмови в різних технічних станах.

$$\begin{cases} \frac{dP_0(t)}{dt} = -\lambda_{01} \cdot P_0(t) + \mu_{10} \cdot P_1(t) + \mu_{20} \cdot P_2(t) - \lambda'_{02} \cdot P_0(t); \\ \frac{dP_1(t)}{dt} = \lambda_{01} \cdot P_0(t) - \mu_{10} \cdot P_1(t); \\ \frac{dP_{2'}(t)}{dt} = \lambda_{02'} \cdot P_0(t) - \lambda_{2'2} \cdot P_{2'}(t); \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda_{2'2} \cdot P_{2'}(t) - \mu_{20} \cdot P_2(t). \end{cases} \quad (4.1)$$

Основна матриця системи описує поведінку технічної системи протягом її життєвого циклу, враховуючи всі процеси роботи та відновлення роботоздатного стану зубчастої рейки. Ця матриця визначається λ , μ характеристиками, які зумовлюють зміни станів.

$$\begin{aligned} \Delta = & S^4 + (\lambda_{01} + \lambda_{02'} + \mu_{20} + \mu_{10} + \lambda_{2'2}) S^3 + \\ & + (\lambda_{01}\mu_{20} + \lambda_{01}\lambda_{2'2} + \mu_{10}\mu_{20} + \lambda_{2'2}\mu_{10} + \mu_{20}\lambda_{2'2}) S^2 + \\ & + (\lambda_{02'}\mu_{10}\mu_{20} + \lambda_{02'}\lambda_{2'2}\mu_{10} + \mu_{20}\lambda_{01}\lambda_{2'2} + \mu_{20}\lambda_{2'2}\mu_{10}) S. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Функція готовності системи, яка також називається стаціонарним коефіцієнтом готовності, є важливою динамічною характеристикою. Вона відображає можливість системи знаходитись в роботоздатному стані протягом заданого проміжку часу:

$$\frac{\mu_{10}\mu_{20}\lambda_{2'2}}{S_4 S_2 S_3} \geq K_r(t) \geq 0 \quad (4.3)$$

На рисунку 4.3 представлено графічне зображення цієї функції, що ілюструє динамічну безвідмовність системи.

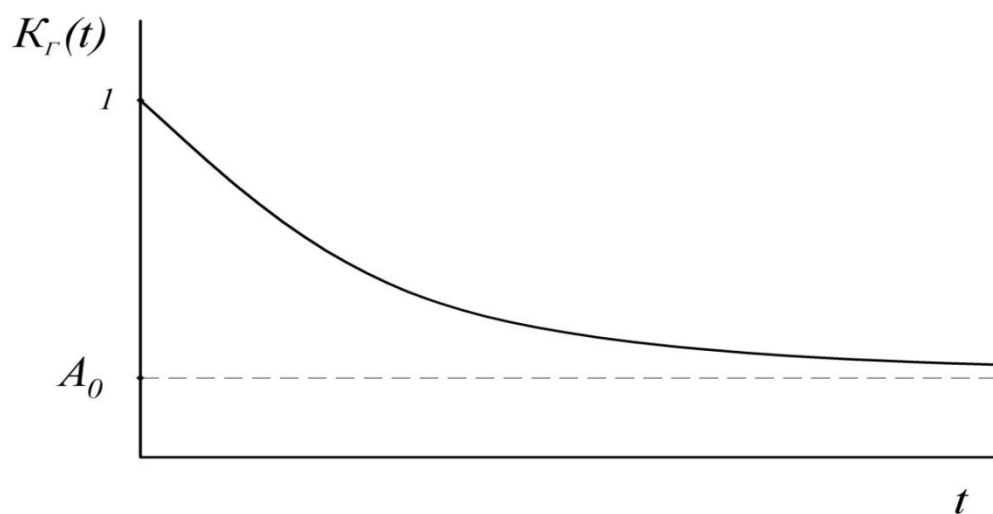


Рис. 4.6. Експлуатаційна зміна функції готовності зубчастої рейки в зборі

Дослідження експлуатаційної надійності зубчастої рейки приводу вентиляційних фрамуг в теплицях виявило ключові характеристики та закономірності в умовах експлуатації. Зубчаста рейка має один роботоздатний стан і стикається з двома видами відмов: вихід з роботоздатного стану опорного підшипника та направляючої зубчастої направляючої.

Висновки по 4 розділу:

1. Відмови зубчастої рейки в зборі мають накопичувальний характер, з інтенсивністю якій збільшується з часом експлуатації.

2. Зубчаста рейка моделюється як відновлювана технічна система, що описується розміченим графом з чотирма станами, кожен з яких характеризується певною ймовірністю, важливою для визначення надійності системи.

3. Ймовірність безвідмовної роботи виражається через коефіцієнт готовності, який залежить від строку експлуатації та загальної готовності системи до роботи.

4. Середній наробіток до відмови визначається як величина, обернено пропорційна до суми інтенсивностей відмов опорного підшипника та направляючої.

5. Функції ймовірності відмов підсистем мають експоненціальний характер, поступово досягаючи стаціонарного значення.

Ці висновки допомагають краще зрозуміти процеси надійності при експлуатації зубчастих рейок у теплицях та можуть слугувати основою для покращення їх конструкції і обслуговування.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

4. При реконструкції старих та будівництві нових промислових теплиць основним критерієм оцінки роботи системи керування мікрокліматом внутрішнього середовища є економія енергоресурсів, частка яких є найбільшою в собівартості вирощеної продукції, а також її кількісні та якісні показники.

5. Завдяки фрактальним моделям можна симулювати поведінку матеріалу під реальними умовами експлуатації, що допоможе передбачити, чи витримають зубчасті рейки специфічні умови вологості й температурних коливань, які характерні для теплиць

6. Фрактальний аналіз можна використати для оцінки мікроструктури матеріалу, виявлення особливостей пористості чи дефектів, при цьому мікроструктурні показники можуть впливати на механічні властивості, що важливо для роботи зубчастих рейок під навантаженням

7. Фрактальне моделювання надає потужний інструмент для дослідження і вдосконалення зубчастих рейок, забезпечуючи більш точні і надійні результати.

8. Схема траєкторної поведінки зубчастої рейки, як складової системи керування вологіснотемпературним режимом в теплиці, детально описує надійність підсистеми, як важливого елемента системи керування мікрокліматом в культивацийній споруді захищеного ґрунту

9. Використання графів станів і переходів дозволяє скласти стохастичні диференціальні рівняння для динамічної рівноваги ймовірностей різних станів системи, таких як зубчаста рейка з опорним підшипником.

10. Основна матриця системи описує поведінку технічної системи протягом її життєвого циклу, враховуючи всі процеси роботи та відновлення роботоздатного стану зубчастої рейки. Ця матриця визначається характеристиками, які зумовлюють зміни станів.

ВИКОРИСТАНІ ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА

1. Савченко В. М. Вплив культивацийних споруд та технологічних систем на параметри мікроклімату при вирощуванні продукції захищеного ґрунту / В. М. Савченко, В. В. Крот // Крамаровські читання : зб. тез доп. II Міжнар. наук.-техн. конф. (17–18 лютого 2015 р.) / Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України. – К., 2015. – С. 121–122
2. Міненко С. В. Формальні моделі для регулювання мікроклімату в теплицях / В. М. Савченко, С. В. Міненко, О. А. Махов // Матеріали міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф., 16 березня 2013 р. – Тернопіль : Крок, 2013. – Ч. 2. – С. 87–89
3. Міненко С. В. Стратегії контролю процесами мікроклімату в індустриальних теплицях / В. М. Савченко, С. В. Міненко, О. А. Махов // Підвищення надійності машин і обладнання : зб. тез доп. VII Всеукр. наук.-практ. конф. студентів та аспірантів. – Кіровоград : КНТУ, 2013. – С. 48–50.
4. Класифікація способів зняття перегріву рослин в індустриальних теплицях/СВ Міненко, ВМ Савченко, ВВ Крот//Вісник Житомирського національного агроекологічного університету.-2016.-№ 1 (1).-С. 276-282
5. Савченко В. Вплив шторних екранів на внутрішню температуру в теплицях / В. Савченко, С. Міненко // Зб. наук. пр. УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2012. – Вип. 16 (30), кн. 2. – С. 270–275.
6. Бойко А.І. Вплив технічного стану систем підживлення рослин двоокисом вуглецю на виробничі процеси / А.І.Бойко, В. М. Савченко, Л.Г. Савченко // Крамаровські читання : зб. тез доп. VI міжнар. наук.-техн. конф., 21-22 лют. 2019. – К. : НУБіП, 2019. – С. 311–313.
7. Робертсон Д. С. О том, как влияет растущий уровень CO₂ в атмосфере на организм человека / Д. С. Робертсон // Сантехника, Отопление, Кондиционирование. - 2008, - №4, - С. 32-39.
8. Бойко А. І., Савченко Л. Г., Савченко В. М. Аналіз впливу

технічного стану систем підживлення рослин двоокисом вуглецю на виробничий персонал теплиць. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства, Вип. 198 «Механізація сільськогосподарського виробництва». 2019. С. 422-428.

9. Бойко А. І. Проблеми забезпечення надійності технологічного обладнання при вирощуванні продукції захищеного ґрунту в АПК України / А. І. Бойко, В. М. Савченко, В. В. Крот // *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. – 2016. – № 6. – С. 200-2003.

10. Балаболов В.А. Дослідження впливу технічного стану складових системи вентилявання культиваційних споруд захищеного ґрунту на якісні та кількісні показники продукції рослинництва / В. А. Балаболов, В. М. Савченко // *Збірник тез доповідей X Міжнародної наукової конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* (10 Квітня 2024). Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. 2024. – С. 85-86

11. Лисенко О.В. Забезпечення надійності складових систем керування мікрокліматом в умовах вирощування продукції захищеного ґрунту / О.В. Лисенко, В. М. Савченко // // *Збірник тез доповідей X Міжнародної наукової конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* (18 Квітня 2024). Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. 2024. – С. 87-88

12. Determination of porosity functions in the pressure treatment of iron-based powder materials in agricultural engineering / R. Sivak, V. Kulykivskyi, V. Savchenko [et al.] // *Scientific Horizons*. – 2023. – Vol. 26, No. 3. – P. 124–134.

13. Грабар І. Г. Комп'ютерне моделювання фрактальних множин / І. Г. Грабар, А. С. Левик // *Інформаційні системи та комп'ютерно-інтегровані технології: ідеї, проблеми, рішення* – 2021 : матеріали I міжнар. наук.-практ. конф. ІС та КІТ – 2021, 3–4 черв. 2021 р. – Житомир : Поліський нац. ун–т, 2021. – С. 81–84.

14. Лисенко О.В. Впровадження фрактальних стратегій для

забезпечення енергоефективності культивацийних споруд захищеного ґрунту / О.В. Лисенко, В. М. Савченко // *Синергетика, фрактали і нові технології: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. 3-5 червня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 110-113*

15. Лисенко О.В. Використання фрактального аналізу для обґрунтування вибору матеріалу зубчастих рейок приводу вентиляційних фрамуг теплиць / О.В. Лисенко, В. А. Балаболов // *Синергетика, фрактали і нові технології: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. 3-5 червня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 121-128*