

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Гетьман Владислав Олександрович

631.589.2

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
САЛАТІВ ТА ПРЯНИХ ТРАВ ЗА ГІДРОПОННОЮ
ТЕХНОЛОГІЄЮ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
ПРОМИСЛОВИХ «САЛАТНИХ» ЛІНІЙ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Гетьман В.О.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Гетьман Владислав Олександрович. Удосконалення технології вирощування салатів та прямих трав за гідропонною технологією шляхом удосконалення промислових «салатних» ліній. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. – Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології вирощування салатів та прямих трав за гідропонною технологією шляхом вдосконалення промислових «салатних» ліній. У роботі проаналізовано сучасні методи гідропонного вирощування, виявлено основні недоліки існуючих «салатних» ліній та запропоновано інноваційні рішення для підвищення їхньої ефективності. Розроблені рекомендації включають оптимізацію конструкції ліній, покращення системи живлення рослин, впровадження автоматизованих систем контролю та моніторингу. Результати дослідження підтверджено експериментальними даними та можуть бути використані в агропромисловому комплексі для підвищення продуктивності та якості продукції.

Ключові слова: гідропонна технологія, салати, прямі трави, промислові «салатні» лінії, автоматизація, система живлення, продуктивність, якість продукції.

ANNOTATION

Hetman Vladyslav Oleksandrovykh. Improvement of the technology for growing lettuces and herbs using hydroponic technology through the enhancement of industrial "salad" lines. – Qualification work in manuscript form.

Qualification work for obtaining a bachelor's degree in the specialty 208 – Agricultural Engineering. – Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

This qualification work is dedicated to improving the technology of growing lettuces and herbs using hydroponic technology through the enhancement of industrial "salad" lines. The work analyzes modern methods of hydroponic cultivation, identifies the main shortcomings of existing "salad" lines, and proposes innovative solutions to increase their efficiency. The developed recommendations include optimizing the design of the lines, improving the plant nutrition system, and implementing automated control and monitoring systems. The research results are confirmed by experimental data and can be used in the agro-industrial complex to increase productivity and product quality.

Keywords: hydroponic technology, lettuces, herbs, industrial "salad" lines, automation, nutrition system, productivity, product quality.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВИРОЩУВАННЯ САЛАТІВ ТА ПРЯНИХ ТРАВ ЗА ГІДРОПОННОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ	10
РОЗДІЛ 2. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	16
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО ПРИВОДУ ЖАЛЮЗІ ШАХТИ ВЕНТИЛЯТОРА	25
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	40
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42

ВСТУП

Сучасне сільське господарство стикається з низкою викликів, спричинених зростанням населення планети, зменшенням площ родючих земель, змінами клімату та необхідністю забезпечення сталого виробництва продуктів харчування. У цьому контексті гідропонні технології вирощування рослин набувають особливого значення, оскільки дозволяють отримувати високоякісну продукцію в контрольованих умовах із мінімальним використанням природних ресурсів. Гідропоніка, як метод безґрунтового вирощування, забезпечує ефективне використання води, поживних речовин і простору, що робить її перспективною для урбанізованих територій та регіонів із несприятливими кліматичними умовами. Особливо актуальним є застосування гідропонних технологій для вирощування салатів та пряних трав, які мають високий попит на ринку завдяки своїм поживним властивостям і широкому використанню в кулінарії.

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю підвищення продуктивності та економічної ефективності гідропонних систем, зокрема промислових «салатних» ліній, які є основою для комерційного вирощування листових культур. Сучасні промислові лінії для гідропонного вирощування салатів і пряних трав мають певні обмеження, пов'язані з неоптимальними параметрами поживних розчинів, недостатньою автоматизацією процесів, нерівномірним розподілом світла та поживних речовин, а також високими енергетичними витратами. Ці проблеми призводять до зниження врожайності, погіршення якості продукції та зростання собівартості. Удосконалення технології вирощування шляхом модернізації промислових «салатних» ліній дозволить підвищити ефективність виробництва, зменшити вплив на довкілля та забезпечити стабільне постачання свіжої продукції на ринок. Крім того, розвиток гідропонних технологій відповідає глобальним цілям сталого розвитку, зокрема щодо забезпечення продовольчої безпеки та раціонального використання природних ресурсів.

Мета даної роботи полягає в розробці та обґрунтуванні удосконаленої технології вирощування салатів та пряних трав за гідропонною технологією шляхом модернізації промислових «салатних» ліній, що сприятиме підвищенню продуктивності, якості продукції та енергоефективності виробництва.

Завдання дослідження, які необхідно вирішити для досягнення поставленої мети, включають:

1. Аналіз сучасного стану гідропонних технологій вирощування салатів та пряних трав, зокрема особливостей роботи промислових «салатних» ліній.

2. Визначення основних факторів, що впливають на продуктивність і якість вирощуваної продукції в гідропонних системах.

3. Розробка пропозицій щодо модернізації конструктивних і технологічних елементів промислових «салатних» ліній, включаючи оптимізацію поживних розчинів, систем освітлення та автоматизації.

4. Експериментальна перевірка ефективності запропонованих удосконалень на основі порівняння показників врожайності, якості продукції та енергоспоживання.

5. Розробка рекомендацій для впровадження удосконаленої технології у промислове виробництво.

Об'єктом дослідження є процес вирощування салатів та пряних трав за гідропонною технологією в умовах промислових «салатних» ліній. Об'єкт охоплює технологічні, конструктивні та організаційні аспекти функціонування гідропонних систем, спрямованих на забезпечення стабільного виробництва листових культур у контрольованих умовах.

Предмет дослідження – технологічні та конструктивні параметри промислових «салатних» ліній, які впливають на ефективність вирощування салатів та пряних трав, включаючи системи подачі поживних розчинів, освітлення, вентиляції та автоматизації.

Гідропонні технології вирощування рослин мають низку переваг порівняно з традиційним землеробством. Вони дозволяють контролювати всі

етапи росту рослин, від проростання насіння до збору врожаю, що забезпечує стабільну якість продукції незалежно від зовнішніх умов. Салати та пряні трави є ідеальними культурами для гідропонного вирощування через їх короткий вегетаційний період, високу поживну цінність і попит на ринку. Однак для забезпечення конкурентоспроможності гідропонного виробництва необхідно постійно вдосконалювати технології, знижувати витрати та підвищувати продуктивність. Промислові «салатні» лінії, які є основою для комерційного вирощування, потребують модернізації для вирішення таких проблем, як нерівномірне постачання поживних речовин, недостатня енергоефективність і низький рівень автоматизації.

У процесі дослідження особливу увагу приділено аналізу сучасних гідропонних систем, включаючи системи поживного шару (NFT), глибоководної культури (DWC) та аеропоніки, які найчастіше використовуються для вирощування листових культур. Кожна з цих систем має свої переваги та недоліки, які впливають на вибір оптимальної технології для промислового виробництва. Наприклад, система поживного шару забезпечує економне використання води, але потребує точного контролю концентрації поживних речовин. Глибоководна культура є простішою в експлуатації, але має вищі вимоги до аерації кореневої зони. Аеропоніка дозволяє досягти максимальної економії ресурсів, але є складною в технічному обслуговуванні. Удосконалення промислових «салатних» ліній передбачає комбінацію елементів цих систем для створення гібридної технології, яка поєднує їхні переваги.

Одним із ключових напрямів удосконалення є оптимізація поживних розчинів, які є основою для росту рослин у гідропонних системах. Неправильний склад розчину або його нестабільна концентрація можуть призвести до дефіциту поживних речовин, що негативно позначається на рості рослин і якості врожаю. У роботі пропонується використання автоматизованих систем моніторингу та корекції поживних розчинів, які дозволяють підтримувати оптимальні параметри рН, електропровідності (ЕС) і концентрації

макро- та мікроелементів у реальному часі. Це не лише підвищує врожайність, але й знижує витрати на поживні речовини.

Іншим важливим аспектом є вдосконалення систем освітлення, оскільки світло відіграє ключову роль у фотосинтезі та рості рослин. Сучасні світлодіодні (LED) системи освітлення дозволяють точно налаштувати спектр і інтенсивність світла залежно від потреб культури та стадії її розвитку. У роботі досліджено вплив різних спектральних складів світла на ріст салатів і пряних трав, а також запропоновано енергоефективні рішення для зниження енергоспоживання промислових «салатних» ліній. Це особливо актуально в умовах зростання цін на електроенергію та необхідності зниження вуглецевого сліду виробництва.

Автоматизація процесів вирощування є ще одним напрямом удосконалення, який дозволяє зменшити вплив людського фактора, підвищити точність управління та знизити операційні витрати. У роботі розглянуто можливості впровадження сенсорних систем для моніторингу мікроклімату, рівня поживних речовин і стану рослин, а також використання програмного забезпечення для аналізу даних і прийняття рішень. Такі системи дозволяють своєчасно виявляти відхилення від оптимальних умов і коригувати їх, що сприяє стабільності виробництва.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання для модернізації існуючих гідропонних ферм і створення нових високоефективних промислових «салатних» ліній. Запропоновані технологічні рішення дозволяють підвищити врожайність салатів і пряних трав на 15–20%, знизити енергоспоживання на 10–15% і зменшити втрати поживних речовин. Розроблені рекомендації можуть бути впроваджені на підприємствах, що спеціалізуються на гідропонному вирощуванні, а також у міських фермах і тепличних комплексах. Крім того, результати дослідження сприяють розвитку сталого сільського господарства, зменшенню впливу на довкілля та підвищенню продовольчої безпеки.

Удосконалена технологія вирощування салатів та пряних трав за

гідропонною технологією має потенціал для масштабування в різних регіонах, включаючи країни з обмеженими водними ресурсами або несприятливими кліматичними умовами. Таким чином, дана робота робить внесок у розвиток сучасних агротехнологій і створює передумови для підвищення конкурентоспроможності гідропонного виробництва на національному та міжнародному ринках.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., Туринський В.Д., Макарчук О.О., Гулюк Я.В., **Гетьман В.О.** Перспектива розвитку тепличного господарства в Україні. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 315-316.

2. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., Туринський В.Д., Макарчук О.О., Гулюк Я.В., **Гетьман В.О.** Сучасна теплиця: перспективні конструкції, матеріали та технології. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 9-10.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменування. Загальний обсяг роботи становить 44 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 рисунків та 3 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВИРОЩУВАННЯ САЛАТІВ ТА ПРЯНИХ ТРАВ ЗА ГІДРОПОННОЮ ТЕХНОЛОГІЄЮ

Гідропонна технологія вирощування салатів та пряних трав є сучасним методом безґрунтового землеробства, який дозволяє отримувати високоякісний урожай у контрольованих умовах, використовуючи водний розчин поживних речовин замість ґрунту. Цей підхід забезпечує швидший ріст рослин, економію ресурсів, стабільне виробництво незалежно від сезону та можливість вирощування в обмеженому просторі, наприклад, у міських вертикальних фермах чи теплицях. Салати, такі як латук, ромен, рукола, шпинат, та пряні трави, зокрема базилік, петрушка, кінза, м'ята, кріп, чебрець і розмарин, ідеально підходять для гідропоніки завдяки компактності, короткому вегетаційному циклу та високому попиту на ринку. У цьому тексті детально описано принципи гідропоніки, основні системи, обладнання, склад поживних розчинів, умови вирощування, переваги, виклики та практичні аспекти застосування технології [2].

Гідропоніка базується на принципі забезпечення рослин поживними речовинами через водний розчин, який доставляється безпосередньо до кореневої системи. Корені отримують воду, кисень і необхідні елементи живлення в оптимальних пропорціях, що сприяє швидшому росту порівняно з традиційним ґрунтовим вирощуванням. Основними компонентами гідропонної системи є резервуар для поживного розчину, насос для його циркуляції, система труб, лотків або платформ для розміщення рослин, а також, за потреби, інертний субстрат. Усі параметри, такі як концентрація поживних речовин, рН, температура, вологість і освітлення, ретельно контролюються для створення ідеальних умов. Гідропоніка виключає залежність від якості ґрунту, погодних умов і ґрунтових шкідників, що робить її ефективною для цілорічного виробництва[1].

Для вирощування салатів і пряних трав найчастіше використовують три основні гідропонні системи: поживний шар (NFT), крапельний полив і плаваючі платформи. Система поживного шару (Nutrient Film Technique) є однією з найпоширеніших завдяки своїй ефективності та компактності. У ній рослини розміщуються в похилих пластикових або ПВХ-каналах, через які постійно циркулює тонкий шар поживного розчину глибиною 1–2 мм. Корені частково занурені в розчин, отримуючи поживні речовини, а частково контактують із повітрям, що забезпечує доступ до кисню. Розчин подається насосом із резервуара, проходить повз корені та повертається для повторного використання, створюючи замкнений цикл. Ця система ідеально підходить для легких культур, таких як латук, рукола, шпинат і петрушка, оскільки не потребує субстрату й економить воду. Однак вона чутлива до збоїв у подачі електроенергії, оскільки відключення насоса може призвести до швидкого висихання коренів. Крім того, канали потрібно регулярно очищувати від солей і органічних залишків, щоб запобігти розвитку патогенів[12].

Система крапельного поливу використовується для вирощування трав із більш розвиненою кореневою системою, таких як базилік, м'ята чи розмарин. Рослини розміщуються в контейнерах із інертним субстратом, наприклад, кокосовим волокном, перлітом або керамзитом, а поживний розчин подається через крапельниці, які забезпечують дозоване зволоження кореневої зони. Надлишок розчину може повертатися в резервуар (рециркуляційна система) або виводитися (нерециркуляційна система). Крапельний полив дозволяє точно контролювати кількість поживних речовин для кожної рослини, що робить його гнучким для вирощування різних культур у одній системі. Перевагами є стабільне постачання вологи та поживних речовин, а також можливість використання різних субстратів. Недоліки включають ризик засмічення крапельниць і вищі витрати на встановлення порівняно з NFT. Ця система вимагає регулярного обслуговування, щоб уникнути накопичення солей у субстраті чи трубках[11].

Система плаваючих платформ, також відома як Deep Water Culture (DWC), є простою та економічною, що робить її популярною для масового вирощування салатів. Рослини розміщуються на пінопластових або пластикових платформах, які плавають на поверхні резервуара з поживним розчином. Корені занурені в розчин, отримуючи поживні речовини та кисень, який забезпечується аераторами. Платформи мають отвори, у яких фіксуються рослини, а їх корені вільно ростуть у воді. Ця система забезпечує стабільне постачання поживних речовин і проста у встановленні, що знижує початкові витрати. Однак вона потребує ретельного контролю температури розчину, оскільки перегрів або переохолодження може зашкодити кореням. Аерація є обов'язковою, щоб запобігти гниттю коренів через нестачу кисню. Плаваючі платформи найкраще підходять для латуку, шпинату та мангольду, але менш ефективні для трав із густими кореневими системами[4].

Поживний розчин є ключовим елементом гідропоніки, оскільки він замінює ґрунт як джерело живлення. Він складається з води та розчинених добрив, які містять макро- та мікроелементи, необхідні для росту рослин. Макроелементи включають азот, фосфор, калій, кальцій, магній і сірку. Азот сприяє росту листя, що особливо важливо для салатів і трав, фосфор підтримує розвиток коренів, а калій підвищує витривалість рослин. Мікроелементи, такі як залізо, марганець, цинк, бор, мідь і молібден, потрібні в малих кількостях для ферментативних процесів і здоров'я рослин. Склад розчину залежить від культури та її фази росту: на вегетативній стадії потрібна вища концентрація азоту, тоді як на пізніх етапах може знадобитися більше калію. Для приготування розчину використовують очищену воду (зворотний осмос або дистильовану), щоб уникнути домішок, які можуть змінити хімічний баланс. Концентрація поживних речовин вимірюється за допомогою електропровідності (ЕС), яка для салатів і трав становить 1,0–2,0 мСм/см. Рівень рН підтримується в межах 5,5–6,5, оскільки це оптимальний діапазон для засвоєння поживних речовин. Для корекції рН використовують фосфорну або лимонну кислоту для зниження та гідроксид калію для підвищення.

Щоденний моніторинг рН і ЕС здійснюється за допомогою спеціальних приладів, а розчин оновлюють кожні 1–2 тижні, щоб уникнути накопичення солей[3].

Освітлення відіграє критичну роль у гідропонії, особливо в закритих приміщеннях, де природне світло недоступне. Для салатів і трав найчастіше використовують світлодіодні (LED) лампи, які забезпечують оптимальний спектр світла для фотосинтезу. Червоне світло (620–630 нм) сприяє росту листя, а синє (450–460 нм) підтримує компактність рослин. Деякі лампи включають біле світло для збалансованого спектру. Інтенсивність світла вимірюється в PAR (фотосинтетично активна радіація) і становить 200–400 мкмоль/м²/с для салатів і 300–600 мкмоль/м²/с для трав. Тривалість світлового дня варіюється: салати потребують 12–14 годин, тоді як базилік чи м'ята можуть вимагати до 16 годин. Лампи розміщують на відстані 20–40 см від рослин, щоб уникнути опіків листя. LED-лампи є енергоефективними та довговічними, що знижує експлуатаційні витрати порівняно з люмінесцентними чи натрієвими лампами[5].

Умови середовища мають бути стабільними для забезпечення здорового росту рослин. Температура повітря підтримується в межах 18–24°C, оскільки вищі температури можуть викликати тепловий стрес, а нижчі — уповільнити ріст. Вологість повітря становить 50–70%, щоб запобігти висиханню листя, але надмірна вологість може сприяти розвитку грибкових хвороб. Вентиляція забезпечує циркуляцію повітря, знижує ризик плісняви та підтримує рівень вуглекислого газу для фотосинтезу. У закритих системах використовують вентилятори та осушувачі для контролю вологості[6].

Субстрати застосовуються в системах крапельного поливу або для пророщування сіянців. Вони мають бути інертними, не впливати на хімічний склад розчину та забезпечувати аерацію коренів. Найпоширеніші субстрати включають кокосове волокно, яке є екологічним і добре утримує вологу, мінеральну вату з високою водоутримуючою здатністю, перліт, що забезпечує аерацію, але погано утримує воду, та керамзит, який є міцним і придатним для

багаторазового використання. У системах NFT і DWC субстрат зазвичай не потрібен, оскільки корені контактують безпосередньо з розчином, що знижує витрати[8].

Переваги гідропоніки роблять її привабливою для комерційного та домашнього вирощування. Рослини ростуть на 20–30% швидше, ніж у ґрунті, завдяки оптимальному постачанню поживних речовин. Гідропоніка економить до 90% води порівняно з традиційним землеробством, оскільки розчин циркулює в замкненій системі. Відсутність ґрунту виключає ризик зараження ґрунтовими шкідниками та зменшує потребу в пестицидах. Технологія дозволяє вирощувати культури в обмеженому просторі, наприклад, у вертикальних фермах, що особливо актуально для міст. Цілорічне виробництво забезпечує стабільний урожай незалежно від кліматичних умов[7].

Виклики гідропоніки включають високі початкові витрати на обладнання, такі як насоси, лампи, резервуари та системи автоматизації. Технічні збої, наприклад, відключення електроенергії, можуть призвести до загибелі рослин, особливо в системі NFT, де корені залежать від постійного потоку розчину. Вологе середовище сприяє розвитку бактерій і грибків, якщо не дотримуватися санітарних норм. Для профілактики патогенів обладнання регулярно стерилізують, а розчин фільтрують. Управління системою вимагає знань про хімію поживних розчинів, рН, ЕС і біологію рослин, що може бути складним для новачків[10].

Практичні аспекти вирощування включають вибір культур, підготовку насіння, догляд за рослинами та збирання врожаю. Салати та трави обирають через їх короткий цикл росту (4–8 тижнів для салатів, 6–10 тижнів для трав). Насіння пророщують у торф'яних пробках або мінеральній ваті, зволожених слабким поживним розчином (ЕС 0,5–0,8 мСм/см), за температури 20–25°C і вологості 70–80%. Після появи 2–3 справжніх листків сіянці переносять у гідропонну систему. На етапі вегетації рослини отримують розчин із вищою концентрацією (ЕС 1,2–2,0 мСм/см) і 12–16 годин світла. Збір врожаю

проводять, коли рослини досягають товарного розміру, зазвичай через 4–8 тижнів для салатів і 6–10 тижнів для трав[9].

Автоматизація спрощує управління гідропонними системами. Датчики рН і ЕС автоматично регулюють склад розчину, таймери контролюють освітлення, а системи поливу забезпечують регулярну подачу розчину. Це знижує трудовитрати та підвищує ефективність. У комерційних фермах використовують програмне забезпечення для моніторингу всіх параметрів у реальному часі[12].

Економічні аспекти гідропоніки залежать від масштабу виробництва. Початкові інвестиції можуть бути значними, але висока продуктивність і цілорічне вирощування забезпечують швидку окупність. У міських фермах гідропоніка скорочує транспортні витрати, оскільки продукція вирощується поблизу споживачів. Екологічні переваги включають економію води, зменшення використання пестицидів і можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі[11].

Гідропонна технологія є перспективним рішенням для вирощування салатів і пряних трав, яке поєднує високу продуктивність, якість і сталість. Успіх залежить від правильного вибору системи, якісного обладнання, точного налаштування поживного розчину та підтримання оптимальних умов. Завдяки автоматизації та інноваціям гідропоніка стає доступною для широкого кола користувачів, від великих агрокомплексів до домашніх господарств, сприяючи розвитку сучасного сільського господарства[14].

РОЗДІЛ 2

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

Проектування системи мікроклімату тепличних комплексів є ключовим аспектом сучасного сільського господарства, спрямованим на створення оптимальних умов для вирощування рослин, зокрема салатів, пряних трав, овочів та ягід. Мікроклімат теплиці включає сукупність параметрів, таких як температура, вологість, освітлення, рівень вуглекислого газу (CO_2) та циркуляція повітря, які безпосередньо впливають на ріст, розвиток і продуктивність культур. Правильно спроектована система мікроклімату забезпечує стабільний урожай протягом усього року, підвищує ефективність використання ресурсів і знижує вплив зовнішніх кліматичних умов. У цьому тексті детально розглянуто принципи проектування системи мікроклімату, основні компоненти, технології, автоматизацію, енергоефективність, а також виклики та практичні аспекти реалізації таких систем у тепличних комплексах[15].

Принципи проектування системи мікроклімату

Проектування системи мікроклімату тепличних комплексів базується на створенні умов, які максимально відповідають біологічним потребам вирощуваних культур. Основна мета — підтримувати стабільні параметри середовища, такі як температура ($18\text{--}24^\circ\text{C}$ для більшості культур), відносна вологість ($50\text{--}70\%$), інтенсивність освітлення ($200\text{--}600 \text{ мкмоль/м}^2/\text{с}$ залежно від культури), рівень CO_2 ($800\text{--}1200 \text{ ppm}$) та достатня вентиляція для уникнення застою повітря. Ці параметри варіюються залежно від типу рослин, їхньої фази росту (вегетація чи плодоношення) та зовнішніх умов, таких як клімат регіону чи сезон. Проект системи мікроклімату враховує розміри теплиці, тип покриття (скло, полікарбонат, плівка), географічне розташування, доступ до енергії та бюджет[16].

Процес проєктування включає кілька етапів: аналіз потреб культур, оцінка кліматичних умов регіону, вибір технологій і обладнання, розрахунок теплового та енергетичного балансу, а також інтеграція систем автоматизації для моніторингу та управління. Важливо враховувати енергоефективність, оскільки системи опалення, охолодження, освітлення та вентиляції є енергоємними. Сучасні тепличні комплекси також орієнтуються на використання відновлюваних джерел енергії та мінімалізацію впливу на довкілля[18].

Основні компоненти системи мікроклімату

Система мікроклімату тепличного комплексу складається з кількох ключових компонентів, кожен із яких відповідає за певний параметр середовища. Нижче описано основні елементи та їхні функції[17].

1. Система опалення

Опалення є критично важливим для підтримання стабільної температури в теплиці, особливо в холодні періоди року. Температурний режим залежить від культури: наприклад, салати та пряні трави потребують 18–24°C, тоді як томати чи огірки можуть вимагати 22–28°C. Основні типи опалювальних систем включають:

- **Водяне опалення:** Використовує котли (газові, електричні чи твердопаливні) для нагрівання води, яка циркулює через труби, розміщені вздовж підлоги або стін теплиці. Водяне опалення є енергоефективним і забезпечує рівномірний розподіл тепла.
- **Повітряне опалення:** Повітря нагрівається теплогенераторами та розподіляється вентиляторами. Ця система швидше реагує на зміни температури, але може створювати нерівномірний мікроклімат.
- **Інфрачервоне опалення:** Інфрачервоні обігрівачі нагрівають поверхні (рослини, субстрат) замість повітря, що знижує тепловтрати. Вони ефективні для локального обігріву, але дорогі в установці.

- Геотермальне опалення: Використовує тепло землі через теплові насоси. Це екологічне рішення, яке підходить для регіонів із доступом до геотермальних джерел.

Для підвищення енергоефективності застосовують теплоізоляцію (подвійне скління, термоекрани), рекуперацію тепла та комбінацію кількох джерел енергії. Наприклад, у холодних регіонах часто використовують комбінацію газового котла та теплового насоса[17].

2. Система охолодження та вентиляції

У теплицях температура може швидко зростати через сонячне випромінювання, особливо влітку. Система охолодження та вентиляції забезпечує зниження температури та підтримання оптимальної вологості. Основні методи включають:

- Природна вентиляція: Здійснюється через відкривання вікон або кватирок у даху та стінах теплиці. Це економічний метод, але ефективний лише за помірних зовнішніх температур.

- Механічна вентиляція: Використовує вентилятори для примусової циркуляції повітря. Вентилятори можуть бути встановлені на стінах або даху, забезпечуючи приплив свіжого повітря та видалення надлишкової вологи.

- Туманоутворення (Fogging): Система розпилює дрібні краплі води, які випаровуються, знижуючи температуру та підвищуючи вологість. Туманоутворення ефективно в сухих і спекотних регіонах.

- Евапоративне охолодження (Cooling Pads): Повітря проходить через вологі пористі панелі, охолоджуючись за рахунок випаровування. Ця система потребує значної кількості води, але є ефективною для великих теплиць.

Вентиляція також важлива для підтримання рівня CO₂, який необхідний для фотосинтезу. У закритих системах CO₂ може подаватися з балонів або генеруватися шляхом спалювання природного газу[19].

3. Система освітлення

Освітлення є ключовим фактором для фотосинтезу, особливо в регіонах із недостатньою кількістю природного світла або при цілорічному вирощуванні. Для тепличних комплексів найчастіше використовують:

- Світлодіодні (LED) лампи: Забезпечують оптимальний спектр світла (червоне 620–630 нм, синє 450–460 нм) для росту рослин. LED-лампи енергоефективні, довговічні та дозволяють регулювати інтенсивність і спектр.
- Натрієві лампи високого тиску (HPS): Використовуються для великих теплиць завдяки високій інтенсивності світла, але менш енергоефективні порівняно з LED.
- Люмінесцентні лампи: Застосовуються для невеликих теплиць або пророщування сіянців, але мають нижчу ефективність.

Інтенсивність світла залежить від культури: салати потребують 200–400 мкмоль/м²/с, пряні трави — 300–600 мкмоль/м²/с. Тривалість світлового дня становить 12–16 годин. Системи освітлення оснащуються таймерами та датчиками для автоматичного регулювання, що знижує енергоспоживання[18].

4. Система зволоження та контролю вологості

Відносна вологість у теплиці має бути в межах 50–70%, щоб запобігти висиханню листя або розвитку грибкових хвороб. Системи зволоження включають:

- Туманоутворювальні установки: Розпилюють воду для підвищення вологості та охолодження.
- Зрошувальні системи: Використовуються для гідропонного або ґрунтового вирощування, забезпечуючи корені водою та поживними речовинами.
- Осушувачі повітря: Застосовуються для зниження надмірної вологості, особливо в дощові періоди.

Контроль вологості здійснюється за допомогою гігрометрів, які інтегруються в системи автоматизації[21].

5. Система подачі CO₂

Рівень CO_2 у теплиці впливає на швидкість фотосинтезу. Оптимальна концентрація становить 800–1200 ppm, тоді як у природних умовах рівень CO_2 зазвичай не перевищує 400 ppm. Системи подачі CO_2 включають:

- Балони з CO_2 : Забезпечують точне дозування газу через розподільні трубки.
- Генератори CO_2 : Виробляють газ шляхом спалювання природного газу або пропану. Вони дешевші, але потребують хорошої вентиляції для видалення побічних продуктів горіння.
- Використання відпрацьованих газів: У деяких теплицях CO_2 отримують із котлів або інших джерел, що підвищує енергоефективність.

Сучасні тепличні комплекси використовують системи автоматизації для управління мікрокліматом у реальному часі. Основні елементи включають:

- Датчики: Вимірюють температуру, вологість, рівень CO_2 , інтенсивність світла та pH поживного розчину (у гідропонних системах). Наприклад, датчики PAR вимірюють фотосинтетично активну радіацію, а гігрометри контролюють вологість.
- Контролери: Центральні системи управління (PLC або комп'ютери) обробляють дані з датчиків і регулюють роботу обладнання (вентиляторів, насосів, ламп).
- Програмне забезпечення: Дозволяє створювати програми для автоматичного регулювання мікроклімату залежно від часу доби, фази росту рослин або погодних умов.
- Віддалений доступ: Сучасні системи надають можливість моніторингу та керування через мобільні додатки або вебінтерфейси.

Автоматизація знижує трудовитрати, підвищує точність управління та дозволяє швидко реагувати на зміни умов. Наприклад, якщо температура перевищує 25°C , система автоматично вмикає вентиляцію або туманоутворення[20].

Енергоефективність є важливим аспектом проектування тепличних комплексів, оскільки опалення, охолодження та освітлення споживають значну кількість енергії. Основні стратегії підвищення енергоефективності включають:

- Теплоізоляція: Використання подвійного скління, полікарбонату або термоекранів для зменшення тепловтрат. Термоекрани закривають теплицю вночі, знижуючи втрати тепла на 30–50%.
- Рекуперація тепла: Системи рекуперації використовують тепло відпрацьованого повітря для нагрівання свіжого.
- Відновлювані джерела енергії: Сонячні панелі, вітрові турбіни або геотермальні теплові насоси знижують залежність від викопного палива.
- Оптимізація освітлення: LED-лампи з регульованою інтенсивністю та спектром зменшують споживання електроенергії на 40–60% порівняно з HPS-лампами.
- Інтелектуальне управління: Системи автоматизації оптимізують роботу обладнання, вмикаючи його лише за потреби.

Екологічна сталість досягається шляхом використання замкнених систем поливу, які економлять до 90% води, та зменшення використання пестицидів завдяки контрольованим умовам[22].

Проектування системи мікроклімату пов'язане з кількома викликами:

- Високі початкові витрати: Встановлення сучасного обладнання (LED-лампи, автоматизовані системи, теплові насоси) вимагає значних інвестицій.
- Складність інтеграції: Поєднання різних систем (опалення, вентиляція, освітлення) потребує точних розрахунків і координації.
- Технічні ризики: Збої в електропостачанні або поломка обладнання можуть порушити мікроклімат і призвести до втрат урожаю.
- Кваліфікація персоналу: Управління автоматизованими системами вимагає знань із агрономії, інженерії та програмування.
- Кліматичні особливості: У регіонах із екстремальними температурами (дуже холодними або спекотними) потрібні потужніші системи, що підвищує витрати.

Для подолання цих викликів використовують модульний підхід до проєктування, який дозволяє поступово масштабувати систему, а також застосовують резервні джерела живлення (генератори, батареї) для забезпечення безперебійної роботи[19].

Практичні аспекти реалізації

1. Аналіз потреб культур

Перед проєктуванням визначають культури, які вирощуватимуться, та їхні вимоги до мікроклімату. Наприклад, салати потребують нижчих температур (18–22°C) і помірної вологості (50–60%), тоді як томати вимагають вищих температур (22–28°C) і рівня CO₂ до 1000 ppm. Для пряних трав, таких як базилік, потрібне інтенсивне освітлення (до 600 мкмоль/м²/с) і тривалий світловий день (14–16 годин) [19].

2. Вибір матеріалів теплиці

Матеріал покриття теплиці впливає на мікроклімат і енергоефективність:

- Скло: Забезпечує високу прозорість (до 90%) і довговічність, але дороге та погано утримує тепло.
- Полікарбонат: Має хорошу теплоізоляцію, легший за скло, але менш прозорий (70–85%).
- Плівка: Економічний варіант, але менш міцний і потребує частої заміни.

3. Розрахунок теплового балансу

Для визначення потужності опалювальної та охолоджувальної систем проводять розрахунок тепловтрат і теплопоступлень. Формула для тепловтрат виглядає так:

$$Q = k \times A \times \Delta T \quad (2.1)$$

де Q — тепловтрати (Вт), k — коефіцієнт теплопередачі матеріалу (Вт/м²·К), A — площа поверхні теплиці (м²), ΔT — різниця температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем (°C). Ці розрахунки дозволяють обрати обладнання відповідної потужності.

4. Інтеграція гідропонних систем

У теплицях із гідропонним вирощуванням система мікроклімату доповнюється контролем поживного розчину. Датчики рН (5,5–6,5) і ЕС (1,0–2,0 мСм/см) інтегруються з системами поливу, забезпечуючи точне дозування поживних речовин[21].

5. Тестування та налаштування

Після встановлення системи проводять тестування всіх компонентів (опалення, вентиляція, освітлення) у різних режимах. Датчики калібрують, а програмне забезпечення налаштовують для автоматичного реагування на зміни умов[12].

Економічна ефективність тепличного комплексу залежить від продуктивності, енергоефективності та автоматизації. Сучасні системи дозволяють отримувати 20–30% вищий урожай порівняно з традиційним землеробством завдяки стабільному мікроклімату. Витрати на енергію становлять до 50% операційних витрат, тому інвестиції в енергоефективні технології (LED, теплові насоси, термоекрани) окупаються за 3–5 років. У міських теплицях скорочуються транспортні витрати, оскільки продукція вирощується поблизу споживачів[8].

Екологічні переваги включають економію води (до 90% у замкнених системах), зменшення використання пестицидів і можливість інтеграції з відновлюваними джерелами енергії. Наприклад, сонячні панелі можуть жити освітлення та насоси, а геотермальні системи – опалення[19].

Проектування системи мікроклімату тепличних комплексів є складним, але ключовим процесом для забезпечення високої продуктивності та сталості сільськогосподарського виробництва. Інтеграція систем опалення, охолодження, вентиляції, освітлення, зволоження та подачі CO₂ дозволяє створювати оптимальні умови для росту рослин незалежно від зовнішнього клімату. Автоматизація та енергоефективні технології підвищують економічну вигоду та знижують вплив на довкілля. Успіх проєкту залежить від ретельного аналізу потреб культур, правильного вибору обладнання, точних розрахунків і кваліфікованого управління. Гідропонні теплиці, оснащені сучасними

системами мікроклімату, відкривають нові можливості для вирощування свіжих продуктів у будь-яких кліматичних умовах, сприяючи розвитку сталого сільського господарства[21].

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОГО ПРИВОДУ ЖАЛЮЗІ ШАХТИ ВЕНТИЛЯТОРА

Залежно від типу приміщення і висунутих вимог можливі такі схеми активної вентиляції:

1. Припливна вентиляція за t° зовнішнього повітря, що вимикається при зниженні температури нижче $t^{\circ} \leq -7^{\circ}\text{C}$ для запобігання замерзанню овочів. Витяжна вентиляція - природна.

2. Припливна вентиляція за температурою верхніх і нижніх шарів овочів. Витяжна вентиляція - природна.

3. Припливна вентиляція за переходом температури - внутрішньої і зовнішньої з електропідігрівом повітря у верхній частині приміщення.

4. Регулювання, що забезпечує триступеневу зміну швидкості двигуна вентилятора.

Можливі й інші варіанти технологічних схем. У всіх випадках системи розподілу повітря, що подається, - багатоканальні, іноді з використанням рециркуляції внутрішнього повітря з метою зменшення потужності підігріву свіжого зовнішнього повітря.

Перша з перерахованих систем - найпростіша, але не враховує можливості перевищення температури верхніх шарів понад допустимі норми.

Друга система при протяжному приміщенні призводить до неузгодженої роботи вентиляторів у зв'язку з нерівномірністю температури по довжині приміщення.

Третя і четверта схема забезпечує більшу надійність у підтримці температури і вологості, але складніша і більш енергоємна.

В даний час управління системами активної вентиляції та опалення в овочевих теплицях здійснюється автоматично, в результаті чого, з'являється можливість підтримувати в масі продукції і в теплиці необхідний температурно-вологісний режим. До недавнього часу автоматичне регулювання

системами активної вентиляції та опалення в теплицях здійснювалося за допомогою шафи ШЛУ-АВ.

Серійно випускаються шафи автоматики типу "Середа-1" і "Середа-2". Шафа автоматики "Среда-1" може працювати як стара шафа ШЛУ-АВ, лише однією припливною камерою.

Шафа являє собою стелажну етажерку розміром 0,15х 0,8 м і заввишки 2,2 м. На кожен стелаж встановлюють блок, розрахований на управління однією припливною камерою.

У верхній частині шафи розташований логометр для виміру температури в масі продукції, у вентиляційних каналах, у сховищі та в атмосфері. За допомогою логометра, перемикаючи перемикач-датчиків, можна виміряти температуру в 39 точках.

Слід зазначити, що завод-виготовлювач за заявкою замовника може поставляти шафу з меншою кількістю блоків керування. Наприклад, для чотирьох припливних вентиляційних камер потрібна шафа "Среда-1-4", для шести - "Среда-1-6" і для восьми - "Среда-1-8".

Маса шафи - 350 кг. Споживана потужність - 500ВА. Обслуговування шафи одностороннє - на передній панелі кожного блока розташовані пульт керування і система сигналізації. На аксонометричній схемі показано блок керування та уніфіковану секцію з розміщенням у ній датчиків регулювання і виміру температури.

Датчики систем автоматичного регулювання встановлюють:

- датчик терморегулятора захисту продукції від переохолодження - у магістральному каналі після вентилятора на відстані від 1,0 до 3 м від нього;
- датчик терморегулятора припливного повітря - у магістральному повітропроводі поруч із датчиком захисту від переохолодження;
- датчик терморегулятора маси продукту, що зберігається, - у центрі насипу (або в центрі секції) на глибині 0,5-0,7 м від верху насипу;

- один із датчиків диференціального терморегулятора маси продукту, що зберігається, встановлюють зовні сховища, в захищеному від прямого потрапляння сонячних променів місці;

- датчик терморегулятора у верхній зоні - всередині сховища на відстані 0,5 м від перекриття поза зоною прямого потоку повітря з рециркуляційного опалювального агрегату.

У тих самих місцях, а також у масі продукції встановлюють на відстані 9м один від одного термометри опору для контролю за температурою за допомогою логометра.

Усі датчики, що поміщаються в масу продукції, повинні мати вільну довжину кабелю, щоб під час ущільнення продукції не відбувався обрив датчиків.

Блок-шафа автоматики "Среда-1" дає змогу автоматично регулювати:

- температуру повітря у верхній зоні сховища в межах від -20 до +20 С° (терморегулятор БІЗ-11 з датчиком 9);

- температуру маси продукції, що зберігається, в межах від -20 до +20 С° (терморегулятор БІЗ-12 з датчиком 11);

- температуру припливного повітря, що подається в масу продукції, що зберігається, в межах від -20 до +20 С° (терморегулятор БІЗ-11П із датчиком 8).

Блок шафи автоматики автоматично вимикає з роботи систему активної вентиляції, коли температура припливного повітря (термометр БІЗ-11П із датчиком 4).

Сигнальні лампочки (на малюнку показані у вигляді крапок), характеризують роботу вентилятора 5, колорефера 10, холодильної машини і змішувального клапана 6. За нормальної роботи системи ці лампочки мають постійно горіти, тоді як лампочки контролю температури продукції, верхньої зони сховища і припливного повітря в магістральному каналі спалахують лише в разі, коли температура в зазначених місцях не відповідає необхідній.

Чотири сигнальні лампочки (опитування), розташовані з правого боку блока, відповідають кількості терморегуляторів і, загоряючись, показують, що в роботу ввімкнено відповідний терморегулятор.

Шафа автоматики "Среда-1" розрахована на автоматичне керування холодильними машинами централізованого (встановлена в загальній компресорній) та автоматного (розташована в сховищі) призначення. У разі забезпечення холодом від загальної компресорної перемикач встановлюють у положення "автоматики".

Блок на автоматичне або ручне керування системою активної вентиляції переводять за допомогою перемикача, що встановлюється відповідно в положення "автомат" і "ручне".

Для переведення системи активної вентиляції в роботу в режимі "лікувальний" ("охолодження") і "зберігання" перемикач, розташований нижче блоків, переводять у відповідне положення. При цьому команда одночасно подається на всі блоки.

Згідно з "Рекомендаціями щодо систем автоматичного регулювання температурного режиму в теплиці", шафа автоматики ШАУ-АВ містить регулювальну, програмну, пускову, сигнальну та вимірювальну апаратуру. У шафі встановлено три напівпровідникові терморегулятори типу ПТР-2-0,3, один напівпровідниковий пропорційний терморегулятор ПТР-П-0,3, напівпровідниковий диференційний терморегулятор ПТРД-2, камерний датчик ДТКБ, програмне реле часу ЛРВМ, обігрівач шафи ЕТ, клемники 1К і 2К, проміжне реле ПЕ-21, лампа освітлювальна, штепсельна розетка, вимикачі освітлення та обігріву шафи, випрямляч 220/4В для живлення логометра, шильдики з позначенням приладів згідно зі схемою. На передній панелі шафи встановлено: логометр Л-64, перемикач ПМТ-8, автоматичний вимикач А-63 МГ, тумблер, три перемикачі УП, вісім сигнальних арматур АС-220, дев'ять кнопок К-03, шильдики з написами над усіма сигнальними і керівними приладами.

Шафа автоматики ШАУ-АВ розрахована на регулювання температур у діапазоні від -10 до +15 С°. Перетин шафи становить 0,45х0,8 м, висотою - 1м. Маса шафи -130 кг. На передній панелі шафи ШАУ-АВ розташовані перемикачі, що дають змогу переводити системи вентиляції з автоматичного на ручне керування, а також перемикати систему автоматики на ручний режим роботи: "лікувальний" ("охолодження") і "зберігання".

Крім того, на передній панелі розташовані кнопкові вимикачі для увімкнення і вимкнення вентилятора, електроколориферів, виконавчого механізму і підігрівача змішувального клапана. На панелі розміщені шкала логометра і перемикач його датчиків на вісім точок.

Слід зазначити, що шафу автоматики постачають у комплекті з регулювальними датчиками. Датчики для контролю температури (термометри опір мідні 23 градування типу ТСМ-5071) замовляють і купують окремо.

Таким чином, сучасні засоби автоматики забезпечують:

- періодичне увімкнення системи вентиляції в "лікувальний період";
- увімкнення системи вентиляції в період охолодження продукції, коли температура зовнішнього повітря нижча, ніж у масі, і вимкнення її, коли цієї різниці немає;
- підтримання оптимальної (заданої) температури в масі продукції;
- забезпечення аварійного захисту продукції від підморожування;
- підтримання оптимальної температури у верхній зоні сховища;
- увімкнення системи підігріву заслінки змішувального клапана перед увімкненням припливного вентилятора для захисту його від підмерзання;
- підтримання оптимальної температури всередині шафи для збереження працездатності приладів;
- дистанційне вимірювання температури в різних точках, зокрема і в масі продукції.

Слід звернути увагу на те, що однією з головних робіт із підготовки теплиць до експлуатації є налагодження системи автоматики, яке повинен виконувати фахівець-наладник, що має необхідні контрольно-вимірювальні

прилади та інструкцію з експлуатації шаф. Під час налагодження особливу увагу звертають на правильну установку датчиків, на налагодження всіх термометрів і залежно від виду та призначення продукції, що підлягає зберіганню, а також на перевірку роботи системи в технологічному режимі.

Виходячи з аналізу наявних схем і досвіду вирощування салатів, видається доцільним використовувати для теплиць схему з активним вентиляванням для підтримання заданої температури у верхньому шарі салатів $t_{\text{верх}}^{\circ} \leq 18^{\circ}\text{C}$ і зовнішньому $t_{\text{ниж}}^{\circ} \geq 24^{\circ}\text{C}$

При цьому встановлення вентиляторів доцільне в зоні зміщення повітря зовнішнього і рециркуляційного, а встановлення датчиків температури - в центрах верхньої і нижньої частини приміщення.

Для обмеження припливу холодного повітря в холодні дні зимового періоду може бути застосовано прикриття заслінок (жалюзі) від температурного реле прямої дії, яке встановлюють зовні, і воно безпосередньо впливає на заслінки (ТРПД-01).

Схема передбачає можливість ручного керування роботою вентиляторів. За необхідності, в районах різкого зниження зимових температур (якщо за вимкнених вентиляторів температура нижнього шару продовжує знижуватися нижче за 24°C) схему можна доповнити застосуванням підігріву повітря.

Схема передбачає автоматичне вмикання і вимикання вентилятора і нагрівальних елементів у заданій послідовності - щоб уникнути перегорання нагрівальних елементів. Спочатку вмикається вентилятор, потім нагрівальні елементи. Вимкнення відбувається у зворотному порядку. Встановлення датчиків $t \leq 6^{\circ}\text{C}$ доцільне по краях нижніх частин приміщення.

За нестачі необхідних датчиків схема може обмежитися заміром температури лише у верхніх шарах, тому що, згідно з дослідженнями вчених, поступове зниження температури нижнього шару салатів до $t = 18 \dots 24^{\circ}\text{C}$.

Типи датчиків для другої схеми: ПТР-3-03-А напівпровідниковий трипозиційний регулятор температури, з датчиком камерного типу, монтаж настінний, варіант А (із замиканням н. о. контактів у разі підвищення

температури). Точність спрацьовування - $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Установка $t^{\circ} = -2^{\circ}\text{C}$. ПТР - 3-03-Б - те саме, але із замиканням н.о. контактів у разі зниження температури. Установка $t^{\circ} = 0^{\circ}\text{C}$. Для схеми 3 ПТР - 3-03-А - 1 шт. Точність спрацьовування - $\pm 1^{\circ}\text{C}$. Установка $t^{\circ} = -1^{\circ}\text{C}$.

Нині в теплицях температури регулюється ручним способом. Ручний спосіб регулювання мікроклімату недостатній для гарного вирощування салатів, оскільки неможливо стежити за нормальною температурою в шарах без допомоги автоматики.

У моєму дипломному проєкті розробляють автоматичний привід заслінки та електричну схему для ввімкнення і вимкнення основного двигуна.

Наявні теплові проєкти не мають автоматичного регулювання заслінки. За допомогою автоматичного приводу заслінки можна добре регулювати t^0 повітря, що подається.

Автоматична система управління мікрокліматом має датчики. Ці датчики, ПТР-3-03-А-напівпровідний трипозиційний регулятор температури з датчиком камерного типу, монтаж настінний, варіант А (із замиканням н.о. контактів у разі підвищення температури) можна замовити.

Виконання проєкту слід почати з вибору електродвигуна за каталогом, для чого визначити необхідну для приводу потужність. Необхідну потужність електродвигуна визначають на підставі вихідних даних.

Якщо вказані обертовий момент на веденому валу і його умовна швидкість, то потужність визначають за формулою:

$$N = \frac{M_p \omega_p}{\eta}, \quad (3.1)$$

де M_p - лікарьський момент, Н-м;

ω_p -кутова швидкість, рад/сек;

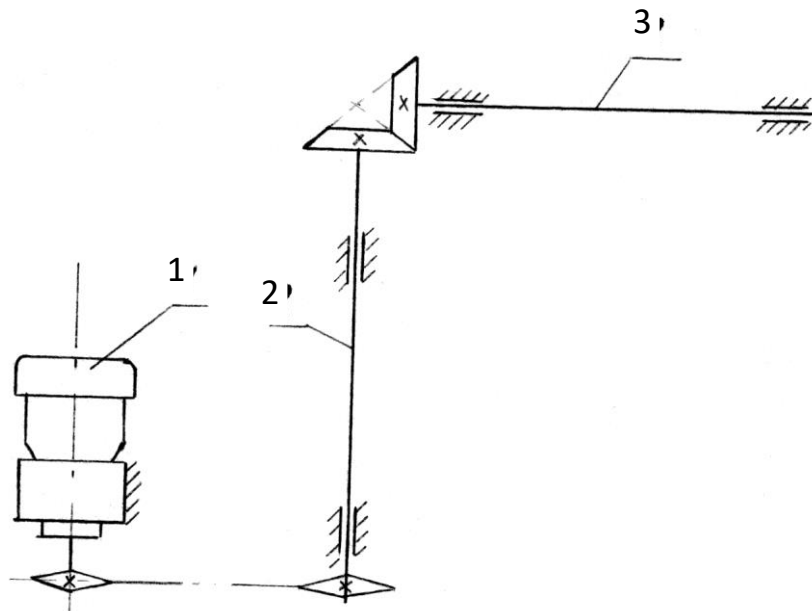
η - ккд приводу.

$$\omega_p = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.2)$$

де n - число обертів заслінки, яке приймаємо, визначивши дослідним шляхом. $n = 8$ об/хв.

$$\omega_p = \frac{3,14 \cdot 8}{30} = 0,83 \text{ рад/сек.} \quad (3.3)$$

Момент, що додається до заслінки, визначаємо дослідним шляхом і приймаємо. $M_p = 50 \text{ Н} \cdot \text{м}$.



1-мотор-редуктор; 2 - перший вал жалюзі; 3 - другий вал жалюзі.

Рис. 3.1 Привід жалюзі

Коефіцієнт корисної дії приводу визначається за формулою:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \dots \eta_k \quad (3.4)$$

Для визначення коефіцієнта корисної дії маємо кінематичну схему приводу.

Привід має: 4 підшипники ковзання (сталь по сталі), $\eta = 0,75$, одна конічна передача $\eta = 0,20$.

$$\eta = 0,754 \cdot 0,96 \cdot 0,90 = 0,27$$

$$N = \frac{50 \cdot 0,83}{0,27} = 157 \text{ Вт.}$$

За знайденим значенням потужності з метою зменшення габариту, вартості обираємо мотор - редуктор. Електродвигун мотор - редуктор, асинхронний, трифазний типу АОЛ - 12 - 4. Редуктор двоступеневий типу МРВ - 04.

Проектування вала починаємо з орієнтовного визначення вихідного кінця його з розрахунку на чисте крутіння, але зі зниженою напруженістю без урахування впливу вигину.

Діаметр вала визначаємо за формулою.

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{16M_{кр}}{\pi[t]_k}}, \quad (3.5)$$

де $M_{кр}$ - найбільший момент, Н-мм;

$[t]_k$ - напруження, що допускається на кручення, для валів зі сталі - 40,45, приймають знижене значення $[\tau]_k = 20 \div 25$ Н/мм². Одержане значення заокруглюють за ДСТ 6636-96 до найближчого значення. Приймаємо $[\tau]_k = 20$ Н/мм².

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 50 \cdot 10^3}{3,14 \cdot 20}} = 23,1 \text{ мм.}$$

Приймаємо вал діаметром 25 мм. Матеріал вала, вуглецева сталь 40.

Зовнішній ділительний діаметр визначаємо за формулою:

$$d_e = 2 \sqrt[3]{\left(\frac{335}{495}\right)^2 \frac{MK_{нв}U}{\sqrt{(1-0,5\varphi_b R_e)^2 \varphi_b R_e}}}, \quad (3.6)$$

де M - крутний момент, Н-мм;

$K_{нв}$ - коефіцієнт навантаження при консольному розташуванні коліс $K_{нв}=1,35$.

$$d_e = 2 \sqrt[3]{\left(\frac{335}{495}\right)^2 \frac{50 \cdot 10^3 \cdot 1 \cdot 1,35}{\sqrt{(1-0,5 \cdot 0,75)^2 \cdot 0,275}}} = 146 \text{ мм.}$$

Визначення конусної відстані визначаємо за формулою:

$$R_e = \frac{0,5d_e}{\sin \delta}, \quad (3.7)$$

де d_e - зовнішній ділительний діаметр, мм;

δ - кут нахилу, $\delta = 45^\circ$;

$$R_e = \frac{0,5 \cdot 146}{\sin 45} = 100 \text{ мм.}$$

Ширину зубчастого вінця визначаємо за формулою:

$$B=0,3R_e, \quad (3.8)$$

де R_e - зовнішня конусна відстань;

$$b=0,3-100= 30 \text{ мм}$$

Приймаємо ширину зубчастого вінця, $b=25\text{мм}$.

Середню конусну відстань визначаємо за формулою:

$$R=R(e)-0,5-b, \quad (3.9)$$

де R_e - зовнішня конусна відстань, мм;

b - ширина зубчастого вінця, мм.

$$R=100-0,5-25=87,5 \text{ мм.}$$

Середній окружний модуль визначаємо за формулою:

$$m=m(e)R/R_e, \quad (3.10)$$

де R_e - зовнішня конусна відстань, мм;

R - середня конусна відстань, мм;

m_e - зовнішній окружний модуль, мм;

$$m_e=\frac{d_e}{z}, \quad (3.11)$$

де d_e - зовнішній ділительний діаметр, мм;

z - число зубів конічної шестерні. Приймаємо рівною 50.

Середній ділительний діаметр визначається за формулою:

$$d= mz, \quad (3.12)$$

де m - середній окружний модуль, мм;

z - число зубів зубчастого колеса.

$$d=2,61-50=130,5 \text{ мм.}$$

Визначаємо кут ділительного конуса за формулою:

$$\delta_r=\arctg u; \quad (3.13)$$

$$\delta_1=90^0-\delta_r; \quad (3.14)$$

де u - передавальне відношення конічної пари.

$$\delta_2= \arctg 1=45^0. \quad (3.15)$$

$$\delta_1=90^0-45^0=45^0.$$

Визначаємо зовнішню висоту зуба за формулою:

$$h_e= 2,2 m_e, \quad (3.16)$$

де m_e - зовнішній окружний модуль, мм;

$$h_e = 2,2-3=6,6 \text{ мм.}$$

Визначаємо зовнішню висоту голівки зуба за формулою:

$$h_{ae} = m_e = 3 \text{ мм.}$$

Визначаємо зовнішню висоту ніжки зуба за формулою:

$$h_{fe}=1,2 m_e, \quad (3.17)$$

де m_e - зовнішній окружний модуль, мм.

$$h_{fe}=1,2-3=3,6 \text{ мм.}$$

Кут ніжки зуба визначається за формулою:

$$\theta_f = \arctg \frac{h_{fe}}{R_e}, \quad (3.18)$$

де h_{fe} - зовнішня висота ніжки зуба, мм;

R_e - зовнішня конусна відстань, мм;

$$\theta_f = \arctg \frac{3,6}{100} = 2^\circ 10'.$$

Зовнішній діаметр вершин зуба визначаємо за формулою:

$$d_{ae} = d_e + 2h_{ae} \cos \delta, \quad (3.19)$$

де d_e - зовнішній ділительний діаметр, мм;

h_{ae} - зовнішня висота зуба, мм;

$\cos \delta$ - кут нахилу зубів.

$$d_{ae} = 146 - 2 \cdot 3 \cos 45 = 145,8 \text{ мм.}$$

Перевірку зубів конічних шестерні на витривалість за напруженням вигину виконують за формулою:

$$\delta_F = \frac{PK_F V_F}{b_m} \leq [\delta]_F, \quad (3.20)$$

де K_F - коефіцієнт навантаження під час розрахунку на вигин, виконуємо так само, як і для зубчастих коліс. Приймаємо $K_F=1$

V_F - коефіцієнт форми зубів, вибираємо залежно від еквівалентного числа зубів. За числа зубів $Z=50$ $V_F=3,66$. ДСТУ EN 60034-2-1:2015.

δ_F - допустиме напруження, вибираємо також, як і для циліндричних зубчастих коліс. Приймаємо δ_K для сталі 45

$$\delta_F = 257 \text{ Н/мм}^2;$$

m -середній модуль, мм;

b - ширина зубчастого гвинця, мм;

P - окружна сила, Н

$$P = \frac{2M_2}{d_2}, \quad (3.21)$$

де M_2 - крутний момент, Н-м;

d_2 - середній діаметр, мм.

$$P = \frac{2 \cdot 5010^3}{130} = 769 \text{ Н.}$$

$$\delta_F = \frac{764 \cdot 1 \cdot 3,66}{25 \cdot 2,61} 56 \leq [\delta]_F.$$

Приймаємо всі розраховані розміри.

Вибираємо приводний роликовий ланцюг.

Обертальний момент на ведучому валу визначаємо за формулою:

$$M_P = \frac{N_g \eta}{\omega}, \quad (3.22)$$

де N_g - потужність двигуна, кВт;

η - ККД - мотор-редуктора;

ω - кутова швидкість ведучої ланки, рад/сек;

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.23)$$

де n - число обертів тихохідного вала мотора редуктора, об/хв.

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 25}{30} = 2,6 \frac{\text{рад}}{\text{сек}};$$

$$M_P = \frac{0,18 \cdot 10^3 \cdot 0,93}{2,6} = 64 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Передавальне число було прийнято $U_{\text{ц}} = 3$.

$$Z_1 = 19 - 3U, \quad (3.24)$$

де U - передавальне відношення ланцюгової передачі

$$Z_1 = 19 - 2 \cdot 3 = 13.$$

Приймаємо число зубів ведучого колеса $Z_1 = 13$.

Число зубів відомої зірочки визначаємо за формулою:

$$Z_2 = UZ, \quad (3.25)$$

де U - передавальне відношення ланцюгової передачі;

Z_1 - число зубів ведучої зірочки приводу.

$$Z_2 = 3 \cdot 13 = 39.$$

Число зубів відомої зірочки приймаємо рівним 39.

Розрахунковий коефіцієнт завантаження визначенням за формулою:

$$K_E = K(g) \cdot K(a) \cdot K(n) \cdot K(P) \cdot K(c) \cdot K_n, \quad (3.26)$$

де K_g - динамічний коефіцієнт, що враховує характер завантаження, за спокійного навантаження $K_g = 1$;

K_a - коефіцієнт, що враховує вплив міжосьової відстані, за $a \leq 25t$ приймаємо $K_a = 1$;

K_n - коефіцієнт, що враховує нахил ланцюга, оскільки ланцюг горизонтально приймаємо $K_n = 1$;

K_P - коефіцієнт, що враховує спосіб регулювання ланцюга, у разі регулювання натяжним роликом $K_P = 1$;

K_c - коефіцієнт, що враховує спосіб змащування, за періодичного змащування $K_c = 1,3/1,5$. Приймаємо $K_c = 1,5$;

K_n - коефіцієнт, що враховує періодичність роботи ланцюгової передачі, за однозмінної роботи $K_n = 1$.

$$K_E = 1 \cdot 1,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 = 1,875.$$

Крок однорідного ланцюга визначаємо за формулою:

$$t \geq 2,8 \sqrt{\frac{M_p \cdot K_e}{Z_p [P]}}, \quad (3.27)$$

де M_p - крутний момент на тихохідному валу мотор-редуктора, Н-м;

Z - число зубів ведучої зірочки;

$[P]$ - допустиме напруження. Приймаємо середнє значення $[P] = 23 \text{ Н/мм}^2$.

$$t = 2,8 \sqrt[3]{\frac{64 \cdot 10^3 \cdot 1,875}{13 \cdot 23}} = 20,72 \text{ мм}.$$

Приймаємо найближче значення за ISO 773: $t=19,05$, $Q=31800\text{Н}$, $q=1,5$ кг/м, 15Н/м , $F=105,8\text{ мм}^2$.

Швидкість ланцюга визначаємо за формулою:

$$V = \frac{z_1 t n}{60 \cdot 10^3}, \quad (3.28)$$

де Z_1 -число зубів ведучої зірочки приводу;

t - крок ланцюга, мм;

n - число обертів на тихохідному валу мотор-редуктора, об/хв.

$$V = \frac{13 \cdot 19,05 \cdot 25}{60 \cdot 10^3} = 0,103\text{м/с}.$$

Окружне зусилля визначаємо за формулою:

$$P_{\text{ц}} = \frac{N}{V} = \frac{M\omega}{V}, \quad (3.29)$$

де M - найбільший момент на тихохідному валу мотора редуктора

ω - кутова швидкість рад/с

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (3.30)$$

де n - число обертів на тихохідному валу мотор-редуктора;

$$\omega = \frac{3,14 \cdot 25}{30} = 2,61\text{рад/с}.$$

$$P_{\text{ц}} = \frac{64 \cdot 2,61}{0,103} = 1625\text{ Н}.$$

Для полегшення обробки вала застосовуємо в конструкції зрізний штифт.

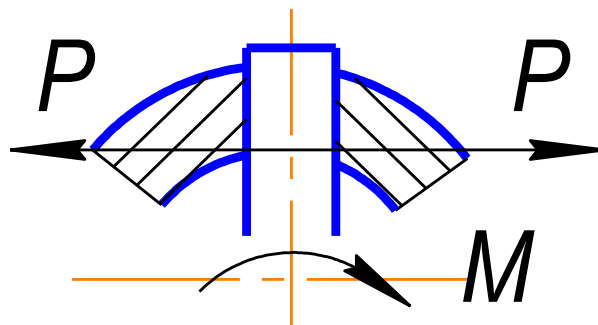


Рис.3.2 З'єднання зрізним штифтом.

Для того щоб розрахувати штифт на зріз, необхідно знати діючу силу P .

Визначаємо силу P за формулою

$$P = \frac{M}{D}, \quad (3.31)$$

де M - крутний момент на валу, мм;

D - діаметр вала, м;

$$P = \frac{50}{0.25} = 200 \text{ Н}.$$

Діаметр зрізного штифта визначаємо за формулою:

$$d = \sqrt{\frac{4P}{\pi [\tau_{\text{ср}}]}}, \quad (3.32)$$

Де d - діаметр зрізного штифта, мм:

P - сила, що діє на штифт, Н;

$\tau_{\text{ср}}$ - допустима напруження на зріз, Н/мм²

Приймаємо $[\tau_{\text{ср}}] = (0,2 \div 0,3)\sigma_T$,

де σ_T - границя текучості.

Матеріал зрізного штифта сталь-45.

Приймаємо границю текучості для сталь 45 за таблицею.

$$[\tau_{\text{ср}}] = (0,3 \cdot 290) = 87 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}.$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 200}{3,14 \cdot 87}} = 2,92 \text{ мм}.$$

Умова зрізу $\frac{\pi d^2}{4} [\tau_{\text{ср}}] \geq P$ виконана. Приймаємо стандартний штифтовий діаметр $\emptyset 6$.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи на тему "Удосконалення технології вирощування салатів та пряних трав за гідропонною технологією шляхом удосконалення промислових «салатних» ліній" було проведено комплексне дослідження, спрямоване на підвищення ефективності та оптимізацію виробничих процесів. На основі проведеного аналізу та виконаних розрахунків можна сформулювати наступні ключові висновки:

1. Актуальність та доцільність гідропонного вирощування: Дослідження підтвердило, що гідропонна технологія є перспективним напрямком у сучасному аграрному секторі, особливо для вирощування салатів та пряних трав. Вона дозволяє значно економити водні ресурси, скорочувати терміни вегетації, підвищувати якість продукції та ефективно використовувати площі, що є критично важливим в умовах обмежених природних ресурсів та зростаючого попиту на свіжу зелень.

2. Необхідність удосконалення промислових ліній: Виявлено, що існуючі промислові "салатні" лінії, попри свою функціональність, мають значний потенціал для модернізації. Це стосується як підвищення їхньої продуктивності, так і оптимізації ресурсоспоживання, зниження експлуатаційних витрат та мінімізації людського фактора.

3. Ключові напрямки удосконалення технологічного процесу:

- Оптимізація параметрів живильного розчину: Доведено, що ретельний контроль та автоматичне коригування рН, електропровідності (ЕС) та температурного режиму живильного розчину суттєво впливають на темпи росту, якість та смакові властивості продукції. Розробка та впровадження систем точного дозування та моніторингу є першочерговим завданням.

- Вдосконалення систем освітлення: Аналіз показав, що застосування сучасних LED-систем освітлення зі спектром, адаптованим під конкретні культури, дозволяє значно прискорити фотосинтез, покращити морфологічні

показники рослин та зменшити енергоспоживання порівняно з традиційними джерелами світла.

- Автоматизація та механізація операцій: Удосконалення промислових ліній шляхом автоматизації таких процесів, як посів, пересадка, збір врожаю та подача розчину, дозволяє підвищити точність, знизити трудовитрати та мінімізувати ризик пошкодження рослин. Впровадження роботизованих елементів може суттєво прискорити виробничий цикл.

- Системи клімат-контролю: Підтримання оптимальної температури та вологості повітря всередині тепличних комплексів є критично важливим для здоров'я рослин та запобігання поширенню хвороб. Інтеграція сучасних систем клімат-контролю забезпечує стабільні умови для росту.

4. Економічна ефективність та переваги: Запропоновані удосконалення технології та модернізація "салатних" ліній мають значний економічний потенціал. Вони дозволяють не тільки підвищити обсяги виробництва та якість продукції, а й зменшити собівартість одиниці продукції за рахунок оптимізації витрат на воду, добрива, електроенергію та робочу силу. Це робить гідропонне вирощування ще більш привабливим для промислового виробництва.

5. Перспективи подальшого розвитку: Результати роботи відкривають широкі перспективи для подальших досліджень у напрямку впровадження штучного інтелекту для прогнозування росту та оптимізації параметрів, розробки повністю автономних виробничих модулів та адаптації гідропонних систем для вирощування інших культур.

Таким чином, удосконалення технології вирощування салатів та пряних трав за гідропонною технологією шляхом модернізації промислових ліній є науково обґрунтованим та економічно виправданим напрямком, що сприятиме розвитку сучасного високотехнологічного аграрного виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко В. О. Гідропоніка: теорія і практика вирощування овочів та зелені. Київ : Аграрна освіта, 2018. 280 с.
2. Васильєв П. М., Костюк І. Н. Оптимізація світлового режиму для вирощування салатних культур за гідропонною технологією. // Науковий вісник УкрНДІПРОДУКТ. 2022. № 1(24). С. 55–62.
3. Григоренко О. Л. Автоматизація технологічних процесів у рослинництві. Херсон : ХДАУ, 2020. 315 с.
4. Демченко Р. В. Вплив складу живильного розчину на якісні показники салатних культур у гідропонних системах. // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2021. Вип. 99. С. 134–141.
5. ДСТУ 3584-97. Якість продукції. Загальні положення. Київ : Держстандарт України, 1997. 15 с.
6. Ємець В. А. Інноваційні технології в рослинництві захищеного ґрунту. Дніпро : ДДАЕУ, 2019. 260 с.
7. Запорожець Л. М., Петренко А. С. Дослідження впливу різних типів субстратів на ріст прямих трав при гідропонному вирощуванні. // Таврійський науковий вісник. 2023. № 129. С. 98–105.
8. Іванов С. Д. Механізація та автоматизація овочівництва. Харків : ХНТУСГ, 2017. 390 с.
9. Коваленко Г. М. Розробка програмного забезпечення для управління мікрокліматом у промислових гідропонних теплицях. // Сучасні проблеми агроінженерії: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Київ, 2022. С. 87–91.
10. Кулик М. С. Енергоефективні системи освітлення для вирощування рослин. Вінниця : ВНТУ, 2018. 180 с.
11. Лисенко В. А., Ковальчук О. В. Економічне обґрунтування удосконалення гідропонних ліній для інтенсивного вирощування зелені. // Економіка АПК. 2023. № 2. С. 75–83.

12. Макаренко Т. І. Біологічні основи гідропоніки. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2016. 240 с.
13. Мельник І. П. Контроль і регулювання параметрів живильного середовища в гідропонних системах. Дис. канд. техн. наук : 05.13.07. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2022. 195 с.
14. Онищенко С. Р. Технологічні особливості вирощування різних видів салату на гідропоніці. // Аграрна наука і освіта. 2020. № 3. С. 45–52.
15. Петров Д. О. Проектування промислових тепличних комплексів. Одеса : ОДАБА, 2019. 370 с.
16. Поліщук В. В., Рябоконь О. А. Вдосконалення систем автоматичного дозування поживних розчинів у гідропонних установках. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Приладобудування. 2021. № 2. С. 101–108.
17. Пристрій для інтенсивного вирощування салатних культур. Пат. 134567 Україна, МПК А01G 31/00. Автор(и) патенту: Сидоренко К. В. № u202305678; заявл. 10.03.2023; опубл. 25.09.2023, Бюл. № 18.
18. Романенко О. П. Екологічні аспекти гідропонного виробництва. Київ : Наукова думка, 2017. 210 с.
19. Семенов М. І. Огляд світових тенденцій розвитку промислової гідропоніки. // Агроінженерний журнал. 2022. № 4. С. 123–130.
20. Ткаченко Л. М. Енергозбереження в системах контрольованого вирощування рослин. Суми : СНАУ, 2020. 270 с.
21. Шевченко В. С. Оцінка економічної ефективності застосування автоматизованих ліній у гідропонному овочівництві. // Економіка та підприємництво. 2021. № 1(42). С. 156–163.
22. Яковлев Д. С. Сучасні промислові системи гідропоніки. [Електронний ресурс]. URL: http://agrotechnology.com.ua/hydropower_systems (Дата звернення: 15.06.2025).