

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Обґрунтування використання теплоенергетичної установки для
обігріву теплиці**

Виконав: здобувач групи АІ-1-22
за спеціальністю 208 «Агроінженерія»
Тимбай Юрій Юрійович _____

Керівник: _____ Сокол Сергій Петрович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

ДОЦЕНТ

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ**

Тимбай Юрій Юрійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Обґрунтування використання теплоенергетичної
установки для обігріву теплиці.

Керівник роботи Сокол Сергій Петрович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

« 5 » травня 2026 року № 912

2. Строк подання студентом роботи 11.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Аналіз виробничої діяльності господарства.
Аналіз літературних джерел та обґрунтування актуальності дипломного
проєкту. Аналіз конструкцій теплиць та способів їх обігріву.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які
потрібно розробити). 1 Аналіз виробничої діяльності господарства та
умов вирощування продукції в теплиці. 2. Аналіз конструкцій теплиць і
технічних засобів для їх обігріву. 3 Обґрунтування обігріву теплиці на
основі твердопаливної теплоенергетичної установки. 4. Охорона праці та

захист навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проєктних рішень. Висновки. Бібліографічний список.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1. Аналіз виробничої діяльності господарства. (A1). 2. Аналіз конструкцій теплиць та способів їх обігріву. (A1). 3. Схема обігріву багатосекційної теплиці теплоенергетичною установкою (A1) 4. Загальний вигляд ТТГ. (A1) 5. Корпус теплогенератора піролізного типу. (A3). Обмуровка піролізної камери (A3). Передня стінка корпусу ТПТ (A3). Топкове обладнання (A3). 6. Обґрунтування ефективності (A1).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Сокол С.П., доцент		
Нормо-контроль	Золотовська О.В, доцент		

7. Дата видачі завдання: 09.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз господарства	11.03.26-11.04.26	
2	Аналіз проблематики проєкту	13.03.26-13.05.26	
3	Технологічно-конструктивний	14.04.26-21.05.26	
4	Охорона праці	15.04.26-20.05.26	
5	Економічний	19.04.26-7.06.26	
6	Графічна частина	10.05.26-7.06.26	

Здобувач

(підпис)

Тимбай Ю.Ю

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Сокол С.П

(прізвище та ініціали)

[illegible]

Анотація

Тимбай Ю.Ю. Обґрунтування використання теплоенергетичної установки для обігріву теплиці/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Виконано аналіз виробничої діяльності господарства, його матеріально-технічної бази та умов функціонування тепличного напрямку. Розглянуто конструкції сучасних теплиць, способи підтримання мікроклімату та основні системи обігріву. Для проєкту прийнято багатосекційну теплицю поділену на чотири секції, що дає змогу вирощувати різні культури в окремих зонах.

У розрахунковій частині визначено основні параметри теплиці, її тепловтрати та потребу в тепловій потужності. Розрахункова теплова потреба становить 15,49 кВт. Для обігріву прийнято піролізну теплоенергетичну установку потужністю 20 кВт, яка забезпечує необхідний температурний режим із запасом потужності.

Також у роботі розглянуто питання охорони праці та виконано техніко-економічне обґрунтування. Запропонована система обігріву є технічно обґрунтованою, економічно доцільною та придатною для впровадження в умовах фермерських господарств.

Ключові слова: теплиця, обігрів, мікроклімат, піролізна теплоенергетична установка, тверде паливо, тепловтрати, фермерське господарство.

ЗМІСТ

Анотація	5
Вступ	7
1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГОСПОДАРСТВА ТА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ТЕПЛИЦІ	9
1.1 Загальна характеристика господарства	9
1.2 Спеціалізація та виробничий напрям діяльності господарства	10
1.3 Структура посівних площ і характеристика рослинницької продукції	11
1.4 Матеріально-технічна база господарства	12
1.5 Характеристика тепличного господарства та особливості його функціонування	13
1.6 Аналіз існуючих способів обігріву теплиць у господарстві	15
1.7 Обґрунтування необхідності застосування теплоенергетичної установки для обігріву теплиці	16
Висновки	17
2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЦЬ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ ОБІГРІВУ	19
2.1. Конструктивні особливості сучасних теплиць	19
2.2. Способи створення та підтримання мікроклімату в теплицях та аналіз систем їх обігріву	24
2.3 Вибір конструктивної схеми теплоенергетичної установки для обігріву теплиці	29
Висновки	33
3 ОБҐРУНТУВАННЯ ОБІГРІВУ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ ТВЕРДОПАЛИВНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	34
3.1 Розрахунок теплової потреби теплиці та перевірка відповідності теплоенергетичної установки умовам її обігріву	36
3.2 Обґрунтування способу подачі теплоти, визначення витрати палива та режиму роботи теплоенергетичної установки	39
Висновки	41
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	42
4.1 Вимоги безпеки під час монтажу, обслуговування та експлуатації теплоенергетичної установки	43
4.2 Пожежна безпека при використанні піролізної теплоенергетичної установки	45
4.3 Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці в теплиці	46
4.4 Заходи щодо охорони навколишнього середовища	48
Висновки	49
5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ	50
Висновки	56
ВИСНОВКИ	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	60

ВСТУП

Сучасне овочівництво закритого ґрунту є важливою складовою аграрного виробництва, оскільки дає можливість отримувати продукцію впродовж тривалого періоду року, зменшувати залежність від сезонних кліматичних умов та підвищувати ефективність використання земельних ресурсів. Разом із тим стабільна робота теплиць безпосередньо залежить від здатності підтримувати необхідний температурний режим, особливо у холодний період року та в перехідні сезони. Недостатній рівень обігріву призводить до сповільнення росту рослин, зниження врожайності, погіршення якості продукції та збільшення виробничих ризиків.

Для більшості фермерських господарств питання теплопостачання теплиць залишається одним із найскладніших, оскільки витрати на енергоносії становлять значну частину собівартості продукції. Використання традиційних систем опалення не завжди є економічно виправданим через високу вартість палива, значні теплові втрати та недостатню пристосованість обладнання до конкретних умов невеликих господарств. У зв'язку з цим особливого значення набуває застосування компактних теплоенергетичних установок, які можуть забезпечити необхідну подачу тепла, бути відносно простими за конструкцією, зручними в експлуатації та економічно доцільними для використання в умовах фермерського виробництва.

Актуальність теми полягає в необхідності підвищення енергоефективності обігріву теплиць, зниження експлуатаційних витрат та обґрунтування такої конструкції теплоенергетичної установки, яка відповідала б теплотехнічним потребам теплиці, умовам її експлуатації та вимогам безпечної роботи. Для бакалаврського дипломного проєкту важливим є саме інженерний підхід до вирішення цього завдання, що передбачає аналіз господарства, вибір конструктивної схеми, визначення теплових потреб

об'єкта, розрахунок основних параметрів установки та оцінку її практичної доцільності.

Метою дипломного проєкту є обґрунтування конструктивно-режимних параметрів теплоенергетичної установки для обігріву теплиці, яка забезпечує підтримання необхідного температурного режиму в умовах господарства при раціональному використанні енергетичних ресурсів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати виробничу діяльність господарства та особливості функціонування теплиці;
- розглянути існуючі способи обігріву теплиць і технічні засоби, що для цього застосовуються;
- обґрунтувати вибір конструктивної схеми теплоенергетичної установки;
- визначити основні геометричні та теплотехнічні параметри теплиці;
- розрахувати теплові втрати та встановити потрібну теплову потужність установки;
- обґрунтувати основні конструктивні параметри теплоенергетичної установки та режим її роботи;
- оцінити умови безпечної експлуатації установки;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованого рішення.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що запропоновані конструктивні та режимні параметри теплоенергетичної установки можуть бути використані при проєктуванні або вдосконаленні системи обігріву теплиці в умовах невеликих і середніх господарств. Реалізація такого рішення дає змогу забезпечити належний мікроклімат у теплиці, зменшити енерговитрати та підвищити загальну ефективність виробництва овочевої продукції закритого ґрунту.

1 АНАЛІЗ ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ГОСПОДАРСТВА ТА УМОВ ВИРОЩУВАННЯ ПРОДУКЦІЇ В ТЕПЛИЦІ

Ефективність функціонування тепличного господарства значною мірою залежить від загального виробничого стану підприємства, рівня його матеріально-технічного забезпечення, спеціалізації та здатності підтримувати необхідні параметри мікроклімату. Для невеликих і середніх фермерських господарств тепличне виробництво є не лише способом розширення асортименту продукції, а й можливістю отримання доходу в періоди, коли польове овочівництво є неможливим або малоефективним. Саме тому на першому етапі дипломного проєктування необхідно проаналізувати діяльність господарства, визначити його виробничі можливості, дати характеристику тепличному об'єкту та встановити потребу в удосконаленні системи його обігріву.

1.1 Загальна характеристика господарства

Досліджуване господарство є багатогалузевим сільськогосподарським підприємством фермерського типу, виробнича діяльність якого орієнтована на вирощування зернових, технічних і овочевих культур, а також на отримання ранньої овочевої продукції в умовах закритого ґрунту. Основу виробничої структури становить рослинництво, однак останніми роками в господарстві спостерігається зростання інтересу до тепличного напрямку, що пояснюється стабільним попитом на овочеву продукцію та можливістю її реалізації за вищою ціною в позасезонний період.

Господарство розташоване в зоні, де в холодний період року спостерігається суттєве зниження температури зовнішнього повітря, що ускладнює підтримання необхідного теплового режиму в теплицях. У зв'язку з цим мікрокліматичне забезпечення тепличної споруди набуває особливого значення, оскільки недостатнє або нерівномірне обігрівання призводить до

зниження схожості, пригнічення росту рослин, затримки досягання та погіршення якості продукції.

Для характеристики виробничої діяльності господарства доцільно навести основні техніко-економічні показники за останні три роки.

Таблиця 1.1

Основні виробничо-економічні показники господарства

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Площа сільськогосподарських угідь, га	182	182	182
Рілля, га	176	176	176
Площа овочевих культур відкритого ґрунту, га	18	20	22
Середньооблікова чисельність працівників, осіб	17	18	18
Вартість валової продукції, тис. грн	7820	8610	9470
Чистий прибуток, тис. грн	640	790	930
Рівень рентабельності, %	8,2	9,1	9,8

Наведені дані свідчать про відносно стабільний розвиток господарства. Площа землекористування впродовж аналізованого періоду залишалася сталою, що означає, що зростання вартості валової продукції досягалося не за рахунок розширення площ, а переважно завдяки поліпшенню структури виробництва, підвищенню врожайності окремих культур та поступовому розвитку овочевого напрямку. Позитивною тенденцією є також збільшення чистого прибутку, що свідчить про зацікавленість господарства у впровадженні рішень, спрямованих на підвищення ефективності виробництва.

1.2 Спеціалізація та виробничий напрям діяльності господарства

Виробничий напрям господарства визначається як рослинницький із додатковою спеціалізацією на вирощуванні овочевої продукції. Основну частину товарної продукції формують зернові та технічні культури, однак овочівництво, зокрема вирощування ранньої продукції в теплиці, має перспективу подальшого розвитку. Це пов'язано з тим, що теплиця дає можливість більш гнучко реагувати на сезонний попит ринку та забезпечувати надходження продукції в періоди з обмеженою пропозицією.

Тепличний напрям є важливим допоміжним складником виробничої системи господарства. Він забезпечує: підготовку розсади для відкритого ґрунту; вирощування ранніх овочів; раціональніше використання трудових ресурсів у міжсезоння; розширення періоду реалізації продукції.

Організаційно-виробнича структура господарства може бути подана у вигляді схеми.

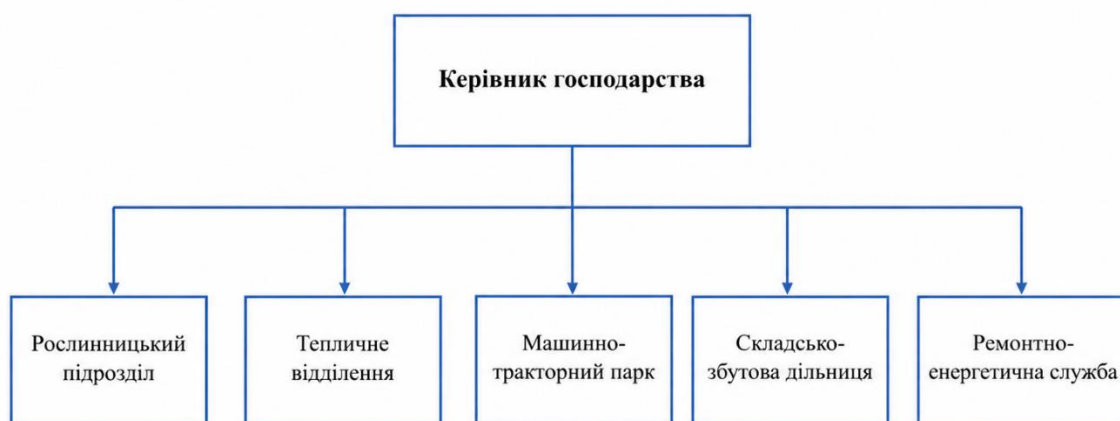


Рисунок 1.1 – Організаційно-виробнича структура господарства

Наявність окремого тепличного відділення або принаймні виділеної ділянки для вирощування продукції закритого ґрунту є важливою передумовою для впровадження локальної теплоенергетичної установки, оскільки це дає можливість організувати систему теплопостачання як окремий технологічний вузол.

1.3 Структура посівних площ і характеристика рослинницької продукції

Для оцінки виробничої спеціалізації господарства важливо проаналізувати структуру посівних площ. Саме вона показує, які культури є пріоритетними, наскільки збалансованим є землекористування та яку роль відіграє овочевий напрям у загальній системі виробництва.

Таблиця 1.2

Структура посівних площ господарства

Культура	Площа, га	Частка, %
Пшениця озима	58	32,95

Соняшник	36	20,45
Кукурудза на зерно	34	19,32
Соя	24	13,64
Овочеві культури відкритого ґрунту	18	10,23
Інші культури	6	3,41
Разом	176	100,0

Як видно з таблиці 1.2, найбільшу частку в структурі посівних площ займають зернові та технічні культури. Водночас овочевий напрям, хоча і поступається їм за площею, є важливим з економічної точки зору, оскільки овочева продукція має вищу додану вартість та здатна забезпечувати стабільні надходження коштів. Саме тому тепличне виробництво слід розглядати як перспективну складову спеціалізації господарства.

Характер рослинницької продукції вказує на те, що господарство має виробничий досвід у сфері вирощування культур, чутливих до температурного режиму на ранніх стадіях розвитку. Тому використання теплиці є не випадковим додатком до основного виробництва, а логічним елементом виробничої системи, спрямованим на отримання ранньої продукції та підготовку якісного посадкового матеріалу.

1.4 Матеріально-технічна база господарства

Однією з важливих умов ефективної експлуатації тепличного господарства є рівень технічного забезпечення підприємства. Навіть відносно невелика теплиця потребує наявності енергетичної, транспортної та ремонтної бази, без якої складно підтримувати належний технологічний режим. У цьому аспекті суттєве значення мають машинно-тракторний парк, наявність складських приміщень, систем водопостачання, а також можливість оперативного обслуговування теплотехнічного обладнання.

Таблиця 1.3

Склад машинно-тракторного парку господарства

Найменування техніки	Кількість, шт.	Призначення
Трактор класу 1,4	2	Основні транспортно-технологічні роботи
Трактор класу 3,0	1	Енергомісткі польові операції
Мотоблок/малий тягач	1	Роботи на овочевій ділянці
Причепи транспортні	2	Перевезення матеріалів і продукції
Обприскувач	1	Захист рослин
Культиватор	1	Передпосівний обробіток ґрунту
Сівалка універсальна	1	Висів польових культур
Насосне обладнання	2 комплекти	Полив і водозабезпечення
Зварювальне обладнання	1 комплект	Ремонтно-монтажні роботи

Аналіз таблиці 1.3 показує, що господарство має мінімально достатню матеріально-технічну базу для виконання основних виробничих операцій. Для обслуговування теплиці найбільш важливими є наявність джерела водопостачання, ремонтних засобів, електропостачання та можливість підвезення палива. Наявність ремонтно-енергетичної служби або хоча б обладнаного місця для поточного ремонту дозволяє впроваджувати нескладні теплоенергетичні установки без значного залучення сторонніх сервісних організацій.

1.5 Характеристика тепличного господарства та особливості його функціонування

Об'єктом подальшого проектування є малогабаритна теплиця фермерського типу, конструкція якої подана на кресленні загального вигляду. Геометричні параметри споруди дають підстави розглядати її як окремий компактний виробничий об'єкт, придатний для вирощування розсади, зеленних культур та ранніх овочів.

Довжина, мм	6100
Ширина, мм	4100
Висота в конику, мм	2500
Висота бокової стінки, мм	1940
Висота покрівельної частини, мм	560
Площа забудови, м ²	25,0
Орієнтовний внутрішній об'єм, м ³	55,5
Тип каркаса	металевий
Тип огорожувальних поверхонь	світлопрозорі
Призначення	виросщування розсади та овочевої продукції

З аналізу конструкції видно, що теплиця має порівняно невеликі габарити, а отже потребує компактного джерела теплоти, яке могло б працювати в локальному режимі без створення складної централізованої системи теплопостачання. Водночас через наявність значної площі світлопрозорих огорожень така споруда є чутливою до тепловтрат, особливо в нічний час, у вітряну погоду та у періоди зниження зовнішньої температури.

Технологічно функціонування теплиці можна подати такою схемою.

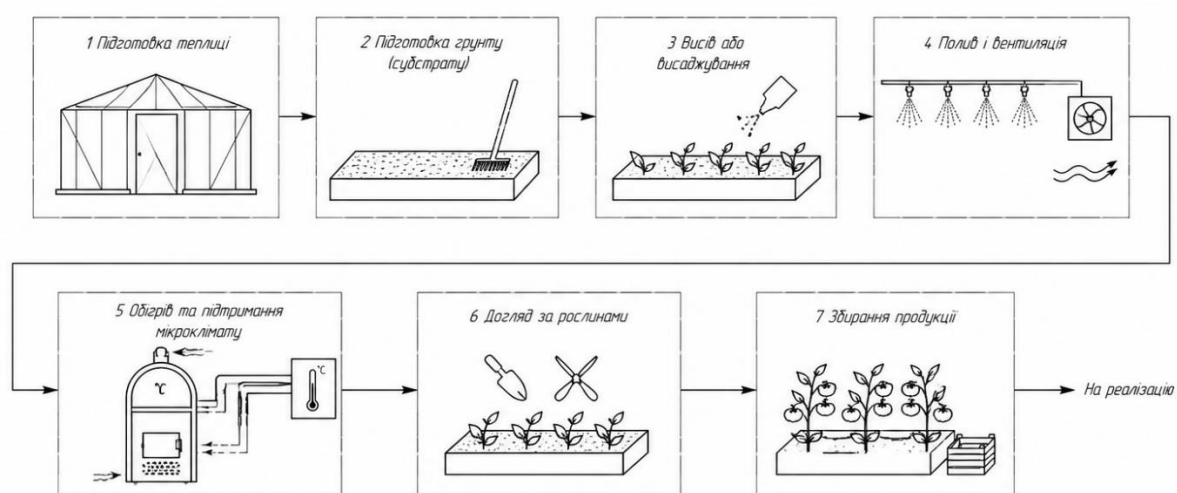


Рисунок 1.2 – Технологічна схема роботи тепличної ділянки

У цій схемі обігрів є одним із ключових елементів, від якого залежить не лише температура повітря, а й інтенсивність ростових процесів, строки отримання продукції та рівномірність розвитку рослин. Саме тому стан системи теплопостачання в межах тепличного господарства потребує окремого технічного аналізу.

1.6 Аналіз існуючих способів обігріву теплиць у господарстві

У практиці невеликих господарств застосовуються різні способи обігріву теплиць: пічне, водяне, електричне, інфрачервоне, повітряне. Кожен із них має свої переваги та обмеження, що проявляються в різному рівні капітальних витрат, експлуатаційних затрат, рівномірності прогрівання та зручності регулювання температури.

Для умов невеликої теплиці найбільш типовими є три варіанти: локальне пічне обігрівання, використання переносних електронагрівачів та застосування компактної теплоенергетичної установки. Перший варіант є простим за реалізацією, проте характеризується нерівномірністю розподілу теплоти. Другий дає можливість легко регулювати температуру, але суттєво підвищує витрати на енергоносії. Третій варіант є більш технічно обґрунтованим, якщо господарство має доступ до твердого палива і зацікавлене в зниженні витрат на теплопостачання.

Таблиця 1.4

Порівняльна характеристика способів обігріву теплиці

Спосіб обігріву	Початкові витрати	Експлуатаційні витрати	Рівномірність прогріву	Зручність регулювання	Доцільність для господарства
Пічне	невисокі	середні	низька	низька	обмежена
Електричне	невисокі	високі	висока	висока	доцільне лише в окремих випадках
Водяне від котла	високі	середні	висока	середня	доцільне в більшості випадків
Інфрачервоне	середні	високі	середня	висока	локальне застосування

Повітряне від теплоенергетичної установки	середні	помірні	достатня	середня	висока
---	---------	---------	----------	---------	--------

Проведене порівняння дає підстави стверджувати, що для даного об'єкта найбільш раціональним є використання компактної теплоенергетичної установки, яка працює на доступному паливі та забезпечує подачу теплого повітря або тепла без надмірного ускладнення конструкції. Такий підхід дає змогу поєднати прийнятний рівень капітальних витрат із можливістю зменшення сезонних експлуатаційних затрат.

1.7 Обґрунтування необхідності застосування теплоенергетичної установки для обігріву теплиці

Проведений аналіз показав, що тепличне господарство є важливим допоміжним напрямом діяльності підприємства, який має потенціал для подальшого розвитку. Разом із тим ефективність його функціонування стримується складністю забезпечення стабільного температурного режиму в холодний період року. Існуючі або потенційно можливі прості способи обігріву не повною мірою відповідають вимогам енергоефективності, рівномірності нагрівання та економічної доцільності.

Для невеликої теплиці, що має площу близько 25 м² і внутрішній об'єм близько 55 м³, недоцільно застосовувати надто складні системи з розгалуженими трубопроводами або дорогими автоматизованими комплексами. Натомість більш виправданим є використання локальної теплоенергетичної установки, розрахованої саме на умови такого об'єкта. Її перевагами є: порівняно проста конструкція; можливість роботи на доступному паливі; зменшення витрат на обігрів; автономність роботи; пристосованість до умов малого або середнього господарства.

Фактори, які визначають доцільність застосування теплоенергетичної установки, можна подати у вигляді схеми.

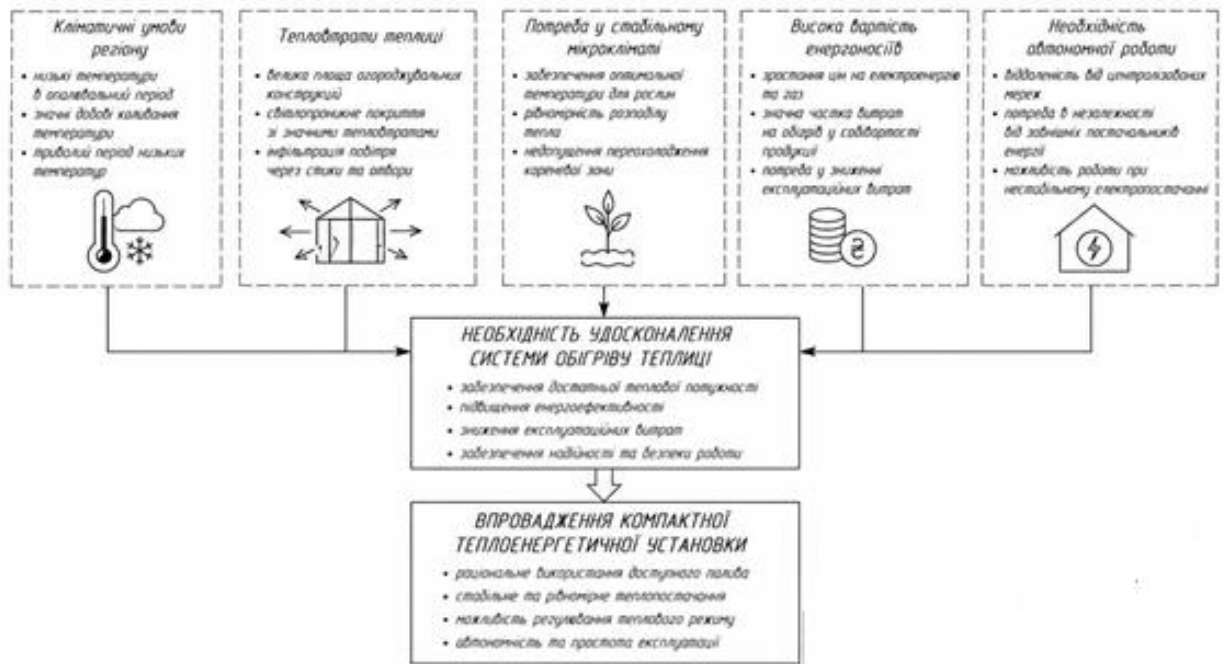


Рисунок 1.3 – Основні чинники, що обумовлюють потребу в удосконаленні системи обігріву теплиці

Кліматичні умови - тепловтрати через огорожувальні конструкції, потреба у стабільному мікрокліматі, висока вартість енергоносіїв, необхідність автономної роботи, потреба в компактній теплоенергетичній установці

Таким чином, результати аналізу господарства, його виробничого напрямку, наявної матеріально-технічної бази, параметрів теплиці та існуючих способів її обігріву підтверджують доцільність подальшого опрацювання конструкції теплоенергетичної установки. Наступний розділ доцільно присвятити аналізу конструкцій теплиць і технічних засобів для їх обігріву з подальшим вибором найбільш прийняттого конструктивного рішення.

Висновки

Визначено, що теплична споруда є малогабаритним об'єктом фермерського типу, який використовується для вирощування розсади та ранньої овочевої продукції. Через значну площу світлопрозорих огорожень теплиця характеризується помітними тепловтратами, що зумовлює необхідність надійного та економічно доцільного обігріву.

Порівняльний аналіз способів обігріву показав, що для умов малого господарства найбільш раціональним є застосування компактної теплоенергетичної установки, здатної забезпечити автономне тепlopостачання теплиці при помірних капітальних та експлуатаційних витратах.

2 АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ТЕПЛИЦЬ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ ОБІГРІВУ

2.1. Конструктивні особливості сучасних теплиць

Теплиці належать до споруд захищеного ґрунту, у яких створюються умови для вирощування рослин за несприятливих зовнішніх температур, нестійкої погоди або в міжсезонний період. На відміну від простих укриттів, така споруда розрахована на тривалішу експлуатацію та дає змогу підтримувати більш стабільний температурний режим, необхідний для росту і розвитку культур. Саме завдяки цьому теплиці використовують не лише для одержання розсади, а й для вирощування овочевої продукції впродовж усього циклу. Внутрішній мікроклімат у них формується за рахунок поєднання сонячного випромінювання, огорожувальних конструкцій та технічних засобів обігріву, вентиляції і поливу.

Парники і теплиці мають спільне призначення, проте різняться за розмірами, способом експлуатації та функціональними можливостями. Парник є меншою за габаритами спорудою, яка в більшості випадків використовується для тимчасового захисту рослин, дорощування розсади або отримання ранньої зелені. Теплиця, на відміну від нього, має більший внутрішній об'єм, що дозволяє обслуговувати її зсередини, організовувати проходи, встановлювати системи теплопостачання та підтримувати більш керований мікроклімат. З цієї причини теплиці є більш універсальними спорудами для потреб фермерського господарства.

Сучасні теплиці відрізняються між собою за формою, конструктивною схемою, площею та умовами застосування. Серед найбільш поширених типів можна виділити односкілі, ангарні та блокові теплиці. Кожен із цих варіантів має власні конструктивні переваги, недоліки та сферу доцільного використання. Саме тому при виборі теплиці для конкретного господарства необхідно враховувати не лише її габарити, а й можливість ефективного обігріву, вентиляції та технічного обслуговування.

Одним із найпростіших варіантів є односхила теплиця. Таку споруду зазвичай розміщують біля капітальної стіни будівлі або іншої захищеної поверхні, що дає змогу частково використати вже наявні конструктивні елементи. Прозорий схил орієнтують у бік найкращого сонячного освітлення, а глуха стіна одночасно виконує функцію опори та теплозахисту. Така схема є зручною для невеликих господарств, оскільки дозволяє зменшити витрати будівельних матеріалів, спростити підведення комунікацій та полегшити експлуатацію споруди. Водночас подібна теплиця може мати нерівномірніший світловий режим, особливо в зоні, що прилягає до глухої стіни, тому її частіше використовують для обмежених площ вирощування.

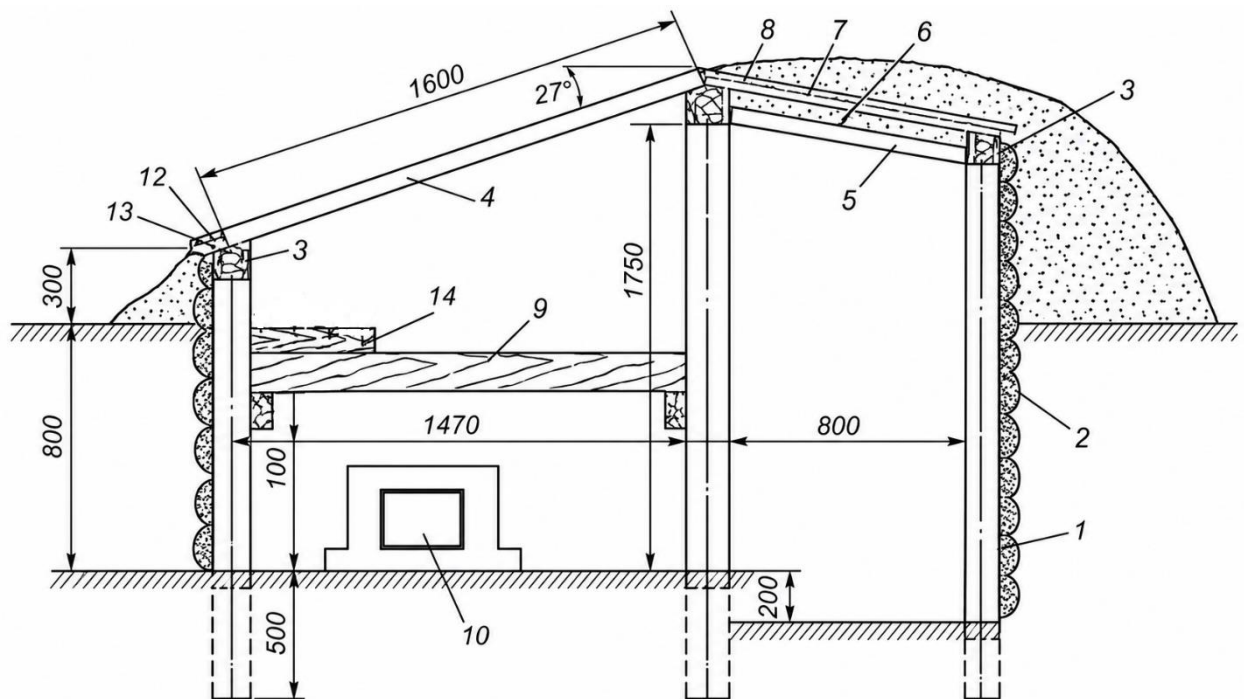


Рисунок 2.1 – Односхила теплиця

Як видно з рисунка 2.1, односхила теплиця має порівняно просту конструкцію, що включає опорні елементи, покриття, основу та внутрішній корисний простір для розміщення рослин. Така схема дає змогу зменшити складність виготовлення, але водночас обмежує можливість значного розширення площі та не завжди забезпечує однакові умови освітлення по всій довжині споруди. Саме тому подібний тип теплиць найчастіше застосовують як допоміжний або для невеликих виробничих потреб.

Іншим поширеним типом є ангарна теплиця. Це окремо розташована споруда з великим вільним внутрішнім простором, яка зазвичай має двосхилу або близьку до неї форму покриття. Її головною особливістю є відсутність внутрішніх опор у межах основного прольоту, що створює зручні умови для розміщення рослин, проходів, обладнання та механізованих засобів обслуговування. Завдяки значному об'єму й достатній висоті ангарні теплиці забезпечують добрі умови для провітрювання, освітлення та організації технологічних процесів. Разом із тим збільшення габаритів призводить до зростання площі огорожувальних поверхонь, а отже, і до підвищення тепловтрат у холодний період року. Через це такі споруди потребують більш ретельного вирішення питання обігріву.

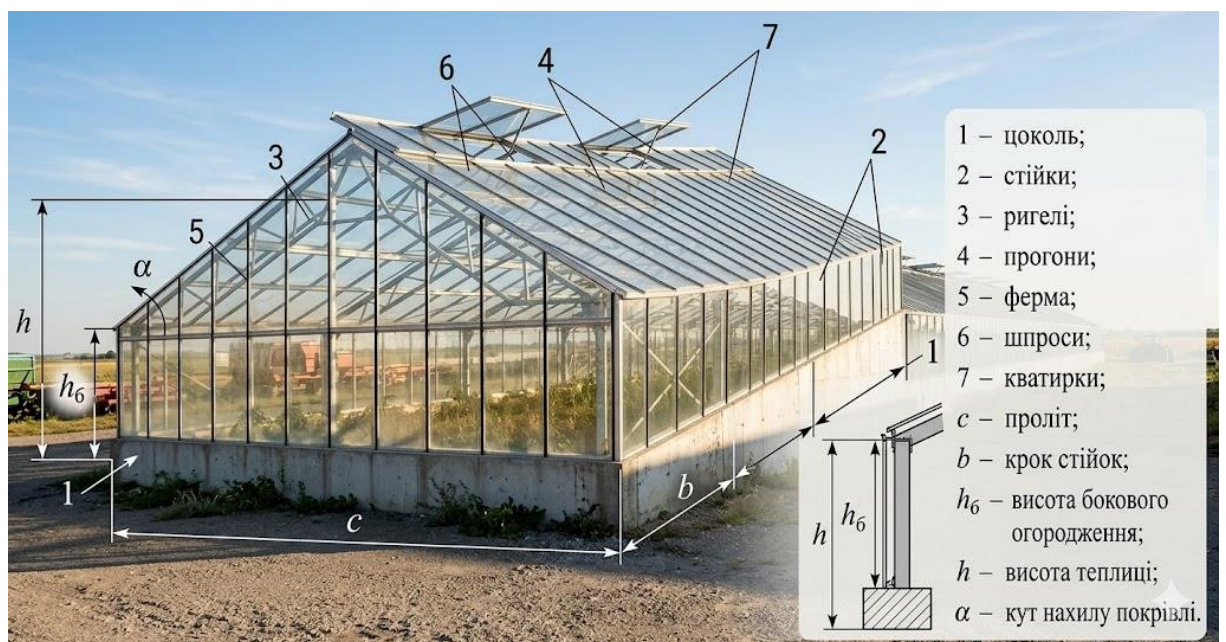


Рисунок 2.2 – Ангарна теплиця

Із рисунка 2.2 видно, що ангарна теплиця характеризується значною висотою, великим прольотом та наявністю елементів, які забезпечують жорсткість каркаса і розміщення покриття. Її конструкція більш придатна до механізації виробничих операцій, ніж односкісна схема. Проте збільшення розмірів споруди веде до підвищення вартості будівництва та експлуатації, тому ангарні теплиці доцільні насамперед там, де вирощування продукції здійснюється у більших обсягах.

Для великих тепличних господарств найбільш характерними є блокові теплиці. Вони являють собою поєднання кількох окремих прольотів, об'єднаних в єдину споруду. При такій схемі суміжні теплиці мають спільні конструктивні елементи, завдяки чому зменшується витрата матеріалів на зовнішні огороження і підвищується економічність будівництва на великих площах. Крім того, блокова схема створює сприятливі умови для централізованого обігріву, організації поливу, автоматизації вентиляції та виконання транспортних операцій. Разом із тим подібна конструкція потребує більш складного проєктування і краще підходить для великих спеціалізованих підприємств, ніж для невеликого фермерського господарства.

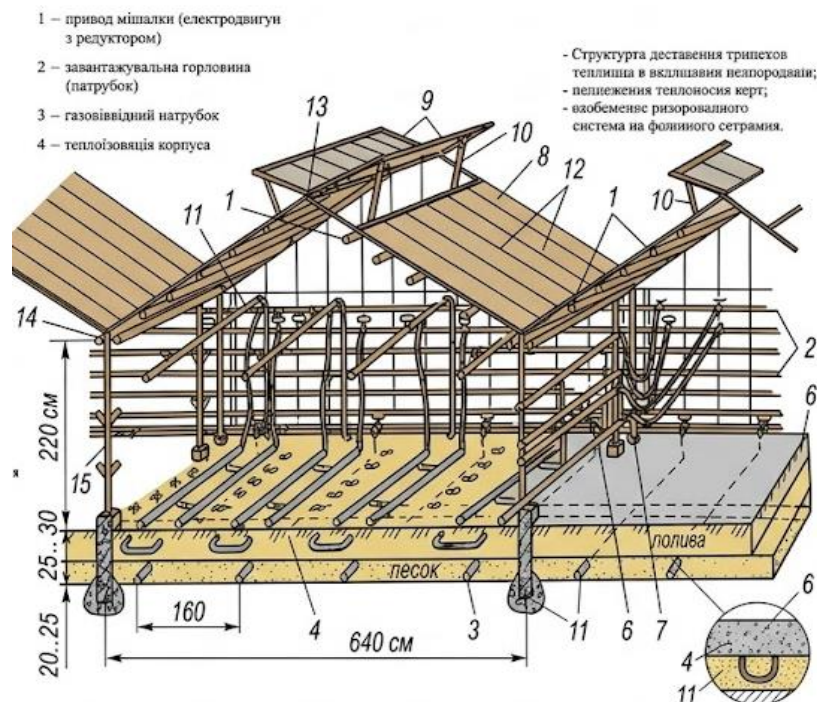




Рисунок 2.3 – Блокова теплиця

З рисунка 2.3 видно, що блокова теплиця має багатопролітну структуру та включає елементи системи обігріву, водовідведення, вентиляції та зрошення. Завдяки такій побудові створюються умови для комплексної механізації виробництва та більш економного використання площі огороджувальних конструкцій. Разом із тим значні розміри споруди можуть ускладнювати природну вентиляцію у внутрішніх зонах, а також підвищують вимоги до точності монтажу та технічного обслуговування.

Отже, аналіз конструктивних особливостей сучасних теплиць показує, що односпільні споруди є доцільними для невеликих обсягів виробництва і відзначаються простотою виконання, ангарні теплиці забезпечують великий вільний простір та зручність механізації, а блокові конструкції найбільш ефективні за великих площ і централізованої організації технологічних процесів. Для умов даного дипломного проекту, пов'язаного з обґрунтуванням системи обігріву, найбільший інтерес становлять компактні теплиці, для яких

можна розробити технічно просте, економічно виправдане та енергоефективне рішення щодо теплопостачання.

Так, можна об'єднати ці два підпункти в один, щоб структура була простішою і логічнішою.

Найкраще назвати так:

2.2. Способи створення та підтримання мікроклімату в теплицях та аналіз систем їх обігріву

Ефективність вирощування рослин у спорудах закритого ґрунту значною мірою визначається здатністю підтримувати всередині теплиці необхідні параметри мікроклімату. До основних із них належать температура повітря і ґрунту, відносна вологість повітря, швидкість його руху, інтенсивність вентиляції та рівень освітленості. На відміну від відкритого ґрунту, у теплиці ці показники можуть регулюватися технічними засобами, що дає змогу створити більш сприятливі умови для росту, розвитку та плодоношення рослин.

Під мікрокліматом теплиці розуміють сукупність фізичних параметрів внутрішнього середовища, які формуються під впливом зовнішніх погодних умов, конструктивних особливостей споруди, виду покриття, а також систем обігріву, вентиляції, поливу та затінення. Оптимальні значення цих параметрів змінюються залежно від культури, фази її розвитку та сезону вирощування. Саме тому в тепличному господарстві важливо не лише створити необхідний температурний режим, а й забезпечити його стабільність упродовж доби.

Основним джерелом тепла в теплицях у денний час є сонячна радіація. Прозоре покриття пропускає короткохвильове сонячне випромінювання всередину споруди, де воно поглинається ґрунтом, рослинами та внутрішніми поверхнями. Після цього частина енергії переходить у довгохвильове теплове випромінювання, яке гірше проходить крізь огорожувальні конструкції, завдяки чому температура повітря в теплиці підвищується. Проте в нічний час, у похмуру погоду або в холодний сезон одного лише сонячного тепла

недостатньо, тому виникає потреба в застосуванні додаткових засобів створення та підтримання мікроклімату.

Для формування належних умов у теплицях використовують кілька основних способів. Перш за все, це раціональний вибір конструкції споруди, її орієнтації відносно сторін світу, матеріалу покриття та ступеня герметичності. Важливу роль відіграє також природна і примусова вентиляція, що забезпечує відведення надлишкової вологи, регулювання температури та оновлення повітряного середовища. Ще одним складником є система зрошення, оскільки полив безпосередньо впливає на вологість ґрунту і повітря. Проте вирішальне значення у холодний період року має саме система обігріву, яка компенсує тепловтрати через покриття, стінки, вентиляційні отвори та інфільтрацію зовнішнього повітря.



Рисунок 2.4 – Основні складові формування мікроклімату в теплиці

Узагальнено можна зазначити, що мікроклімат у теплиці підтримується завдяки поєднанню таких чинників:

- сонячного надходження теплоти;
- теплоізоляційних властивостей огороджувальних конструкцій;
- вентиляції;
- зволоження або поливу;

- штучного обігріву;
- регулювання повітрообміну та вологості.

Температурний режим у теплицях є одним із найважливіших показників, оскільки він визначає інтенсивність фізіологічних процесів у рослинах. За недостатньої температури сповільнюється проростання насіння, затримується ріст, погіршується засвоєння поживних речовин і підвищується ризик захворювань. Надмірне нагрівання, навпаки, може призвести до перегріву рослин, пригнічення фотосинтезу та порушення водного балансу. Саме тому система мікроклімату повинна не просто подавати тепло, а забезпечувати можливість його регулювання залежно від умов експлуатації.

На практиці в теплицях застосовують різні системи обігріву, які відрізняються джерелом теплової енергії, способом передачі тепла та конструктивним виконанням. Найбільш поширеними є пічне, водяне, повітряне, електричне, інфрачервоне та ґрунтове обігрівання.

Пічне обігрівання є одним із найстаріших способів підтримання температури в теплицях. Його перевагою є простота конструкції, можливість використання твердого палива та відносно невеликі початкові витрати. Проте така система має і суттєві недоліки. Зокрема, температура всередині теплиці розподіляється нерівномірно: поблизу джерела теплоти повітря перегрівається, тоді як у віддалених зонах може залишатися недостатньо прогрітим. Крім того, пічне опалення вимагає постійного обслуговування і не завжди забезпечує стабільність теплового режиму.

Водяне обігрівання ґрунтується на циркуляції нагрітого теплоносія трубами або регістрами, встановленими вздовж теплиці, під стелажми або в ґрунті. Така система дозволяє рівномірніше розподіляти тепло, створює більш стійкий температурний режим і добре піддається регулюванню. Водночас вона потребує наявності котла, трубопроводів, арматури та циркуляційного обладнання, що ускладнює конструкцію і збільшує капітальні витрати. Для невеликих теплиць подібне рішення не завжди є економічно виправданим.

Повітряне обігрівання полягає у подачі нагрітого повітря безпосередньо в об'єм теплиці. Джерелом теплоти в цьому випадку може бути теплоенергетична установка, калорифер або інший повітрянагрівальний пристрій. Перевагою такого способу є відносна простота конструкції, швидке підвищення температури всередині споруди та можливість поєднання обігріву з вентиляцією. Саме тому повітряні системи часто застосовують у малих і середніх теплицях. До недоліків належать можливі коливання температури та потреба в правильній організації руху повітря, щоб уникнути локального перегріву або переохолодження окремих зон.

Електричне обігрівання характеризується високою зручністю регулювання, простотою автоматизації та відсутністю продуктів згоряння безпосередньо в теплиці. Воно може реалізовуватися за допомогою електронагрівачів, кабелів, конвекторів або тепловентиляторів. Разом із тим головним стримуючим фактором є висока вартість електроенергії, особливо при тривалій експлуатації в холодний період року. Тому для фермерських господарств електричний обігрів частіше використовують як резервний або локальний.

Інфрачервоні системи передають тепло не стільки повітря, скільки поверхням ґрунту, рослинам і конструктивним елементам. Це дозволяє створювати більш спрямований тепловий вплив і зменшувати непродуктивні втрати енергії. Проте такі системи потребують спеціального обладнання, ретельного розрахунку розміщення випромінювачів і не завжди є доцільними для невеликих теплиць загального призначення.

Окремо слід виділити ґрунтове обігрівання, при якому нагрівальні елементи або трубопроводи розміщують безпосередньо в кореневмісному шарі ґрунту. Такий спосіб особливо корисний при вирощуванні розсади, оскільки забезпечує прогрівання кореневої зони. Однак у більшості випадків його застосовують як додаткове, а не як основне джерело тепла.



Рисунок 2.5 – Класифікація систем обігріву теплиць

Із наведеного аналізу видно, що вибір системи обігріву залежить від площі теплиці, призначення споруди, доступності енергоносіїв, фінансових можливостей господарства та вимог до рівномірності температурного поля. Для великих тепличних комплексів можуть бути виправданими складні централізовані системи, тоді як для малих і середніх споруд більш доцільними є простіші рішення, які не вимагають надмірних капіталовкладень і можуть працювати автономно.

Для умов даного дипломного проєкту, де розглядається відносно компактна теплиця, найбільший інтерес становить система обігріву на основі теплоенергетичної установки. Таке рішення дозволяє поєднати автономність роботи, можливість використання доступного палива, достатню теплову потужність і конструктивну простоту. Крім того, подібна система краще відповідає умовам фермерського господарства, де важливими є помірні витрати на виготовлення, зручність технічного обслуговування та можливість підтримання потрібного температурного режиму без складної інженерної інфраструктури.

2.3 Вибір конструктивної схеми теплоенергетичної установки для обігріву теплиці

Для обігріву теплиці прийнято теплоенергетичну установку твердопаливного типу, загальний вигляд якої наведено на кресленні. Вона має такі основні технічні характеристики: довжина 2000 мм, ширина 1000 мм, висота 1940 мм, діаметр патрубків 100 мм, розмір завантажувального люка 350×260 мм, номінальна теплова потужність 20 кВт, а розрахунковий об'єм опалювального приміщення становить до 600 м³. Наведені параметри свідчать про те, що установка має достатній енергетичний потенціал для використання як джерело теплоти в системі обігріву малої теплиці.

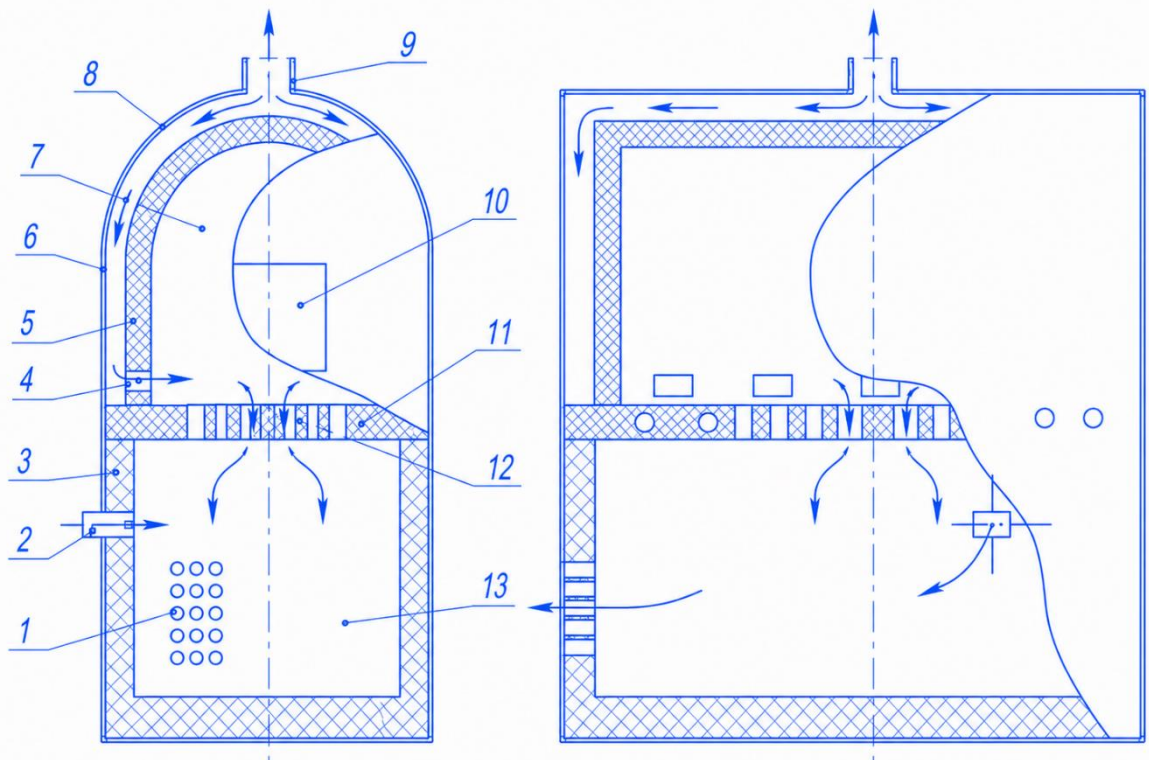


Рисунок 2.6 – Загальний вигляд теплоенергетичної установки, прийнятої для обігріву теплиці

Прийнята до проєктування теплиця має значно менші геометричні параметри, ніж умовне приміщення, на яке розрахована паспортна характеристика установки. Це не означає, що установка є надлишковою або непридатною до використання. Навпаки, теплиця як споруда зі

світлопрозорими огорожувальними конструкціями характеризується підвищеними питомими тепловтратами, особливо в холодний період року. Через це оцінювання можливості використання теплоенергетичної установки слід виконувати не лише за внутрішнім об'ємом теплиці, а насамперед за фактичною потребою в тепловій потужності, яка визначається тепловтратами через покриття, стінки, стики та вентиляційний повітрообмін.

З конструктивного погляду для даного проєкту найбільш доцільною є схема повітряного обігріву теплиці від автономної твердопаливної установки. При такому рішенні теплота, що виділяється під час спалювання палива, використовується для нагрівання повітря, яке надалі передається в об'єм теплиці. Така схема має низку переваг для невеликих споруд: вона дозволяє швидко підвищувати температуру внутрішнього повітря, не потребує розгалуженої мережі трубопроводів, є відносно простою у монтажі та зручною в експлуатації. Крім того, повітряний спосіб теплопередачі добре узгоджується з вимогами тепличного господарства, де важливо оперативно реагувати на зміну зовнішніх температурних умов.

Вибір саме твердопаливної установки пояснюється також доступністю палива та можливістю її автономної роботи. Для фермерського господарства це має важливе значення, оскільки дає змогу зменшити залежність від централізованих енергоносіїв та знизити експлуатаційні витрати. У якості палива можуть використовуватись дрова, брикети або інші місцеві види твердого палива, що підвищує практичну цінність обраного рішення.

Не менш важливою є і конструктивна простота установки. Вона включає корпус, топкову частину, завантажувальний люк, патрубок для відведення димових газів та зону теплопередачі. Така схема не потребує складних допоміжних систем і тому є зручною для експлуатації в умовах невеликого господарства. За необхідності теплова потужність може регулюватися шляхом зміни інтенсивності горіння палива, а також режиму подачі теплого повітря до теплиці.

При виборі конструктивної схеми особливу увагу слід приділити безпеці використання установки. Продукти згоряння палива повинні надійно відводитися за межі теплиці, а сама установка має працювати як окреме джерело теплоти, не погіршуючи умови мікроклімату для рослин. Тому застосування твердопаливної теплоенергетичної установки є доцільним лише за умови правильного компонування системи подачі теплоти, дотримання вимог пожежної безпеки та забезпечення належного контролю режиму роботи.

З урахуванням теплотехнічних можливостей прийнятої установки для подальшого проєктного опрацювання доцільно прийняти не малогабаритну одnoseкційну теплицю, а багатосекційну теплицю фермерського типу. У роботі приймається теплиця довжиною 12,0 м, шириною 4,1 м і висотою в конику 2,5 м. За таких розмірів площа забудови становить 49,2 м², що більш повно відповідає рівню теплової потужності 20 кВт. Додатковою перевагою такого рішення є можливість секціонування внутрішнього простору та вирощування кількох культур одночасно в межах однієї споруди.

Прийнята теплиця поділяється на чотири секції довжиною по 3,0 м кожна. Таке компонування дозволяє розміщувати в окремих секціях різні культури, наприклад розсаду, огірки, томати та зеленні культури, а також полегшує організацію технологічного процесу. Секціонування теплиці є доцільним не лише з виробничої, а й з теплотехнічної точки зору, оскільки дає можливість регулювати подачу теплого повітря в окремі зони та підтримувати різний ступінь прогрівання залежно від потреб вирощуваної культури.

Найбільш раціональною для даних умов є конструктивна схема, за якої піролізна теплоенергетична установка працює як централізоване джерело теплоти для всієї теплиці, а нагріте повітря від неї подається в загальний розподільчий канал. Від цього каналу виконуються відгалуження в кожену секцію. Для регулювання інтенсивності подачі теплого повітря в окремі секції можуть бути передбачені заслінки або шибери. Така схема дозволяє забезпечити одночасно централізований нагрів усієї теплиці та можливість часткового коригування мікроклімату в межах окремих секцій.

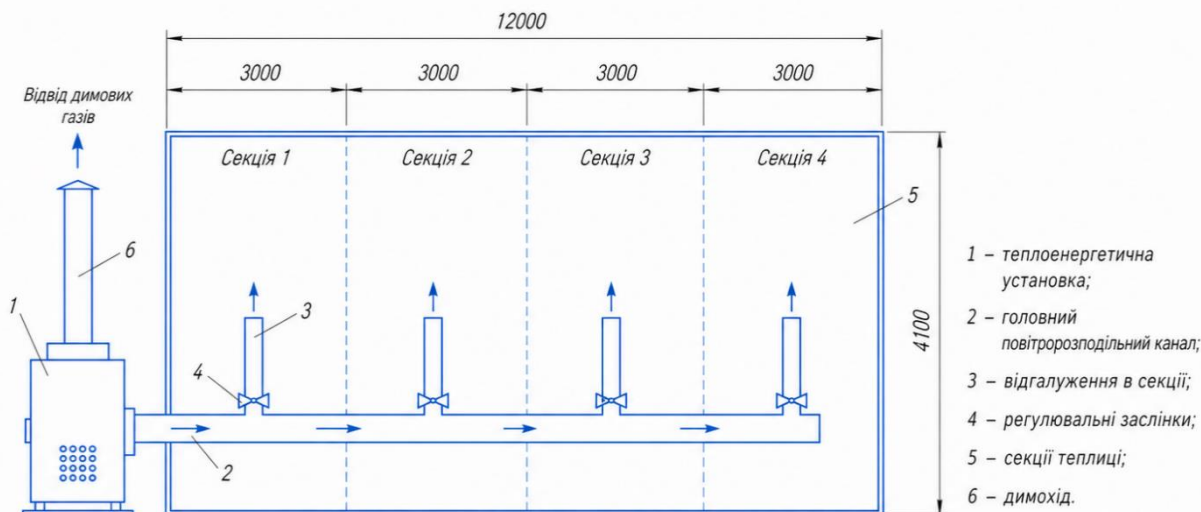


Рисунок 2.6 – Схема обігріву багатосекційної теплиці теплоенергетичною установкою

Прийнята схема обігріву працює таким чином. У піролізній установці відбувається спалювання палива з утворенням теплової енергії, яка використовується для нагрівання повітря. Далі тепле повітря по розподільчому каналу спрямовується до внутрішнього простору теплиці, а через відгалуження надходить у кожну секцію. У межах секцій воно поширюється за рахунок конвекційного руху, прогріває повітряний об'єм, огорожувальні поверхні та частково ґрунт. Продукти згоряння при цьому відводяться назовні через димохід, що дає змогу не погіршувати умови внутрішнього середовища теплиці.

Вибір саме повітряної схеми обігріву пояснюється тим, що для багатосекційної теплиці фермерського типу вона є конструктивно простішою, ніж водяна система, та краще відповідає умовам автономної експлуатації. Повітряний обігрів забезпечує достатньо швидке підвищення температури в теплиці, не потребує складних монтажних робіт і дозволяє використовувати теплоту безпосередньо в місці її споживання. Крім того, така схема добре узгоджується з особливостями піролізної установки, яка працює на твердому паливі та має достатній запас теплової потужності.

Висновки

Застосування багатосекційної теплиці підвищує загальну ефективність використання прийнятої теплоенергетичної установки. Якщо для малої теплиці потужність 20 кВт була б надмірною, то для споруди площею 49,2 м² з чотирма секціями така установка виглядає більш обґрунтованою. У цьому випадку тепла енергія використовується раціональніше, а сама система обігріву набуває більш реального виробничого змісту, оскільки дозволяє організувати вирощування кількох культур у межах однієї тепличної споруди.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ОБІГРІВУ ТЕПЛИЦІ НА ОСНОВІ ТВЕРДОПАЛИВНОЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Вихідні дані для розрахунку, характеристика теплиці як об'єкта теплопостачання та визначення її геометричних параметрів:

Для подальшого розрахункового обґрунтування приймається багатосекційна теплиця фермерського типу, яка складається з чотирьох секцій. Кожна секція має довжину 3,0 м, загальна довжина теплиці становить 12,0 м. Ширина теплиці становить 4,1 м, висота бокового огороження – 1,94 м, а загальна висота в конику – 2,50 м. Покриття теплиці приймається зі стільникового полікарбонату, що забезпечує достатню світлопроникність і кращі теплоізоляційні властивості порівняно з плівковими огороженнями.

Вихідні геометричні параметри теплиці приймаються такими:

довжина теплиці: $L = 12,0$ м;

ширина теплиці: $B = 4,1$ м;

висота бокової стінки: $h_6 = 1,94$ м;

висота теплиці в конику: $h = 2,50$ м.

Висота покрівельної частини становить:

$$h_n = h - h_6$$
$$h_n = 2,50 - 1,94 = 0,56 \text{ м}$$

Площа забудови теплиці:

$$F = L \cdot B$$
$$F = 12,0 \cdot 4,1 = 49,2 \text{ м}^2$$

Для визначення площі покрівлі спочатку знаходимо довжину одного схилу:

$$l_{\text{сх}} = \sqrt{\left(\frac{B}{2}\right)^2 + h_{\text{п}}^2}$$
$$l_{\text{сх}} = \sqrt{2,05^2 + 0,56^2}$$

$$l_{\text{сх}} = \sqrt{4,2025 + 0,3136} = \sqrt{4,5161} = 2,125 \text{ м}$$

Площа двох бокових стінок становить:

$$F_{\text{бок}} = 2 \cdot L \cdot h_{\text{б}}$$

$$F_{\text{бок}} = 2 \cdot 12,0 \cdot 1,94 = 46,56 \text{ м}^2$$

Площа двох торцевих стінок визначається як сума прямокутної і трикутної частин:

$$F_{\text{торц}} = 2 \cdot \left(B \cdot h_{\text{б}} + \frac{B \cdot h_{\text{п}}}{2} \right)$$

$$F_{\text{торц}} = 2 \cdot \left(4,1 \cdot 1,94 + \frac{4,1 \cdot 0,56}{2} \right) = 2 \cdot (7,954 + 1,148) = 18,20 \text{ м}^2$$

Площа покрівлі:

$$F_{\text{покр}} = 2 \cdot L \cdot l_{\text{сх}}$$

$$F_{\text{покр}} = 2 \cdot 12,0 \cdot 2,125 = 51,00 \text{ м}^2$$

Тоді загальна площа огорожувальних конструкцій теплиці:

$$F_{\text{ог}} = F_{\text{бо}} + F_{\text{торц}} + F_{\text{покр}}$$

$$F_{\text{ог}} = 46,56 + 18,20 + 51,00 = 115,76 \text{ м}^2$$

Внутрішній об'єм теплиці визначаємо як суму об'єму прямокутної та верхньої трикутної частин:

$$V = L \cdot B \cdot h_6 + L \cdot \frac{B \cdot h_u}{2}$$

$$V = 12,0 \cdot 4,1 \cdot 1,94 + 12,0 \cdot \frac{4,1 \cdot 0,56}{2} = 95,45 + 13,78 = 109,22 \text{ м}^3$$

Отже, прийнята багатосекційна теплиця має площу забудови 49,2 м², загальну площу огорожувальних конструкцій 115,76 м² та внутрішній об'єм 109,22 м³.

Для її обігріву в проєкті приймається піролізна теплоенергетична установка з такими основними характеристиками: довжина 2000 мм, ширина 1000 мм, висота 1940 мм, діаметр патрубку 100 мм, номінальна теплова потужність 20 кВт. Установка працює на твердому біопаливі та використовується як централізоване джерело теплоти для всієї теплиці.

3.1 Розрахунок теплової потреби теплиці та перевірка відповідності теплоенергетичної установки умовам її обігріву

Для визначення потреби теплиці в тепловій потужності приймаємо такі розрахункові умови: температура повітря всередині теплиці повинна підтримуватись на рівні $t_b = 20^{\circ}\text{C}$, а розрахункова температура зовнішнього повітря становить $t_3 = -10^{\circ}\text{C}$. Для теплиці з полікарбонатним покриттям приведений коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій приймаємо:

$$k = 3,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$$

Різниця температур між внутрішнім і зовнішнім повітрям становить:

$$\Delta t = t_b - t_3$$

$$\Delta t = 20 - (-10) = 30^{\circ}\text{C}$$

Втрати теплоти через огорожувальні конструкції визначаються за формулою:

$$Q_{\text{ог}} = k \cdot F_{\text{ог}} \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{ог}} = 3,5 \cdot 115,76 \cdot 30 = 12155,5 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{ог}} \approx 12,16 \text{ кВт}$$

Крім втрат через покриття та стінки, у теплиці мають місце втрати теплоти на вентиляцію та інфільтрацію повітря. Для багатосекційної теплиці з регульованим повітрообміном приймаємо кратність вентиляції:

$$n = 1,2 \text{ год}^{-1}$$

Тоді втрати теплоти на вентиляцію та інфільтрацію:

$$Q_{\text{вент}} = 0,335 \cdot n \cdot V \cdot \Delta t$$

$$Q_{\text{вент}} = 0,335 \cdot 1,2 \cdot 109,22 \cdot 30 = 1317,2 \text{ Вт}$$

$$Q_{\text{вент}} \approx 1,32 \text{ кВт}$$

Загальна теплова потреба теплиці без запасу становить:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{ог}} + Q_{\text{вент}}$$

$$Q_{\Sigma} = 12,16 + 1,32 = 13,48 \text{ кВт}$$

Для врахування коливань зовнішньої температури, нерівномірності прогрівання секцій, пускового режиму та експлуатаційного запасу вводимо коефіцієнт запасу 1,15.

Тоді розрахункова теплова потужність системи обігріву:

$$Q_{\text{розр}} = 1,15 \cdot Q_{\Sigma}$$
$$Q_{\text{розр}} = 1,15 \cdot 13,48 = 15,49 \text{ кВт}$$

Отже, для надійного обігріву прийнятої теплиці потрібна теплова потужність близько 15,49 кВт.

Перевіряємо відповідність цієї потреби характеристикам прийнятої теплоенергетичної установки. Номінальна теплова потужність установки становить:

$$Q_{\text{уст}} = 20 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт запасу потужності установки:

$$k_{\text{зап}} = \frac{Q_{\text{уст}}}{Q_{\text{розр}}}$$
$$k_{\text{зап}} = \frac{20}{15,49} = 1,29$$

Таким чином, прийнята піролізна установка має приблизно 29 % запасу потужності. Це свідчить про те, що вона є придатною для обігріву багатосекційної теплиці та може забезпечити: підтримання розрахункового температурного режиму; компенсацію тепловтрат у холодний період; швидший прогрів теплиці після нічного охолодження; стабільну роботу без перевантаження.

Слід зазначити, що хоча паспортний опалювальний об'єм установки є більшим, ніж об'єм теплиці, остаточну придатність теплогенератора слід оцінювати саме за тепловою потужністю, а не лише за об'ємом, оскільки

теплиця має значно більші питомі тепловтрати, ніж звичайне опалювальне приміщення.

3.2 Обґрунтування способу подачі теплоти, визначення витрати палива та режиму роботи теплоенергетичної установки

Для прийнятої багатосекційної теплиці найбільш раціональною є повітряно-конвективна схема обігріву. За цією схемою теплота від піролізної установки передається в теплицю шляхом нагрівання повітря, яке надалі надходить у головний розподільчий канал. Від нього виконуються відгалуження в кожен з чотирьох секцій. На кожному відгалуженні передбачаються регулювальні заслінки, що дозволяє змінювати інтенсивність подачі теплого повітря залежно від потреб окремої секції.

Така схема є доцільною з кількох причин. По-перше, вона конструктивно простіша, ніж водяна система з котлом і трубопроводами. По-друге, вона дає можливість швидко змінювати температуру в теплиці. По-третє, одна установка може обслуговувати всі секції одночасно, що зменшує металоємність системи та спрощує експлуатацію.

Годинну витрату палива визначаємо за формулою:

$$B = \frac{Q_{\text{розр}}}{\eta \cdot q_{\text{н}}}$$

де

$\eta = 0,80$ – орієнтовний ККД піролізної установки;

$q_{\text{н}}$ – нижча теплота згоряння палива.

Для сухих дров або біопалива деревного походження приймаємо:

$$q_{\text{н}} = 14 \text{ МДж/кг} = 3,89 \text{ кВт} \cdot \text{год/кг}$$

Тоді розрахункова годинна витрата палива становить:

$$B = \frac{15,49}{0,80 \cdot 3,89}$$

$$B = \frac{15,49}{3,112} = 4,98 \text{ кг/год}$$

Отже, у розрахунковому режимі для обігріву теплиці потрібно приблизно 4,98 кг сухого палива за годину.

Для порівняння визначимо витрату палива при роботі установки на номінальній потужності:

$$B_{\text{ном}} = \frac{20}{0,80 \cdot 3,89}$$

$$B_{\text{ном}} = \frac{20}{3,112} = 6,43 \text{ кг/год}$$

Ступінь використання номінальної потужності установки:

$$k_{\text{вик}} = \frac{Q_{\text{розр}}}{Q_{\text{уст}}}$$

$$k_{\text{вик}} = \frac{15,49}{20} = 0,775$$

Отже, в умовах розрахункового теплового навантаження установка працюватиме приблизно на 77,5 % своєї номінальної потужності. Це означає, що вона не буде перевантажена, але водночас досить повно використовуватиме свій теплотехнічний потенціал.

Орієнтовна витрата палива за 12-годинний нічний період становитиме:

$$B_{12} = 4,98 \cdot 12 = 59,76 \text{ кг}$$

Орієнтовна добова витрата палива за умови безперервної роботи:

$$B_{24} = 4,98 \cdot 24 = 119,52 \text{ кг}$$

Застосування чотирьох секцій у межах однієї теплиці підвищує ефективність використання теплогенератора. У кожній секції можуть вирощуватися різні культури, а регулювальні заслінки дають змогу перерозподіляти теплі потоки між зонами. Це створює умови для більш гнучкого використання теплової енергії та дає можливість пристосовувати тепловий режим до біологічних особливостей конкретної культури.

Таким чином, прийнята схема обігріву багатосекційної теплиці від піролізної теплоенергетичної установки є технічно обґрунтованою. Потужність установки 20 кВт є достатньою для покриття теплової потреби споруди, а повітряно-конвективна схема подачі теплоти забезпечує простоту конструкції, автономність роботи та зручність експлуатації в умовах фермерського господарства.

Висновки

У результаті визначено, що втрати теплоти через огорожувальні конструкції становлять 12,16 кВт, втрати на вентиляцію та інфільтрацію – 1,32 кВт, а загальна теплова потреба теплиці з урахуванням експлуатаційного запасу дорівнює 15,49 кВт.

Перевіркою встановлено, що прийнята піролізна теплоенергетична установка номінальною потужністю 20 кВт забезпечує необхідний тепловий режим теплиці та має запас потужності близько 29 %. Це підтверджує можливість її використання як централізованого джерела теплоти для чотирисекційної теплиці фермерського типу.

Розрахунком також встановлено, що орієнтовна витрата сухого палива у розрахунковому режимі становить 4,98 кг/год, а при роботі на номінальній потужності – 6,43 кг/год. Найбільш доцільною для даного об'єкта є повітряно-конвективна схема подачі теплоти через головний розподільчий канал з відгалуженнями в окремі секції теплиці.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Експлуатація багатосекційної теплиці з піролізною теплоенергетичною установкою пов'язана з дією комплексу виробничих чинників, які можуть негативно впливати на працівників у разі недотримання вимог безпеки. Особливістю даного об'єкта є поєднання тепличного мікроклімату, робіт із твердим паливом, джерела підвищеної температури, димовідвідної системи, вентиляції та допоміжного електрообладнання.

Одним із головних небезпечних чинників є підвищена температура в зоні розміщення теплоенергетичної установки. У процесі роботи нагріваються корпус установки, димовідвідний патрубок, поверхні навколо камери згоряння та прилеглі елементи повітряного каналу. Дотик до таких поверхонь може призвести до опіків, а надмірне теплове випромінювання - до погіршення самопочуття працівника під час обслуговування обладнання.

Іншим важливим чинником є наявність продуктів згоряння. За порушення герметичності з'єднань або недостатньої тяги в димоході існує небезпека потрапляння димових газів у робочу зону. Особливо небезпечним є накопичення оксиду вуглецю, який не має вираженого запаху, але може викликати отруєння. Саме тому система відведення димових газів повинна працювати надійно, а розміщення установки має виключати надходження продуктів згоряння в тепличний простір.

Під час завантаження, очищення та обслуговування установки працівник контактує з твердим паливом, золою та пилом. Це створює додаткове пилове навантаження, може подразнювати органи дихання та очі, а також підвищує ризик забруднення робочої зони. За наявності сирого або неоднорідного палива можливі нестійкість горіння, задимлення та підвищене утворення конденсату в газовідвідних каналах.

У теплиці небезпечними є також чинники, пов'язані з особливостями внутрішнього середовища. До них належать підвищена вологість повітря, можливе утворення слизьких ділянок на підлозі, конденсат на внутрішніх

поверхнях, сезонне підвищення температури в сонячні дні та недостатній повітрообмін за неефективної вентиляції. За таких умов зростає ризик перегрівання працівників, погіршення самопочуття, падіння або травмування при переміщенні по теплиці.

Не можна ігнорувати електробезпеку. Для роботи системи вентиляції, можливого приводу заслінок, освітлення та допоміжного обладнання використовується електроенергія. В умовах підвищеної вологості зростає ймовірність ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, використання несправних переносних приладів або відсутності заземлення металевих частин обладнання.

Під час експлуатації об'єкта можливі також механічні небезпеки: травмування при відкриванні люків, очищенні зольної камери, перенесенні палива, роботі з ручним інструментом, обслуговуванні повітропроводів та заслінок. Додатково слід враховувати пожежну небезпеку, оскільки одночасно наявні горючі матеріали, відкрите полум'я в топковій частині, гарячі поверхні та повітря підвищеної температури.

Отже, під час експлуатації теплиці з піролізною теплоенергетичною установкою основними небезпечними і шкідливими чинниками є: підвищена температура поверхонь і повітря; продукти згоряння палива; пил і зола; підвищена вологість; небезпека ураження електричним струмом; механічні травми під час обслуговування; ризик виникнення пожежі.

Урахування зазначених чинників є основою для розроблення безпечних умов праці та організації надійної експлуатації об'єкта.

4.1 Вимоги безпеки під час монтажу, обслуговування та експлуатації теплоенергетичної установки

Безпечна робота теплоенергетичної установки починається з правильного її розміщення. Для зниження пожежної небезпеки та запобігання потраплянню димових газів у теплицю установку доцільно розташовувати поза основним робочим об'ємом теплиці або в окремо виділеній прибудованій зоні, відокремленій від рослинницьких секцій. Основа під установку повинна бути

міцною, рівною та виконаною з негорючих матеріалів. Таке рішення забезпечує стійкість агрегату та зменшує ризик займання прилеглих конструкцій.

Під час монтажу особливу увагу слід приділяти герметичності димовідвідної системи, правильному приєднанню повітряних каналів і надійності кріплення елементів конструкції. Всі з'єднання повинні витримувати робочі температури без деформацій і підсмоктування повітря. Димохід має забезпечувати стійку тягу, а його проходження через конструкції повинно виключати перегрівання будівельних елементів. Металеві частини електрообладнання, вентиляторів та щитків керування підлягають заземленню.

Перед початком роботи необхідно перевірити: справність корпусу установки і люків; стан димаря і відсутність засмічень; справність повітряних каналів і заслінок; наявність тяги; відсутність сторонніх горючих предметів біля установки; справність електрообладнання та освітлення.

Під час експлуатації установку повинен обслуговувати працівник, який ознайомлений із принципом її дії, правилами завантаження палива, особливостями регулювання повітряного режиму та діями в аварійних ситуаціях. Завантаження палива необхідно виконувати обережно, не допускаючи випадання жару або потрапляння сторонніх предметів у топкову частину. Завантажувальний люк після подачі палива повинен бути щільно закритий.

Очищення зольної камери й видалення золи дозволяється проводити лише після зниження температури до безпечного рівня. Зола слід збирати в металеву тару з кришкою та виносити в спеціально відведене місце. Забороняється висипати гарячу золу безпосередньо на ґрунт, у пластикові ємності або поблизу горючих матеріалів.

Обслуговування теплиці в зимовий і перехідний періоди повинно здійснюватися з урахуванням мікрокліматичних навантажень на працівника.

Тривале перебування в зоні високої температури поблизу установки слід обмежувати, а роботи з підвищеним тепловим впливом виконувати з перервами. Працівники повинні бути забезпечені спецодягом, робочими рукавицями, захисним взуттям, а під час очищення від пилу і золи - засобами захисту органів дихання та очей.

Особливу увагу потрібно приділяти утриманню проходів і робочих місць. У багатосекційній теплиці проходи між секціями, дверні отвори та ділянки поблизу повітряних каналів мають бути вільними від сторонніх предметів, мішків із паливом, тари, інструменту та рослинних залишків. Підлога або настили повинні бути рівними й неслизькими, а за появи конденсату чи розливу води їх слід негайно очищати.

Таким чином, безпечна експлуатація теплоенергетичної установки забезпечується правильним монтажем, технічно справним станом обладнання, дотриманням правил завантаження й очищення, наявністю інструктажу для працівників та систематичним контролем стану димовідвідних і повітророзподільних елементів.

4.2 Пожежна безпека при використанні піролізної теплоенергетичної установки

Під час експлуатації твердопаливної піролізної установки пожежна безпека є одним із ключових напрямів охорони праці. Джерелом небезпеки виступають відкрите полум'я в камері згоряння, високотемпературні гази, розжарені поверхні, тліючі частинки палива та зола. Крім того, в теплиці й поблизу неї можуть накопичуватися горючі матеріали - сухі рослинні залишки, дерев'яна тара, пакувальні матеріали, мішки з паливом, що підвищує ризик виникнення пожежі.

Для запобігання пожежі установку слід експлуатувати тільки на спеціально підготовленому місці. Біля неї не допускається зберігання запасу палива, легкозаймистих рідин, мастил, полімерної тари та інших горючих матеріалів. Робоча зона навколо агрегату повинна регулярно очищатися від пилу, сміття, листя та рослинних залишків. Димохід, патрубки й канали

необхідно періодично оглядати та очищати від нагару і відкладень, оскільки їх накопичення погіршує тягу та підвищує ризик загоряння.

Для початкового розпалювання не допускається використання бензину, дизельного палива, розчинників чи інших легкозаймистих рідин. Розпалювання має проводитися лише безпечними засобами, передбаченими технологією експлуатації агрегату. У разі появи сильного задимлення, нестійкої тяги, іскріння в нетипових місцях або запаху димових газів установка повинна бути виведена з роботи до усунення несправності.

Поблизу місця встановлення обладнання обов'язково повинні бути первинні засоби пожежогасіння: порошковий або вуглекислотний вогнегасник, ящик із піском, совкова лопата. Працівник, який обслуговує теплогенератор, має знати місце їх розташування та порядок дій у разі загоряння. На видимому місці доцільно розмістити коротку інструкцію з пожежної безпеки та схему дій у разі аварійної ситуації.

У багатосекційній теплиці необхідно забезпечити безпечну евакуацію людей. Двері не повинні бути захаращені, проходи між секціями мають залишатися вільними, а розміщення повітряних каналів і внутрішнього обладнання не повинно ускладнювати вихід із теплиці. У разі пожежі необхідно негайно припинити подачу повітря до установки, за можливості локалізувати осередок загоряння на початковій стадії, повідомити відповідні служби та організувати безпечний вихід людей із небезпечної зони.

Отже, забезпечення пожежної безпеки під час експлуатації піролізної теплоенергетичної установки ґрунтується на правильному розміщенні обладнання, контролі технічного стану установки і димоходу, недопущенні накопичення горючих матеріалів, наявності вогнегасників та підготовленості персоналу до дій у разі виникнення пожежі.

4.3 Санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці в теплиці

Умови праці в теплиці визначаються поєднанням високої вологості, підвищеної температури, значної інтенсивності сонячного випромінювання в окремі періоди року та необхідності виконання ручних операцій із рослинами,

грунтом, поливом і підживленням. Тому важливим завданням є створення такого мікроклімату, який був би сприятливим не лише для рослин, а й для працівника.

Температура повітря в теплиці не повинна перевищувати значень, за яких виникає перегрівання людей під час роботи. У сонячний період для цього необхідно використовувати вентиляцію, а за потреби - часткове відкривання фрамуг або додатковий повітрообмін. У холодний період, навпаки, слід забезпечити рівномірний розподіл теплоти без локальних зон перегріву поблизу повітряних відгалужень або установки. Відносна вологість повинна підтримуватися в межах, які не викликають надмірного конденсаційного зволоження конструкцій і не погіршують самопочуття працівників.

Освітлення в теплиці має бути достатнім для виконання технологічних операцій, особливо під час ранкових, вечірніх або зимових робіт. За недостатнього природного освітлення слід використовувати допоміжні світильники безпечного виконання, придатні для роботи у вологому середовищі. Розміщення світильників має виключати можливість їх випадкового пошкодження при роботі в секціях.

Робочі місця повинні бути організовані з урахуванням ергономічних вимог. Під час вирощування рослин необхідно забезпечити зручний доступ до грядок, достатню ширину проходів, раціональне розміщення інвентарю та поливного обладнання. Зменшення кількості зайвих нахилів, перенесення важких вантажів і незручних робочих поз знижує ризик перевтоми й опорно-рухових порушень.

При роботі з добривами, засобами захисту рослин, золою, ґрунтовими субстратами та іншими сипкими матеріалами працівники повинні користуватися індивідуальними засобами захисту залежно від характеру операцій. У теплиці необхідно забезпечити наявність аптечки першої допомоги, ємності з питною водою, місця для санітарної обробки рук та умов для короткочасного відпочинку.

Отже, санітарно-гігієнічні умови праці в теплиці підтримуються за рахунок правильно організованої вентиляції, рівномірного обігріву, належного освітлення, безпечного електрообладнання, раціонального розміщення проходів та забезпечення працівників необхідними засобами індивідуального захисту.

4.4 Заходи щодо охорони навколишнього середовища

Експлуатація теплиці з піролізною теплоенергетичною установкою повинна здійснюватися з урахуванням вимог екологічної безпеки. Основними напрямками природоохоронних заходів у даному випадку є зменшення викидів продуктів згоряння, раціональне використання палива, належне поводження із золою та іншими відходами, а також зниження непродуктивних втрат теплоти.

Піролізний принцип спалювання дозволяє повніше використовувати енергетичний потенціал біопалива порівняно з простими схемами горіння. За правильно налагодженого режиму це сприяє зменшенню задимленості, зниженню кількості недопалених частинок та підвищенню паливної ефективності. Для забезпечення такого режиму необхідно використовувати паливо допустимої вологості, регулярно очищати газові канали й контролювати стан димовідвідної системи.

Зола, що утворюється після згоряння палива, не повинна викидатися безсистемно. Її слід збирати окремо після повного охолодження. За відповідних умов вона може використовуватися як допоміжний матеріал для господарських потреб або вивозитися у відведені місця. Неприпустимим є змішування гарячої золи з побутовими відходами, полімерними матеріалами чи викидання її на ділянки, де це може призвести до забруднення або займання.

Раціональне використання теплової енергії є також важливою умовою екологічності. Чим менші тепловтрати через огорожувальні конструкції й повітрообмін, тим нижча витрата палива, а отже й менше навантаження на навколишнє середовище. Саме тому важливими є герметичність конструкцій,

раціональне регулювання заслінок, правильне секціонування теплиці та використання теплоти відповідно до реальної потреби секцій.

Під час експлуатації теплиці необхідно стежити за раціональним використанням води для поливу, не допускати її безконтрольного витоку й вторинного заболочування ґрунту в межах споруди. За можливості доцільно застосовувати регульоване зрошення, що забезпечує економне водокористування та підтримання оптимальної вологості ґрунту.

Таким чином, екологічна безпечність проєктованого рішення досягається завдяки використанню більш ефективного піролізного спалювання, контролю режиму роботи установки, економному використанню палива й води, безпечному поводженню з золою та зменшенню тепловтрат теплиці.

Висновки

Обґрунтовано основні вимоги безпеки під час монтажу, завантаження, очищення та обслуговування установки, а також визначено заходи пожежної безпеки, які передбачають правильне розміщення агрегату, контроль стану димоходу, використання первинних засобів пожежогасіння та дотримання безпечного порядку експлуатації.

Розглянуто санітарно-гігієнічні вимоги до умов праці в теплиці, що стосуються мікроклімату, освітлення, організації проходів, використання засобів індивідуального захисту та забезпечення працівників безпечними умовами виконання технологічних операцій.

Встановлено, що дотримання наведених заходів охорони праці та екологічної безпеки дає можливість забезпечити надійну та безпечну експлуатацію багатосекційної теплиці з піролізною теплоенергетичною установкою в умовах фермерського господарства.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ПРОЕКТУ

Економічна доцільність запропонованого рішення визначається шляхом порівняння двох варіантів обігріву багатосекційної теплиці розмірами 12,0 × 4,1 м. Базовим варіантом приймається електричний обігрів теплиці за допомогою тепловентиляторів і електронагрівальних приладів сумарною потужністю, достатньою для підтримання розрахункового температурного режиму. Проектним варіантом є обігрів тієї самої теплиці за допомогою піролізної теплоенергетичної установки номінальною потужністю 20 кВт із подачею теплого повітря в чотири секції.

Для економічного розрахунку приймаємо: площа теплиці – 49,2 м²; розрахункова теплова потреба теплиці – 15,49 кВт; тривалість опалювального періоду – 180 діб; середня тривалість роботи системи обігріву – 8 год/добу; річний фонд роботи установки:

$$T = 180 \cdot 8 = 1440 \text{ год/рік}$$

тариф на електроенергію для розрахунку приймаємо умовно:

$$c_{\text{ел}} = 6,5 \text{ грн/кВт}\cdot\text{год};$$

вартість твердого біопалива приймаємо умовно:

$$c_{\text{пал}} = 4500 \text{ грн/т};$$

ККД піролізної установки:

$$\eta = 0,80$$

До капітальних вкладень за проектним варіантом відносимо вартість піролізної теплоенергетичної установки, димоходу, головного повітророзподільного каналу, відгалужень у секції, регулювальних заслінок, монтажних матеріалів та витрат на монтаж. За базовим варіантом враховуються витрати на електричні тепловентилятори, кабельну мережу, автоматику та монтаж.

Загальна сума капітальних вкладень визначається за формулою:

$$K = \sum K_i$$

Таблиця 5.1 – Капітальні вкладення за варіантами обігріву теплиці

витрат	Базовий варіант, грн	Проектний варіант, грн
Джерело теплоти	24 000	78 000
Димохід	—	9 000
Повітророзподільний канал і відгалуження	—	18 000
Заслінки, арматура, кріплення	—	7 000
Кабельна мережа та електрообладнання	12 000	8 000
Монтажні роботи	12 000	15 000
Разом	48 000	135 000

Отже, капітальні вкладення становлять:

за базовим варіантом – $K_6 = 48000$ грн

за проектним варіантом – $K_{\pi} = 135000$ грн

Додаткові капітальні вкладення при впровадженні проектного рішення:

$$\Delta K = K_{\pi} - K_6$$

$$\Delta K = 135000 - 48000 = 87000 \text{ грн}$$

Базовий варіант.

Для електричного обігріву річне споживання електроенергії визначаємо за формулою:

$$W_{\text{ел}} = Q_{\text{розр}} \cdot T$$

$$W_{\text{ел}} = 15,49 \cdot 1440 = 22305,6 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Річні витрати на електроенергію:

$$C_{\text{ел}} = W_{\text{ел}} \cdot c_{\text{ел}}$$

$$C_{\text{ел}} = 22305,6 \cdot 6,5 = 144986,4 \text{ грн}$$

$$C_{\text{ел}} \approx 144986 \text{ грн}$$

Амортизаційні відрахування за базовим варіантом при нормі 10 %:

$$A_{\text{б}} = 0,10 \cdot K_{\text{б}}$$

$$A_{\text{б}} = 0,10 \cdot 48000 = 4800 \text{ грн}$$

Витрати на поточне технічне обслуговування і ремонт приймаємо 4 % від вартості обладнання:

$$R_{\text{б}} = 0,04 \cdot K_{\text{б}}$$

$$R_{\text{б}} = 0,04 \cdot 48000 = 1920 \text{ грн}$$

Тоді загальні річні експлуатаційні витрати за базовим варіантом:

$$E_{\text{б}} = C_{\text{ел}} + A_{\text{б}} + R_{\text{б}}$$

$$E_{\text{б}} = 144986 + 4800 + 1920 = 151706 \text{ грн}$$

Проектний варіант.

У третьому розділі було визначено, що годинна витрата твердого палива для піролізної установки становить 4,98 кг/год. Тоді річна витрата палива:

$$B_{\text{р}} = B_{\text{г}} \cdot T$$

$$B_{\text{р}} = 4,98 \cdot 1440 = 7171,2 \text{ кг/рік} = 7,17 \text{ т/рік}$$

Річні витрати на паливо:

$$C_{\text{пал}} = B_{\text{р}} \cdot c_{\text{пал}}$$

$$C_{\text{пал}} = 7,1712 \cdot 4500 = 32270,4 \text{ грн}$$

$$C_{\text{пал}} \approx 32270 \text{ грн}$$

Для роботи допоміжного вентилятора і електрообладнання приймаємо встановлену потужність 0,25 кВт. Річне споживання електроенергії допоміжним обладнанням:

$$W_{\text{доп}} = 0,25 \cdot 1440 = 360 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість цієї електроенергії:

$$C_{\text{доп}} = 360 \cdot 6,5 = 2340 \text{ грн}$$

Для завантаження палива, очищення зольної камери та поточного обслуговування установки приймаємо додаткові витрати на оплату праці:

$$Z_{\text{п}} = 14400 \text{ грн/рік}$$

Амортизаційні відрахування для проєктного варіанта:

$$A_{\text{п}} = 0,10 \cdot K_{\text{п}}$$

$$A_{\text{п}} = 0,10 \cdot 135000 = 13500 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт і технічне обслуговування установки приймаємо 3 % від її вартості:

$$R_{\Pi} = 0,03 \cdot K_{\Pi}$$

$$R_{\Pi} = 0,03 \cdot 135000 = 4050 \text{ грн}$$

Загальні річні експлуатаційні витрати за проєктним варіантом:

$$E_{\Pi} = C_{\text{пал}} + C_{\text{доп}} + Z_{\Pi} + A_{\Pi} + R_{\Pi}$$

$$E_{\Pi} = 32270 + 2340 + 14400 + 13500 + 4050 = 66560 \text{ грн}$$

Порівняння варіантів та визначення річного економічного ефекту

Для оцінки доцільності впровадження проєктного рішення порівнюємо річні експлуатаційні витрати за двома варіантами.

Таблиця 5.2

Річні експлуатаційні витрати за варіантами обігріву

Показник	Базовий варіант, грн/рік	Проєктний варіант, грн/рік
Витрати на енергоносії	144 986	32 270
Витрати на допоміжну електроенергію	—	2 340
Оплата праці обслуговування	—	14 400
Амортизаційні відрахування	4 800	13 500
Поточний ремонт і обслуговування	1 920	4 050
Разом	151 706	66 560

Річна економія експлуатаційних витрат:

$$\Delta E = E_6 - E_{\Pi}$$

$$\Delta E = 151706 - 66560 = 85146 \text{ грн/рік}$$

$$E_{\text{ек}} = 85146 \text{ грн/рік}$$

Строк окупності додаткових капітальних вкладень визначаємо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = \frac{\Delta K}{E_{\text{ек}}}$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{87000}{85146} = 1,02 \text{ року}$$

Коефіцієнт економічної ефективності додаткових капітальних вкладень:

$$E_{\text{н}} = \frac{E_{\text{ек}}}{\Delta K}$$

$$E_{\text{н}} = \frac{85146}{87000} = 0,98 \text{ рік}^{-1}$$

Отримані результати свідчать про високу економічну доцільність проєктного рішення. Строк окупності становить близько одного року, що є прийнятним показником для теплотехнічного обладнання фермерського господарства. Основний економічний ефект досягається за рахунок суттєвого зниження витрат на енергоносії при переході від електричного обігріву до піролізної теплоенергетичної установки, яка працює на твердому паливі.

Показник	Базовий варіант	Проектний варіант
Тип системи обігріву	Електричний обігрів	Піролізна теплоенергетична установка
Площа теплиці, м ²	49,2	49,2
Внутрішній об'єм теплиці, м ³	109,22	109,22
Розрахункова теплова потреба, кВт	15,49	15,49

Номінальна потужність джерела теплоти, кВт	15,49*	20,0
Річне споживання електроенергії, кВт·год	22305,6	360,0
Річна витрата твердого палива, т	—	7,17
Капітальні вкладення, грн	48000	135000
Амортизаційні відрахування, грн/рік	4800	13500
Поточний ремонт і обслуговування, грн/рік	1920	4050
Витрати на енергоносії, грн/рік	144986	32270
Витрати на допоміжну електроенергію, грн/рік	—	2340
Витрати на оплату праці обслуговування, грн/рік	—	14400
Загальні річні експлуатаційні витрати, грн/рік	151706	66560
Річний економічний ефект, грн	—	85146
Додаткові капітальні вкладення, грн	—	87000
Строк окупності, року	—	1,02

Висновки

Установлено, що капітальні вкладення за проєктним варіантом становлять 135 тис. грн, тоді як для базового електричного варіанта вони дорівнюють 48 тис. грн. Додаткові вкладення на впровадження проєктного рішення становлять 87 тис. грн. Розрахунок річних експлуатаційних витрат показав, що за базового електричного обігріву вони становлять 151706 грн/рік, тоді як за використання піролізної теплоенергетичної установки – 66560 грн/рік. Це забезпечує річний економічний ефект у розмірі 85146 грн. Строк окупності додаткових капітальних вкладень становить 1,02 року, що свідчить про економічну доцільність запропонованого рішення. Таким чином, впровадження системи обігріву багатосекційної теплиці на основі піролізної теплоенергетичної установки є технічно виправданим і економічно ефективним для умов фермерського господарства.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз підтвердив, що для умов господарства вирощування продукції в закритому ґрунті є перспективним напрямом, а забезпечення стабільного температурного режиму є однією з головних передумов ефективного функціонування теплиці.
2. Проаналізовано виробничу діяльність господарства, його матеріально-технічну базу, спеціалізацію та умови функціонування тепличного напрямку. Встановлено, що використання теплиці є доцільним для вирощування розсади та овочевої продукції, а вдосконалення системи її обігріву дозволяє підвищити ефективність роботи тепличного господарства.
3. Виконано аналіз конструкцій сучасних теплиць, розглянуто способи створення і підтримання мікроклімату, а також проведено порівняння систем обігріву споруд закритого ґрунту. За результатами аналізу встановлено, що для умов фермерського господарства найбільш доцільною є повітряно-конвективна схема теплопостачання на основі твердопаливної піролізної установки, яка поєднує автономність роботи, конструктивну простоту та можливість використання доступного палива.
4. Для узгодження характеристик прийнятої теплоенергетичної установки з параметрами об'єкта теплопостачання в проєкті прийнято багатосекційну теплицю розмірами $12,0 \times 4,1$ м із висотою в конику 2,5 м, поділену на чотири секції. Загальна площа забудови теплиці становить $49,2 \text{ м}^2$, а її внутрішній об'єм $-109,22 \text{ м}^3$. Таке рішення дає можливість вирощувати кілька культур одночасно та ефективніше використовувати теплотехнічні можливості установки.
5. Визначено основні геометричні параметри теплиці та встановлено, що загальна площа її огорожувальних конструкцій дорівнює $115,76 \text{ м}^2$. Проведений теплотехнічний розрахунок показав, що втрати теплоти через огорожувальні конструкції становлять $12,16 \text{ кВт}$, втрати на

вентиляцію та інфільтрацію -1,32 кВт, а загальна розрахункова потреба теплиці в тепловій потужності з урахуванням експлуатаційного запасу становить 15,49 кВт.

6. Перевіркою встановлено, що прийнята піролізна теплоенергетична установка номінальною потужністю 20 кВт забезпечує необхідний температурний режим багатосекційної теплиці та має запас потужності близько 29 %. Це свідчить про технічну можливість і доцільність її використання як централізованого джерела теплоти для чотирьох секцій теплиці.
7. Обґрунтовано, що найбільш раціональною для даного об'єкта є повітряно-конвективна схема обігріву, за якої нагріте в установці повітря подається в загальний розподільчий канал, а далі через відгалуження надходить у кожен секцію теплиці. Така схема забезпечує простоту конструкції, зручність експлуатації та можливість часткового регулювання подачі теплоти за секціями.
8. У результаті розрахунків встановлено, що за розрахункового режиму роботи орієнтовна витрата твердого палива становить 4,98 кг/год, а при роботі установки на номінальній потужності -6,43 кг/год. Це підтверджує, що прийнята теплоенергетична установка працює в раціональному режимі без перевантаження та може ефективно використовуватися в умовах фермерського господарства.
9. У розділі з охорони праці визначено основні небезпечні та шкідливі чинники, які супроводжують експлуатацію багатосекційної теплиці з піролізною установкою, зокрема підвищену температуру поверхонь, продукти згоряння, підвищену вологість, пожежну небезпеку, електричні та механічні ризики. Запропоновано комплекс технічних і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації обладнання та створення належних умов праці.
10. Техніко-економічне обґрунтування показало, що капітальні вкладення за проєктним варіантом становлять 135 тис. грн, тоді як за базовим

варіантом -48 тис. грн. Разом із тим річні експлуатаційні витрати за базового електричного обігріву становлять 151706 грн, а за використання піролізної теплоенергетичної установки -66560 грн. Річний економічний ефект від упровадження проєктного рішення становить 85146 грн.

- 11.Строк окупності додаткових капітальних вкладень дорівнює 1,02 року, що свідчить про високу економічну ефективність запропонованого рішення. Отже, застосування піролізної теплоенергетичної установки для обігріву багатосекційної теплиці є технічно обґрунтованим, економічно доцільним і може бути рекомендоване для використання в умовах фермерських господарств.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сич З. Д., Бобось І. М., Федосій І. О. Овочівництво : навч. посіб. Київ : ЦП «Компринт», 2018. 406 с.
2. Яровий Г. І., Романов О. В. Овочівництво : навч. посіб. Харків : ХНАУ, 2017. 376 с.
3. Войналович О. В., Марчишина Є. І., Білько Т. О. Охорона праці у сільському господарстві : навч. підруч. Київ : Центр учбової літератури, 2018. 690 с.
4. Голуб Г. А., Кухарець С. М., Марус О. А., Павленко М. Ю., Сера К. М., Чуба В. В. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві : навч. посіб. / за ред. Г. А. Голуба. Київ : НУБіП України, 2017. 229 с.
5. Скидан О. В., Голуб Г. А., Кухарець С. М., Ярош О. Д., Чуба В. В., Медведський О. В., Цивенкова Н. М., Соколовський О. Ф., Кухарець В. В. Відновлювана енергетика в аграрному виробництві : навч. посіб. / за ред. О. В. Скидана і Г. А. Голуба. Київ-Житомир : НУБіП України-ЖНАЕУ, 2018. 320 с.
6. Голуб Г. А., Цивенкова Н. М., Марус О. А., Павленко М. Ю., Яременко О. А. Машини та обладнання для біоенергетики : навч. посіб. / за ред. Г. А. Голуба. Київ : НУБіП України, 2022. 203 с.
7. Арестов О. О. та ін. Альтернативні джерела енергії у підвищенні енергоефективності та енергонезалежності сільських територій : колект. монографія / за ред. І. О. Яснолоб, Т. О. Чайки, О. О. Горба. Полтава : ПП «Астроя», 2019. 275 с.
8. Choab N., Allouhi A., El Maakoul A., Kousksou T., Saadeddine S., Jamil A. Review on greenhouse microclimate and application: Design parameters, thermal modeling and simulation, climate controlling technologies. Solar Energy. 2019. Vol. 191. P. 109–137. DOI 10.1016/j.solener.2019.08.042.
9. Shamshiri R. R., Bojic I., van Henten E., Balasundram S. K., Dworak V., Sultan M., Weltzien C. Model-based evaluation of greenhouse microclimate

- using IoT-Sensor data fusion for energy efficient crop production. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 263. Art. 121303. P. 1–17. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.121303.
10. Huang T., Li H., Zhang G., Xu F. Experimental Study on Biomass Heating System in the Greenhouse: A Case Study in Xiangtan, China. *Sustainability*. 2020. Vol. 12, no. 14. Art. 5673. DOI 10.3390/su12145673.
11. Ali A., Iqbal T., Cheema M. J. M., Afzal A., Yasin M., Haq Z. U., Malik A. M., Khan K. S. Development of a Low-Cost Biomass Furnace for Greenhouse Heating. *Sustainability*. 2021. Vol. 13, no. 9. Art. 5152. DOI 10.3390/su13095152.
12. Zhang C., Zou D., Huang X., Wu Y. Study on hot air heating characteristics of greenhouse in cold region. *Frontiers in Energy Research*. 2023. Vol. 11. Art. 1038182. DOI 10.3389/fenrg.2023.1038182.
13. Yang Q., Han F., Chen Y., Yang H., Chen H. Greenhouse gas emissions of a biomass-based pyrolysis plant in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016. Vol. 53. P. 1580–1590. DOI 10.1016/j.rser.2015.09.049.

ДОДАТКИ

Обґрунтування використання теплоенергетичної установки для обігріву теплиці

Демонстраційний матеріал до дипломного проєкту освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: групи АІ-1-22
Тимбай Юрій Юрійович

Керівник: к.т.н., доцентка
Сокол Сергій Петрович

Дніпро 2026



