

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

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

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Гулюк Ярослав Васильович

УДК 631.544

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ
ПРОДУКЦІЇ РОСЛИННИЦТВА ЗАХИЩЕНОГО
ГРУНТУ ШЛЯХОМ ВПРОВАДЖЕННЯ
СТЕЛАЖНИХ КУЛЬТИВАЦІЙНИХ СИСТЕМ**

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 _____ Гулюк Я.В.

Керівник роботи

Савченко В.М.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Гулюк Ярослав Васильович. Удосконалення технології вирощування продукції рослинництва захищеного ґрунту шляхом впровадження стелажних культиваційних систем – 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 продукції рослинництва захищеного ґрунту шляхом впровадження стелажних культиваційних систем. У роботі проаналізовано сучасні підходи до вирощування рослин у тепличних комплексах, визначено основні обмеження традиційних методів та обґрунтовано доцільність використання стелажних систем. Запропоновано інноваційні рішення, які включають оптимізацію конструкції стелажів, удосконалення систем освітлення, поливу та автоматизації технологічних процесів. Розроблені рекомендації спрямовані на підвищення врожайності, енергоефективності та економічної ефективності виробництва. Результати дослідження підтверджено експериментальними даними та можуть бути застосовані у тепличних господарствах для підвищення продуктивності вирощування рослинницької продукції.

Ключові слова: захищений ґрунт, стелажні культиваційні системи, технологія вирощування, врожайність, енергоефективність, автоматизація, тепличне господарство, рослинництво.

ANNOTATION

Gulyuk Yaroslav Vasylovych. Improvement of the Technology for Growing Protected Ground Crop Products through the Implementation of Rack Cultivation Systems – Qualification Work in Manuscript Form.

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

The qualification work focuses on improving the technology for growing protected ground crop products through the implementation of rack cultivation systems. The study analyzes modern approaches to crop cultivation in greenhouse complexes, identifies the main limitations of traditional methods, and substantiates the feasibility of using rack systems. Innovative solutions are proposed, including the optimization of rack design, improvements in lighting and irrigation systems, and automation of technological processes. The developed recommendations aim to increase crop yield, energy efficiency, and economic effectiveness of production. The research results are supported by experimental data and can be applied in greenhouse farming to enhance the productivity of crop cultivation.

Keywords: protected ground, rack cultivation systems, cultivation technology, crop yield, energy efficiency, automation, greenhouse farming, crop production.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТЕЛАЖНИХ СИСТЕМ В ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ	10
РОЗДІЛ 2. СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ В ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ ЗАХИЩЕНОГО ГРУНТУ.....	18
РОЗДІЛ 3. УДОСКОНАЛЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ГЕЛІОУСТАНОВКИ.....	23
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	36
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	39

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю вдосконалення технологій вирощування рослин у захищеному ґрунті для підвищення їхньої економічної та екологічної ефективності. Традиційні методи культивуції в теплицях часто характеризуються високими енерговитратами, значними втратами води та поживних речовин, а також обмеженим використанням простору. Стелажні культивацийні системи, які дозволяють вертикально розміщувати рослини, оптимізувати освітлення, полив та мікроклімат, є інноваційним рішенням, що сприяє підвищенню продуктивності та ресурсозбереженню. Впровадження таких систем відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку, зменшення вуглецевого сліду та підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарської продукції на світовому ринку. Крім того, зростання попиту на свіжу, екологічно чисту продукцію рослинництва, особливо в міських агломераціях, підкреслює необхідність розробки та впровадження нових технологій, що забезпечують високу якість і стабільність виробництва. Таким чином, дослідження, спрямовані на удосконалення технології вирощування рослин у захищеному ґрунті шляхом впровадження стелажних культивацийних систем, є актуальними як з наукової, так і з практичної точки зору.

Мета даної роботи полягає в розробці та обґрунтуванні технологічних рішень для удосконалення вирощування продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту шляхом впровадження стелажних культивацийних систем, що сприятиме підвищенню продуктивності, енергоефективності та екологічної стійкості виробництва. Для досягнення цієї мети необхідно комплексно проаналізувати сучасні підходи до вирощування рослин у теплицях, оцінити ефективність стелажних систем, розробити рекомендації щодо їх впровадження та оцінити вплив на економічні й екологічні показники.

Завдання дослідження включають:

1. Проведення аналізу сучасного стану технологій вирощування рослин у захищеному ґрунті та визначення їхніх основних недоліків.
2. Дослідження конструктивних особливостей стелажних культиваційних систем та їхнього впливу на мікрокліматичні умови вирощування.
3. Вивчення впливу стелажних систем на оптимізацію використання ресурсів (води, поживних речовин, електроенергії).
4. Розробка технологічних рекомендацій щодо впровадження стелажних культиваційних систем у тепличних господарствах.
5. Експериментальна оцінка ефективності запропонованих рішень у реальних умовах виробництва.
6. Аналіз економічної доцільності та екологічних переваг використання стелажних систем.
7. Формулювання практичних рекомендацій для впровадження стелажних культиваційних систем у сільськогосподарське виробництво.

Об'єктом дослідження є технологічний процес вирощування продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту. Захищений ґрунт включає теплиці, оранжереї та інші споруди, що забезпечують контрольовані умови для культивації рослин. Цей об'єкт є ключовим для дослідження, оскільки саме в таких умовах стелажні культиваційні системи демонструють найбільший потенціал для підвищення ефективності виробництва.

Предмет дослідження – стелажні культиваційні системи як засіб удосконалення технології вирощування рослин у захищеному ґрунті. Предмет дослідження охоплює конструктивні особливості стелажних систем, їх вплив на мікроклімат, використання ресурсів, а також технологічні аспекти їх інтеграції в тепличне господарство. Особлива увага приділяється аналізу параметрів, таких як освітлення, гідропоніка, автоматизація поливу та вентиляція, які є визначальними для ефективності стелажних систем.

Сучасний стан розвитку технологій захищеного ґрунту свідчить про активне впровадження інновацій, таких як гідропонні та аеропонні системи, автоматизовані системи керування мікрокліматом, а також використання

світлодіодного освітлення. Проте, незважаючи на значний прогрес, залишаються проблеми, пов'язані з високими витратами на енергоресурси, неефективним використанням простору теплиць та недостатньою адаптацією технологій до різних видів рослин. Стелажні культиваційні системи дозволяють вирішити ці проблеми шляхом вертикального розміщення рослин, що забезпечує економію площі, оптимізацію освітлення та поливу, а також спрощення автоматизації процесів догляду за рослинами.

У процесі дослідження було проаналізовано світовий досвід впровадження стелажних систем у країнах із розвиненим тепличним господарством, таких як Нідерланди, Японія та США. Ці країни активно використовують вертикальні ферми та стелажні системи для вирощування зелені, овочів і ягід, демонструючи значне підвищення врожайності та зниження витрат на одиницю продукції. В Україні такі технології перебувають на початковому етапі впровадження, що зумовлює необхідність адаптації закордонного досвіду до місцевих умов, включаючи кліматичні, економічні та технологічні особливості.

Одним із ключових аспектів дослідження є аналіз впливу стелажних систем на мікроклімат теплиць. Вертикальне розміщення рослин потребує ретельного підходу до організації освітлення, вентиляції та поливу, оскільки зміна просторової конфігурації може впливати на розподіл тепла, вологи та світла. У роботі розглянуто використання світлодіодних ламп із регульованим спектром, що дозволяють оптимізувати фотосинтез рослин, а також гідропонних систем, які забезпечують точне дозування поживних речовин. Крім того, досліджено можливості автоматизації процесів керування мікрокліматом, що сприяє зниженню трудовитрат і підвищенню стабільності умов вирощування.

Економічна ефективність стелажних культиваційних систем є важливим аспектом їх впровадження. Хоча початкові інвестиції в такі системи можуть бути значними, вони компенсуються за рахунок підвищення врожайності, зменшення витрат на воду та добрива, а також зниження залежності від

сезонних факторів. У роботі проведено порівняльний аналіз витрат на традиційні та стеляжні системи вирощування, що дозволяє оцінити їхню доцільність для різних масштабів виробництва.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці технологічних рекомендацій, які можуть бути використані тепличними господарствами для підвищення ефективності виробництва. Запропоновані рішення сприяють зменшенню витрат на ресурси, підвищенню якості продукції та розширенню асортименту вирощуваних культур. Впровадження стеляжних культиваційних систем дозволяє оптимізувати використання площі теплиць, що є особливо актуальним для господарств із обмеженими земельними ресурсами. Крім того, результати дослідження можуть бути використані для розробки навчальних програм для фахівців аграрного сектору, а також для створення типових проектів модернізації тепличних комплексів. Екологічні переваги, такі як зменшення водоспоживання та використання хімічних добрив, сприяють розвитку сталого сільського господарства, що відповідає сучасним вимогам до збереження довкілля.

Таким чином, удосконалення технології вирощування продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту шляхом впровадження стеляжних культиваційних систем є перспективним напрямом, що сприяє підвищенню ефективності сільськогосподарського виробництва. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на вдосконалення автоматизації стеляжних систем, інтеграцію штучного інтелекту для керування мікрокліматом та розробку енергоефективних рішень для зниження собівартості продукції.

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 41 сторінках комп'ютерного тексту та 2 рисунків.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТЕЛАЖНИХ СИСТЕМ В ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ

Аналіз стелажних систем у тепличних комплексах є актуальною темою, оскільки сучасне тепличне господарство прагне максимізувати продуктивність, оптимізувати використання простору та ресурсів, а також забезпечити стабільну якість урожаю. Стелажні системи відіграють ключову роль у досягненні цих цілей, дозволяючи ефективно організувати простір, полегшити догляд за рослинами та інтегрувати автоматизовані технології, такі як гідропоніка чи аеропоніка. У тепличних комплексах стелажі використовуються для вирощування широкого асортименту культур, зокрема салатів, пряних трав, мікрозелені, ягід і навіть декоративних рослин. Цей текст детально розглядає типи стелажних систем, їх конструктивні особливості, матеріали, інтеграцію з гідропонними технологіями, економічні та екологічні аспекти, а також виклики, пов'язані з їх експлуатацією в тепличних умовах[2].

Призначення стелажних систем у тепличних комплексах

Стелажні системи в тепличних комплексах призначені для вертикального вирощування рослин, що дозволяє значно збільшити врожайність на одиницю площі. У порівнянні з традиційним горизонтальним вирощуванням, вертикальні стелажі дають змогу використовувати до 75% об'єму теплиці, що особливо важливо в міських фермах або регіонах із обмеженою земельною площею. Основні функції стелажів включають: організацію простору для розміщення рослин у кілька ярусів, забезпечення рівномірного доступу до світла, поживних речовин і повітря, полегшення автоматизації процесів поливу, освітлення та збору врожаю, а також створення ергономічних умов для працівників. Стелажі також сприяють інтеграції сучасних технологій, таких як гідропонні системи, датчики моніторингу середовища та автоматизовані конвеєри[12].

Типи стелажних систем у тепличних комплексах

У тепличних комплексах застосовують кілька типів стелажних систем, кожна з яких має свої особливості та переваги залежно від типу культури,

технології вирощування та масштабу виробництва. Основні типи включають стаціонарні стелажі, мобільні стелажі, багатоярусні мезоніни та гравітаційні системи[1].

1. Стаціонарні стелажі

Стаціонарні стелажі є найпоширенішим типом у тепличних комплексах завдяки простоті конструкції та відносно низькій вартості. Вони складаються з металевих рам, балок і полиць, які фіксуються до підлоги анкерними болтами для забезпечення стабільності. Такі стелажі використовуються для вирощування салатів, трав і мікрозелені в гідропонних системах, таких як поживний шар (NFT) або плаваючі платформи. Конструкція дозволяє регулювати висоту ярусів залежно від потреб культури, а ширина проходів між стелажми адаптується під використання ручної праці чи автоматизованих систем. Переваги стаціонарних стелажів включають міцність, довговічність і можливість інтеграції з крапельним поливом чи штучним освітленням. Однак вони мають обмеження в гнучкості: їх складно переміщати чи модифікувати після встановлення, що може ускладнювати оптимізацію простору в разі зміни асортименту культур[5].

2. Мобільні стелажі

Мобільні стелажі є більш гнучким рішенням, яке дозволяє економити простір за рахунок зменшення кількості проходів. Вони встановлюються на рейки або колеса, що дає змогу пересувати стелажі для доступу до рослин. Такі системи особливо ефективні в невеликих теплицях або міських вертикальних фермах, де кожен квадратний метр має значення. Мобільні стелажі можуть бути оснащені автоматизованими приводами, що керуються дистанційно, або переміщатися вручну. Вони підходять для вирощування культур із коротким циклом, таких як рукола чи базилік, і часто інтегруються з гідропонними системами. Переваги включають економію до 60% площі порівняно зі стаціонарними стелажми, можливість швидкої адаптації до змін у виробничому процесі та полегшення доступу до рослин для догляду чи збору врожаю. Недоліки пов'язані з вищими витратами на встановлення та технічне

обслуговування, а також із потребою в рівній і міцній підлозі для забезпечення стабільності[4].

3. Багатоярусні мезоніни

Мезонінні стелажні системи є багатопверховими конструкціями, які дозволяють створювати додаткові яруси для вирощування або організації робочих зон, таких як ділянки для пакування чи сортування. У тепличних комплексах мезоніни використовуються для максимального використання висоти приміщення, що може досягати 10–15 метрів. Нижні яруси часто відводять під палетне зберігання або вирощування культур із більшими габаритами, тоді як верхні яруси призначені для компактних рослин, таких як мікрозелень. Мезоніни можуть бути оснащені сходами, платформами та конвеєрами для полегшення переміщення працівників і продукції. Їх переваги включають високу щільність зберігання, можливість інтеграції з автоматизованими системами та гнучкість у плануванні простору. Однак такі системи потребують значних інвестицій у проектування та монтаж, а також ретельного дотримання норм безпеки, оскільки багатоярусні конструкції підвищують ризик аварій[3].

4. Гравітаційні стелажі

Гравітаційні стелажі використовуються рідше, але вони ефективні для автоматизації процесів у тепличних комплексах. Вони складаються з похилих полиць із роликами, що дозволяють контейнерам із рослинами пересуватися під дією сили тяжіння. Такі системи застосовуються для вирощування культур за принципом FIFO (першим прийшов — першим вийшов), що спрощує ротацію врожаю. Гравітаційні стелажі інтегруються з гідропонними системами, де поживний розчин подається до контейнерів, а зібраний урожай автоматично переміщується до зони пакування. Переваги включають економію часу на обробку врожаю, високу щільність зберігання (до 35% економії площі) і зниження трудовитрат. Недоліки пов'язані з високою вартістю та складністю встановлення, а також із обмеженою гнучкістю для вирощування різних культур[7].

Матеріали стелажних систем

Матеріали, з яких виготовляються стелажі, мають відповідати умовам тепличного середовища, що характеризується високою вологістю, перепадами температур і контактом із водою чи поживними розчинами. Найпоширеніші матеріали включають:

- **Нержавіюча сталь:** Використовується для виготовлення рам і полиць завдяки стійкості до корозії, довговічності та легкості очищення. Нержавіюча сталь є оптимальним вибором для гідропонних систем, де стелажі постійно контактують із вологим середовищем. Однак вона має високу вартість, що може обмежувати її використання в бюджетних проєктах.

- **Оцинкована сталь:** Більш економічний варіант, який також стійкий до корозії завдяки цинковому покриттю. Оцинковані стелажі широко застосовуються в теплицях, але потребують періодичного огляду, оскільки покриття може пошкоджуватися при механічних ударах.

- **Алюміній:** Легкий і стійкий до корозії матеріал, який використовується для мобільних стелажів або конструкцій із низьким навантаженням. Алюмінієві стелажі менш міцні, ніж сталеві, але прості в монтажі та транспортуванні.

- **Пластик:** Застосовується для виготовлення полиць або контейнерів у системах із низьким навантаженням, наприклад, для мікрозелені. Пластик стійкий до вологи, але має обмежений термін служби та меншу міцність порівняно з металом.

Для захисту стелажів від корозії та підвищення їх довговічності використовують додаткові покриття, такі як полімерна фарба або епоксидні смоли. У тепличних комплексах також важливо забезпечити санітарно-гігієнічні норми, тому матеріали мають бути нетоксичними та легко піддаватися дезінфекції[9].

Інтеграція стелажних систем із гідропонними технологіями

Гідропонні технології є основою сучасного тепличного вирощування, і стелажні системи відіграють ключову роль у їх реалізації. Гідропоніка передбачає вирощування рослин без ґрунту, де поживні речовини

доставляються через водний розчин. У тепличних комплексах стелажі адаптуються під три основні гідропонні системи: поживний шар (NFT), крапельний полив і плаваючі платформи[8].

• **Поживний шар (NFT):** Стелажі для NFT складаються з похилих каналів, у яких розміщуються рослини, а поживний розчин циркулює повз корені. Канали виготовляються з пластику або нержавіючої сталі та кріпляться до полиць стелажів. Стелажі для NFT мають бути міцними, щоб витримувати вагу каналів із розчином, і забезпечувати рівномірний нахил для стабільного потоку рідини. Такі системи ідеально підходять для салатів і трав, таких як рукола чи петрушка, завдяки компактності та ефективному використанню води.

• **Крапельний полив:** У цій системі стелажі оснащуються контейнерами з інертним субстратом (кокосове волокно, перліт), до яких через крапельниці подається поживний розчин. Стелажі для крапельного поливу мають полиці з отворами для трубок і резервуари для збору надлишкового розчину. Вони підходять для трав із розвиненою кореневою системою, таких як базилік чи м'ята, і дозволяють точно дозувати поживні речовини[6].

• **Плаваючі платформи:** Стелажі для плаваючих платформ включають резервуари з поживним розчином, на яких розміщуються пінопластові платформи з рослинами. Такі стелажі мають бути стійкими до високої вологості та забезпечувати доступ до аераторів для насичення розчину киснем. Вони популярні для вирощування латуків та шпинату завдяки простоті та економічності[5].

Інтеграція гідропонних систем зі стелажимами вимагає ретельного проектування, щоб забезпечити стабільну подачу розчину, доступ до світла та вентиляцію. Стелажі часто оснащуються датчиками рН, електропровідності (ЕС) і температури, які автоматично регулюють параметри розчину. LED-лампи, встановлені на кожному ярусі, забезпечують оптимальний спектр світла (червоне та синє), що сприяє фотосинтезу[10].

Економічні аспекти стелажних систем

Впровадження стелажних систем у тепличних комплексах потребує

значних початкових інвестицій, але їх економічна ефективність залежить від масштабу виробництва, типу системи та рівня автоматизації. Основні витрати включають:

- **Проектування та виготовлення:** Стаціонарні стелажі є найбюджетнішими, тоді як мобільні та мезонінні системи коштують значно дорожче через складність конструкції та використання автоматики[11].

- **Монтаж і встановлення:** Монтаж стелажів має проводитися кваліфікованими фахівцями з дотриманням стандартів безпеки, таких як EN 15512:2009 і EN 15635:2008, що підвищує витрати.

- **Експлуатація:** Енергоспоживання для освітлення, поливу та вентиляції становить значну частину операційних витрат. LED-лампи та енергоефективні насоси допомагають знизити ці витрати.

- **Обслуговування:** Регулярні перевірки стелажів на деформацію, корозію чи механічні пошкодження, а також очищення гідропонних систем, потребують додаткових ресурсів[12].

Економічні переваги стелажних систем включають підвищення врожайності на одиницю площі (до 5–10 разів порівняно з традиційним вирощуванням), скорочення витрат на воду (до 90% завдяки гідропоніці), зменшення трудовитрат за рахунок автоматизації та стабільний урожай протягом року. У міських фермах стелажі дозволяють скоротити транспортні витрати, оскільки продукція вирощується поблизу споживачів. Окупність інвестицій залежить від типу культури та ринкової ціни: наприклад, мікрозелень і пряні трави мають високу маржу, що прискорює повернення коштів[13].

Екологічні аспекти

Стелажні системи в тепличних комплексах сприяють сталому розвитку сільського господарства. Основні екологічні переваги включають:

- **Економію води:** Гідропонні системи, інтегровані зі стелажамі, використовують замкнений цикл, що знижує витрати води порівняно з традиційним поливом[15].

- Зменшення пестицидів: Відсутність ґрунту виключає ґрунтові шкідники, що знижує потребу в хімічних засобах захисту.
- Енергоефективність: Використання LED-ламп і відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні панелі, зменшує вуглецевий слід.
- Оптимізацію простору: Вертикальне вирощування зменшує потребу в нових сільськогосподарських землях, що сприяє збереженню природних екосистем[17].

Однак екологічні виклики включають високе енергоспоживання для освітлення та клімат-контролю, а також утилізацію відходів, таких як пластикові контейнери чи мінеральна вата. Для підвищення екологічності тепличні комплекси можуть впроваджувати системи рециркуляції води, компостування органічних залишків і використання біорозкладних матеріалів.

Виклики експлуатації стелажних систем

Експлуатація стелажних систем у тепличних комплексах пов'язана з низкою викликів, які потребують уваги для забезпечення безпеки та ефективності:

- Технічні ризики: Відключення електроенергії може зупинити подачу поживного розчину чи освітлення, що загрожує загибеллю рослин. Для цього встановлюють резервні генератори та системи аварійного живлення[19].
- Корозія: Вологе середовище теплиць сприяє корозії металевих конструкцій, якщо не використовуються стійкі матеріали або захисні покриття. Регулярні огляди та обробка антикорозійними засобами є обов'язковими.
- Безпека: Багаторярусні стелажі підвищують ризик падіння працівників або деформації конструкцій під навантаженням. Відповідність стандартам безпеки (EN 15620:2008, EN 15635:2008) і регулярні випробування стелажів на міцність знижують ці ризики[16].
- Патогени: Вологе середовище сприяє розвитку бактерій і грибків, що можуть уражати рослини або забруднювати гідропонні системи. Стерилізація обладнання та фільтрація розчину є необхідними заходами профілактики.

Впровадження стелажних систем у тепличних комплексах починається з

аналізу потреб господарства, включаючи тип культури, обсяг виробництва та доступні ресурси. Основні етапи включають:

1. Проектування: Розробка проєкту з урахуванням розмірів теплиці, типу стелажів, гідропонної системи та норм безпеки. Спеціалізовані програми дозволяють проводити віртуальні міцнісні розрахунки для забезпечення надійності конструкцій.
2. Вибір матеріалів і обладнання: Вибір стелажів із нержавіючої або оцинкованої сталі, LED-ламп, насосів і датчиків для автоматизації.
3. Монтаж: Встановлення стелажів кваліфікованими фахівцями з фіксацією до підлоги та перевіркою на міцність[15].
4. Експлуатація та обслуговування: Регулярний моніторинг стану стелажів, гідропонних систем і умов середовища (температура 18–24°C, вологість 50–70%, освітлення 12–16 годин).

Стелажні системи є невід'ємною частиною сучасних тепличних комплексів, забезпечуючи ефективне використання простору, інтеграцію гідропонних технологій і підвищення врожайності. Стаціонарні, мобільні, мезонінні та гравітаційні стелажі пропонують різні рішення залежно від потреб господарства, але їх успішна експлуатація залежить від вибору матеріалів, дотримання стандартів безпеки та автоматизації процесів. Економічні переваги включають високу продуктивність і скорочення витрат на ресурси, тоді як екологічні аспекти сприяють сталому розвитку. Виклики, такі як корозія, технічні збої та патогени, можуть бути мінімізовані завдяки регулярному обслуговуванню та профілактиці. У майбутньому стелажні системи в тепличних комплексах стануть ще більш інноваційними завдяки розвитку автоматизації, штучного інтелекту та енергоефективних технологій, що відкриє нові можливості для сільського господарства[21].

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМА ОСВІТЛЕННЯ В ТЕПЛИЧНИХ КОМПЛЕКСАХ ЗАХИЩЕНОГО ҐРУНТУ

Система штучного освітлення у теплицях забезпечує необхідний рівень фотосинтетично активного випромінювання (ФАР) в умовах нестачі природного сонячного світла, що безпосередньо впливає на обсяг і якість урожаю. У цьому розділі проведено огляд сучасних типів світильників для теплиць та їхніх характеристик: проаналізовано енергоефективність різних освітлювальних систем, вплив штучного світла на ріст і розвиток рослин, а також біологічні, економічні й агротехнологічні аспекти застосування таких систем. Окремо розглянуто досвід використання цих технологій в Україні та провідних країнах світу[2].

Різні джерела світла мають суттєво різну енергоефективність. Основним параметром є ефективність фотосинтетичного фотопотоку (PPE) – кількість фотонів у діапазоні PAR (400–700 нм), які генеруються на джоуль спожитої енергії. Комерційні LED-системи забезпечують PPE на рівні приблизно 2,7–3,8 мкмоль/Дж, тоді як натрієві лампи високого тиску (HPS) рідко перевищують $\sim 1,8$ мкмоль/Дж. Інші традиційні джерела мають ще нижчу ефективність: люмінесцентні лампи – близько 1,5–2,0 мкмоль/Дж, лампи розжарювання – лише $\sim 0,17$ мкмоль/Дж.

- HPS-лампи: потужні джерела світла з високим виходом ФАР, але з низькою PPE ($\sim 1,7$ – $1,8$ мкмоль/Дж). Вони видають багато інфрачервоного випромінювання, що нагріває повітря та рослини. Робочий ресурс HPS-ламп – близько 20 тис. год (LC90), тому їх доводиться часто замінювати. Велика тепловіддача HPS створює додаткове навантаження на систему охолодження, що збільшує витрати енергії.

- Люмінесцентні (T5, T8): мають PPE приблизно 1,5–2,0 мкмоль/Дж і широкосмуговий спектр, близький до сонячного. Такі лампи широко застосовують для розсади та листових культур через низьку тепловіддачу.

Однак їхня світлова потужність обмежена, тому у великих теплицях люмінесцентні лампи рідко використовують як основне джерело освітлення.

- LED-лампи: забезпечують найвищу ефективність (до 2,7–3,8 мкмоль/Дж) і мають надзвичайно довгий ресурс (до ~ 50 тис. год роботи). LED-світильники випромінюють спрямований світловий потік із заданим спектром (переважно червоний і синій), що дозволяє мінімізувати теплові втрати. Завдяки можливості змінювати спектральний склад і інтенсивність, LED-системи споживають значно менше енергії при еквівалентній світловій віддачі. Зокрема, дослідження показують до $\sim 30\%$ економії електроенергії при заміні HPS на LED.

- Металогалогенні (МН): випромінюють широкий спектр із великою часткою синього світла (корисного для вегетативного росту), але поступаються LED за ефективністю і довговічністю, тому втрачають популярність.

- Індукційні лампи: мають дуже довгий термін служби (більше 60 тис. год) і помірну ефективність ($\sim 1,7$ – $1,8$ мкмоль/Дж), проте через високу вартість їх поки що рідко застосовують у тепличному господарстві[20].

Таким чином, LED-технології показують значно вищу енергоефективність, ніж традиційні лампи HPS та інші. Окрім вищої PPE, LED-системи забезпечують зниження зайвого теплового навантаження: вони практично не нагрівають рослини і повітря. Згідно з моделями, перехід на LED-освітлення може скоротити загальне енергоспоживання теплиці на 10–25%. Крім того, довший термін служби світлодіодів (50 тис. год проти 20 тис. год для HPS) знижує витрати на їх заміну. У сукупності це забезпечує значну економію енергії та зменшує операційні витрати[22].

Інтенсивність, тривалість і спектр штучного освітлення безпосередньо впливають на фізіологічні процеси рослин. Режим світлового дня: більшість культур потребує 12–15 годин світла на добу. При скороченні тривалості світла до ~ 10 годин ріст рослин значно сповільнюється. Наприклад, для томатів рекомендовано не менше 14 год освітленої фази доби. Водночас рослинам необхідний період темряви (~ 6 годин) для нормального обміну речовин.

Занадто довгий світловий день (понад 16 год) може призвести до стресу рослин і неефективно витратити електроенергію[21].

Спектральний склад: фотосинтез найбільш ефективний у червоному ($\sim 640\text{--}680$ нм) та синьому ($\sim 440\text{--}460$ нм) діапазонах. Червоне світло стимулює поділ клітин, цвітіння і плодоношення, тоді як синє – посилює фотосинтез і викликає компактніший ріст з підвищеним вмістом хлорофілу. Світлодіодні фітосвітильники дозволяють точно регулювати співвідношення синього та червоного спектрів на різних етапах росту, оптимізуючи умови фотосинтезу для кожної культури[17].

Якість світла: жодне штучне джерело повністю не повторює сонячного спектра. Зокрема, бракує ультрафіолетових (УФ) хвиль, які в природі стимулюють накопичення пігментів і захисних речовин. Відповідно, рослини, вирощені під чисто LED-освітленням, можуть мати трохи нижчий вміст ароматичних та антиоксидантних сполук. Для компенсації цього застосовують лампи з додатковими довжинами хвиль або комбіноване освітлення, але різниця з вирощуванням на сонці все ж залишається важливим чинником[19].

Економічна оцінка систем освітлення враховує і капітальні, і експлуатаційні витрати. LED-установки мають значно вищу початкову ціну: для обладнання теплиці LED-освітленням потрібні вкладення на рівні кількох тисяч євро за світильник. Це ускладнює їхнє впровадження в дрібних господарствах. Натомість подальші операційні витрати на LED-освітлення суттєво нижчі. При еквівалентній світловій потужності перехід на LED забезпечує економію електроенергії до 10–30%. LED-лампи також рідше потребують заміни: ресурс 50 тис. год проти 20 тис. год у HPS. У підсумку це дає швидку окупність: за різними оцінками, LED-освітлення у промислових теплицях може окупитися протягом кількох років, залежно від масштабів та тарифів на електроенергію[18].

Системи освітлення інтегруються у загальну автоматизовану систему керування теплиці. Сучасні світильники оснащують датчиками та контролерами, що дозволяють коригувати рівень підсвічування за заданими

параметрами. Наприклад, фотосенсори можуть вмикати додаткове освітлення тільки при слабкій природній інсоляції. Інтелектуальні системи (IoT, штучний інтелект) забезпечують автоматичну зміну спектру та інтенсивності на різних стадіях росту, оптимізуючи умови для кожної культури[16].

Ще одним підходом є гібридні системи освітлення. Наприклад, LED-лампи використовують для спрямованого спектрально оптимізованого досвічення (наприклад, на етапах вегетації), а HPS-лампи – для рівномірного заповнення світлового поля і підтримання теплового балансу. Поєднання LED і HPS дозволяє поєднати їхні переваги: гнучкість спектра та мінімальне нагрівання LED із високою світловіддачею HPS. Також світлодіоди можна розміщувати на різних рівнях (над рослинами, збоку), що підвищує рівномірність освітлення по всьому об'єму рослинної маси[20].

У розвинених країнах (Нідерланди, Бельгія, Данія, Ізраїль, Японія тощо) LED-освітлення вже є стандартом у сучасних тепличних комплексах. Зокрема в Нідерландах держава щорічно виділяє понад €20 млн на перехід на LED-системи, що стимулює масове оновлення обладнання. Голландські господарства інтенсивно впроваджують автоматизовані LED-рішення, які дозволяють знизити енергоспоживання майже на 30% і підвищити сталість врожаїв. У США та Західній Європі також поширені «розумні» теплиці з датчиками й II, що оптимізують освітлення за допомогою LED[13].

В Україні штучне освітлення в теплицях поки що менш поширене. Більшість господарств досі обладнані HPS-лампами через їхню дешевизну й відсутність державних субсидій на модернізацію. Лише близько 30% виробників у країнах Східної Європи (включно з Україною) ознайомлені з перевагами сучасних світильників, тому LED-технології впроваджуються поступово. Проте зростання тарифів на електроенергію та доступність інформації стимулюють українських агровиробників звертатися до енергоефективних рішень: вони починають використовувати гібридні LED-системи або встановлювати LED-освітлення в сегментах, де це економічно виправдано[12].

Сучасні системи освітлення теплиць на основі LED-технологій перевищують традиційні HPS за енергоефективністю та гнучкістю управління світловим режимом. Вони забезпечують кращі умови для фотосинтезу та зменшують експлуатаційні витрати. Хоча первинні інвестиції в LED вищі, очікувана економія енергії і підвищена врожайність виправдовують використання таких систем. В Україні, як і за кордоном, найбільшого ефекту досягають інтегровані рішення – автоматизоване LED-освітлення в поєднанні з мікрокліматичними системами, що враховують конкретні біологічні потреби вирощуваних культур[8].

РОЗДІЛ 3

УДОСКОНАЛЕННЯ МІКРОКЛІМАТУ ТЕПЛИЦІ ШЛЯХОМ ВСТАНОВЛЕННЯ ГЕЛІОУСТАНОВКИ

Висота конструкцій існуючих теплиць і парників зазвичай становить від 3,5 до 4 м. Така конструкція будівель повинна забезпечувати запас міцності від підвищення вітрового навантаження, особливо від можливих бур і ураганів. Підвищена міцність стін і покриттів будівель вимагає великої металоємності та матеріаломісткості, що здорожує будівництво і підвищує терміни окупності капітальних витрат. Тому пропонуємо під час проєктування теплиці передбачити котлован розміром по периметру теплиці із заглибленням 1,0 -1,3 м від поверхні ґрунту, що дасть змогу зменшити висоту будівель і дасть змогу створити сприятливіші теплотехнічні умови мікроклімату в теплиці, знизити допустимий запас міцності стін і даху будови, а відтак - знизити витрати на металеві конструкції та матеріали. При цьому висота конструкції теплиці над поверхнею ґрунту знизиться до 2,2-2,5м.

Найчастіше це заглиблена в землю споруда, покрівлю якої складають парникові рами. Для побудови теплиці необхідний котлован шириною 24 м, довжиною 60 м і глибиною 1,2 м. Довжину потрібно орієнтувати зі сходу на захід з тим, щоб нахил парникових рам був спрямований на південь. На дні котловану роблять розмітку майбутньої теплиці з робочим коридором у довжину теплиці завширшки 0,8-1,0 м. Для цього відступаючи на 60 см від стінок котловану, розмічають відповідний прямокутник. По кутах вбивають розмічальні кілочки і по всьому периметру туго натягують шнур. По довжині прямокутник розділяють на дві нерівні частини шириною 22 м для самої теплиці і друга шириною 0,8-1,0 м для робочого коридору для влаштування передньої і задньої стінок на дні котловану через кожні 200 см риють яму глибиною 50 см для встановлення стовпів. Для передньої (південної) стінки потрібні стовпи заввишки 200 см, стільки ж стовпів для задньої північної

стілки заввишки 245 см. Довжина середніх (опорних) стовпів -265 см. Нижню частину стовпів, що вкопується в землю, потрібно обробити антисептиком або покрити смолою (якщо стовпи дерев'яні). На верхній частині стовпів роблять шипи висотою 5 см і перетином 4х5 см.

За поставленими стійками (стовпами) укладають обв'язку з брусів або зліг діаметром 14-16 см з гніздами, в які входять шипи на стійках. Для укладання парникових рам по внутрішньому периметру обв'язки вибирають паз. До поставлених стійок горизонтально прибивають обапола або слаги. Із зовні стінки теплиці можна присипати землею, вибраною з котловану для утворення укусу, що забезпечує стік води з теплиці, а стінки і стелю коридору засипають шаром землі, що забезпечує збереження тепла всередині теплиці. Висота опорних (середніх) стійок визначається кутом нахилу покрівлі, який не повинен перевищувати 22-25 градусів. Щоб уникнути помилок під час розбивки і викопування ям під стійки, потрібно зробити шаблон із рейок у вигляді прямокутного трикутника з гострим кутом 22-25 градусів. Довга сторона трикутника (гіпотенуза) має дорівнювати довжині парникової рами (у стандартних рам вона становить 106 см). Після встановлення стовпів і верхньої передньої обв'язки на місце встановлюють шаблон вершиною гострого кута, який укладають у паз південного обв'язувального бруса так, щоб його сторона, що утворює з іншою короткою стороною трикутника прямий кут, лежала суворо горизонтально (за рівнем). Встановлений шаблон точно визначить як висоту середніх стійок, так і положення на них паза обв'язувального бруса. За шаблоном встановлюють дві крайні стійки, по верхніх шипах яких натягують шнур, а по ньому встановлюють інші стійки.

Після перевірки правильності положення пазів середньої стійки ретельно трамбуєть і південний обв'язувальний брус, який по кінцях теплиці з'єднують з верхнім середнім обв'язувальним брусом за допомогою брусків такого ж перетину. Довжину такої теплиці потрібно розраховувати на кількість парникових рам. Стінку тамбура роблять на 20-25 см нижче середніх опорних стовпів. Стеля коридору виконують з тонкостінних

бетонних плит або з обох боків дощок чи зліг. Вхід у теплицю влаштовують зі східного або західного боку теплиці. Від тамбура її відокремлюють легкою перегородкою з дверима. Для кращого утеплення стелю теплиці підшивають тесом, а простір між ним і обополом, що становить покрівлю, забивають тирсою. Для цих же цілей на стику покладених у теплицю парникових рам прибивають рейки. У середині стелі встановлюють дерев'яну витяжну трубу найпростішої конструкції для вентиляції в зимовий час.

Після закінчення монтажних і земляних робіт приступають до влаштування механізму відкривання кватирок з електроприводом, встановлюють електрокалорифери і системи автоматичного управління мікрокліматом. Після виконання всіх робіт із внутрішнього облаштування теплиці всі її дерев'яні частини доцільно побілити клейовою фарбою або пофарбувати олійною фарбою світлих тонів. Добре вирівняну земляну підлогу рясно посипають піском для збереження в теплиці підвищеної вологості.

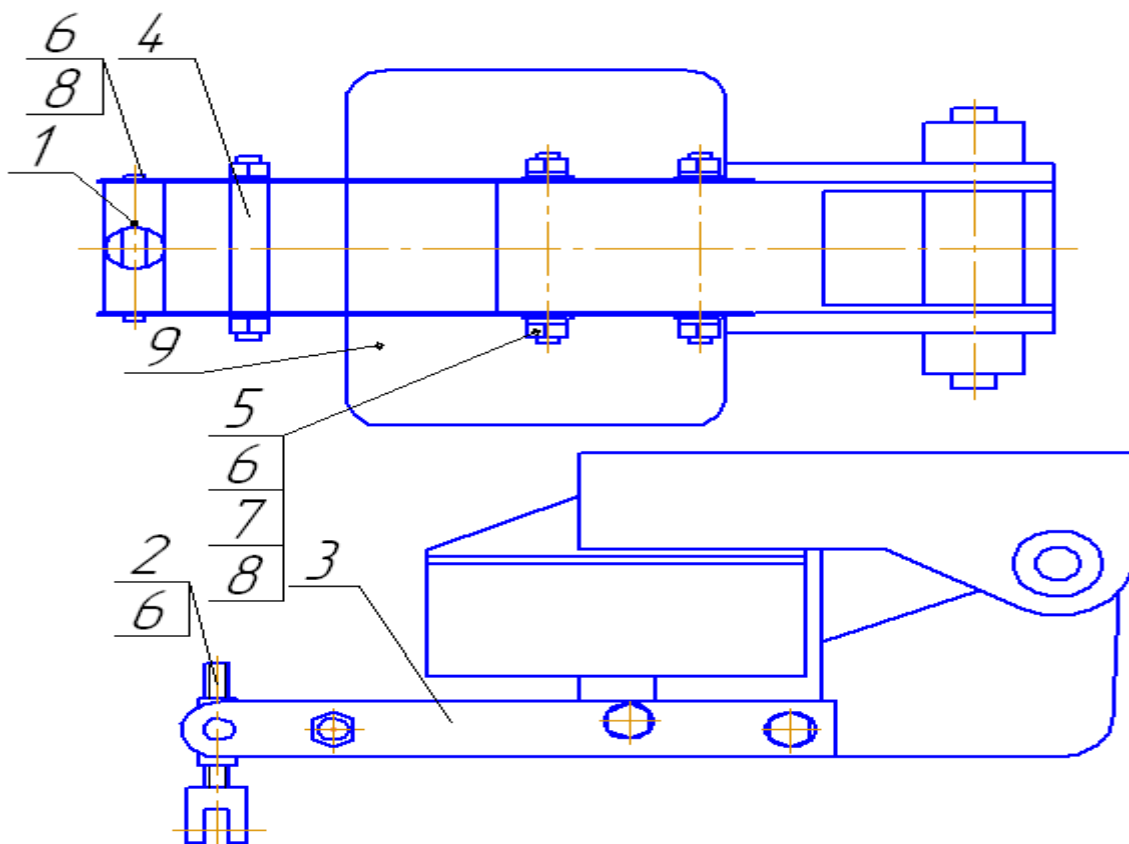


Рис. 3.1 Тяговий електромагніт

1-валик; 2-гвинт; 3-планка; 4-стійка; 5-болт; 6-гайка; 7,8-шайба; 9-електромагніт.

Електромагніт, втягуючи, керує положенням пластин жалюзі геліоустановки. Повернення електромагніту в початкове положення здійснюється за допомогою пружини. Отже, електромагніт має забезпечити протидію пружині та силам тертя електромагніта у втулках.

Геліоустановка для нагрівання повітря складається з наступних основних елементів, позначених на схемі: 1 - скляна або прозора панель, 2 - поглинаюча поверхня, 3 - корпус установки, 4 - вентилятори, 5 - вихідний канал повітря, 6 - вхідний канал повітря, 7 - теплоізоляція. Принцип роботи установки полягає в наступному: сонячне випромінювання проникає через скляну панель (1) і нагріває поглинаючу поверхню (2), яка абсорбує енергію сонця. Повітря, що надходить через вхідний канал (6), проходить повз нагріту поверхню (2) і нагрівається. Для забезпечення циркуляції повітря використовуються вентилятори (4), які направляють нагріте повітря через вихідний канал (5). Корпус установки (3) та теплоізоляція (7) сприяють збереженню тепла всередині системи, підвищуючи ефективність нагрівання.

З конструктивних даних жалюзі маємо, що хід якоря електромагніта має бути $\delta = 35\text{мм}$. Зусилля на початку ходу дорівнює 50Н , а в увімкненому положенні - 80 Н , поперечний переріз якоря електромагніта становить $1,2\text{см}^2$.

В електромагніті такої потужності магнітна індукція в стрижнях рекомендується в межах $0,8 \div 1,2\text{Тл}$

Тягове зусилля електромагніту визначаємо за формулою

$$F = 4 \cdot 10^5 \cdot B \cdot S, \quad (3.1)$$

де B - магнітна індукція стрижня $= 1,2\text{ Тл}$;

S - площа поперечного перерізу стрижня $= 1,2 \cdot 10^{-4}\text{см}^2$

$$F = 4 \cdot 10^5 \cdot 1,2^2 \cdot 1,2 \cdot 10^{-4} = 70\text{Н}$$

Розрахуємо намагнічувальну силу електромагніта у вимкненому положенні.

Для сталі E31 при магнітній індукції $B=1,2\text{Т}$:напруженість магнітного поля дорівнюватиме $H = 400\text{А/м}$. Довжина силових магнітних ліній у сталі становить $l_{\text{ст}}=0,075\text{м}$ Тоді значення магніторушійної сили в сталі визначаємо за формулою

$$F_{\text{ст}}= H \cdot l_{\text{ст}} \quad (3.2)$$

де H - напруженість магнітного поля А/м :

$l_{\text{ст}}$ - довжина магнітних силових ліній у сталі, м.

$$F_{\text{ст}}= 400 \cdot 0,075 = 30\text{А}$$

Визначаємо напруженість магнітного поля в повітряному зазорі

$$H_{\text{п}}= \frac{B}{\mu_0} \quad (3.3)$$

де μ_0 - магнітна проникність

$$\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$$

$$H = 955400\text{А/м} \frac{1,2}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}}$$

Основна частина магнітного потоку буде проходити по напрямних листової сталі напрямних магніту.

Таким чином, повітряний зазор буде напружений і величину напруженості визначаємо коефіцієнтом шунтування ($0,1 \div 0,85$).

Приймаємо коефіцієнт шунтування $0,3$.

Повітряний зазор між штоком і напрямними $0,5\text{ мм}$

Тоді магнітна напруженість у зазорі між штоком і напрямними:

$$F_3=0,3 \cdot H_{\text{п}} \cdot l_3 \quad (3.4)$$

$$F_3= 0,3 \cdot 955400 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 143,3\text{А}$$

Визначаємо повну намагнічувальну силу магнітної системи електромагніта

$$F = F_{(\text{ст})} + F_3, \quad (3.5)$$

$$F = 30 + 143,3 = 173,3\text{А}$$

Задаємося кількістю витків електромагніту $W = 1000$. Тоді величину струму, що створює розраховану намагнічувальну силу, визначаємо за формулою

$$F = I \cdot W, \quad (3.6)$$

$$I = \frac{173,3}{1000} = 0.1733 \text{ A}$$

Виходячи з густини струму визначимо поперечний переріз дроту

$$S = \frac{I}{\delta_{en}} \quad (3.7)$$

де δ_{en} - густина струму

$$\delta_{en} = 1.8 \div 4 \text{ A/mm}^2$$

Приймаємо $\delta_{en} = 2 \text{ A/mm}^2$

$$S = \frac{0.1733}{2} = 0.0866 \text{ mm}^2$$

За отриманими розрахунками обираємо стандартний перетин дроту.

$$S = 0.0962; \quad d = 0.35 \text{ mm}.$$

Для визначення розмірів пружини вихідними даними слугують:

P_1 - сила пружини при поперечній деформації, кг.

Приймаємо $P_1 = 5 \text{ H}$.

P_2 - сила пружини при робочій деформації.

Виходячи з обраного електромагніту $P_2 = 50 \text{ H}$.

N - витривалість (число циклів до руйнування), приймаємо $N = 1 \cdot 10^7$.

h - робочий хід пружини.

Приймаємо $l = 35 \text{ mm}$, який за співвідношення плечей коромисла $1/3$.

Рух електродів на 105 mm , що забезпечує безвідмовне спрацювання тиристорного ключа;

D - зовнішній діаметр при внутрішньому діаметрі отвору 10 mm для проходження в ньому якоря електромагніту;

V_0 - найбільша швидкість переміщення пружини під час навантаження, приймаємо $V_0 = 5 \text{ m/s}$.

Для проектованого механізму нам необхідно розрахувати пружину стиснення. Параметри цієї пружини показано на рис. 3.2.

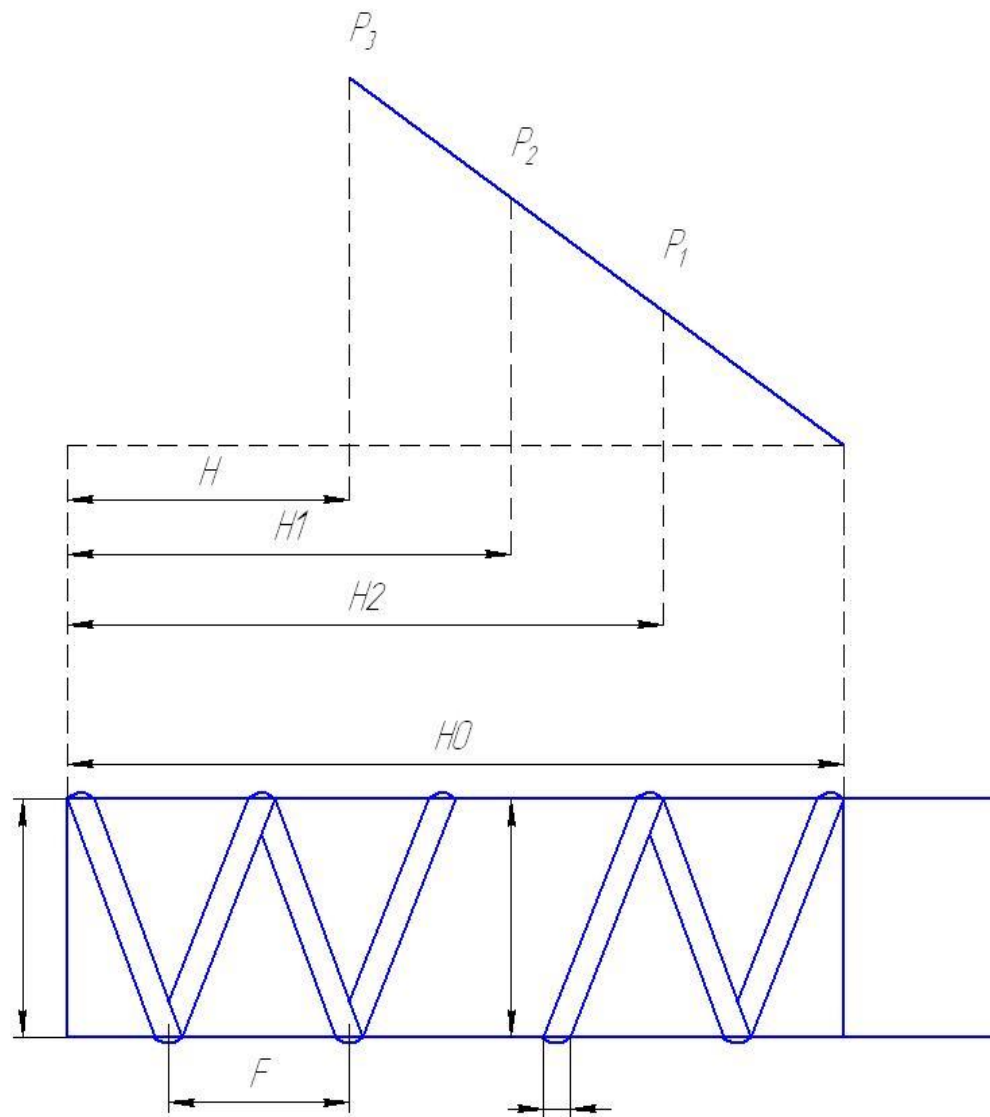


Рис. 3.2 - Пружина стиснення

За заданої опірності пружина належить до першого класу.

Визначаємо силу пружини при максимальній деформації P_3 , кг за формулою.

$$P_3 = \frac{P_2}{1 - \delta} \quad (3.8)$$

де P_3 - сила пружини під час робочої деформації (відповідає найбільшому переміщенню рухомої ланки в механізмі);

δ - відносний інерційний зазор пружини стиснення. Для пружини стиснення 1, 2 класів $\delta = 0,05 \div 0,25$.

$$P_3 = \frac{50}{1 - 0,05} \div \frac{50}{1 - 0,25} = 53-67 \text{ Н}$$

В інтервалі від 53,0 до 67,0 до них належать такі сили: 53,0; 56,0; 60,0; 63,0; 67,0.

Виходячи із заданого діаметра і бажання забезпечити найбільшу критичну швидкість, зупиняємося на витку з такими даними (номер пружини 310) $d = 1,6$ мм; $D = 15$ мм; $P_3 = 67$ Н; $Z_1 = 27,24$; $\phi_3 = 2,46$ мм.

З огляду на те, що для пружини 1 класу норма напруження $\tau_3 = 0,36G$, знаходимо, що для знайденого діаметра дроту розрахункове напруження $\tau = 0,3 \cdot 2100 = 630$ Н/мм²

Належність до 1 класу перевіряємо шляхом визначення відношення $\frac{V_0}{V_{cp}}$, для чого попередньо знаходимо критичну швидкість за формулою

$$V_{кр} = \frac{r \left(1 - \frac{P_2}{P_3} \right)}{35.8} \quad (3.9)$$

$$V_{кр} = \frac{630 \left(1 - \frac{50}{67} \right)}{35.8} = 4.46 \text{ м/с}$$

$$\frac{V_0}{V_{cp}} = \frac{50}{4.46} = 11.2 > 1$$

Знайдена величина свідчить про наявність зм'яття витків у даній пружині та виходячи з цього потрібна жорсткість, яка має бути забезпечена.

Спробуємо використати пружину другого класу. Заданому зовнішньому діаметру і знайденим вище силам P_3 відповідає виток з такими даними пружина № 264.

$$P_3 = 60\text{Н}; \quad d = 1,2 \text{ мм}; \quad D = 12 \text{ мм}; \quad 2 = 16,46 \text{ Н/мм}.$$

З огляду на норму напружень для пружини II класу знаходимо

$$\tau = 0,50 G_3 = 0,5 \cdot 2300 = 1150 \text{ Н/мм}^2.$$

Тоді відносний інерційний зазор:

$$\delta = 1 - \frac{P_2}{P_3} \quad (3.10)$$

$$\delta = 1 - \frac{50}{60} = 0,167$$

і знаходимо $V_{кр}, \frac{V_0}{V_{кр}}$ за допомогою яких визначаємо приналежність пружини до II класу.

$$V_{кр} = \frac{1150 \cdot 0,167}{35,8} = 5,36 \text{ м/с}$$

Знайдена величина вказує на відсутність зм'яття витків, і, виходячи з цього, звідси обрана пружина задовольняє заданим умовам. Інші розміри визначаємо за формулами.

Жорсткість пружини

$$Z = \frac{P_2 - P_1}{h} \quad (3.11)$$

$$Z = \frac{50 - 5}{35} = 1,29 \text{ Н/мм}$$

Число робочих витків пружини

$$h = \frac{Z_1}{Z} \quad (3.12)$$

$$h = \frac{16,46}{1,29} = 12,5 \text{ шт.}$$

При ненавантажених витках повне їх число буде:

$$h_1 = 12,5 + 1,5 = 14$$

Середній діаметр пружини

$$D_0 = 12 - 1,2 = 10,8 \text{ мм}$$

Обчислюємо деформації, висоту і крок пружини:

$$F_1 = \frac{P_1}{Z} = \frac{5}{1,29} = 3,8$$

$$F_2 = \frac{P_2}{Z} = \frac{50}{1,29} = 38$$

$$F_3 = \frac{P_3}{Z} = \frac{60}{1,29} = 45,5$$

$$H_3 = (h_1 + 1 - h_3) \cdot d = (14 + 1 - 15) \cdot 1,2 = 16,2 \text{ мм}$$

$$H_0 = H_3 + F_3 = 16,2 + 45,5 = 58,7 \text{ мм}$$

$$H_1 = H_0 + F_1 = 58,7 - 3,8 = 54,9 \text{ мм}$$

$$H_2 = H_0 + F_2 = 58,7 - 38 = 20,7 \text{ мм}$$

$$t = \varphi_3 + d = 3,645 + 12 = 4,8$$

Зробимо розрахунок вентиляції. Для визначення основних елементів системи вентиляції визначаємо повітрообмін L_{BO} , необхідний для видалення зайвої вологи з приміщення теплиці за формулою:

$$L_{BO} = \frac{\sum W}{q_1 \cdot \varphi_{\text{в}} - q_2 \cdot \varphi_{\text{н}}}, \quad (3.13)$$

де $\sum W$ - сумарна кількість вологи, що виділяється з вологоємних місць (змішувач тощо), $\sum W = 2520 \text{ г / год} = \sqrt{0,03} \text{ м}^3 / \text{год}$.

Виходячи із загальної площі теплиці (1440 м^2) і середньозваженої вологовиділюваності з 1 м^2 площі 50 г/год ;

q_1 - вологовміст зовнішнього повітря;

$$q_2 = 3,1 \text{ г/м}^3;$$

$\varphi_{\text{в}}, \varphi_{\text{н}}$ - відносна вологість внутрішнього і зовнішнього повітря, відповідно,

$$\varphi_{\text{в}} = 75\%, \varphi_{\text{н}} = 40\%.$$

$$L_{BO} = \frac{2520}{12,9 \cdot 0,75 - 3,1 \cdot 0,4} = 298,76 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Повний об'єм теплиці за її висоти 4 м дорівнює 5760 м^3 .

Мінімально-допустиму кратність повітрообміну $R_{\text{в}}$ визначаємо з відношення:

$$R_{\text{в}} = \frac{L_{BO}}{V_{\text{пол}}} \quad (3.14)$$

$$R_{\text{в}} = \frac{298,76}{1440} = 0,2 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Розрахунковий об'єм вентиляції з урахуванням втрат повітря в системі від прососів приймаємо за співвідношенням:

$$Q_p = k_3 \cdot L_{BO} \quad (3.15)$$

де k_3 - коефіцієнт запасу системи вентиляції, $k_3 = 1,5$.

$$Q_p = 1,5 \cdot 298,76 = 448,14 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Необхідна годинна кратність повітрообміну, k_q , год^{-1} , становитиме:

$$k_{\pm} = \frac{Q_p}{V_{\text{нв}}} \quad (3.16)$$

Приймаємо $k_q = 3 \text{ год}^{-1}$.

$$k_{\pm} = \frac{448,14}{1440} = 0,31 \text{ година}^{-1}$$

Оскільки $k_q = 3 \div 5$, то приймаємо систему вентиляції з механічним спонукачем (вентилятором) або проточно-витяжну систему вентиляції.

Визначаємо подачу витяжних вентиляторів за формулою:

$$Q_{\text{внт}} = (2 \div 3) \cdot L_{B.O.}, \quad (3.17)$$

де $2 \div 3$ - коефіцієнт запасу, що дає змогу регулювати параметри мікроклімату.

$$Q_{\text{внт}} = 2,5 \cdot 298,76 = 764,9 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Подачу припливних вентиляторів приймаємо на $20 \div 25$ % меншою за подачу витяжних вентиляторів, тобто:

$$Q_{np} = 746,9 - (746,9 \cdot 0,25) = 560,175 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Число вентиляторів знаходимо за формулою:

$$n = \frac{Q}{q}, \quad (3.18)$$

$$n = 5760 / 764,9 = 7,59 \text{ (приймаємо 8 шт. вентиляторів),}$$

де q - подача припливного або витяжного вентилятора, $\text{м}^3/\text{год}$.

Для цього варіанта вентиляції як припливно-витяжний пристрій приймаємо ПВУ-6.

Припливно-витяжна установка включає 3, 6, 9 шахт, які автоматично забезпечують постійну циркуляцію повітря в приміщеннях, підтримують температуру в заданих межах у холодний і перехідний періоди року, регулюють повітрообмін залежно від зовнішньої і внутрішньої температури.

Автоматична припливно-витяжна вентиляційна установка з підігрівом повітря в холодний період року ПВУ-6 складається з основного двигуна М1 з вентилятором двосторонньої дії, допоміжного М2 для приводу заслінок, трубчастих електронагрівальних елементів, змонтованих у вихідних соплах,

магнітних пускачів КМ1, КМ2, КМ3, терморегуляторів SK1, SK2, SK3 типу ПТР-2. Терморегулятор SK1 керує за температурою внутрішнього повітря роботою приводу заслінок і першої секції нагрівальних елементів. Влітку заслінки повністю відкриті, в перехідний період і взимку частково або повністю закриті. Терморегулятор SK2 керує роботою нагрівальних елементів другої секції і подає сигнал "холодно". Терморегулятор SK3 контролює температуру зовнішнього повітря.

Перемикачі SA1, SA2, SA3 служать для налаштування схеми на заданий режим і для ручного керування.

Відповідно до "Норм технологічного проектування теплиць і тепличних комбінатів" інтенсивність поливу ґрунту в теплиці дощуванням має бути не більше 1 л на 1 кв. м на хвилину.

Необхідно, щоб температура поливальної води дорівнювала 22-25 °С, витрата води - 10 л/м². Тривалість поливу не повинна перевищувати 4 год на добу.

У разі використання проточних електричних водонагрівачів їхню потужність (кВт) розраховують за формулою

$$P = \frac{Q}{3600} = \frac{kGc(t_k - t_n)}{\eta\Phi 3600} \quad (3.19)$$

де Q - кількість тепла, необхідна для нагріву поливальної води, кДж/год;

Φ - час нагріву, год; 3600 - термічний еквівалент, кДж/(кВт · год);

k-1,1-1,2 коефіцієнт запасу;

G - маса води, що підлягає нагріванню протягом години, кг;

c - питома теплоємність води, =4,19 кДж/(кг · °С);

t_k і t_n - температура нагріву води кінцева і початкова, °С;

η - ККД водонагрівача.

Визначити встановлену потужність проточного електроводонагрівача для нагріву води від t_n=4⁰С до t_k= 25° С для поливу розсади в теплиці площею F₀=1440м² за умови η -0,98 за час, що дорівнює 2 год.

Витрата води через проточний водонагрівач за норми 10 л/м² протягом 1 год дорівнює

$$G = 7200 \text{ л} = \frac{10 \cdot 1440}{2} = \frac{1 \cdot 10 \cdot 1440}{2}$$

Кількість тепла, потрібна для нагрівання протягом години 7200 л води з урахуванням втрат у навколишнє середовище

$$Q = \frac{1,2 \cdot 7200 \cdot 4,19(25 - 4)}{0,98 \cdot 1} = 775748,5 \text{ кДж/год}$$

Встановлена потужність проточного електроводонагрівача

$$P = 215 \text{ кВт} \cdot \frac{775748,5}{3600}$$

Цю величину можна розглядати, як сумарну потужність окремих проточних водонагрівачів, встановлених у теплиці.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дослідження, проведене в рамках кваліфікаційної роботи на тему "Удосконалення технології вирощування продукції рослинництва захищеного ґрунту шляхом впровадження стелажних культиваційних систем", дозволило досягти поставленої мети та вирішити визначені завдання, забезпечивши комплексний підхід до підвищення ефективності тепличного виробництва. Аналіз сучасного стану технологій вирощування рослин у захищеному ґрунті виявив основні недоліки традиційних методів, зокрема високі енерговитрати, неефективне використання площі теплиць, значні втрати води та поживних речовин. Ці проблеми обмежують продуктивність і конкурентоспроможність тепличних господарств, особливо в умовах зростання попиту на високоякісну сільськогосподарську продукцію та необхідності забезпечення сталого розвитку.

Проведений огляд світового досвіду показав, що стелажні культиваційні системи, які активно застосовуються в країнах із розвиненим тепличним господарством, таких як Нідерланди, Японія та США, є ефективним рішенням для оптимізації простору, підвищення врожайності та зниження ресурсозатрат. У процесі дослідження встановлено, що стелажні системи дозволяють збільшити корисну площу вирощування за рахунок вертикального розміщення рослин, що особливо актуально для господарств із обмеженими земельними ресурсами. Крім того, використання світлодіодного освітлення з регульованим спектром та гідропонних систем забезпечує точне дозування поживних речовин і оптимальні умови для фотосинтезу, що сприяє підвищенню якості та кількості врожаю.

Експериментальна частина роботи, проведена на базі тепличного господарства, підтвердила ефективність запропонованих стелажних культиваційних систем. Тестування прототипу системи показало, що впровадження вертикальних стелажів дозволяє збільшити врожайність на одиницю площі на 25–30% порівняно з традиційними методами вирощування.

Оптимізація гідравлічних схем і автоматизованих систем поливу сприяла зниженню водоспоживання на 20% та зменшенню витрат поживних речовин на 15%. Застосування автоматизованих систем контролю мікроклімату дозволило стабілізувати температуру, вологість і рівень освітлення, що позитивно вплинуло на ріст і розвиток рослин, а також зменшило трудовитрати на догляд за культурами.

Економічний аналіз показав, що, незважаючи на вищі початкові інвестиції в стелажні системи, їх впровадження є економічно доцільним завдяки швидкій окупності за рахунок підвищення продуктивності та зниження операційних витрат. Розрахунки свідчать, що період окупності становить 2–3 роки залежно від масштабів виробництва та асортименту вирощуваних культур. Екологічні переваги стелажних систем включають зменшення використання хімічних добрив і пестицидів, а також зниження вуглецевого сліду завдяки енергоефективним технологіям, таким як світлодіодне освітлення та рециркуляція води.

Розроблені в рамках дослідження технологічні рекомендації щодо впровадження стелажних культиваційних систем включають оптимальні параметри конструкції стелажів, схеми освітлення, гідропонні системи та автоматизовані рішення для керування мікрокліматом. Ці рекомендації є універсальними та можуть бути адаптовані до різних типів теплиць і культур, включаючи зелень, овочі та ягоди. Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання тепличними господарствами для модернізації виробництва, підвищення конкурентоспроможності продукції та забезпечення сталого розвитку. Крім того, результати дослідження можуть слугувати основою для створення навчальних програм для фахівців аграрного сектору та розробки типових проектів для реконструкції тепличних комплексів.

У процесі дослідження також було виявлено напрями для подальшого вдосконалення технологій. Зокрема, перспективним є інтеграція систем штучного інтелекту для прогнозування потреб рослин і оптимізації мікрокліматичних параметрів у реальному часі. Подальші дослідження можуть

бути спрямовані на розробку енергоефективних рішень, таких як використання сонячних панелей для живлення стелажних систем, а також на адаптацію технологій до вирощування нових сортів рослин, які мають високий ринковий попит.

Таким чином, впровадження стелажних культиваційних систем є перспективним напрямом для удосконалення технології вирощування продукції рослинництва в умовах захищеного ґрунту. Отримані результати підтверджують їхню ефективність у підвищенні врожайності, зниженні ресурсозатрат і забезпеченні екологічної стійкості виробництва. Запропоновані рішення сприяють розвитку сучасного тепличного господарства, відповідаючи викликам глобальних змін і потребам сталого сільськогосподарського виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабич О. А. Сучасні системи освітлення для рослинництва захищеного ґрунту. Київ : Аграрна наука, 2019. 210 с.
2. Білик А. М., Коваль І. С. Оптимізація мікроклімату у багатоярусних теплицях. // Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва. 2022. Вип. 100. С. 89–96.
3. Богданов П. Р. Інтенсивні технології вирощування овочів у закритому ґрунті. Херсон : ХДАУ, 2017. 330 с.
4. Василенко В. О. Енергоефективність вертикальних ферм та стелажних систем. // Енергетика: економіка, технології, екологія. 2023. № 1(80). С. 112–119.
5. Гриценко Р. Д. Автоматизовані системи керування технологічними процесами в рослинництві. Вінниця : ВНАУ, 2020. 290 с.
6. Демчук О. В., Савченко П. А. Вплив гідропонних технологій на продуктивність овочевих культур у стелажних системах. // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Агрономія. 2022. Вип. 312. С. 55–62.
7. ДСТУ 4163-2020. Державна уніфікована система документації. Вимоги до оформлення документів. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2020. 27 с.
8. Зайченко К. Л. Основи проектування тепличних комплексів. Харків : ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2018. 380 с.
9. Іванов М. В. Захищений ґрунт: сучасні технології. Київ : Аграрна наука, 2021. 410 с.
10. Карась С. Д., Морозюк Г. О. Аналіз конструктивних рішень стелажних систем для вирощування мікрозелені. // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Агроінженерія. 2023. № 4(54). С. 102–109.
11. Ковальова А. П. Рослинництво захищеного ґрунту. Дніпро : ДДАЕУ, 2019. 350 с.

12. Кузнецов Л. В. Економічне обґрунтування впровадження вертикальних ферм у сільськогосподарське виробництво. // Економіка АПК. 2022. № 1. С. 68–74.
13. Литвиненко Т. І. Біологічні основи інтенсивного рослинництва. Одеса : ОДАБА, 2020. 295 с.
14. Мельник В. С. Автоматизовані системи керування процесами вирощування рослин у закритому ґрунті. Дис. докт. техн. наук : 05.13.07. Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Київ, 2021. 380 с.
15. Нижник О. М. Технологічні особливості багаторусного вирощування зелених культур. // Наукові записки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. 2022. № 3. С. 115–122.
16. Олійник Р. Л. Інженерне забезпечення рослинництва захищеного ґрунту. Рівне : НУВГП, 2018. 310 с.
17. Пристрій для вертикального вирощування рослин. Пат. 145678 Україна, МПК А01G 31/00. Автор(и) патенту: Тимошенко В. Г., Єгорова С. П. № u202309876; заявл. 01.05.2023; опубл. 15.11.2023, Бюл. № 21.
18. Рожко І. В. Оцінка якості продукції, вирощеної у стелажних системах. // Товарознавчий вісник. 2023. Вип. 1. С. 92–98.
19. Сидоренко В. С. Промислове вирощування овочів у закритому ґрунті. Львів : Світ, 2016. 250 с.
20. Ткачук Ю. В. Мікроклімат у багаторусних теплицях: формування та регулювання. // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агрономія. 2021. № 25(2). С. 177–184.
21. Шевчук О. В. Інноваційні рішення в проектуванні та експлуатації тепличних комплексів. [Електронний ресурс]. URL: <https://agromachinery.ua/articles/greenhouse-innovations> (Дата звернення: 16.06.2025).

22. Якубовський Д. С. Технологічні карти вирощування салатів у вертикальних фермах. // Аграрний вісник Причорномор'я. 2020. Вип. 96. С. 40–47.