

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розробка автоматизованої системи управління тепличним
комплексом

Виконав(ла): студент(ка) IV курсу, групи КА-41
спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-

інтегровані технології

(шифр і назва спеціальності)

	Худецький Н.А.
(підпис)	Назаревич Б.В.
	(прізвище та ініціали)
Керівник	Дмитрів О.Р.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	Савків В.Б.
(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Титульний слайд
Актуальність роботи
Завдання роботи
Основна частина
Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2024	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2024-24.05.2024	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2024-27.05.2024	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2024-29.05.2024	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2024-31.05.2024	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2024-11.06.2024	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2024-13.06.2024	Виконано
8.		14.06.2024-15.06.2024	Виконано
9.		16.06.2024-17.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2024-20.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Худецький Н.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дмитрів О.Р.

(прізвище та ініціали)

Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	Сенчишин В.С., доцент кафедри МТ		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	20.05.2024	Виконано
2.	Підбір джерел по темі роботи	22.05.2024-24.05.2024	Виконано
3.	Опрацювання публікацій та збір даних по темі роботи	24.05.2024-27.05.2024	Виконано
4.	Виконання роботи згідно мети	27.05.2024-29.05.2024	Виконано
5.	Оформлення першого та другого розділів	29.05.2024-31.05.2024	Виконано
6.	Оформлення третього розділу	31.05.2024-11.06.2024	Виконано
7.	Оформлення четвертого розділу	11.06.2024-13.06.2024	Виконано
8.		14.06.2024-15.06.2024	Виконано
9.		16.06.2024-17.06.2024	Виконано
10.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2024-19.06.2024	Виконано
11.	Нормоконтроль	19.06.2024-20.06.2024	Виконано
12.	Перевірка на плагіат	21.06.2024	Виконано
13.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	21.06.2024	Виконано
14.	Захист кваліфікаційної роботи		

Студент

(підпис)

Назаревич Б.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Дмитрів О.Р.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ця робота містить огляд літератури про тепличні системи та допомагає визначити найбільш переважні характеристики теплиці для різних кліматичних умов та умов експлуатації. Дані щодо відповідних властивостей покривних матеріалів та порівняння кількох облицювальних матеріалів були широко обговорені. Представлено процес вибору форми та орієнтації теплиці для різних кліматичних умов, а також зроблено порівняння між кількома формами та орієнтаціями. У цьому документі також досліджуються існуючі теплові моделі та засоби моделювання, які використовуються для оптимізації теплових умов експлуатації теплиці. Крім того, представлено багато останніх досліджень, де теплиці поєднуються з декількома системами для забезпечення сприятливого мікроклімату для сільськогосподарських культур в умовах екстремального, тропічного та субтропічного клімату. Нарешті, також обговорюються інші застосування, такі як тепличні сушарки та опріснення морської води в теплицях. Також в роботі розроблено систему керування мікрокліматом тепличного господарства.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Загальна характеристика застосування тепличного господарства	8
1.2 Матеріали для покриття теплиць.....	9
1.3 Вплив конденсації та накопичення пилу на світлопроникність	14
1.4 Укривні матеріали і мікроклімат в теплиці	16
2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА	30
2.1 Моделювання та температурний розрахунок тепличного господарства ..	30
2.2. Конструкція теплиці	35
2.3. Обчислювальна гідродинаміка теплиці	40
2.4. Програмне забезпечення для моделювання та оптимізації конструкції і систем керування тепличними господарствами	42
2.5 Розробка автоматизованої системи моніторингу параметрів мікроклімату в теплиці	61
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	67
3.1. Математичне моделювання теплиці.....	67
3.2 Застосування теплиць як сушарок.....	70
3.3 Опріснення морської води в теплицях.....	75
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	78
4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням	78
4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт	83

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування.....	85
4.4 Розрахунок захисного заземлення.....	86
ВИСНОВКИ.....	93
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	Ошибка! Закладка не определена.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

APTRCMW активно-пасивна потрійна фазова зміна матеріалу стінки
CFD Обчислювальна гідродинаміка
CSG Китайські сонячні теплиці
GSHP Китайська система ґрунтових теплових насосів
CPC Складний параболічний концентратор
СТ Концентрація теплової енергії
DO модель випромінювання з дискретними ординатами
EAHE теплообмінник земля-повітря
EHS Електрична система опалення
IR Інфрачервоне випромінювання
IR+PE Поглинач інфрачервоного випромінювання поліетиленовий
LDPE Поліетиленові плівки низької щільності
NIR ближній інфрачервоний спектр випромінювання
PCM Фазозмінні матеріали
PO плавленого кварцового скла та поліолефіну
PVC полівінілхлорид
RNG Група ре-нормалізації (модель турбулентності)
SHS Сонячна система опалення
SWHS сонячна система підігріву води
UV Ультрафіолетовий
UV+PE Поліетилен, стабілізований ультрафіолетом
VPVC Рожева флуоресцентна на основі полівінілхлориду

ВСТУП

Теплиця - це споруда, яка за допомогою сонячного випромінювання створює сприятливий мікроклімат для росту рослин. Він виготовлений з прозорого середовища для падаючого короткохвильового випромінювання. Теплична система повинна захищати рослини від зовнішнього середовища, щоб сприяти росту культур і підвищувати продуктивність і якість.

Компоненти, які беруть участь у проектуванні теплиці, це: матеріал обшивки, форма та орієнтація, а також технічне обладнання, необхідне для контролю мікроклімату всередині теплиці.

Розуміння тепличного мікроклімату та його характеристик має вирішальне значення для підтримки його оптимальних умов експлуатації протягом різних періодів росту рослин. Для побудови життєздатної фізичної моделі вкрай важливо мати точну оцінку сонячної радіації, коефіцієнтів масопередачі та коефіцієнтів теплопередачі, оскільки ці параметри суттєво впливають на парникову енергію та баланс маси.

Працюючи при оптимальній температурі на кожному етапі вирощування культури, теплиця може легко виробляти більшу кількість врожаю поза періодом вегетації культури. Для цього слід використовувати відповідну техніку нагрівання або охолодження. Вищі температури внутрішнього повітря необхідні для максимального росту рослин у холодну погоду, чого можна досягти, підтримуючи парниковий ефект або використовуючи будь-яку відповідну технологію опалення. Навпаки, у відносно жаркому кліматі парниковий ефект необхідний лише протягом короткого періоду, який становить близько двох-трьох місяців, тоді як протягом решти місяців потрібні інші відповідні системи охолодження.

Тепличні системи мають кілька застосувань, таких як: рослинництво, сушіння врожаю, аквакультура, соляризація ґрунту та птахівництво.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальна характеристика застосування тепличного господарства

Історично процес сушіння широко використовувався багатьма народами і цивілізаціями для захисту і збереження продуктів харчування якомога довше.

Цей широко відомий метод ґрунтується на природному нагріванні продукту з метою видалення вологи.

Цей метод має численні переваги, такі як простота конструкції та низька вартість. Сонячна технологія сушіння в теплицях - це рішення, яке дозволяє виробляти овочі та фрукти в гігієнічних і здорових умовах з майже нульовими витратами енергії. Крім того, технологія сонячного сушіння використовується для сушіння сільськогосподарської продукції, морепродуктів та лікарських рослин.

Метод сушіння на відкритому сонці не відповідає міжнародним стандартам якості. Сонячні сушарки призначені для підвищення якості висушених культур. Вона була впроваджена для двох режимів процесу, а саме для двох режимів процесу, а саме природного та примусового.

Основна ідея природного методу збереження рослин полягає в наступному нагріванні за допомогою сонячної енергії, що призводить до явища масопереносу. Теплове моделювання відіграє важливу роль у досконалому проектуванні та вдосконаленні тепличних сушарок.

Метою цієї роботи було провести огляд розробок і досліджень, при використанні тепличних господарств, розробка системи керування тепличним господарством, що має важливе значення для подальшого вдосконалення цієї технології.

Розглянемо компоненти, які визначають конструктивні параметри тепличного господарства, вони представлені на рис. 1.1.

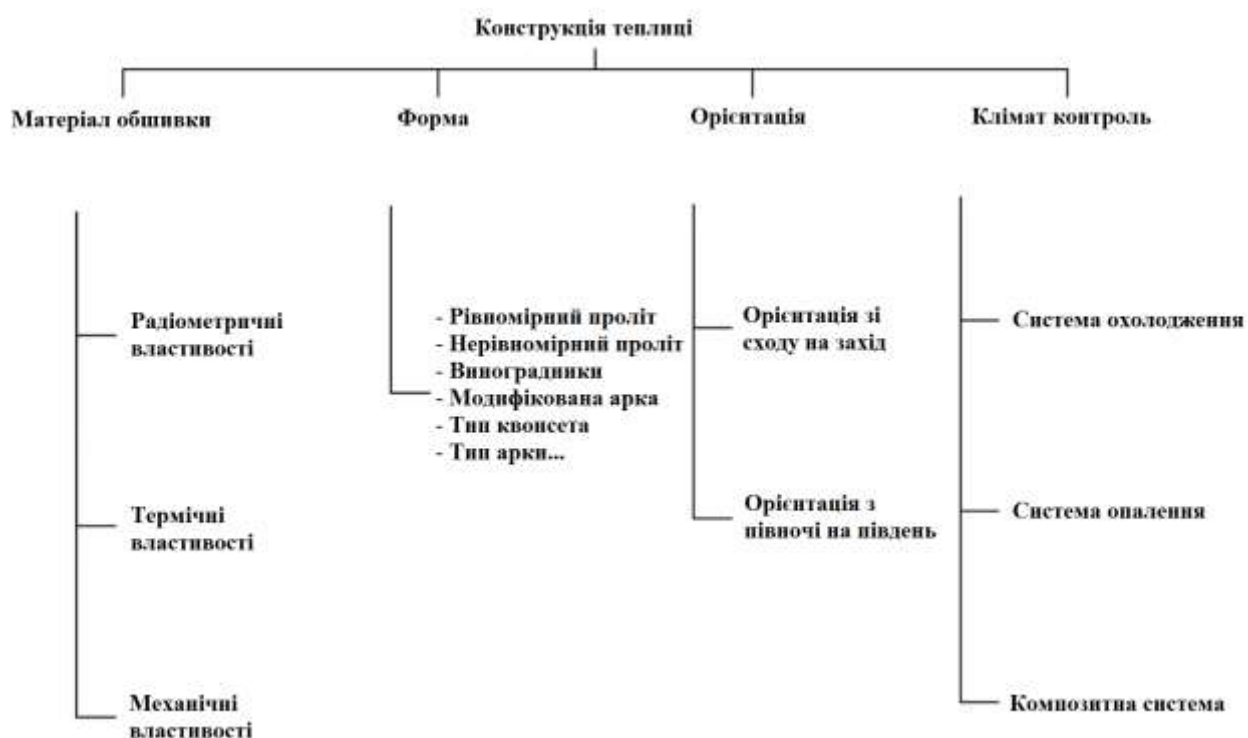


Рисунок 1.1 - Компоненти конструкції теплиці.

Ключові параметри конструкції, які використовуються для характеристики загальної продуктивності тепличних систем, такі як облицювальні матеріали, форма, орієнтація та теплове моделювання, а також застосування системи керування параметрами мікроклімату є важливими параметрами при оптимізації роботи господарства з метою економії та ефективного використання енергоресурсів.

1.2 Матеріали для покриття теплиць

Теплиці можна будувати з використанням різних укривних матеріалів. Часто зустрічаються одинарні, подвійні склопакети, пластикові листи та плівки або комбінації цих матеріалів. Вибір відповідних матеріалів має бути сумісним із структурними та функціональними аспектами теплиці.

Радіометричні властивості

Короткохвильове сонячне випромінювання дуже важливе для росту рослин. Фотосинтетично активне випромінювання (0,4–0,7 мкм) відповідає за

явище фотосинтезу, який є основним процесом для росту рослин, тоді як інший спектр важливий для транспірації культур. Короткохвильове випромінювання має важливе значення в тепловому моделюванні та має бути включене в енергетичний баланс парника.

В результаті проведеного огляду літературних джерел було проаналізовано основні дослідження щодо аналізу форми теплиць для покращення ефективності їх застосування. Результати приведені в таблиці 1.1 та 1.2.

Таблиця 1.1

Результати огляду основних досліджень, які були проведені щодо форми теплиці.

Ресурс	Порівняння форм теплиць	Результат дослідження
1	2	3
Сеті [1]	рівнопролітна, нерівнопролітна, виноградна, модифікована арка та квонсетний тип	що теплиця з нерівномірним прольотом отримує максимум, а теплиця з квадратним прольотом - мінімум сонячної радіації протягом кожного місяця року на всіх широтах
Мобтейкер [2]	нерівномірний проліт, рівний проліт, однопролітний, лозовий, квонсетний та арочний тип	однопролітна теплиця, орієнтована зі сходу на захід, була визнана оптимальною формою
Чакір і Шахін [3]	рівнопролітні, нерівнопролітні, виноградна лоза, напівкруглі та еліптичні	Еліптична геометрія показала найкращі результати в усіх розглянутих випадках.

Продовження таблиці 1.1

1	2	3
Гупта і Чандра [4]	Квонсет, фронтон і готична арка	форма арки, вимагає меншої потреби в опаленні, ніж квонсет і двосхилі форми
Сінгх [5]	стандартний піковий рівний проліт, стандартний піковий нерівний проліт, виноградна лоза, арка і квонсет	стандартний піковий нерівномірний проліт, як видається, забезпечує найкращі енергетичні показники

У багатьох цих роботах обговорено характеристики природного світла та їх вплив на тепличне середовище.

Автори Кіттас і Бейл [9] виміряли спектрально-радіометричні властивості кількох обшивок теплиць за допомогою спектрорадіометра з інтегруючою сферою. Було помічено, що співвідношення червоного/дальнього червоного випромінювання збільшилося для флуоресцентного матеріалу порівняно з класичною плівкою, тоді як воно зменшилося для кольорових.

Таблиця 1.2

Дослідження, які були проведені щодо орієнтації теплиці.

Ресурс	Знайдено бажану орієнтацію	Обґрунтування/пояснення
1	2	3
Сеті [1]	Орієнтація схід-захід на всіх висотах	Ця орієнтація отримує більше випромінювання взимку, але менше влітку, за винятком екватора.

Продовження таблиці 1.2

1	2	3
Драгічевич [6]	Орієнтація схід-захід	Слід надавати перевагу східній орієнтації, оскільки вона отримує менше сонячної радіації літня з невеликими відмінностями в отриманні сонячної радіації в зимові місяці
Ель-Маглан [7]	Орієнтація схід-захід	здатність отримувати більше сонячної радіації завдяки чому досягається накопичення більшої кількості тепла
Чандра [4]	Орієнтація схід-захід	зменшення опалювального навантаження
Брун і де Вільє [8]	Орієнтація північно-східна	Оптимальне використання ґрунту, захист теплиці від вітру.
Гупта і Чандра [4]	Переміщення на 45° з півдня на захід	мінімальні радіаційні втрати взимку та максимальні втрати влітку

Щоб оцінити річну продуктивність укривних матеріалів для теплиці, Автор Баксевану[10] розробив нестационарну 2D модель на основі перенесення випромінювання. Аналіз стосувався 4 діапазонів довжин хвиль. Показано, що покривним матеріалом, який дає кращі річні результати, є етиленвінілацетатна плівка (EVA) і термополіетиленова плівка (TPE) на другому місці.

Спектральні модифікації сонячного світла, які кількісно і якісно впливають на отримане сонячне випромінювання, є важливими і можуть бути здійснені за допомогою використання спеціальних типів облицювальних матеріалів.

Автор Ламнату і Чемісана [11] переглянули різноманітні види матеріалів для покриття теплиць, які тісно залежать від змін сонячного світла. Вони продемонстрували, що лінзи Френеля, які використовуються з простою системою концентраційного тепла (СТ), можуть мати позитивний вплив на контроль температури в теплиці.

Також у своїх дослідженнях автори Ламнату і Чемісана [11] згадали кілька засобів покриття, які допомагають поширювати сонячне світло, наприклад пасивні оптичні засоби; флуоресцентні сонячні концентратори; антиконденсатні матеріали; опріснювальні дахи...для цієї мети були обрані найбільш економічно ефективні альтернативи.

У деяких випадках інтенсивність світла перевищує точку насичення світла опівдні і, таким чином, стає неефективною для росту рослин. Щоб вирішити цю ситуацію, автор Ву [12] запропонував новий вид прозорого покриття для теплиці Compound Parabolic Concentrator (CPC), який показує низьку проникність (32%), коли зовнішня кількість сонячного випромінювання наближається до 1000 Вт/м² опівдні з достатнім освітленням і відносно високою світлопроникністю (близько 60%) вранці та вдень.

1.3 Вплив конденсації та накопичення пилу на світлопроникність

Різні дослідники досліджували вплив накопичення бруду та пилу на радіаційні властивості матеріалів покриття. Було встановлено, що світлопроникність нової чистої плівки становить 86%. Через 6 місяців без очищення світлопроникність зменшується приблизно до 50–36% Сангпрадіт [13]. Інші важливі аспекти облицювальних матеріалів пов'язані з їх конденсаційними властивостями. Процес конденсації на покритті, матеріал сильно впливає на оптичні властивості та загальну швидкість теплопередачі. На цю тему було проведено численні тести та дослідження. Щоб вирішити це явище, різні виробники пластикових плівок створили пластикові плівки, що

запобігають утворенню конденсованих крапель води та запобігають осіданню крапель на матеріалах облицювання теплиць.

Автори Геоола [14] досліджували матеріали проти падіння, оптичні властивості та старіння сільськогосподарських облицювальних матеріалів. Повідомлялося, що в сухих умовах плівки без крапель забезпечують більшу пропускну здатність, ніж у присутності конденсату. Результати також показали, що пропускну здатність плівки проти крапель набагато менша в сухому стані порівняно з мокрим. Відносне відхилення пропускну здатності плівки проти крапель у сухому та вологому стані впало з 4,2% для нового матеріалу до -15% протягом трьох місяців.

Був проведений експеримент Семек [15] для ілюстрації оптичних характеристик облицювальних матеріалів для сільського господарства. Враховувалися два основні параметри: конденсація та світлопроникність. Експериментальні теплиці покривали УФ-стабілізованим поліетиленом (УФ+ПЕ), ІЧ-поглиначем (ІЧ+ПЕ), поліетиленом без добавок (ПЕ) та двошаровими поліетиленовими плівками (Д-Полі). Протягом 3 місяців порівняння світлопропускання плівки показало, що всі вологі плівки характеризуються нижчим пропусканням порівняно з сухими. Порівняння також виявило, що пропускання світла РЕ досягло найвищого рівня, тоді як рівень пропускання D-poly залишався на дуже низькому рівні. З іншого боку, і через бруд, втрати були відносно трохи високими і досягали приблизно 9–15%. Що стосується розміру краплі та конденсації води, результати показали, що вони досягли найвищого рівня в ІЧ+ПЕ, а потім відповідно УФ+ПЕ та ПЕ.

1.4 Укривні матеріали і мікроклімат в теплиці

Кілька досліджень показали, що покривні матеріали впливають на умови внутрішнього середовища, такі як температура, відносна вологість і дефіцит тиску пари Альсадон [16].

Надходження тепла всередині теплиці в основному залежить від пропускання матеріалу покриття. Загальний коефіцієнт тепловіддачі сильно впливає на собівартість виробництва опалювальних теплиць Шарма [17].

Автор Шарма [17] розробив альтернативний матеріал, який має здатність зменшувати потреби в енергії на нагрівання/охолодження та регулювати випромінювання та тепло, що проникають у теплицю.

У тропічному та субтропічному кліматі можна затінити та охолоджувати теплиці за допомогою відповідного підбору покривного матеріалу. Крім того, важливість властивостей покривного матеріалу підкреслюється як критичний аспект у проектуванні теплиці. Результати огляду основних моделей теплового балансу теплиці приведені в таблиці 1.3, 1.4.

Таблиця 1.3 Огляд основних припущень, балансу маси та енергії, що використовуються у аналізованих теплових моделях.

Ресурс	Інтерактивні компоненти	Припущення	Інструменти або програми
1	2	3	4
Сінгх [5]	Повітря всередині Підлога Поверхня рослини Накриття теплиці	Теплові властивості покриття не змінюються з часом. Поглинання сонячної радіації покриттям було незначним.	Використання мови C++ Метод ітерацій Гаусса-Зейделя

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Сеті [1]	Рослини Підлога Повітря в замкнутому просторі	Поглинання сонячної радіації та теплоємність повітря були незначними. Відсутній радіаційний теплообмін між конструкціями теплиці. Температурне розшарування не враховувалося.	C++
Шарма [17]	Чотири вертикальні повітряні зони	Теплові властивості рослин були ідентичні до властивостей води. Температурна стратифікація не передбачалася, а відносна вологість була постійною з висотою.	Метод Рунге-Кутта FORTRAN 77
Купер і Фуллер [19]	Середовище для вирощування Підлога Покриття Внутрішнє повітря для культур	Втрати тепла на краях були незначними порівняно з теплопровідністю підлоги. На рослинах не утворюється конденсат. Покриття теплиці було прозорим для довгохвильового випромінювання.	TRNSYS
Таварес [20]	Матеріал для покриття Повітря всередині Грунт	-	Метод Гальоркіна Maple V Метод Рунге-Кутта
Тіварі [17]	Рослини Підлога Повітря в замкнутому просторі	Властивості рослинної маси були еквівалентні властивостям води. Температурна стратифікація не передбачається, а відносна вологість була постійною з висотою. Теплоємність повітря нехтували.	FORTRAN 77
Булар [21]	-	Акумуляція тепла в тепловій масі теплиці, випаровування ґрунту та конденсацію не брали до уваги.	-

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Су і Ху [22]	Покриття Посіви Підлога Повітря всередині	Повітря всередині добре перемішується. Покриття культури розглядається як великий лист.	-
Мобтейкер [2]	Шар ґрунту Покриття Північна стіна Повітря	Енергія випромінювання не поглинається і не випромінюється внутрішнім повітрям.	MatLab
Мухаммед [23]	Поверхня ґрунту, внутрішнє повітря та покриття даху	Елементи теплиці розглядаються як монолітні системи. Температура повітря, рослин, укриття та верхнього шару ґрунту є рівномірною. Випаровування з ґрунту не відбувається. Радіаційна енергія не поглинається і не випромінюється внутрішнім повітрям. Вода, яка конденсується на внутрішній стороні даху і на екрані безпосередньо відводиться і, отже, не може випаровуватися. Вікна протягом усього періоду випробувань були зачинені, і теплиця не мала жодної вентиляції. Вплив концентрації CO ₂ на випаровування не враховувався. У теплиці не було жодних культур, тому випаровування не відбувалося.	MatLab

Продовження таблиці 1.3

1	2	3	4
Сінгх [5]	-	Покриття теплиці є досить тонким, а тепловий потік - одновимірним. Транспортні процеси відбуваються у квазістаціонарному стані. Теплиця орієнтована з півночі на південь. Коефіцієнт, що враховує затінення через конструктивні елементи, не враховано. конструктивними елементами. Теплофізичні властивості матеріалів конструкції не залежать від часу. Коефіцієнт конвективної теплопередачі однаковий для всього покриття. Коефіцієнт конвективної теплопередачі рівномірний по всій рослині накриття. Сонячне випромінювання проходить крізь повітря без поглинання. Запасами тепла в рослинах, внутрішньому повітрі та покритті можна знехтувати, оскільки теплоємності цих елементів досить малі в порівнянні з існуючими тепловими потоками.	Simulink MatLab

Таблиця 1.4

Масово-енергетичний баланс внутрішнього повітря

Посилання	Масово-енергетичний баланс внутрішнього повітря
1	2
Сінгх [5]	$-h_p(T_a - T_p)A_p - h_g(T_a - T_g)A_g - h_c(T_a - T_c)A_c = 0$
Сегі [1]	$A_p h_p (T_p - T_a) + A_p h_r (T_p - T_a) + A_g h_g (T_g - T_a) + (1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)(1 - \rho)\tau S_t$ $(1 - F_n) + \rho F_n \tau S_t (1 - \rho) = m_a C_a \frac{dT_a}{dt} + U_t A_c (T_R - T_o) + h_d A_d (T_a - T_o) + E_v$

Продовження таблиці 1.4

1	2
Шарма [17]	Зона 1: $(1 - \alpha_c)(1 - \alpha_p)\tau S_{t1} + h_{p1}A_{p1}(T_{p1} - T_{a1}) + h_{p4}A_{p4}(T_{p4} - T_{a1}) + h_oA_{p1}$ $[p(T_{p1}) - \gamma p(T_{a1})] =$ $M_{a1}\frac{dT_{a1}}{dt} + U_{l1}(T_{a1} - T_o) + \frac{h_d A_d}{2}(T_{a1} - T_o) + V_1(T_{a1} + T_o) + h_{p1}A_{p1}(T_{a1} - T_{a2}) + U_oA_{g1}$ $(T_{a1} - T_o) - h\alpha_g(1 - \alpha_p)\tau S_{t1}$ Зона 2: $(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)\tau S_{t2} + h_{p1}A_{p1}(T_{a1} - T_{a2}) + h_{p2}A_{p2}(T_{a2} - T_{a3}) + h_oA_{p2}$ Зона 3: $[p(T_{p2}) - \gamma p(T_{a2})] =$ $M_{a2}\frac{dT_{a2}}{dt} + U_{l2}(T_{a2} - T_o) + V_1(T_{a2} - T_o) + h_{p2}A_{p2}(T_{a2} - T_{a3}) + U_bA_{g2}$ $(T_{a2} - T_o) - h\alpha_g(1 - \alpha_p)\tau S_{t2}$ $(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)\tau S_{t3} + h_{p3}A_{p3}(T_{p3} - T_{a3}) + h_{p2}A_{p2}(T_{a2} - T_{a3}) + h_oA_{p3}$ $[p(T_{p3}) - \gamma p(T_{a3})] =$ $M_{a3}\frac{dT_{a3}}{dt} + U_{l3}(T_{a3} - T_o) + V_1(T_{a3} - T_o) + h_{p3}A_{p3}(T_{a3} - T_{a4}) + U_bA_{g3}$ $(T_{a3} - T_o) - h\alpha_g(1 - \alpha_p)\tau S_{t3}$ Зона 4: $(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)\tau S_{t4} + h_{p4}A_{p4}(T_{p4} - T_{a4}) + h_{p3}A_{p3}(T_{a3} - T_{a4}) + h_oA_{p4}$ $[p(T_{p4}) - \gamma p(T_{a4})] =$ $M_{a4}\frac{dT_{a4}}{dt} + U_{l4}(T_{a4} - T_o) + \frac{h_d A_d}{2}(T_{a4} - T_o) + V_1(T_{a4} - T_o) + h_{p4}A_{p4}(T_{a4} - T_{a1}) + U_b$ $A_{g4}(T_{a4} - T_o) - h\alpha_g(1 - \alpha_p)\tau S_{t4}$
Джайн і Тіварі [18]	Зона 1: $\frac{(1 - \alpha_g)[(1 - F_n) + \rho F_n] \sum_i A_i \tau_i}{V} V_1 + h_{mw-a}(T_{mw1} - T_{a1})A_{mw1} - h_{a1a2}(T_{a1} - T_{a2})A_g$ $- \sum_i^U (T_{a1} - T_o)A_c = 0$ Зона 2: $\frac{(1 - \alpha_g)[(1 - F_n) + \rho F_n] \sum_i A_i \tau_i}{V} B dx H_{colpad} + h_{mw-a}(T_{mw2} - T_{a2})dx H_{colpad} + h_g(T_g - T_{a2})B dx$ $+ h_{a1a2}(T_{a1} - T_{a2})B dx - U_l(T_{a2} - T_o)H_{colpad} dx = m_a C_a \left(\frac{dT_{a2}}{dx} \right) dx$
Купер і Фуллер [19]	Механізму конвекторного теплообміну: $Q_{cci} = h_c A_c (T_c - T_a); Q_{cgm} = h_{gm} A_{gm} (T_{gm} - T_a); Q_{cc} = h_p A_p L A I (T_p - T_a); Q_{cf} = h_g A_g (T_g - T_a);$ $Q_i = V_{inf} V C_{pa} (T_a - T_o); Q_{ve} = \dot{m} C_{pa} (T_a - T_o); Q_h = \dot{m}_{airstr} C_a (T_a - T_{airstr})$ Масообмінні механізми: $M_{vgn} = \left(\frac{h_{gm}}{1.005} \right) A_{gm} (W_{gm} - W_a); M_{vf} = \left(\frac{h_g}{1.005} \right) A_g w (W_g - W_a); M_c = \left(\frac{h_p}{1.005} \right) A_p K \left(\frac{L A I}{1.8} \right) (W_c - W_{gh});$ $M_{co} = \left(\frac{h_c}{1.005} \right) A_c (W_a - W_o); M_i = V_{inf} V \rho (W_{gh} - W_o); M_h = \dot{m}_{airstr} (W_a - W_{airstr}); M_v = \dot{m}_v (W_a - W_o);$

Продовження таблиці 1.4

1	2
Таварес [20]	$m_{air} C_{air} \frac{dT_{air}}{dt} = Q_{in-air} - Q_{out-air}$ $Q_{in-air} = Q_{conv-soil-to-air} + Q_{evap-soil-to-air}$ $Q_{out-air} = Q_{conv-air-to-cover} + Q_{condens-air-to-cover} + Q_{inf} + Q_{ventil}$
Тіварі [17]	$(1 - \alpha_g)(1 - \alpha_p)(\tau S_t) =$ $M_a \frac{dT_a}{dt} + [U_t(T_a - T_o) + h_d A_d(T_a - T_o)] + [V_v(T_a - T_o)]$ $- [h_p(T_p - T_a) + h_{ep}(T_p - T_a)] A_p - h_g A_g(T_g - T_a)$
Булар [21]	Енергетичні баланси: $\tau S_t - K_s \Delta T - k_l \Delta e - k_c \Delta T = 0$ $\Delta T = T_a - T_o$ $\Delta e = e_a - e_o$ Баланс водяної пари: $\lambda E_t + F - K_l \Delta e = 0$
Су і Ху [22]	$\rho_a C_a H \frac{dT_a}{dt} = \alpha_a I - L \cdot ET - Q_{a-c} + Q_g - Q_{vent} - 0.001 ET \cdot \phi_{fog} + Q_{heat} + \Delta H \Phi_{air-cond}$
Мобтейкер [2]	$m_a C_a \frac{dT_a}{dt} = -Q_{a-o} + Q_{a-g} + Q_{a-c} - Q_{inf}$
Мухаммед [23]	$\frac{dT_a}{dt} = \frac{Q_{a-g} - Q_{a-o} - Q_{a-c} - Q_{mwi-pwo}}{\rho_a \times C_a \times V}$
Сінгх [5]	$C_a \frac{dT_a}{dt} + (A_c h_{c-a}) + A_p h_{p-a} LAI + A_{gm} h_{gm} + m_v C_a) T_a =$ $m_v C_a T_{am} + A_c h_{c-a} T_c + A_p h_{c-p-a} T_p LAI + A_{gm} h_{gm} T_{gm}$
Таварес [20]	$\rho_a C_a \frac{V}{A_g} \frac{dT_a}{dt} = \rho_p LAI h_p (T_p - T_a) - h_c (T_a - T_c) - \frac{A_c}{A_g} h_c (T_a - T_c) - \rho_a C_a \frac{V_{inf}}{A_g} f_G (T_a - T_o)$

Таблиця 1.5

Коефіцієнти тепломасовіддачі

Посилання	Коефіцієнти тепломасовіддачі	Перевірка
1	2	3
Сінгх [5]	$h_o = 2.8 + 3.0V$	Перевірено для напівквонсетного типу з урожаєм томатів у Лудхіана, Індія.

Продовження таблиці 1.5

1	2	3
Сеті [1]	$h_g = 2.8$ $h_d = 2.8$ $U_t = \left[\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{pr}} + \frac{1}{h_b} \right]^{-1}$ $h_o = 5.7 + 3.8v$ $h_{pr} = h_p + \frac{0.016 \times h_p [p(T_p) - \gamma_r p(T_a)]}{T_p - T_a}$ $h_p = 2.8 + 3(v)$ $h_r = F_{PR} \varepsilon \sigma (T_p^2 + T_a^2)(T_p + T_a)$ $h_v = \rho_a C_a \frac{m_v}{A_g}$	Перевірено (середнє квадратичне відхилення 3,26%) для стручкового перцю, вирощеного в теплиці площею 24 м2 в теплиці в Лудхіані, Індія, кліматичні умови.
Шарма [17]	$h_g = 5.7 h_p = 5.7$ $h_b = 1$ $h_d = 3.99$ $h_o = 0.016 h_p$	Перевірено для теплиці площею 24 м2 в кліматичних умовах Делі, Індія.
Джайн і Тіварі [18]	$h_{nw-a} = 5.7 + 3.8v$ $h_{nw-o} = \left[\frac{h_w}{K_w} + \frac{1}{h_o} \right]^{-1}$ $h_g = 5.7$	Перевірено для рівномірного прольоту теплиці (24 м2), орієнтованої зі сходу на захід у Делі, Індія.
Купер і Фуллер [19]	$h_o = 2.8 + 3.8v$	Перевірено для теплиці 60 м2 томат в Австралії
Таварес [20]	-	Перевірено для 150 м2 з використанням одинарним поліетиленом товщиною 200 мкм теплицею з поліетиленовим покриттям у Лісабоні.

--	--	--

Продовження таблиці 1.5

1	2	3
Тіварі [17]	$h_{ep} = \frac{0.016 \times h_p [p(T_p) - \gamma p(T_a)]}{T_{p0} - T_{R0}} h_g = 5.7 h_p = 5.7 h_b = 1 h_d = 3.99$	Затверджено теплицю з теплицею площею 24 м2, покрита поліетиленовою плівкою критий і навіть у формі прольоту.
Булар [21]	$h_p = 1.95 (T_a - T_p)^{0.25} / l$	Перевірено в літній період періоди для врожаю томатів.
Су і Ху [22]	$h_{a-c} = 1.86 \frac{A_c}{A_g} T_a - T_c ^{0.33} h_{air-cov} = \begin{cases} 1.7 (T_g - T_a)^{0.33} \text{ for } T_g > T_a \\ 1.3 (T_a - T_g)^{0.25} \text{ for } T_g \leq T_a \end{cases}$	Підтверджено типом Venlo
Мобтейкер [2]	$h_{a-g} = 1.52 (T_a - T_g)^{0.55}$ $h_{a-c} = 1.95 (T_a - T_c)^{0.3} \text{ for } (T_r - T_c) \leq 11.1^\circ \text{C}$ $h_{a-nw} = 2.8 h_{nw-o} = 1.42 \left(\frac{T_{nw-o} - T_o}{x} \right)^{0.25}$	Комерційної теплиці, розташованої в Чонгмін, Шанхай
Мухаммед [23]	$h_{a-g} = 1.7 T_a - T_g ^{1/3} \text{ for } T_a < T_g$ $h_{a-g} = 1.3 T_a - T_g ^{0.25} \text{ for } T_a \geq T_g$	у напівсонячній теплиці в провінції Східний Азербайджан, Іран.
Сінгх [5]	Від покриття теплиці до повітря: $h = 2.8 + 3.8 \times v \text{ for } v < 1.0 \text{ ms}^{-1}$ Від заводу до повітря: $h = 2.38 (T_p - T_a)^{0.25} \text{ for } v < 1.0 \text{ ms}^{-1}$ Між двома послідовними вертикальними шарами: $h = 0.21 \times \Delta T ^{0.25} \text{ for } \Delta T > 0$ $h = 0.11 \times \Delta T ^{0.25} \text{ for } \Delta T > 0$	Усереднена абсолютна відсоткова похибка для температури повітря, рослини, живильного середовища та пластикового укриття було обчислено, що 8,9%, 7,6%, 8,0% та 10,6%

		відповідно.
--	--	-------------

Продовження таблиці 1.5

1	2	3
Таварес [20]	$h_c = 1.75 T_c - T_a ^{1/3}$ $h_a = 7.2 + 38U_0$ $h_c = 1.75 T_c - T_a ^{1/3}$ $h_p = 1.4 \left(\frac{ T_p - T_a }{l} \right)^{0.25}$	Перевірена (відносна середня квадратична похибка середньоквадратична похибка менше 10%) з трьохпролітною теплицею площею 1080 м ² , орієнтованою в напрямку з північного заходу на південний схід, Альмерія, Іспанія.

Таблиця 1.6

Інструменти моделювання, які використовуються для досліджень в теплиці.

Ресурс	Програмне забезпечення/Інструменти моделювання	Додатки
1	2	3
Баксевану[10]	Ansys Fluent	Оцінка матеріалів для обшивки теплиць
Чжан [12]	Ansys Fluent	Моделювання зв'язку між вологістю повітря та відкриттям вентиляційних отворів у

		китайській сонячній теплиці
--	--	-----------------------------

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
Тіварі [17]	Ansys Fluent	Опалення теплиць з використанням трубних мереж відведення димових газів та гарячої води
Сінгх [5]	Ansys Fluent	Вплив динамічного сонячного теплового навантаження на мікроклімат теплиці
Шарма [17]	Ansys Fluent	Оцінка вітрового навантаження на багатопрольотні теплиці
Семек [15]	Ansys Fluent	Аналіз осушувача для сонячної теплиці
Сінгх [5]	Ansys Fluent	Дослідження коефіцієнтів витоку повітря та вітрового навантаження однопрогонових пластикових теплиць
Баксевану[10]	Ansys Fluent	Імітація природної вентиляції в теплицях
Мобтейкер [2]	COMSOL	Моделювання тепличного середовища та імітаційне моделювання для управління мікрокліматом
Пакарі [25]	COMSOL	Оцінка повітряного потоку в теплиці з природною вентиляцією, обладнаний вітровими баштами

Пакарі [25]	COMSOL	Оцінка нової конструкції теплиці
-------------	--------	----------------------------------

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
Гупта і Чандра [4]	COMSOL	Моделювання типового біоклімату теплиці взимку в похмурі дні
Семек [15]	COMSOL	Термо-гідродинамічне моделювання та симуляція
Су і Ху [22]	COMSOL	Оптичні, теплові та механічні дослідження нового матеріалу для теплиць
Чен [26]	EnergyPlus	Визначення оптимальної орієнтації
Фабріціо [24]	EnergyPlus	Вимірювання скорочення енергоспоживання при опаленні сільськогосподарських теплиць
Джайн [18]	EnergyPlus	Визначення довжини північної стіни сонячної теплиці
Мухаммед [23]	EnergyPlus	Визначення товщини стіни CSG з матеріалами з фазовими змінами
Шарма [17]	EnergyPlus	Енергетична та екологічна оцінка інтегрованих в будівлю теплиць на даху
Пакарі [25]	EnergyPlus	Аналіз енергозбереження теплиці, що обігрівається за рахунок відпрацьованого тепла

Занг [12]	EnergyPlus	Проектування недорогої сезонної системи зберігання сонячного тепла ґрунту для обігріву теплиць
-----------	------------	--

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
Гремс [27]	EnergyPlus	Кількісна оцінка потреб у ресурсах для виробництва салату в теплицях і на заводах
Фабріціо [24]	EnergyPlus	Вимірювання скорочення енергоспоживання при обігріві сільськогосподарських теплиць
Купер і Фуллер [19]	EnergyPlus	Моделювання умов у теплицях та на рослинницьких фабриках
Таварес [20]	TRNSYS	Дослідження сонячної системи для опалення теплиці, обладнаної заглибленим теплообмінником
Чакір і Шахін [3]	TRNSYS	Оцінка сполучення плоского пластинчастого колектора і системи теплового насоса, пов'язаної з вертикальним теплообмінником
Мухаммед [23]	TRNSYS	Теплонасосної системи з вертикальним теплообмінником для опалення теплиці
Ламнату і Чемісана [11]	TRNSYS	Дослідження системи опалення теплиці з використанням плоских пластинчастих колекторів

Купер і Фуллер [19]	TRNSYS	Проектування та моделювання теплиці для віддаленого регіону
---------------------	--------	---

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
Тіварі [17]	TRNSYS	Прогнозування врожайності та енергоспоживання
Мобтейкер [2]	TRNSYS	Моделювання змін в неопалюваній теплиці в канадській субарктиці
Фуллер [19]	TRNSYS	Моделювання теплових характеристик теплиці з природною вентиляцією в Зімбабве
Тіварі [17]	TRNSYS	Прогнозування використання енергії в теплицях
Семек [15]	TRNSYS	Розробка інтелектуального внутрішнього середовища та системи енергоменеджменту для теплиць
Чакір і Шахін [3]	Matlab/Simulink	Енергетичний аналіз в теплиці
Таварес [20]	Matlab/Simulink	Оцінка оптимального типу відповідно до розміру, положення та розташування сонячної теплиці
Джайн і Тіварі [18]	Matlab/Simulink	Моделювання та імітація гібридної системи сонячного опалення для теплиць

Мобтейкер [2]	Matlab/Simulink	Моделювання та оптимальний дизайн системи випарного охолодження в теплиці з контрольованим середовищем
---------------	-----------------	--

Продовження таблиці 1.6

1	2	3
Мухаммед [23]	Matlab/Simulink	Моделювання теплових характеристик сонячної теплиці на північному заході Ірану
Сінгх [5]	Matlab/Simulink	Прогнозування деяких змінних внутрішнього середовища в напівсонячній теплиці
Сінгх [5]	C++	Розробка моделі мікроклімату для прогнозування температур всередині теплиці з природною вентиляцією
Сеті [1]	C++	Теплиці з природною вентиляцією
Шарма [17]	FORTRAN 77	Моделювання мікроклімату теплиці
Тіварі [17]	FORTRAN 77	Теплове моделювання сонячної теплиці

2 ПРОЄКТНА ЧАСТИНА

2.1 Моделювання та температурний розрахунок тепличного господарства

Численні автори займались тепловим розрахунком та оптимізацією роботи тепличних господарств різного типу. Температурний розрахунок для теплиць, покритих різними облицювальними матеріалами приведено на рис. 2.1

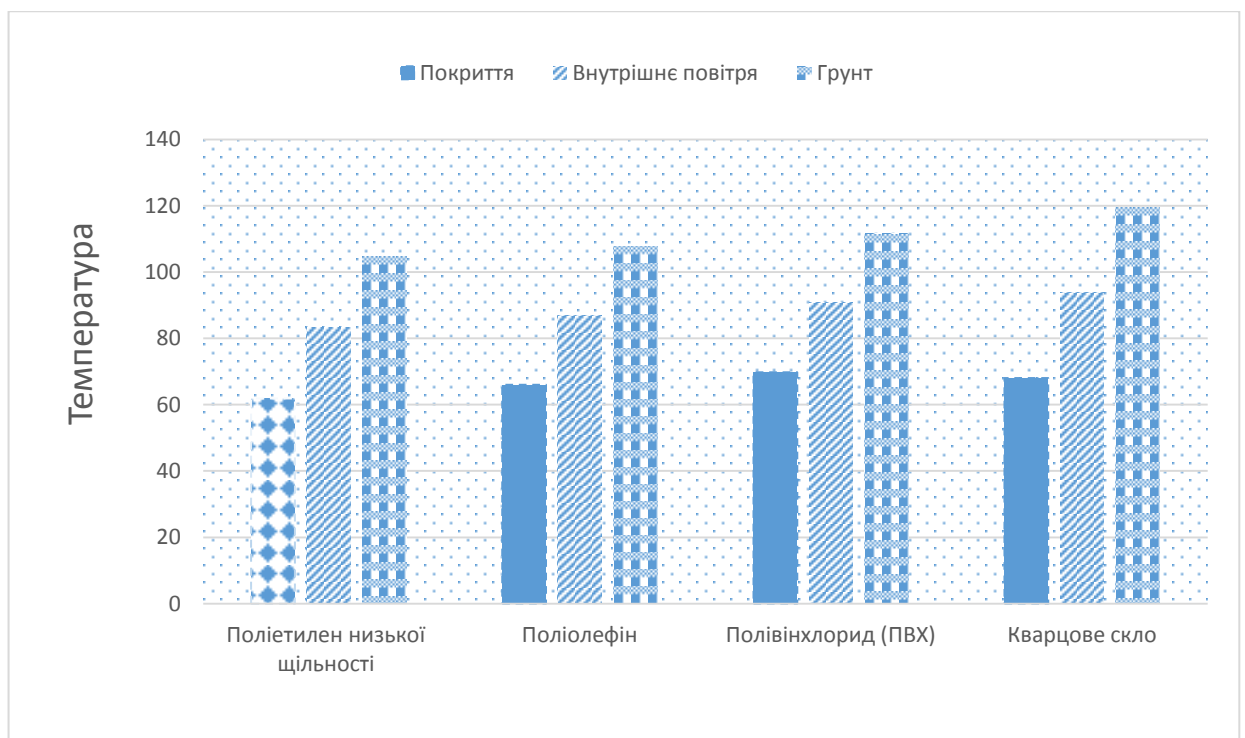


Рисунок 2.1 - Температурний розрахунок для теплиць, покритих різними облицювальними матеріалами.

Ефект відтінку можна отримати за допомогою кольорових пластикових плівок, які містять поглинаючі пігменти. Завдяки інтерференційним пігментам пластикові плівки також можуть мінімізувати ближнє інфрачервоне випромінювання (NIR) і, як наслідок, забезпечувати охолодження всередині теплиці. Фотохромні матеріали також можуть зменшити пропускання PAR при

високому рівні випромінювання. Вони мають додаткову перевагу відображення ближнього інфрачервоного випромінювання (NIR).

Екранування спектрів ближнього інфрачервоного випромінювання (NIR) на обшивці теплиці може значно зменшити потребу в опаленні та вирішити проблему високої температури всередині теплиці. Abdel-Ghany встановлено, що пластикові плівки з NIR-фільтрами мають хороший потенціал для використання в теплицях у суворих кліматичних умовах. Вони знайшли, що пластикові плівки NIR-Filtering здатні знизити температуру повітря на 5 °C.

Кілька матеріалів для покриття теплиць, що складаються з плівок, які відбивають певну кількість ближнього інфрачервоного випромінювання, використовуються в таких країнах, як Мексика, Колумбія та Іспанія. Перше польове експериментальне випробування було проведено в Іспанії на посівах перцю, яке показало, що пластик, що відбиває NIR, дає кращі результати порівняно зі стандартною плівкою.

Авторами Lopez-Marin та ін. також було виявлено, що використання пігментів NIRFiltering може призвести до зниження температури, підвищення врожайності та кращої якості плодів. Дослідження порівняння плівки, що відбиває NIR, з іншими комерційними плівками було проведено Альсадон [16]. Температура повітря під NIR-відбивною плівкою була нижчою, ніж під іншими матеріалами і давали вищу продуктивність урожаю.

Аль-Махдурі та ін. вивів зворотний метод для визначення різних спектральних оптичних властивостей численних матеріалів, що використовуються для покриття теплиць, таких як поліетилен низької щільності (LDPE), полівінілхлорид (PVC), плавлене кварцеве скло та поліолефін (PO). Вони прийшли до висновку, що найвищі температури повітря та ґрунту досягаються в теплиці з кремнеземного скла (Рис. 2.1). Теплиці з полівінілхлориду та поліолефіну мали однакові теплові характеристики. У свою чергу теплиця ПВД показала найменше збереження теплової енергії.

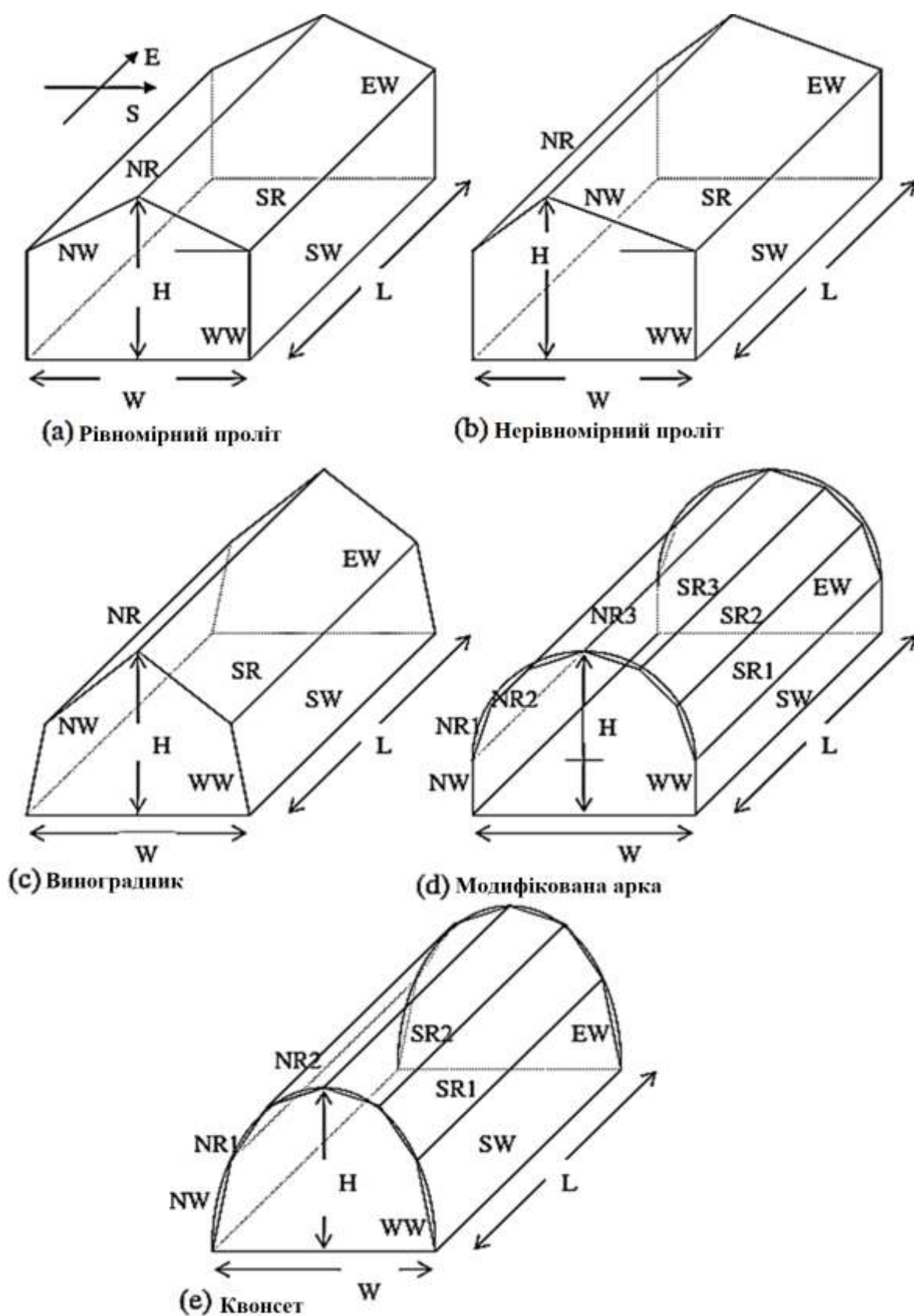


Рисунок 2.2 - Вигляд кількох парникових форм (Сеті [1]).

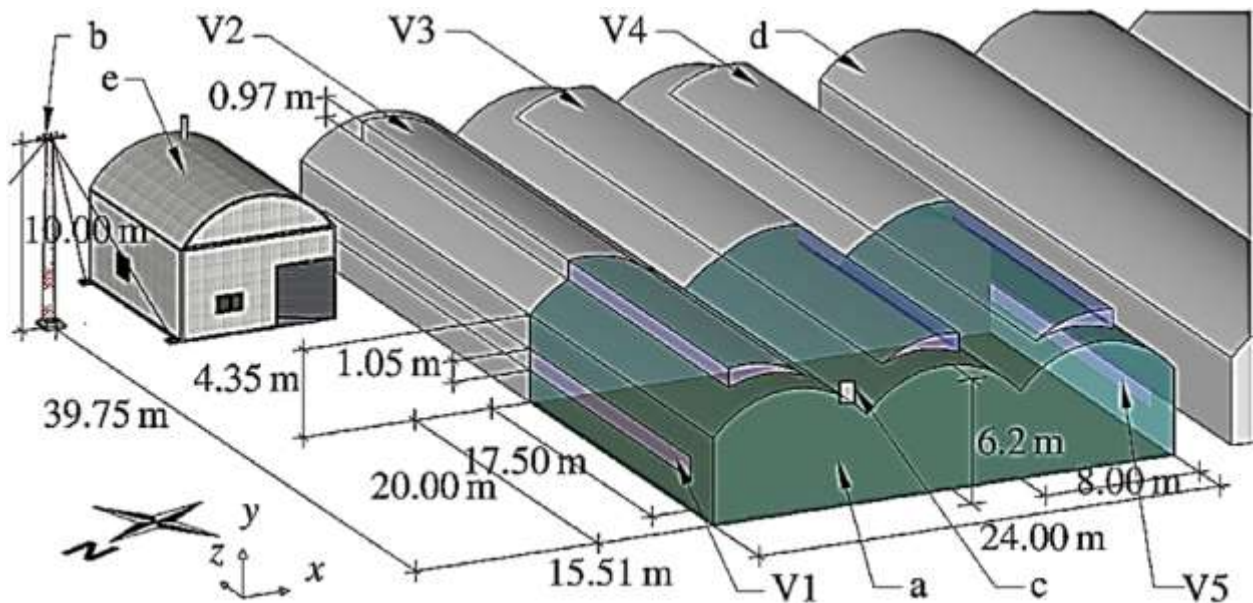


Рисунок 2.3 - Експериментальна теплиця. Західна половина експериментальної теплиці (a); метеостанція (c); датчик температури та вологості (b); сусідня теплиця (d); склад (e); бічні вентиляційні отвори (V1 і V5); та вентиляційні отвори на даху (V2, V3 та V4) (Espinoza et al., 2017).

Нещодавно Хіе та ін. вивчали доцільність використання нового покривного матеріалу, що складається з металевих матеріалів і оксиду індію, олова, для сонячних теплиць при високій температурі. Основною метою було вирішити проблеми високого пропускання ближнього інфрачервоного діапазону, що викликає потепління, і низького пропускання видимої частини випромінювання, що важливо для фотосинтезу рослин. Цей матеріал показав високу пропускну здатність видимого світла понад 95% і високий коефіцієнт відбиття ближнього інфрачервоного діапазону понад 90%. У цьому ж ряді Альдафтарі та ін. використовували різні матеріали як пігментні покриття та порівнювали їх у діапазоні об'ємних часток і розмірів частинок. Вони виявили, що найбільш підходящим матеріалом для бажаного застосування є алмазні частинки.

Механічні характеристики покривних матеріалів.

Покриття для теплиці необхідно вибирати з розумом, щоб витримувати навантаження від різних умов навколишнього середовища. Як механічні характеристики, так і фізичні властивості є вирішальними для загальної продуктивності, а також для визначення найбільш прийнятних вимог щодо структурної форми теплиці. Механічна поведінка тепличних матеріалів залежить від хімічного складу, наявності добавок, технології обробки та умов експлуатації. Крім того, старіння та деградація матеріалів покриття знижує їх механічні властивості.

У літературі можна знайти багато випробувань на розтягнення матеріалів покриття, це пов'язано з високими робочими температурами рами, яка безпосередньо контактує з матеріалами покриття. Останні випробування проводилися на зразках полікарбонату Makrolon®УФ-клімат-контроль синій, при температурах від 20 °С до 80 °С металевого каркасу, зареєстрованого в літні місяці. Можуть бути висунуті гіпотези та спостереження щодо поведінки матеріалу: температура випробування діє на початок утворення шийок, а утворення шийок являє собою явище, яке викликає перехід від фази малих деформацій до фази великих деформацій.

Плівки поліетиленові низької щільності (LDPE)

Плівки з поліетилену низької щільності (LDPE) є найпоширенішим матеріалом, який використовується як плівка для облицювання теплиць, завдяки своїм високим механічним характеристикам, відповідним оптичним властивостям і економічній ціні.

Діляра і Бріассуліс описав найважливіші механізми деградації сільськогосподарських плівок LDPE, даючи вказівки на особливі обмеження та змінні деградації під час їх використання LDPE як матеріалу для покриття теплиць. Автори зазначили, що на плівки LDPE для захищеного вирощування безпосередньо впливає суворість навколишнього середовища. Крім того, термін служби захисних плівок коливається від одного до максимум трьох сезонів культивування. Тоді ці захисні плівки слід вважати відходами. Він представив ключові фактори, що впливають на старіння ПВД, що використовується як

покриття для теплиць. Автори також надали рекомендації щодо встановлення методів оцінки старіння. Емеклі та ін. вивчали зміну світлопроникності плівок LDPE, які використовуються як покриття теплиць. Вони виявили, що на цей параметр впливає наявність пилу і бруду, і він змінюється в залежності від сезонних опадів і кутів падіння сонячних променів. Бріасуліс виявили, що на нестабілізовану плівку LDPE впливає УФ-випромінювання. Dehbi та ін. повідомили, що тривалість життя LDPE у неприродному середовищі може сягати цілого року за температури 40 °C, тоді як вона значно знижується лише до 3 місяців і 18 днів, якщо температура досягає 50 °C з УФ-А.

2.2. Конструкція теплиці

Оптимальний вибір форми/орієнтації в теплицях.

Пропускання сонячної радіації та висота сонця значною мірою залежать від орієнтації та форми теплиці. Ці параметри сильно впливають на температуру повітря в теплицях. Багато внесків використовували різноманітні тепличні форми на різних широтах для вирощування несезонних овочів у багатьох регіонах. Широко повідомлялося про орієнтації схід-захід і північ-південь. У наступних розділах описуються попередні дослідження та дослідження критеріїв вибору відповідної форми та орієнтації теплиці.

Форма

Дослідження п'яти найпоширеніших теплиць з одним прольотом: теплиці з рівним прольотом, теплиці з нерівним прольотом, теплиці з модифікованою аркою та типу Quonset було досліджено Сеті [1]. Для точного порівняння були збережені основні геометричні властивості, такі як довжина, ширина та висота кожної форми. Як видно в [1], кожна фігура підрозділяється на багато елементів залежно від їхньої орієнтації.

Було продемонстровано, що теплиця з нерівномірною формою прольоту збирає максимум сонячної радіації незалежно від розглянутої широти, тоді як форма Quonset є найгіршою з точки зору збору сонячної радіації. Крім того,

температура внутрішнього повітря зафіксувала максимальне значення у формі нерівного прольоту та мінімальне значення у формі Quonset. Мобтейкер [2] зробив порівняння в кліматичних умовах Ірану між п'ятьма вищезгаданими формами з додаванням типу арки. В даному випадку оптимальною формою виявилася однопролітна теплиця з орієнтацією схід на захід.

Чакір і Шахін [3] провели повне порівняння з використанням різних характеристик, таких як співвідношення довжини до ширини кута теплиці та кута азимута теплиці, щоб знайти оптимальну теплицю між кількома спорудами в Bayburt. Еліптична геометрія виявилася найкращою в усіх розглянутих випадках.

Гупта і Чандра [4] досліджували вплив змінних конструкції теплиці на споживання тепличної енергії в кліматичних умовах північної Індії. Вони виявили, що форма арки потребує менше опалення, ніж форми quonset і фронтон, на 4,2% і 2,6% відповідно. Ще одне дослідження було проведено щодо попиту на опалення для холодного клімату в Індії Кумарі та ін.. Вони виявили, що нерівномірна форма прольоту є найбільш придатною для використання теплиці. Фазовий матеріал і теплоізоляція на північній стіні. В іншій праці Автора Сінгха [5] він довів, що нерівний проліт, забезпечує найкращу енергетичну ефективність. Гупта і Чандра [4] провели порівняльне дослідження чотирьох різних конфігурацій, з огляду на вимоги до опалення, нерівна форма була кращою.

Орієнтація

Необхідно визначити відповідну орієнтацію теплиць на різних широтах через мінливість сонячної траєкторії та інтенсивності радіації [26]. Було проведено багато експериментів з вивчення впливу орієнтації на мікроклімат теплиці, ріст культур і врожайність. Вплив орієнтації на вимоги до опалення та охолодження теплиці обговорювали. Було доведено, що на широті $44,25^{\circ}\text{N}$ для орієнтації на EW було отримано менше потреби в енергії на нагрівання/охолодження.

Відповідно до Сеті [1] Згідно з річним аналізом, орієнтація на EW була найзручнішою на всіх широтах, крім екватора, оскільки ця орієнтація піддається високій кількості радіації взимку та зниженій радіації влітку. Панваром та ін. також було виявлено, що на річній основі орієнтація EW підходить, оскільки вона збирає більше сонячної радіації. Драгічевич [6] представив процес відбору для пошуку оптимальної орієнтації теплиці на щорічній основі для змінних метеорологічних даних.

Було зроблено висновок, що EW орієнтація в конфігурації нерівномірного прольоту є найбільш придатною для розташування в позитивних широтах. Ель-Маглан [7] також показали, що орієнтація на EW є найбільш відповідною орієнтацією для північної півкулі, завдяки її здатності збирати більшу кількість сонячного випромінювання і, таким чином, уловлювати велику кількість тепла.

Чандра [4] спостерігали, що на широтах $49,25^{\circ}\text{N}$ орієнтація схід-захід окремо стоячої готичної аркової теплиці потребує на 20% менше опалення, ніж орієнтація північ-південь.

Harnett та ін. шляхом порівняння різних типів і орієнтацій теплиць дійшли висновку, що EW орієнтація має постійну перевагу порівняно з NS щодо пропускання світла та врожайності.

Брун і де Вільє [8] досліджували вплив орієнтації теплиць на середземноморські кліматичні умови. Вони виявили, що орієнтація схід-захід не підходить для ранньої стадії росту культур. З іншого боку, орієнтація з півночі на південь добре сприяла однорідності мікрокліматичних умов у теплиці, а врожайність була кращою. Крім того, така орієнтація дає змогу краще використовувати ґрунт і допомагає теплиці боротися з північно-західними вітрами, які панують цілий рік.

Кілька досліджень у Китаї показали, що відповідна орієнтація теплиці була $5-8^{\circ}$ з півдня на захід Чжан [12].

Дослідження з використанням AutoCAD для проведення тривимірного аналізу тіні було проведено Гупта і Чандра [4]. Результати показали, що

орієнтація на 45° руху з півдня на захід дає максимальний збір сонячної радіації взимку.

Підсумовуючи цей розділ, теплиці є постійними спорудами, їх продуктивність сильно залежить від їх розташування, орієнтації та форми. Тому вибір оптимальної форми та орієнтації має вирішальне значення. Більшість авторів погодилися, що орієнтація схід-захід (EW) є найбільш придатною для всіх широт, оскільки вона потребує менше енергії та забезпечує більший збір сонячної радіації.

Загальний огляд із коротким описом цих досліджень щодо вибору форми та орієнтації теплиці подано в Таблиці 1.1 і 1.2 відповідно.

Природна вентиляція

Природна вентиляція являє собою повітрообмін, який відбувається через отвори теплиці внаслідок впливу коливань тиску і температури між зовнішнім і внутрішнім приміщенням теплиці. Ефект охолодження природної вентиляції та швидкість вентиляції можуть бути оцінюється за допомогою простої та точної моделі.

Природна вентиляція є ключовим процесом, який широко використовується для контролю тепличного мікроклімату. Природна вентиляція є енергоощадним процесом, який використовується завдяки своїй простоті, невибагливості в обслуговуванні та низькій вартості. Ця техніка веде до обміну енергією та масою між внутрішньою теплицею та навколишнім середовищем. Це пасивна конструкція, яка потребує простого обладнання та менших витрат енергії порівняно з активною вентиляцією.

Лі та ін. проаналізували поведінку внутрішнього клімату в односклих теплицях з природною вентиляцією різних розмірів. Вони прийшли до висновку, що природна вентиляція може знизити вологість і температуру повітря в приміщенні з 96% до 84% і $28,9\text{--}25,8^\circ\text{C}$ відповідно. Це означає, що ця техніка здатна підтримувати сприятливе середовище для росту овочів.

Автори оцінили характеристики вентиляції однопролітних промислових теплиць відповідно до вітрових характеристик меліорованих прибережних

земель. Характеристики зовнішнього вітру показали великий вплив на природну вентиляцію теплиць разом із співвідношенням площі бічних вентиляційних отворів до об'єму теплиці. Автори також показали, що при збільшенні швидкості вітру та зміні напрямку вітру від 0° до 90° швидкість вентиляції зростає.

Еспіноза та ін. досліджували вплив конфігурації вентилятора на структуру потоку трипрогонової теплиці з наявністю сусідньої теплиці, яка є перешкодою повітряному потоку. Вони виявили, що розподіл вентиляційних поверхонь і перешкоди впливають на схему потоку теплиці. Вони продемонстрували, що дві бокові вентиляційні отвори та два дахи збільшують рух повітря біля посівів. Авторами Маккартні та ін. покращено природну вентиляцію теплиці, додавши нетрадиційну систему осушення. Ідея полягає в тому, щоб додати внутрішній дах, який направляє охолоджене повітря в основну зону теплиці та запобігає потраплянню невиспарованих крапель води на лист рослини. Така конструкція має здатність підвищувати вологість повітря в приміщенні на 1,4-31,2%, знижувати температуру повітря на 1,9-12,6 $^\circ\text{C}$ і знижувати дефіцит тиску пари на 0,3-4,9 кПа в залежності від зовнішніх кліматичних умов. Також ця конструкція може забезпечити швидкість повітря до 0,38 мс^{-1} .

Багатопролітність

У кількох дослідженнях було підтверджено, що кількість прольотів має значний вплив на швидкість вентиляції в теплицях. Касіра та ін. продемонстрували, що швидкість вентиляції зменшується, коли кількість прольотів збільшується, що представляє залежність спаду між двома параметрами. Чу та ін. виявили, що теплиця з кількома прольотами має меншу різницю між навітряним і підвітряним тиском, ніж теплиця з одним прольотом, що призводить до нижчої швидкості вентиляції. Баеза та ін. (2006) провели дослідження щодо впливу кількості прольотів у теплиці з різною кількістю прольотів (2, 3, 5, 7, 10 і 15 прольотів). Вони виявили, що швидкість вентиляції

значно зменшується, коли кількість прольотів збільшується, однак швидкість вентиляції збільшується для 10 і 15 прольотів.

2.3. Обчислювальна гідродинаміка теплиці

Дослідження парникового моделювання в останні роки широко використовували техніку обчислювальної гідродинаміки. Цей метод є точним і дозволяє вивчати потік повітря і розподіл температури. Для структур парникових потоків, що характеризуються тривимірними умовами, неможливо знайти аналітичне рішення для тиску, швидкості та інших полів переносимої кількості (Булард та ін., 2002).

Camren і Hemming et al. Використовували обчислювальну гідродинаміку (ОГД) для вивчення придатності теплиці в тропічних і низинних районах Індонезії. Моделювання було виконано шляхом дискретизації простору та часу та вирішення рівнянь збереження та енергії дискретизованих частин для отримання відповідних величин, таких як температурне поле.

Фатнасі та ін. було змодельовано, використовуючи метод ОГД, розподіл сонячної радіації, температуру повітря, динамічні поля та воду пар, в теплицях Asymmetric і Venlo. Це моделювання враховує характеристики пологів, взаємодію між рослинами та повітряним потоком. ОГД моделювання показало можливість планування профілю зрошення, що дає можливість використовувати меншу витрату води. Це було продемонстровано Алі та ін., вони застосували 2D перехідну ОГД - модель і використали визначені користувачем функції у Fluent, щоб врахувати взаємодію культур із кліматом у приміщенні теплиці. Вони розглядали рослину як пористу зону, і вони використовували певний вихідний термін для пояснення транспірації врожаю та відчутної теплопередачі. Вони також застосували спеціальну підмодель, засновану на водному балансі між транспірацією та зрошенням, щоб визначити вміст води в субстраті.

Wang та ін. використав моделювання ОГД для вивчення мікроклімату типової пластикової теплиці, яка використовується в Китаї. Вони прийняли нову модель фрактальної проникності – симуляцію пологів культур.

Ця модель може використовувати розподіл змінних мікроклімату в теплиці. Двовимірний симуляційний перехідний модель була виконана за допомогою Fluent на основі методу кінцевого об'єму для отримання полів тиску, швидкості та температури в сонячній теплиці з природною вентиляцією, обладнаний змінними задніми стінками.

Сонячна радіація відіграє основну роль у внутрішньому кліматі та розподілі повітряного потоку в теплиці. Замість використання звичайного підходу зв'язку, заснованого на енергетичному балансі, кілька моделей ОГД додали радіаційну модель для імітації режиму теплопередачі випромінювання на кришці та даху теплиці. Дослідники використовували модель випромінювання з дискретними ординатами (ДО), щоб сформулювати поєднане випромінювання та конвективний обмін на дахах і стінах теплиць.

Використане рівняння в моделі ДО можна виразити наступним чином:

$$\begin{aligned} \nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) \\ = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \Phi(\vec{r}, \vec{s}') d\Omega' \end{aligned}$$

де в номенклатурі зазначаються змінні.

Фідарос та ін. змоделювали явища переносу всередині вентильованої дугової тунельної теплиці з урахуванням оптичних властивостей культур у смузі випромінювання PAR лише протягом сонячної доби. Формулювання кінцевого об'єму було використано для дискретизації та розв'язання рівнянь, які описували транспортні явища, що відбувалися всередині теплиці. Вони розглядали врожай томатів як пористий матеріал і моделювали перенос радіації за допомогою моделі DO. Потік вважався нестационарним, нестисливим і турбулентним. Неббалі та ін. розв'язав рівняння переносу в 3D-області, розглядаючи рослину як пористу зону та моделюючи радіаційний теплообмін за допомогою моделі DO та враховуючи довго- та короткохвильове

випромінювання. Вони визначили відчутний і прихований тепловий процес, що відбувається між культурами та повітрям.

Piscia та ін. використовували CFD для моделювання конденсації та тепличного нічного мікроклімату. Визначена користувачем підпрограма була включена в пакет CFD для імітації конденсації плівки. Пластик є засобом масової інформації; тому для розрахунку радіаційної складової використовувалася модель DO, оскільки вона рекомендована для напівпрозорих матеріалів.

Використовуючи CFD для моделювання парників, дослідники використовували різні моделі турбулентності. Неббалі та ін. провів порівняльне дослідження між рівняннями моделей турбулентності, стандарт $k - \epsilon$ ГСЧ і $k - \epsilon$ Реалізується. $k - \epsilon$ Стандартна модель турбулентності було визнано найбільш точним. Сантоліні та ін. вивчали вентиляцію теплиці з екранами та без них. У своєму дослідженні вони використовували стандартну $k - \epsilon$ модель турбулентності.

Імітаційні моделі енергетичного балансу прості та легкі в обробці порівняно з моделями CFD, з іншого боку, вони мають деякі недоліки, вони базуються на емпіричних або напівемпіричних кореляціях формули для оцінки коефіцієнтів конвективного переносу та обчислення швидкості вентиляції, які можуть спричиняти помилки до 25%. Інтеграція імітаційних моделей енергетичного балансу та CFD-моделей має можливість забезпечити точніші прогнози внутрішнього середовища теплиці завдяки їх взаємодоповнюваності

2.4. Програмне забезпечення для моделювання та оптимізації конструкції і систем керування тепличними господарствами

Для моделювання теплиці з наявністю та без систем опалення та охолодження було використано кілька інструментів моделювання. Matlab зазвичай використовують інженери та дослідники, коли вони залучені до чисельних технічних обчислень. Чакір і Шахін [3] використовували Matlab для

розробки сценарію на основі математичної моделі для розрахунку загальної сонячної енергії, отриманої теплицею за кожен місяць. Киян та ін. використовували Matlab/Simulink для прогнозування температури води для зберігання, температури повітря всередині теплиці та кількості допоміжного палива.

Solar Energy 191 (2019) 109–137

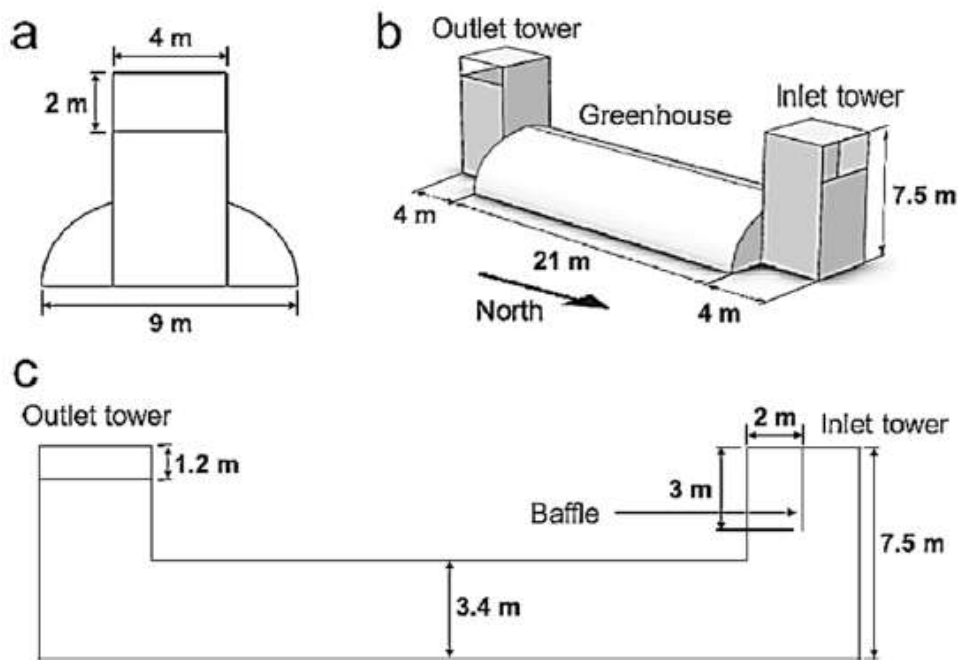


Рисунок 2.4 - Схема теплиці з двома вітровими вежами: (а) вигляд збоку, (b) вигляд в перспективі, (с) вигляд спереду в середній площині, вигляд збоку, (b) вигляд у перспективі та (с) вигляд спереду в середній площині Пакарі [25].

Враховано положення, геометричні та метеорологічні дані регіону. Навчальний інструмент веб-симулятор парникового середовища, було розроблено, щоб показати фізику тепличних систем, де користувач міг імітувати зміни всередині тепличного середовища на основі таких вхідних параметрів, як клімат, структура та вибір контролю навколишнього середовища.

Декілька дослідників використовували програмне забезпечення TRaNsient SYstem Simulation Program (TRNSYS) для моделювання теплиць [19]. Він

широко використовується для моделювання та оцінки ефективності сонячних енергетичних систем завдяки простому та практичному використанню, яке користувач може зв'язати між собою моделі компонентів бібліотеки [19]. Один із модулів, *type56*, з'єднаний із файлом метеорологічних даних для імітації теплової поведінки теплиці, а також прогнозування навантаження на опалення та охолодження теплиці. Цей модуль дозволяє визначити геометричні характеристики теплиці, а також матеріал покриття теплиці, їх орієнтацію та розташування вікон і дверей.

Також було проведено деякі дослідження енергетичного аналізу та теплового моделювання теплиць за допомогою інструменту TRNSYS.

EnergyPlus використовувався в кількох дослідженнях для моделювання теплиці [12]. Це програмне забезпечення для моделювання, яке включає тепло-масовий баланс і модуль моделювання системи будівлі Гремс [27].

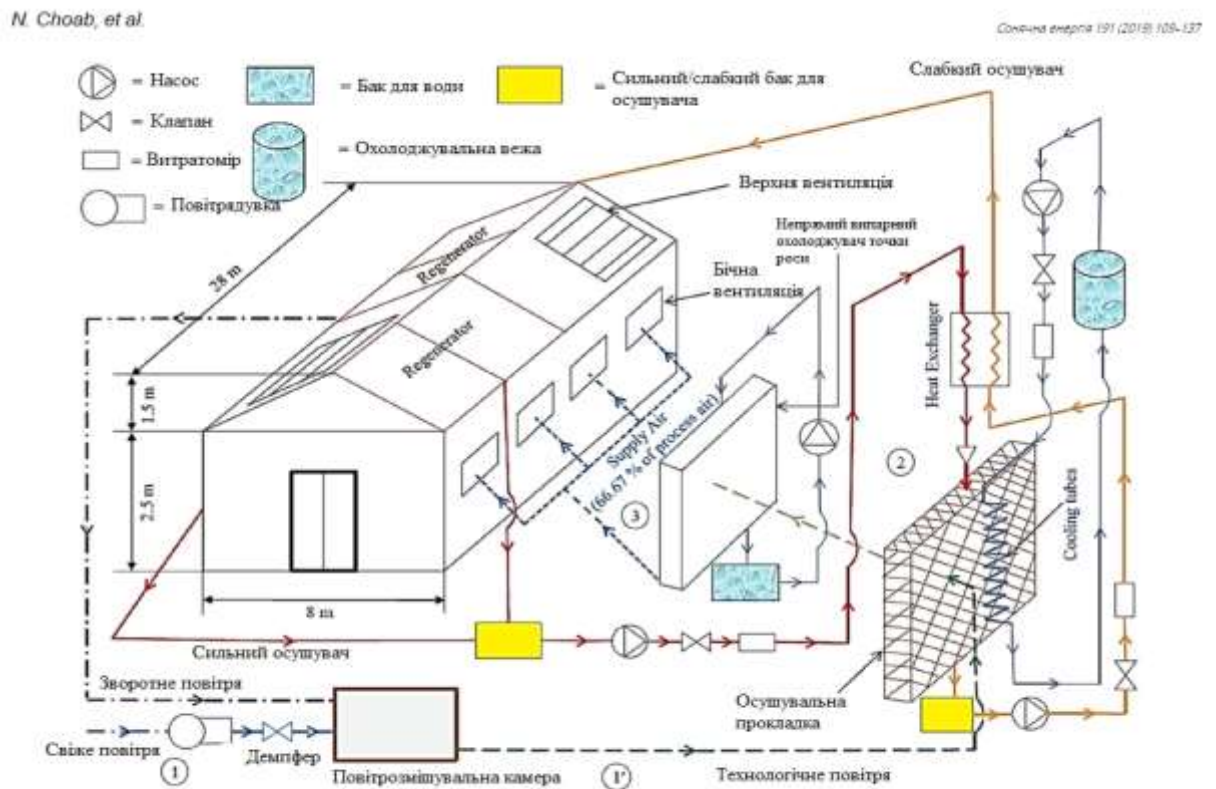


Рисунок 2.5 - Принципова схема закритої сонячної системи.

Програмне забезпечення для енергетичного моделювання, включаючи EnergyPlus і TRNSYS, можна використовувати для прогнозування та оцінки енергетичних навантажень різних типів будівель. На жаль, ці інструменти не включають моделі для врахування середовища кімнатних рослин [24]. Крім того, вони мають обмежену точність для моделювання тепло- та масообміну через випаровування врожаю. Дотепер інструменти моделювання будівництва не можуть точно моделювати тепличне середовище, тому ці інструменти потрібно адаптувати та модифікувати, щоб враховувати масо- та теплообмін, який відбувається всередині теплиці, і зазвичай потребує кількох додаткових моделей для підвищення їх точності.

Програмне забезпечення, яке використовується для техніки CFD, має високу точність і дозволяє вивчати повітряний потік і розподіл температури, з чим важко впоратися програмним забезпеченням моделювання енергії. У літературі було виявлено, що дослідники використовували Ansys Fluent Баксевану[10] для моделювання техніки CFD.

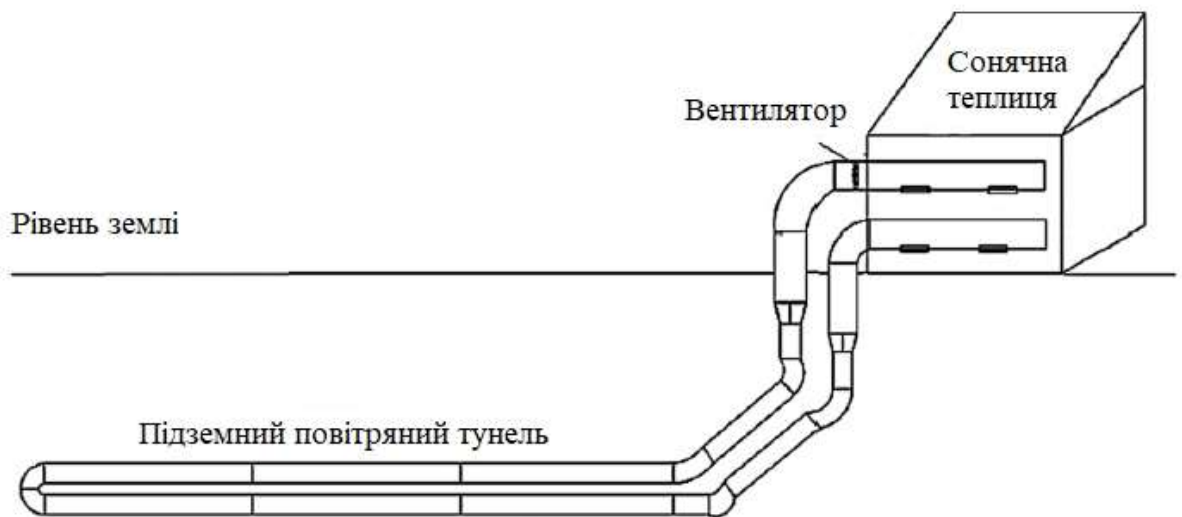


Рисунок 2.6 - Підземна система повітряних тунелів.

Теплиця та екстремальні середовища.

Теплиці не можуть повністю задовольнити свої потреби в опаленні в холодному кліматі, використовуючи лише сонячне випромінювання. Ця

проблема вирішується шляхом додавання деяких джерел опалення для постачання теплиці в критичних ситуаціях. Декілька досліджень мали на меті вивчити теплиці в холодному кліматичному режимі для збільшення користі від сонячної енергії [3]. Також, як зазначалося раніше, оптимізація експозиції важлива для збору якомога більшої кількості сонячної енергії.

Через екстремальний клімат у високогірних районах Непалу збирати свіжі овочі дуже важко більше половини року. Громади, які там проживають, страждають від хронічного та гострого недоїдання. Сонячна теплична система показала хороше рішення в цій ситуації, вегетаційний період був значно подовжений

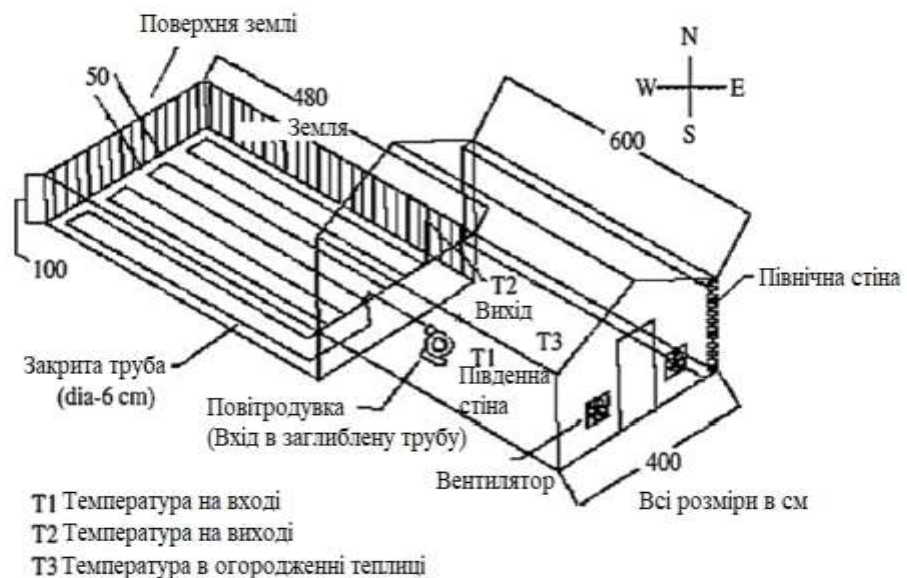


Рисунок 2.7 -Земляно-повітряні теплообмінники, встановлені до теплиці Тіварі [17].

Теплиця була експлуатована в Вайтхорс, Канада, за допомогою ізольований північний дах і стіни, теплопоглинаючу масу, вестибюлі для зменшення інфільтрації холоду навколишнього середовища та нічну ізоляційну обшивку. Це демонструє, що теплиці здатні забезпечити вегетаційний період у регіонах, де температура часто опускається нижче нуля. Брундретт описав особливості проектування сонячних теплиць для холодного клімату Онтаріо. Необхідно було знайти спосіб забезпечити ефективну нічну ізоляцію.

Необхідно підвищити та підтримувати вищу теплову ефективність для всієї роботи теплиці, включаючи ефективність теплової установки, ізоляцію труб опалення та рекуперацію відпрацьованого тепла, включно з тим, що міститься у вентиляційному повітрі. Для нових теплиць бажані активні та пасивні сонячні системи зберігання. Гупта і Чандра [4] встановили, що ідеальний дизайн теплиці для холодного клімату повинен характеризуватися: орієнтацією схід на захід; Готична форма арки; утеплення північної стіни; Установка нічної штори; Подвійний склопакет з наддувом; Внутрішня або зовнішня система накопичення сонячної енергії.

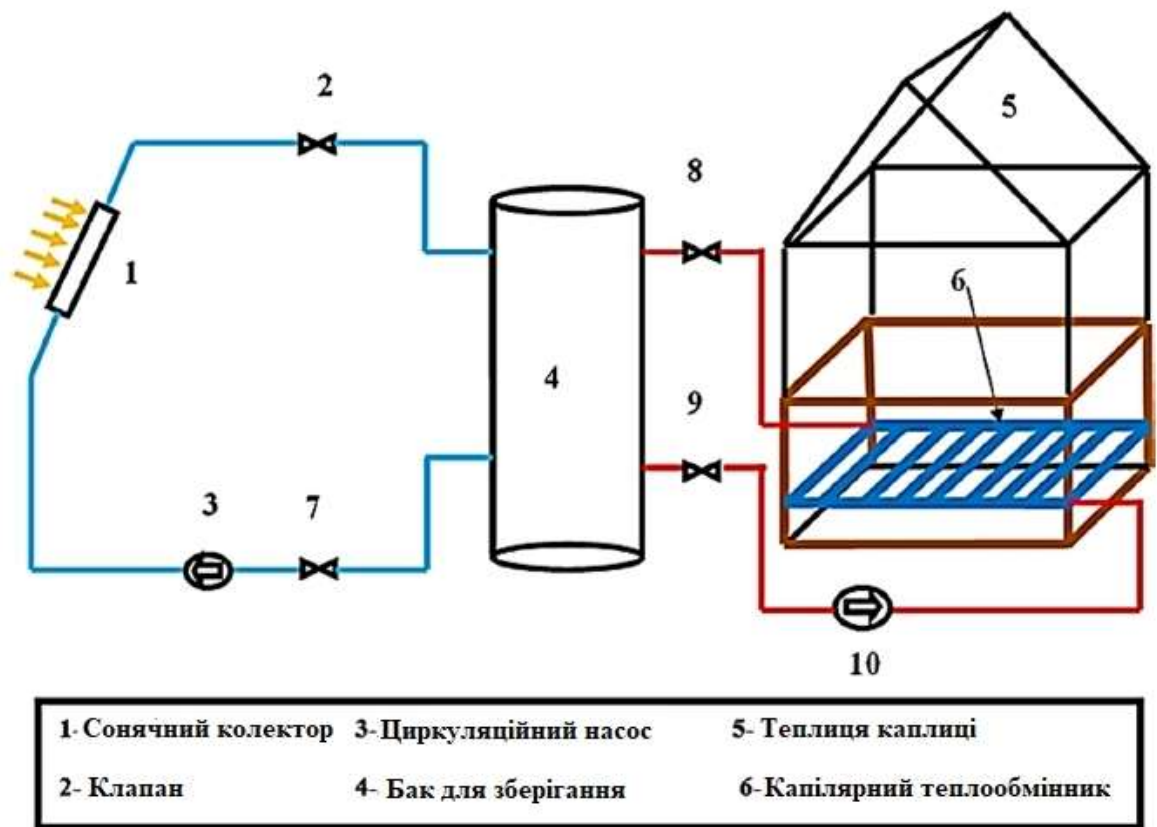


Рисунок 2.8 - Сонячна система водонагріву (SWHS).

Неглибокий сонячний ставок можна використовувати для захоплення та зберігання сонячної енергії в теплиці в холодному кліматі. Неглибокий сонячний ставок виділяє тепло, яке потім використовується для обігріву теплиці протягом дня. Крім того, тепло, накопичене вдень, можна використовувати для обігріву теплиці вночі. З точки зору вартості,

використання неглибокого сонячного ставка має перевагу, оскільки не вимагає додаткового зберігання тепла, на додаток до дешевих матеріалів, необхідних для його будівництва.

Жаркі та посушливі території існують у багатьох регіонах світу. На Аравійському півострові температура навколишнього повітря влітку зазвичай перевищує 45 °C при низькій відносній вологості. Тому слід уникати примусової або природної вентиляції. Звіти показують, що використання мікроіригаційних систем може вирішити деякі проблеми, які виникають у таких регіонах, як Кувейт, Абу-Дабі, долина Йордану, Ірак і Каліфорнія.

Охолоджувальні теплиці потрібні для порятунку рослин від клімату пустелі.

Влітку в Іраку температура навколишнього повітря може досягати близько 50 °C, що робить сонячну теплицю непрактичною в цей період. Аллюбурі та Ріда спробував виправити цю ситуацію, запропонувавши систему, яка складається з одного теплообмінника непрямого випарного охолодження та трьох прокладок для прямого випарного охолодження з використанням ґрунтових вод. Ця система охолодження довела свою ефективність, знизивши температуру повітря та підвищивши його вологість для досягнення необхідних сільськогосподарських кліматичних умов.

Доступні технології опалення та охолодження теплиць

Відповідна система опалення або охолодження повинна бути поєднана з теплицею, щоб забезпечити необхідну енергію та підтримувати відповідний мікроклімат для рослин на кожному етапі. Це також дозволить отримати вищу врожайність поза сезоном вирощування. Насправді, як зазначалося раніше, парниковий ефект не може бути достатнім для всіх місяців року.

Системи, що додаються до теплиці

Клімат у теплиці повинен постійно підтримуватися в оптимальних умовах для кращого росту рослин. Багато параметрів, таких як температура і вологість повітря, повинні контролюватися. З цією метою деякі дослідники запропонували та оцінили системи, що додаються до сонячних теплиць.

Вітряки можуть бути використані для покращення природної вентиляції сонячних теплиць та забезпечення більшої швидкості вентиляційного потоку. Вітряки працюють на основі рушійної сили (різниці тиску між навітряною і підвітряною сторонами) конструкції. Навітряна сторона характеризується позитивним тиском, який спрямовує повітря всередину конструкції, з іншого боку, негативний тиск на підвітряній стороні виводить повітря назовні. Нещодавнє експериментальне дослідження теплиці з природною вентиляцією, обладнаної системою вітрових веж, провів Пакарі [25] (рис. 5). Він виявив, що середня швидкість повітря всередині теплиці становила 0,44 м/с і коливалася від 0,3 до 1,8 м/с при висоті рослин 1 м, що є бажаним діапазоном швидкостей повітря.

Ghosh і Ganguly (2017) запропонували частково закриту систему випарного охолодження з використанням рідкого осушувача, що генерується сонячною енергією (рис. 6). Ця система була створена для забезпечення відповідних умов для вирощування в теплиці цінних рослин помірного поясу, таких як салат, протягом усього року в суворих кліматичних умовах. За їхніми прогнозами, в умовах Калькутти температура в теплиці може досягати 27 °C максимум протягом цілого року.

Температура ґрунту на глибині 3-4 м практично не змінюється протягом року, що відкриває перспективу для використання його в якості системи збереження тепла. Протягом останніх років дослідження використання теплообмінників земля-повітря (ЕАНЕ) в мікрокліматі сільськогосподарських теплиць збільшилися. Ozgener (2011) розглянув відповідні аналітичні та експериментальні дослідження систем ЕАНЕ в Туреччині та в усьому світі. Дослідження систем ЕАНЕ поділяються на дві основні категорії: відкриті та закриті системи. В інших дослідженнях Ozgener і Ozgener (2010a, 2010b, 2011) оцінили можливість використання підземного повітряного тунелю для опалення теплиці. U-подібні труби були оцинковані та закопані в землю (рис. 7). Вони виявили, що UAT здається перспективним альтернативним матеріалом.

Тіварі [17] виявив, що використання ЕАНЕ може підвищити температуру повітря в теплиці на 7-8 °С в холодні місяці і знизити її на 5-6 °С влітку. Він дійшов висновку, що зі збільшенням довжини труб і глибини залягання ґрунту, а також зменшенням діаметра труб і швидкості потоку повітря на вході, температура повітря в теплиці підвищується в холодні місяці і знижується в спекотні місяці.

Тіварі [17] інтегрували ЕАНЕ з теплицею, орієнтованою зі сходу на захід, і товстою цегляною стіною з північного боку для зберігання тепла (Рис. 8). ЕАНЕ містить труби з ПВХ довжиною 39 м і діаметром 0,06 м, закопані на глибині 1 м серпантинном. Труби з ПВХ складаються з 8 витків (у змієподібній конфігурації) довжиною 4,8 м і 0,5 м та відстанню між ними відповідно. Випробування показали, що температура внутрішнього повітря підвищується і знижується на 8 °С і 4 °С влітку і взимку при використанні ЕАНЕ.

Sharan et al. (2004) протестували ЕАНЕ (8 труб діаметром 20 см, довжиною 20 м, 20 змін повітря на годину), встановлену в теплиці в режимі замкненого контуру в умовах спекотного і надзвичайно посушливого клімату в Індії. В результаті експерименту було виявлено, що в зимові ночі температура повітря підвищувалася з 9 °С до 22-23 °С за 30 хвилин, а в квітні знижувалася на 7 °С порівняно з температурою навколишнього середовища.

Сонячні теплові колектори та накопичувачі широко використовуються для задоволення потреб в обігріві теплиць. Дослідники використовують різні матеріали для зберігання теплової енергії (Allouhi та ін., 2015, 2014; Jamil та ін., 2010; Kousksou та ін., 2014, 2010, 2007, 2005).

Attar et al. дослідили за допомогою симуляції Trnsys сонячну систему підігріву води (SWHS) в умовах Тунісу. Ця система складається з двох сонячних колекторів загальною площею поверхні до 4 м², з'єднаних з баком для зберігання води (ємністю 200 л) і капілярною трубкою в якості теплообмінника (рис. 2.9). Згідно з параметричним аналізом, ця система опалення здатна підвищити температуру повітря на 5 °С. Гібридна система, показана на рис. 10, складається з теплового сонячного колектора, що працює

на викопному паливі, з'єднаного з резервуаром для зберігання води. Нагрівач на викопному паливі використовується для контролю температури води в резервуарі, ця вода надходить до теплиці і обмінюється теплом з повітрям, підтримуючи температуру вище заданого значення. Великий накопичувальний бак був використаний як сонячний колектор, щоб підвищити ефективність використання сонячної енергії, а також використовувати її для опалення в нічний час.

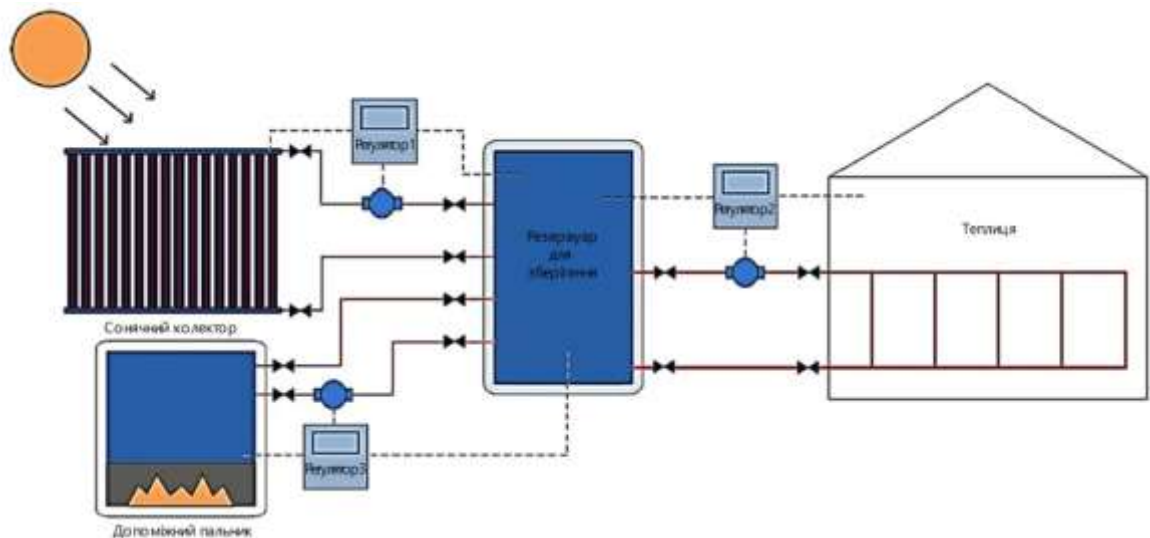


Рисунок 2.9 - Гібридна сонячна система опалення.

Су і Ху [22] досліджували поєднання системи сонячного опалення з теплицею площею 2304 м². Об'єм ґрунту 4970 м³ використовувався для збереження енергії, зібраної 500 м² сонячних колекторів у спекотні сезони за допомогою трубчастих теплообмінників у формі U (рис. 11). Трубки теплообмінника були розміщені всередині для розподілу теплової енергії. Ця система могла підтримувати температуру повітря на 13 °С вище, ніж температура навколишнього середовища, незважаючи на те, що остання вночі досягала -2 °С.

Hassanien et al. досліджували опалення теплиці за допомогою системи, що складається з сонячного водонагрівача та допоміжного електричного теплового насоса (рис. 2.10). Ця система може підвищити температуру повітря на 2-3 °С і знизити його відносну вологість на 10%. Крім того, ця система може покрити понад 35% споживання енергії для опалення теплиці.

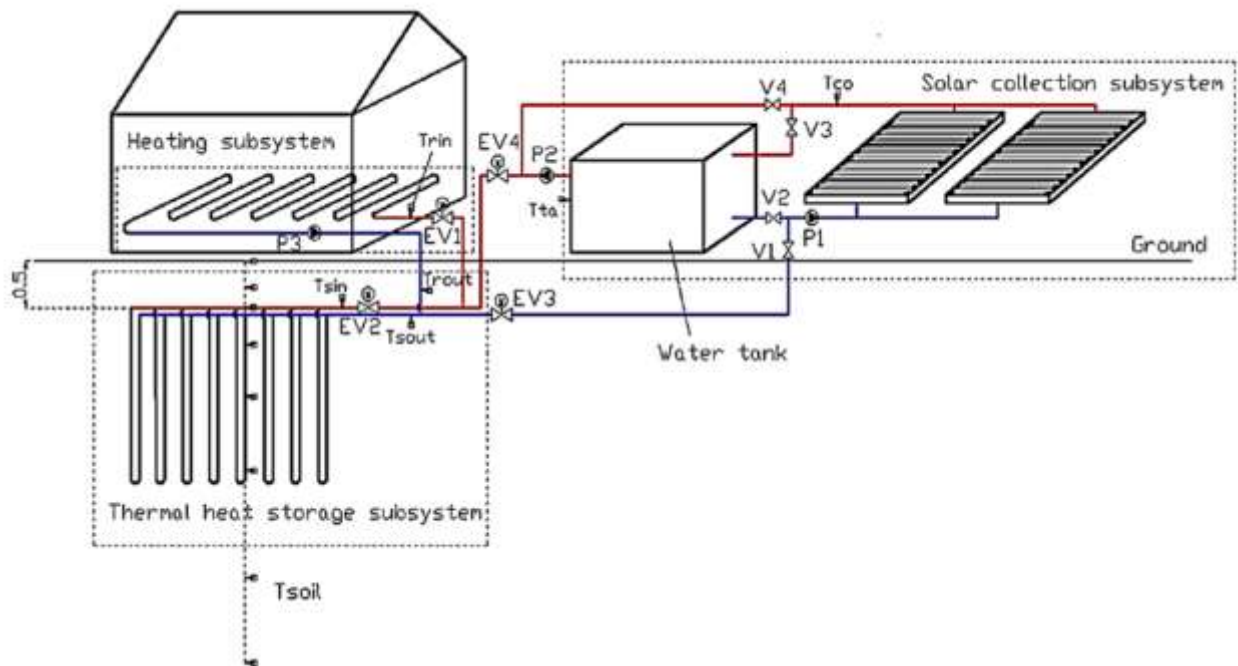


Рисунок 2.10 - Система сонячного нагрівача з сезонним накопиченням теплової енергії, досліджена Су і Ху [22]. Права захищені Elsevier Rightslink.

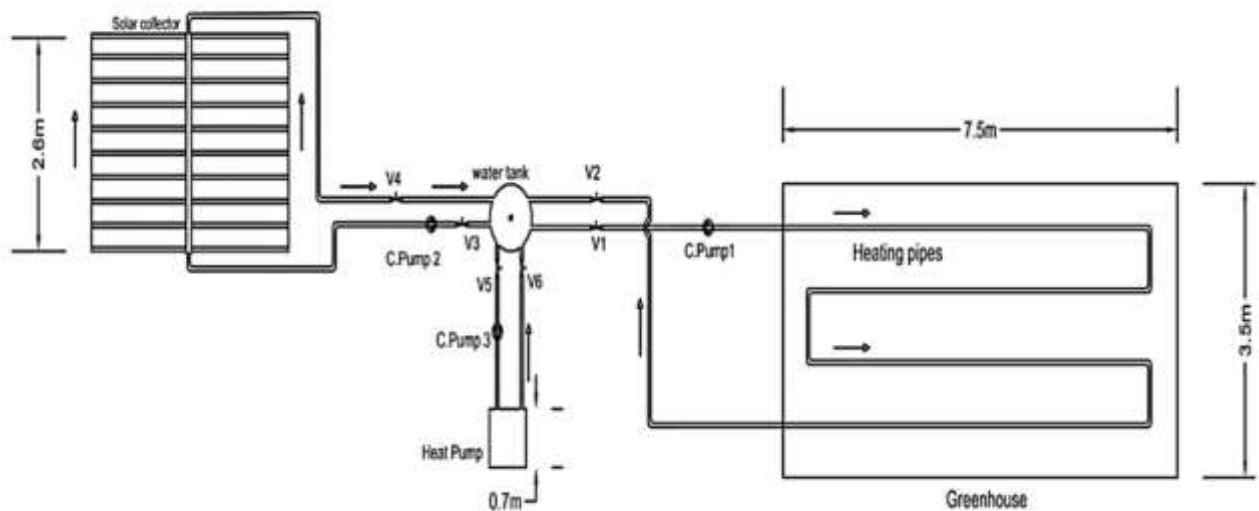


Рисунок 2.11- Сонячний водонагрівач, досліджений Hassanien et al. (2018). Права захищені Elsevier Rightslink.

Lazaar et al. провели дослідження з метою підвищення температури повітря в теплицях у нічний час в умовах клімату Тунісу. Було використано два джерела опалення: Електрична система опалення (Рис. 2.12) та сонячна система опалення (Рис. 2.13). ЕСТ може підвищити температуру повітря на 4 °C, тоді як СГТ підвищує температуру на 2 °C.

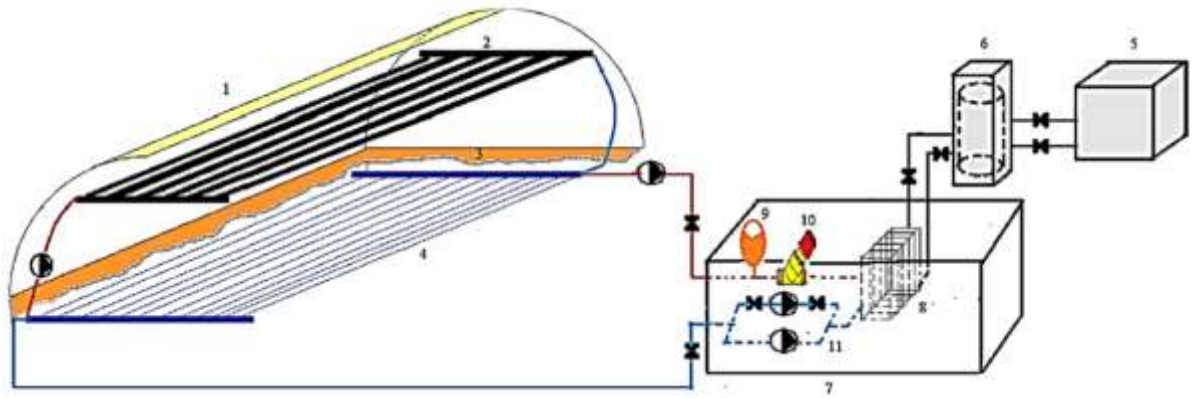


Рисунок 2.12 - Електрична система опалення.

1 - Тунельна теплиця; 2 - Агротерм; 3 - Ґрунт; 4 - Капілярний теплообмінник; 5 - Тепловий насос повітря-вода; 6 - Насос для накопичувальної води; 7 - Гідравлічна система; 8 - Пластинчастий теплообмінник; 9 - Розширювальний бак; 10 - Запобіжний клапан; 11 - Пропускна система; 12 - Система циркуляції води; 13- Клапан.

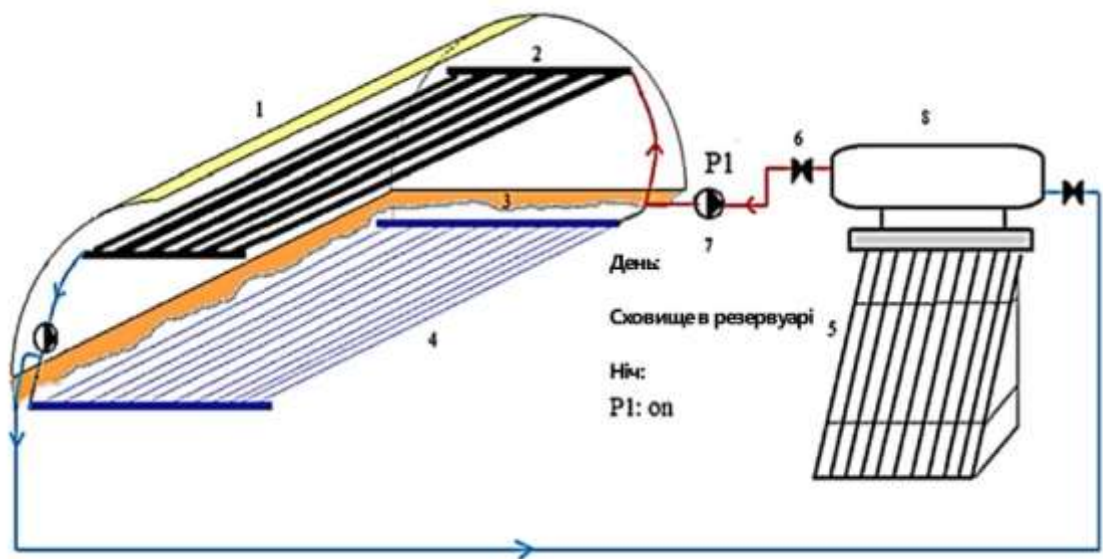


Рисунок 2.13 - Сонячна система опалення.

1 - Тунельна теплиця; 2 - Агротерм; 3 - Ґрунт; 4 - Капілярний теплообмінник; 5 - Евакуаційний трубчастий сонячний колектор; 6 - Клапан; 7 - Помпа; 8 - Резервуар.

Сонячна система зберігання тепла ґрунту (Рис. 2.14), що використовується для охолодження теплиць, була запропонована Чжан [12]. Ця система складається з підсистеми накопичення тепла ґрунту, яка являє собою заглиблений U-подібний теплообмінник, і капілярного радіатора, який

розглядається як підсистема опалення теплиці. Також є водопровідні труби, насоси та клапани, ці елементи представляють гідравлічну підсистему, це з'єднана з підсистемою сонячних колекторів, капілярними радіаторами теплиці та ґрунтовим теплообмінником. Капілярні радіатори встановлені на поверхні ґрунту теплиці, тоді як інші підсистеми розташовані зовні теплиці. Сонячна енергія, накопичена в ґрунті теплиці, може бути використана для зменшення необхідної енергії в суворі зимові морози. Коли температура внутрішнього повітря підтримується на рівні вище 12 °C протягом року, економія енергії в кліматичних умовах Шанхаю склала 27,8 кВт-год/(м²-рік).

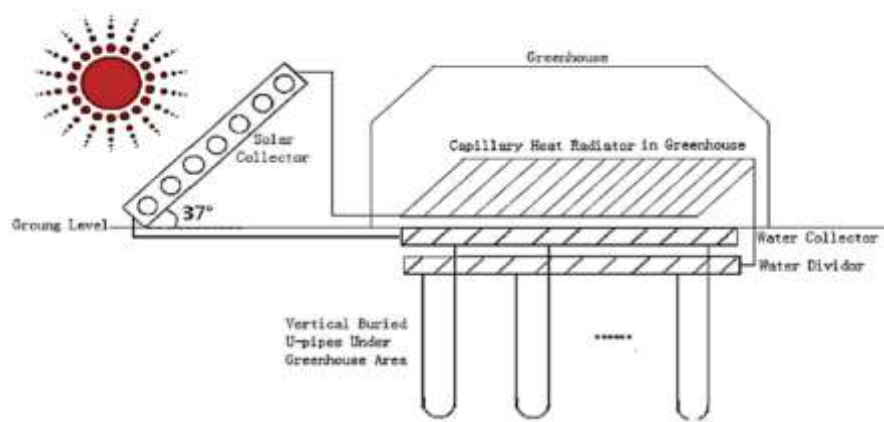


Рисунок 2.14 - Система акумулювання тепла, запропонована Чжан [12].

Esen and Yuksel розробили гібридну систему, яка складається з ґрунтового теплового насоса, сонячного колектора та біогазу для задоволення потреб у парниковій енергії (рис. 2.15). Ця система показала свою здатність підтримувати температуру на рівні 23 °C, використовуючи біогаз як додаткове джерело.

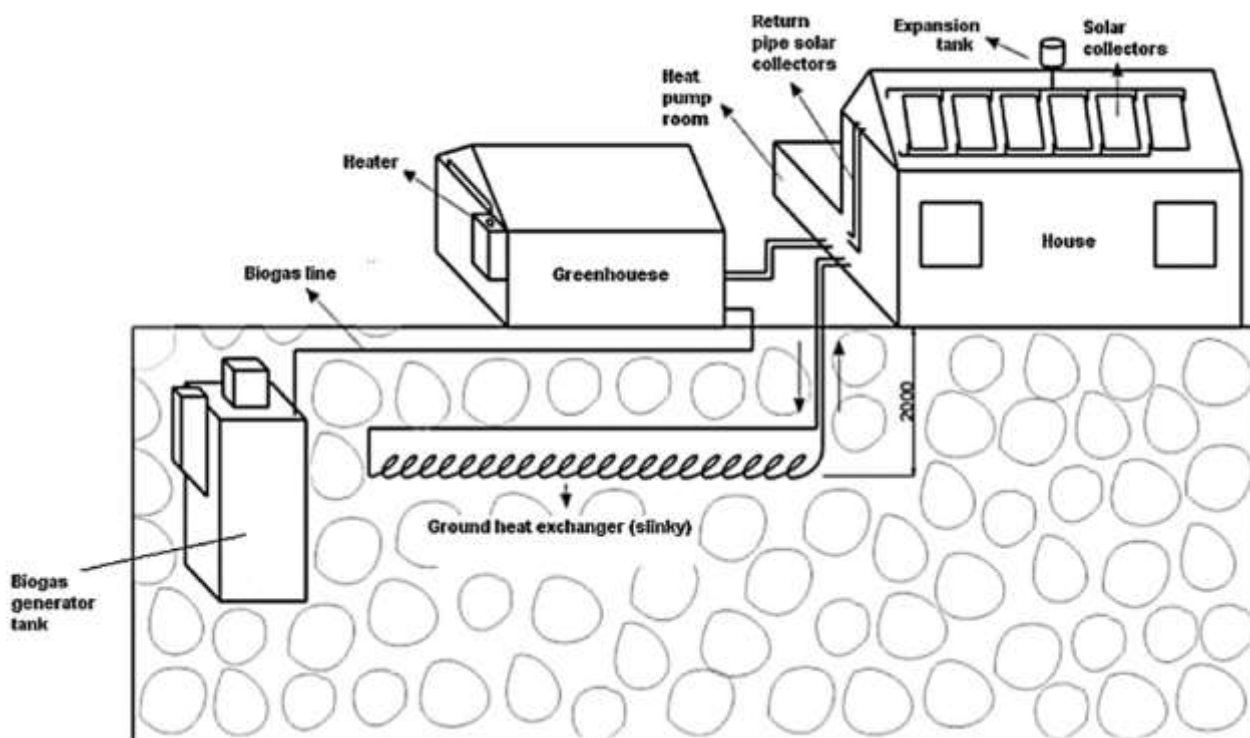


Рисунок 2.15 - Схематичне зображення системи опалення теплиці.

Матеріали з фазовими змінами (ФЗМ) широко використовувалися в тепличних системах. Öztürk вивчав сезонний акумулятор теплової енергії, що складається з парафіну для зберігання прихованої теплової енергії, щоб покрити потребу в опаленні теплиці площею 180 м² (рис. 2.16). В іншому дослідженні Benli та Durmuş вивчали систему які подають нагріте повітря, поєднуючи сонячні повітряні колектори з РСМ для накопичення сонячної енергії для обігріву теплиці (рис. 2.17). Ця система може створювати різницю в температурі повітря всередині та зовні теплиці на 6-9 °С.

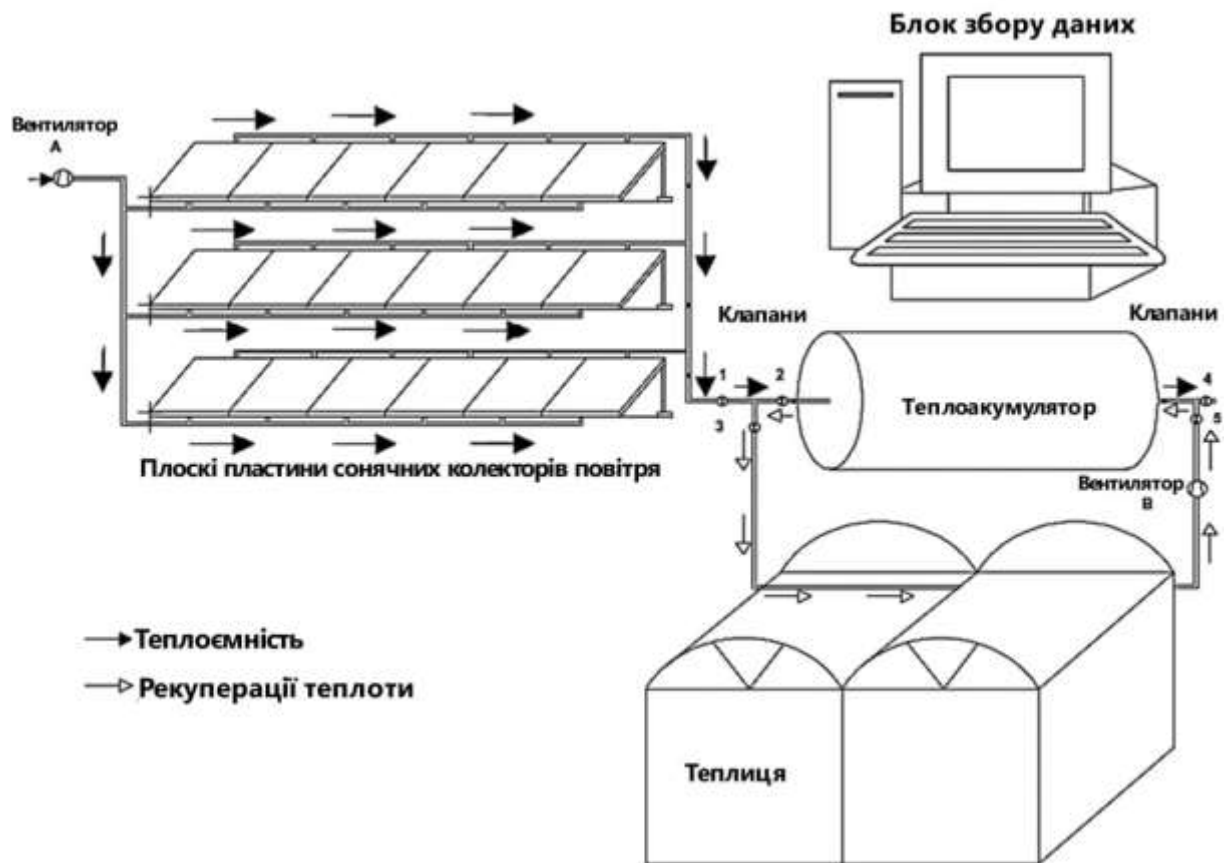


Рисунок 2.16 - Система зберігання тепла та обігріву теплиць.

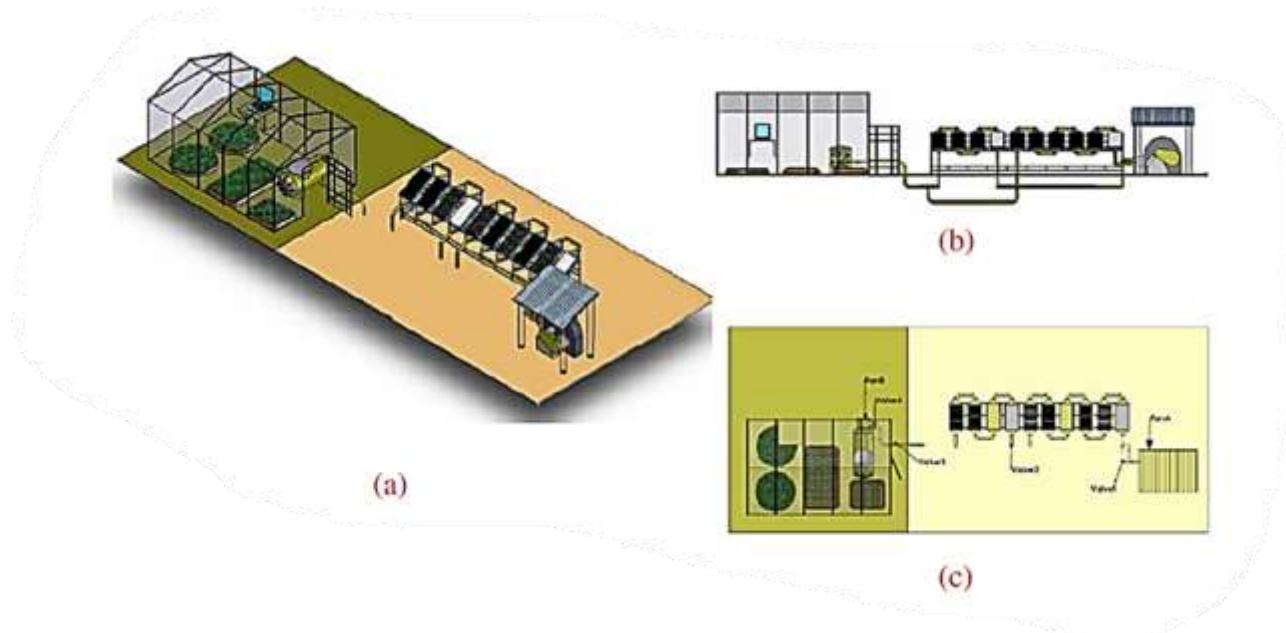


Рисунок 2.17 - Різні види систем опалення теплиць.

Joudi and Farhan встановили на даху традиційної теплиці 6 сонячних повітрянагрівачів, оснащених одним скляним ковпаком і "V"-подібними поглинаючими пластинами, з'єднаними паралельно (рис. 2.18). Таке

розташування не має впливу на сонячну радіацію, необхідну для обігріву теплиці взимку, порівняно зі звичайною теплицею. Вони виявили, що ця система забезпечує 84% щоденної енергії, необхідної для підтримання температури на рівні 18 °C.

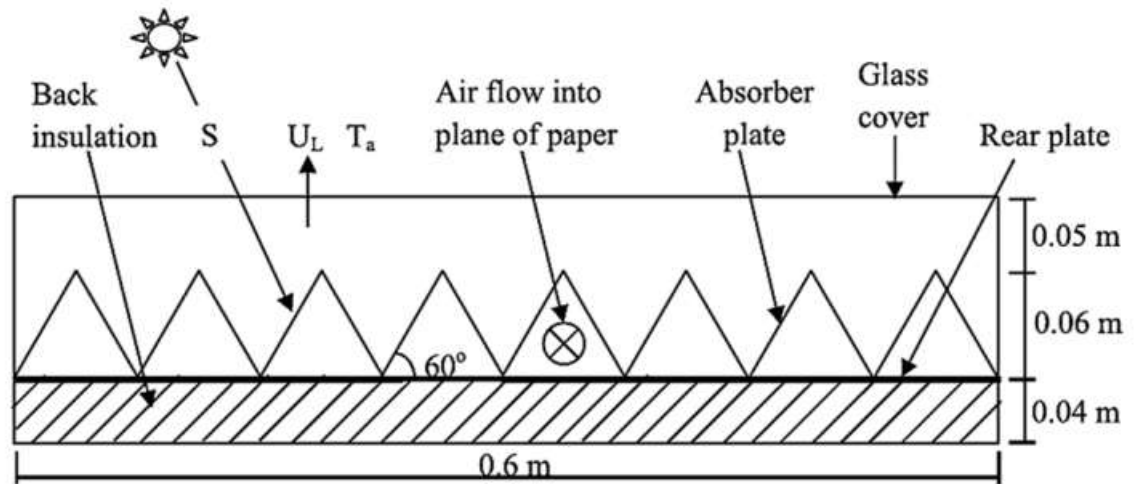


Рисунок 2.18. "V"-подібна гофрована поглинаюча пластина.

Китайська сонячна теплиця (CSG)

Китайські сонячні теплиці (CSG) використовуються для вирощування рослин під їхнього росту без додаткового обігріву, навіть у екстремальні зимові періоди, коли температура опускається нижче -10 °C. Характерними особливостями УЗВ є південний дах з пластикової плівки, непрозорий північний дах, північна стіна, західна та східна торцеві стіни та теплова ковдра (Рис. 2.19).



Рисунок 2.19 - Китайська сонячна теплиця.

Природна вентиляція є важливим параметром для проектувальників CSG. Чжан [12] проаналізували зв'язок між вологістю внутрішнього повітря та вентиляційними отворами CSG. Вони продемонстрували, що збільшення вентиляційних отворів збільшує швидкість вентиляції, що призводить до вирівнювання температури та вологості повітря всередині теплиці.

Збільшення площі посівів за рахунок збільшення прольоту, площі південного даху та ґрунту впливає на тепловий режим теплиці. Tong проаналізували вплив трьох різних прольотів (10, 12 і 14 м) на мікроклімат CSG. У цьому аналізі вони варіювали розмірні характеристики теплиці. Змінюючи всі При однакових розмірах північної стіни і даху, найнижча температура внутрішнього повітря була виявлена в прольоті 10 м, а найвища - в прольоті 14 м. При однакових розмірах північної стіни і даху, найвища температура повітря була зафіксована в прольоті 12 м, а найнижча - в прольоті 14 м. При однакових розмірах південного даху температура повітря всередині БСГ з вищою північною стіною з прольотом 10 м була такою ж, як і в 12-метровому прольоті, а температура повітря в обох прольотах була вищою, ніж в іншому 10-метровому прольоті з коротшою північною стіною.

Північна стіна CSG відіграє важливу роль у створенні відповідного теплового режиму для рослин, що вирощуються в теплиці без додаткової системи опалення. Для північної стіни CSG було проведено кілька досліджень. Guan et al. (2017) визначили оптимальну товщину тришарової стіни, стінової плити з фазообмінного матеріалу, блокової цегли та ізоляційної плити з пінополістиролу. Вони виявили, що 50, 620 і 60 мм, відповідно, є оптимальною товщиною. Ling et al. вивчали систему, яка поєднує активно-пасивну потрійну стіну з фазозмінного матеріалу (APTRCMW) і концентратори сонячного випромінювання для покращення теплоакумуючої здатності північної стіни (рис. 2.20).

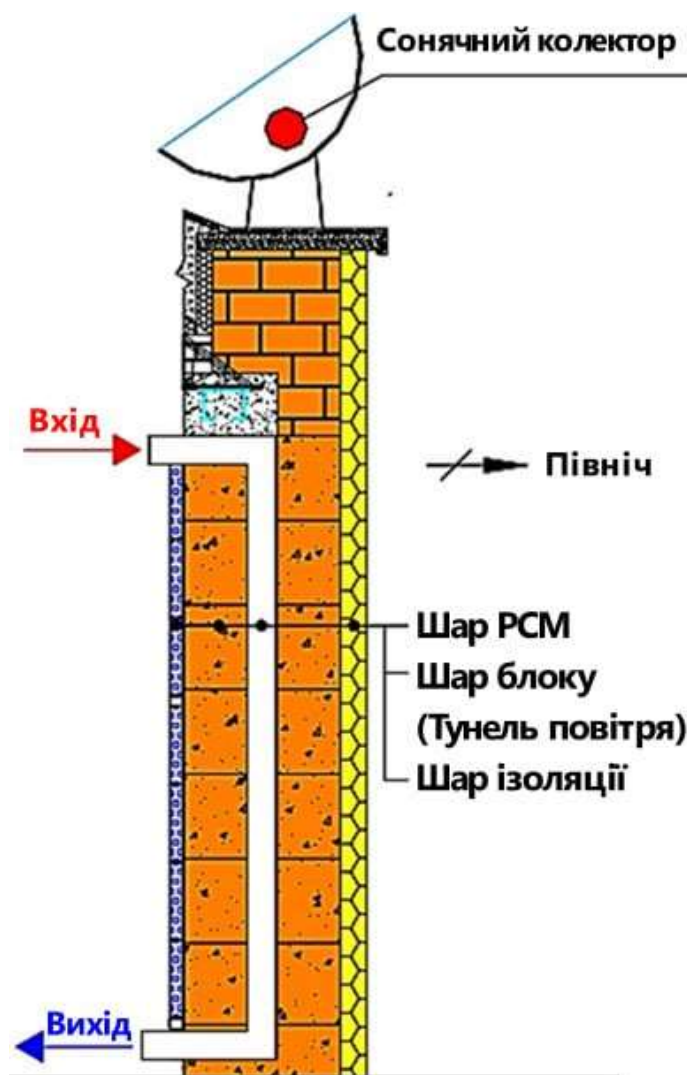


Рисунок 2.20 - Креслення перерізу північної стіни.

Wang виявив, що заповнення ґрунтом або перлітом порожнин пустотілих блоків може покращити теплові характеристики північної стіни БГУ. Вони продемонстрували, що теплоємність північної стіни та здатність зберігати тепло збільшуються за рахунок заповнення пустотілих блоків ґрунтом. Також її термічний опір збільшується при заповненні пустотілих блоків перлітом.

Ren представив новий тип солом'яних блоків, які можна використовувати в БСТ, щоб замінити обпалену глиняну цеглу. Вони провели порівняльне дослідження між цим новим типом і стіною з пористих глиняних блоків. Новий тип стін показав кращі теплові та вологісні характеристики, на додаток до своєї високої міцності.

Рулонні ролети та рулонні плівки є важливими компонентами сонячних теплиць [12]. Кілька досліджень продемонстрували, що положення ролети впливає на температуру повітря всередині теплиці (Tong et al., 2010). Крім того, положення рулонної плівки може контролювати ефективність природної вентиляції [12]. Взаємозв'язок між мікрокліматом теплиці та обома ролетами та зміни положення рулонної плівки слід приділити більше уваги в майбутніх дослідженнях [28, 29].

Орієнтація ТСГ має значний вплив на кількість енергії сонячного випромінювання, зібраної південним дахом. Чен [26, 30] запропонував модель для визначення найкращої орієнтації БСГ. Він виявив, що відповідна орієнтація теплиці змінюється в залежності від висоти сонця, причому більш значне переміщення потрібно з півдня на південь з вищою широтою.

Прогнозування теплової поведінки та енергетичних потреб БСГ було проведено в літературі. Було розроблено кілька теплових моделей для імітації мікроклімату на КУГ. Esmaeli and Roshandel (2020) розробив теплову модель для оцінки внутрішньої температури в теплиці та пошуку відповідного дизайну теплиці для кожного кліматичного режиму. Ahamed et al. (2018b,c) розробили відносно просту у використанні модель для прогнозування погодинної потреби в опаленні в БСГ.

Кілька досліджень були спрямовані на інтеграцію систем опалення в БСГ, щоб досягти необхідної температури для кращого врожаю та виробництва, особливо в зимовий нічний час. [31, 32, 33] Одне з таких досліджень було проведено Lu et al. (2017), вони продемонстрували, що активна сонячна система, яка зберігає сонячну енергію у резервуарі для зберігання води і вивільняє її вночі, може підвищити температуру повітря в приміщенні БСГ в зимовий нічний час.

2.5 Розробка автоматизованої системи моніторингу параметрів мікроклімату в теплиці

Запропонована система має можливість збору та моніторингу кліматичних параметрів, пов'язаних із мікрокліматичним середовищем рослин, як всередині, так і поза мікрокліматичним середовищем за допомогою бездротових сенсорних мереж. [35, 37, 38] Сферою досліджень у середовищі контрольованого мікроклімату є автономна мобільна вимірювальна станція, яка збирає кліматичні дані в навколишньому середовищі. Для руху робота під час вимірювань у динамічному середовищі розроблено вдосконалений метод навігації мобільних станцій моніторингу на основі методу потенційного поля. Навігація мобільного робота базується на методі потенційного поля в поєднанні з потужністю отриманого сигналу WSN (Wireless Sensor Networks), який використовується як маркери для керування роботом. Поєднання локалізації за допомогою потужності сигналу вузлів WSN і методів потенційних полів призводить до можливості застосування цього методу в невідомому динамічному середовищі. З початкової точки мобільний робот повинен знайти шлях до мети в динаміці середовища, уникаючи будь-яких перешкод. Одним із внесків дослідження є покращення продуктивності навігації мобільного робота в невідомому середовищі.

Додатків для WSN багато і різноманітні [35, 37, 38, 39]. Вони використовуються в комерційних і промислових програмах для моніторингу даних, які було б важко або дорого контролювати за допомогою дротових датчиків. Їх можна розгортати в диких районах, де вони залишатимуться протягом багатьох років (моніторинг деяких змінних навколишнього середовища) без необхідності перезаряджати/замінювати свої джерела живлення. Вони могли сформувати периметр навколо власності та стежити за просуванням зловмисників (передаючи інформацію від одного вузла до іншого). Існує багато застосувань WSN. Типові застосування WSN включають моніторинг, відстеження та контроль. Деякі з конкретних застосувань

включають моніторинг середовища існування, відстеження об'єктів, керування ядерним реактором, виявлення пожежі, моніторинг руху тощо. У типовому застосуванні WSN розкидано в регіоні, де він призначений для збору даних через свій сенсорний вузол. Контролер на базі WSN дозволив значно зменшити кількість змін у дії керування та зробив можливим дослідження компромісу між кількістю передачі та ефективністю керування. Рис. 2.21 показує наше середовище тестування в теплиці. Теплиця захищає рослини від екстремальних погодних умов. Однак, якщо період світлового дня перешкоджає фотосинтетичній діяльності, рослини не ростуть. Садове освітлення дозволяє виробнику продовжити вегетаційний період. Це дозволяє цілорічне виробництво рослин або робить можливим для виробник повинен почати посів ранньою весною і продовжити сезон до перших заморозків. Рослинам потрібно близько 10-12 годин світла для поліпшення росту.



Рисунок 2.21 - Посіви в теплиці

Управління рухом мобільних роботів сьогодні є дуже важливою галуззю досліджень, оскільки мобільні роботи є дуже цікавою темою як наукові дослідження, так і практичні застосування. У цій роботі об'єктом дистанційного керування є транспортний засіб Voe-Bot. Транспортний засіб має два ведучих колеса, і кутові швидкості обох коліс регулюються незалежно. Коли транспортний засіб рухається до цілі і датчики виявляють перешкоду, необхідна стратегія уникнення. Хост-система підключається до мобільного

робота за допомогою модуля SunSPOT. Програма дистанційного керування підтримується графічним інтерфейсом користувача, показаним на рис. 2.22. Що стосується клімат-контролю в теплиці, то система має обнадійливі результати.

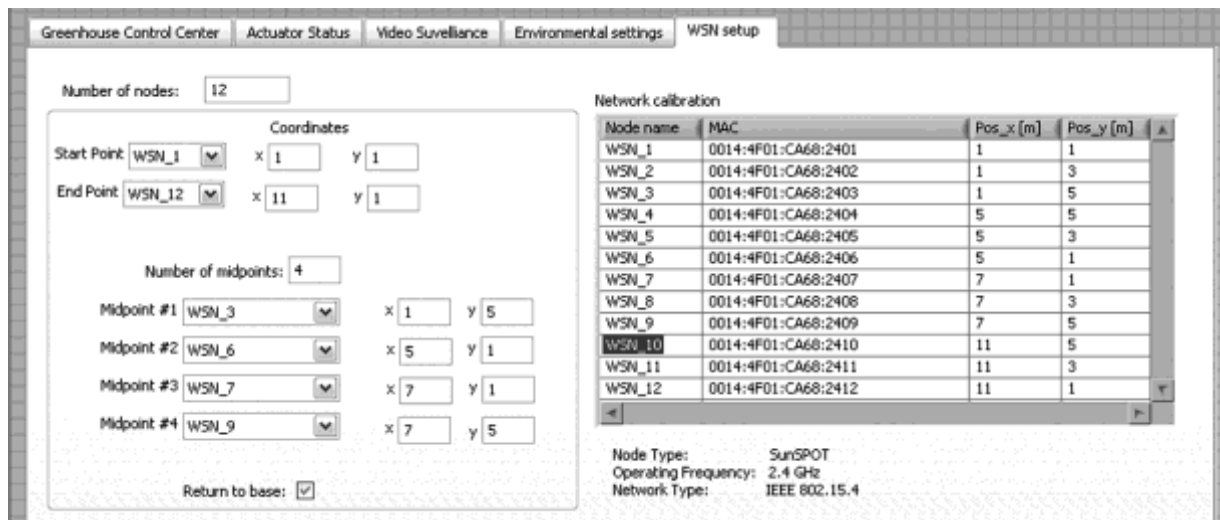


Рисунок 2.22 - Розвинене вікно центру управління

Цей додаток відстежує внутрішні та зовнішні параметри теплиці, дає огляд поточного стану приводу, а також має можливість відеоспостереження. Усі дані, зібрані з мобільної вимірювальної станції та зовнішньої метеорологічної станції, зберігаються в базі даних [28]. Навігація мобільного вимірювального робота може здійснюватися вручну, спираючись на візуальні дані з камери робота, або може бути переведена в автоматичний режим, де навігаційну роботу виконує розроблений алгоритм. Розгортання бездротових датчиків і сенсорних мереж в тепличному середовищі в основному знаходиться на стадії розробки [40]. Вищезазначені програми можна розділити на п'ять основних категорій:

- Екологічний моніторинг,
- Точне землеробство,
- Контроль машин і процесів,
- Автоматизація будівель і об'єктів,
- Системи відстеження.

Реалізована бездротова сенсорна мережа була розроблена

Sun Microsystems Inc. забезпечує екологічний моніторинг на полях. Віддалений сервер додатків може передавати дані з мережі датчиків локальним користувачам через WLAN і віддаленим користувачам через стільникову мережу та Інтернет. Ми розробили прототип бездротової системи для отримання, зберігання, відображення та передачі даних про навколишнє середовище в реальному часі між теплицею та віддаленим місцем. У системі керування мобільний вимірювальний агент переміщується між посівами та збирає дані. Вузли спілкуються один з одним або з тепличним сервером через WSN. Сервер збирає всю інформацію, отриману від мотів, і зберігає її в базі даних. Випробування продемонстрували великий потенціал для підвищення ефективності та точності контролю тепличних господарств і збору даних. Протягом останніх кількох років методи потенційного поля (PFM) для уникнення перешкод набули підвищеної популярності серед дослідників у галузі роботів і мобільних роботів. Ідею уявних сил, що діють на робота, запропонував. У цих підходах перешкоди діють на силу відштовхування робота, тоді як ціль застосовує до робота силу притягання. Сума всіх сил, результуюча сила, визначає подальшу напрямку і швидкість руху. Відповідно однією з причин популярності цього методу є його простота та ефективність.

Виміряні значення змінних тепличного клімату спочатку перетворюються з аналогових на цифрові, а потім передаються до системи керування. Через високу вологість теплиці система керування зазвичай розташовується зовні. Оптимальна температура повітря в теплиці залежить від передбачуваного рівня фотосинтетичної діяльності. Кожен вид рослин має свої оптимальні значення температури повітря та активного випромінювання світла, які забезпечують максимальну фотосинтетичну активність. Важливу роль відіграє і температура ґрунту. Кондуктивне тепло передається безпосередньо структурі ґрунту та через конвекцію між корінням рослин і потоком води навколо них. Основна проблема контролю вологості та температури полягає в тому, щоб забезпечити найкращу провідність для активних речовин руху води і поживних речовин по рослині. Контроль вологості також є важливим інструментом для

запобігання поширенню хвороб рослин у теплицях. Рис. 2.23 показує структуру злиття даних у теплицісередовища з реалізованими датчиками та приводами, відповідальними за кондиціювання клімату.

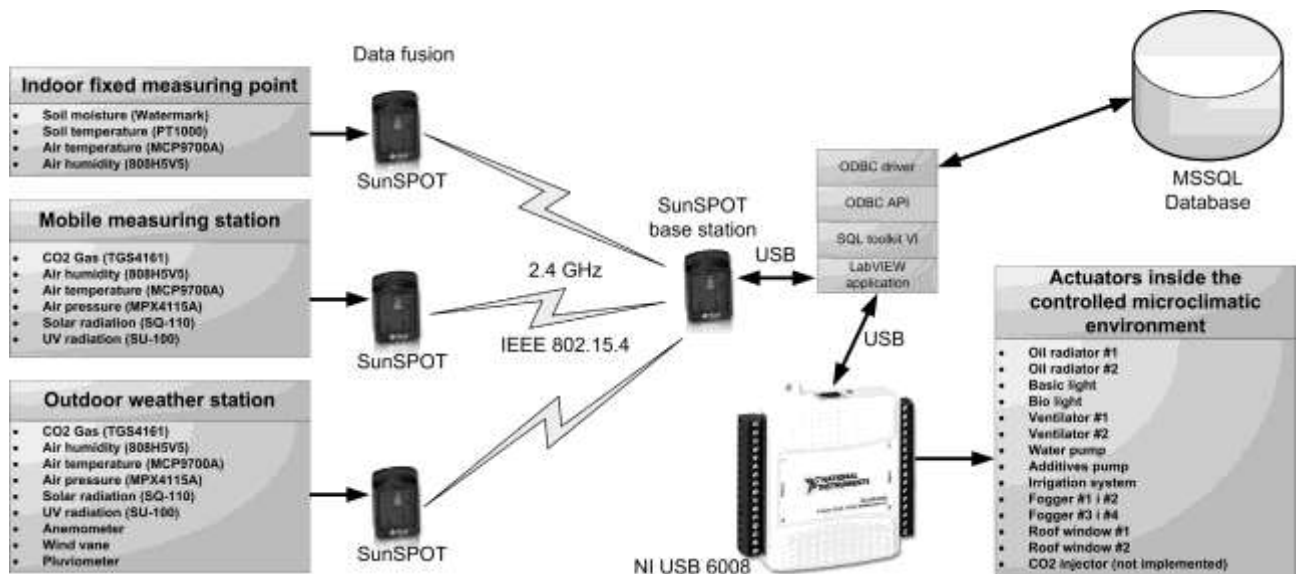


Рисунок 2.23 - Структура злиття даних у тепличному середовищі.

Датчики діапазону допомагають лише стежити за стіною та виявляти стіну. Для тепличного середовища мобільний вимірювальний агент оснащений платами сільськогосподарського датчика та датчика газу, і їх можна використовувати разом для вимірювання та контролю вологості повітря, рівня CO₂ та температури повітря. Використовуючи PAR (фотосинтетично активне випромінювання), датчик перевіряє умови для фотосинтезу. Рис. 2.24 показує повну систему керування теплиці. Виконавча частина, як-от обігрівачі, туманогенератори, охолоджувачі системи, керується програмою LabVIEW. Для створення відносно постійного середовища всередині теплиці використовуються всі необхідні приводи. Якщо температура підвищується, система керування вмикає охолоджуючі вентилятори та туманоутворювачі, доки ми не досягнемо прийнятної температури. Якщо температура падає нижче норми, вмикаються масляні нагрівачі. Мобільному вимірювальному агенту не потрібно постійно контролювати значення, і він може проводити тривалий час у режимі енергозбереження [31–33]. У нашому випадку обхід по теплиці проводиться один раз на годину. Зібрані дані передаються до реляційної бази

даних для подальшого статистичного аналізу. Використання даних датчиків автоматично налаштовує систему керування відповідно до місцевих умов у теплиці. Уникнення надмірного поливу також допомагає запобігти певним захворюванням культур, включаючи гниль, грибки та бактерії, які процвітають у вологих умовах.

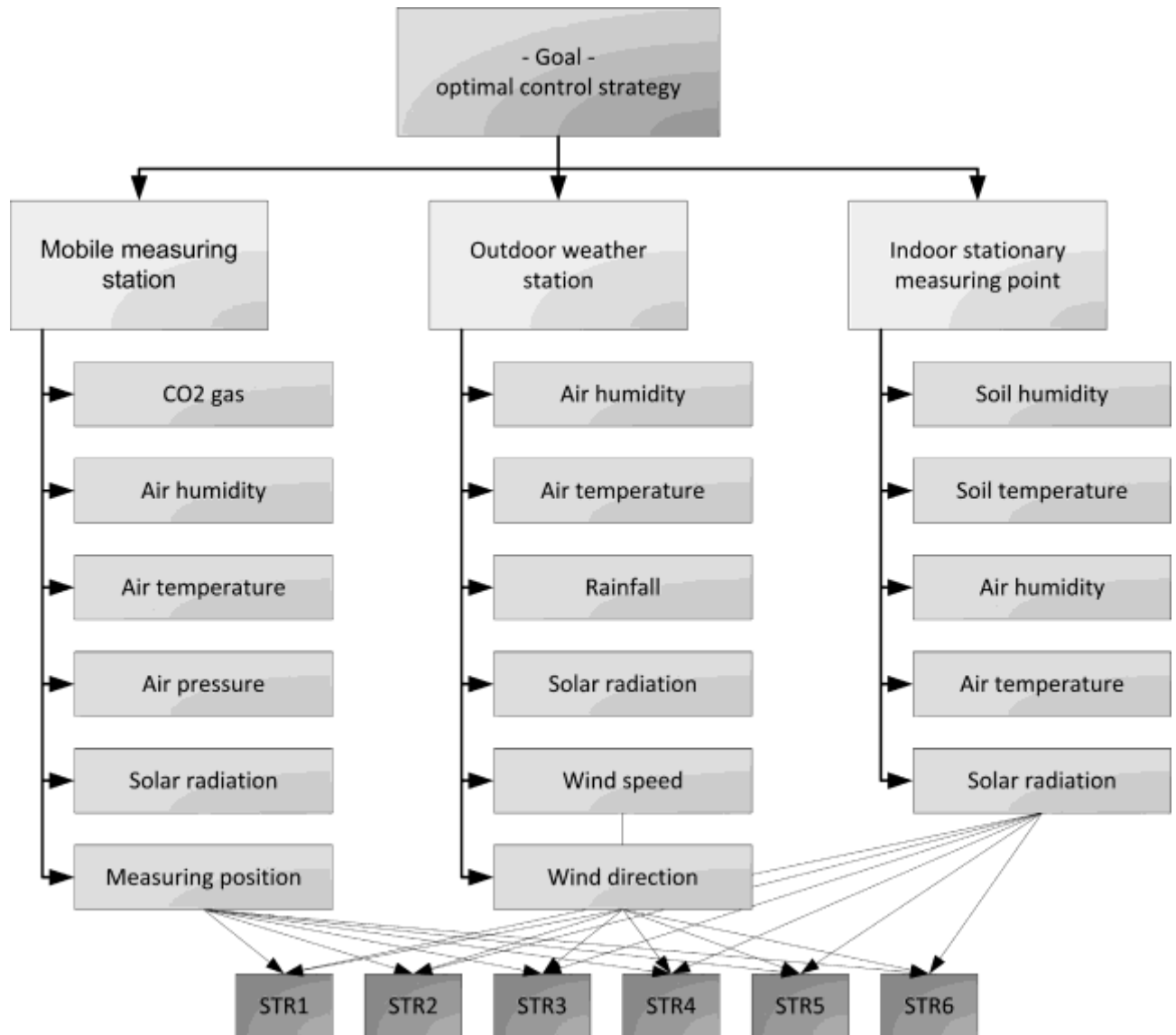


Рисунок 2.24 - Ієрархія вибору стратегії контролю.

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

3.1. Математичне моделювання теплиці

Теплове моделювання та імітація використовуються для розуміння впливу різних параметрів, що впливають на потребу в охолодженні/опаленні в теплицях, і для отримання оптимальних умов експлуатації для кожного випадку.

Математична модель повинна мати можливість точно передбачити теплову поведінку теплиці, враховуючи всі задіяні фактори параметри, включаючи геометричні характеристики, орієнтацію та форму та кліматичні умови. Огляд основних одновимірних моделей автономних теплиць розглянуто нижче. Загальний огляд із коротким описом цих досліджень подано в Таблиця 1.3.

Кілька досліджень змодельовали теплицю, розділивши її на зони. Шарма [17] досліджували вплив численних параметрів: швидкості інфільтрації, теплоємності рослин і відносної вологості на посіви та температуру повітря. Вони розділили теплицю горизонтально на чотири зони. Теплообмін між різними зонами вважається односпрямованим. У результаті цього дослідження було зроблено висновок, що різниця температур між різними зонами є незначною.

Кілька моделей включали коефіцієнт фракції північної стіни. Це залежить від часу, кута сонячної висоти та кута сонячного азимута. Цей коефіцієнт використовувався в одновимірній перехідній тепловій моделі з додаванням підмоделей сонячного випромінювання та вентиляції. Така модель була розроблена Сеті для визначення температури повітря в теплиці Сеті [1]. Ця модель була підтверджена (середнє квадратичне відхилення 3,26% помилка) для теплиці з рівним прольотом в кліматичних умовах Індії.

Випаровування є важливим параметром, який розглядався в кількох моделях. Купер і Фуллер [19] запропонував модель, яка може імітувати систему

охолодження, яка складається з ентальпійного колеса та випарного охолоджувача для осушення та охолодження відповідно. У роботі [21] виведено теплову модель, яка включає ефекти аерації, випарного охолодження, температури листя та транспірації культури. Шляхом лінеаризації рівнянь балансу тепла та вологи була виведена проста система двох рівнянь для визначення різниці температури та вологості між повітрям усередині теплиці та навколишнім середовищем. Тіварі [17] розглянув у своїй моделі вплив втрат від випаровування культурами та кондуктивних втрат від підлоги, щоб вивчити продуктивність різних проектних тепличних і кліматичних параметрів, якими є ефективна контрольна температура, загальний загальний коефіцієнт тепловтрат і коефіцієнт ефективності теплиці.

Кілька досліджень розглядали теплиці як сонячні колектори та вивчали їх ефективність аналогічно за допомогою єдиного рівняння енергетичного балансу, а також коефіцієнта тепловтрат і коефіцієнта ефективності колектора, де основні змінні [21]. Абдель-Гані та Аль-Хелал трактував тепличну систему як сонячний колектор. Підлога являє собою поглинаючу пластину, тоді як повітря, кришка та культури, які розглядаються як три паралельні прозорі шари, представляють систему покриття колектора. Більшість попередніх моделей не враховують конструктивні параметри. Пітерс і Дельтур зосередились на конструктивних змінних, які впливають на ефективність сонячної енергії теплиці, таких як оптичні характеристики. Вони описали тепло- та масообмін між сімома внутрішніми шарами: чотирма шарами ґрунту, одним шаром сільськогосподарських культур, одним внутрішнім повітряним шаром теплиці, одним покриттям і трьома зовнішніми шарами. Автори докладно обговорили поглинання сонячної енергії, що надходить у теплицю. Було виявлено, що рослинність поглинає більшу частину зібраної сонячної енергії.

Кілька досліджень зробили різні припущення щодо теплопередачі між компонентами теплиці без культур [20] проаналізував теплицю без культури

всередині. Математична модель базується на одновимірному рівнянні енергії, мета полягала в тому, щоб показати основні механізми тепло- та масообміну.

Однією з головних труднощів тепличного моделювання теплиці є наявність рослин. У літературі зазначається, що сільськогосподарські культури відіграють значну роль у створенні мікроклімату теплиці. Рослини зменшують важливу кількість енергії в теплиці через явище випаровування. Крім того, завдяки цьому процесу рослини виробляють насичену водяну пару. В енергетичному аналізі теплиць явище випаровування являє собою тепло випаровування, яке вважається поглиначем тепла.

Евапотранспірація являє собою випаровування з ґрунту теплиці та транспірацію культур, і це призводить до великої втрати енергії в теплиці. Випаровування води з ґрунту дуже важко змодельовати, і більшість досліджень вважають, що воно включається в евапотранспірацію сільськогосподарських культур, де вода випаровується через продиhi листя рослин. Явище випаровування відповідає за зниження температури культури.

Оцінка швидкості евапотранспірації (ЕТ) включає в себе обчислення еталонної евапотранспірації (ЕТ₀), а також відповідний коефіцієнт урожаю (К_в), яка змінюється залежно від типу культури та стадії росту.

Багато авторів використовували розроблений евапотранспіраційний модуль, яка адаптована для умов теплиці.

Конвекція і теплопровідність є основними процесами теплообміну, що відбуваються в сонячній теплиці. Вентиляція та інфільтрація представляють собою основний конвекційний потік у теплиці, а теплообмін між підлогою та ґрунтом під ним представляє кондукційні втрати тепла. Крім того, випромінювання є основним джерелом енергії в теплиці, однак пропускну здатність покриття довгохвильового діапазону випромінювання відповідає за нічні втрати тепла.

Більшість парникових теплових моделей мають припущення та спрощення. Незважаючи на це, вони корисні для оцінки температури та вологості повітря в приміщенні. Хоча є параметри, які слід брати до уваги, щоб

мати повну модель, наприклад, фотосинтез рослин, транспірація та вуглецевий баланс. Vanthoor та ін. розробив кліматичну модель теплиці, яка описує вплив дизайну теплиці та кліматичних умов навколишнього середовища на мікроклімат теплиці. Модель здатна прогнозувати температуру повітря, тиск пари та CO₂ концентрація. Ця модель була перевірена в різних кліматичних умовах (середземноморський, напівзасушливий і помірний морський клімат) і різних конструкціях теплиць. Декілька авторів вважають цю модель повною моделлю і є кращою для процесу перевірки S_u і X_u [22].

S_u і X_u [22] представлено B01D7005 класів змінних для тепличного моделювання. Клімат всередині теплиці: температура, вологість і CO₂ концентрація внутрішнього повітря. Поведінка рослин: інтенсивність фотосинтезу, інтенсивність транспірації, інтенсивність дихання, індекс площі листя, суха речовина врожаю та плодів. Зовнішні кліматичні параметри: температура, вологість, CO₂ концентрації, сонячної радіації та швидкості вітру тощо. Змінні системи контролю мікроклімату: CO₂ нагнітання, вентиляція, опалення, туманоутворення тощо. Розмірні та фізичні параметри: щільність рослин, висота, площа підлоги тощо [30–33].

Як висновок, більшість із наведених вище моделей підтверджено та розроблено за деяких спеціальних умов шляхом фіксації деяких параметрів, таких як властивості покриття та інфільтрація.

Евапотранспірація культур і CO₂ концентрація тепличного повітря, наприклад, знехтувалася з міркувань простоти. Однак загальної моделі, яка б точно описувала поведінку теплиці, немає. Надійна теплова модель повинна враховувати всі ефективні параметри.

3.2 Застосування теплиць як сушарок

Сонячна енергія використовується в усьому світі для різних процесів сушіння, таких як: сушіння зернових, фруктів, м'яса, овочів і риби. Використання сонячних сушарок є дуже практичним, головним чином тому, що

продукти сушаться швидше і здоровіше, в контрольованому середовищі, яке з меншою ймовірністю може бути забруднене. Крім того, сушіння продуктів при оптимальних температурах і за короткий час дозволяє їм зберігати свою харчову цінність, наприклад, вітамін С. Нарешті, це дешевий спосіб, оскільки він використовує лише сонячну енергію протягом усього року, яка є легко доступною, особливо влітку. Тому для сушіння продукції не потрібне паливо.

Сушіння врожаю на сонці передбачає послідовне випаровування і перенесення вологи сонячним тепловим випромінюванням. Звідси очевидно, що такий спосіб сушіння продукції за допомогою енергії сонця є складним способом, який передбачає одночасне нагрівання і масообмін. Ряд дослідників згадують про експериментальні та теоретичні дослідження сонячного сушіння сільськогосподарських культур.

Сінгх [5] проаналізували нещодавні розробки в галузі сонячного сушіння в теплицях. Цей огляд містить важливі висновки: Тепличні сушарки в активному режимі мають кращу ефективність, ніж в пасивному; для продуктів з високим вмістом вологи краще використовувати примусову конвекцію; було виявлено, що тепличні сонячні сушарки кращі за відкриті сонячні сушарки з точки зору якості висушеного продукту.

Хороша продуктивність системи сушіння в теплиці тісно пов'язана з її відповідним дизайном. При проектуванні необхідно також враховувати різні регулюючі параметри. Джайн і Тіварі [18] спрогнозували процес випаровування вологи у двох випадках: сушіння на відкритому сонці і в теплиці, з двома режимами: природною і примусовою конвекцією (рис. 22). Вони зазначили, що режим природної конвекції має слабший коефіцієнт масопередачі, ніж сушка на відкритому сонці, і він має вдвічі менше значення від режиму примусової конвекції.

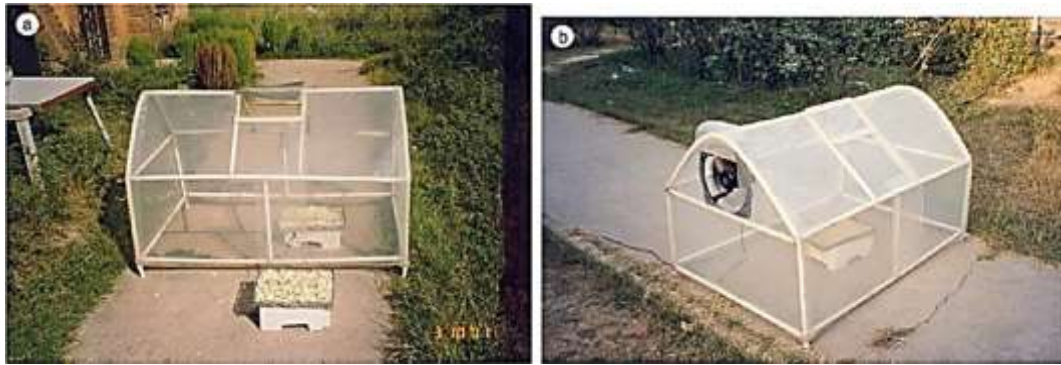


Рисунок 3.1 - (а) Теплиця і відкрита сонячна сушарка з природною конвекцією. (б) Теплична сушарка з примусовою конвекцією [18]

Тіварі [17] спробував оцінити коефіцієнт масопереносу під час процесу сушіння ягелю в контрольованому середовищі. Ягоду сушили в теплиці площею 0,96 м² з рівними прольотами (рис. 23) у звичайному напруженому режимі за атмосферного тиску, поки не було досягнуто майже повної відсутності коливань маси. Результати показали, що конвективний масообмін є ключовим фактором, який впливає на масу, температуру і вологість джигеру залежно від розміру теплиці.



Рисунок 3.2 - (а) Теплиця з природною конвекцією, (б) Теплиця з примусовою конвекцією [17]. Права захищені Elsevier Rightslink.

Menbouche et al. (2014) вивчали процес сушіння фініків у сонячній сушарці в кліматичних умовах Уаргла (рис. 24). Вони вивчили три методи сушіння і порівняли їх з сушінням при природній вентиляції (DNV). Три досліджувані методи: сушіння за допомогою фотоелектричної вентиляції (DSV), сушіння в тіні (DUS) і комбінований режим сушіння (DCM). Було виявлено, що необхідний період сушіння для досягнення бажаного вмісту вологи становить 5,25 год в режимі DSV і 8 год в режимі DCM, а щодо стандартів якості, то режим DCM є адекватним методом.

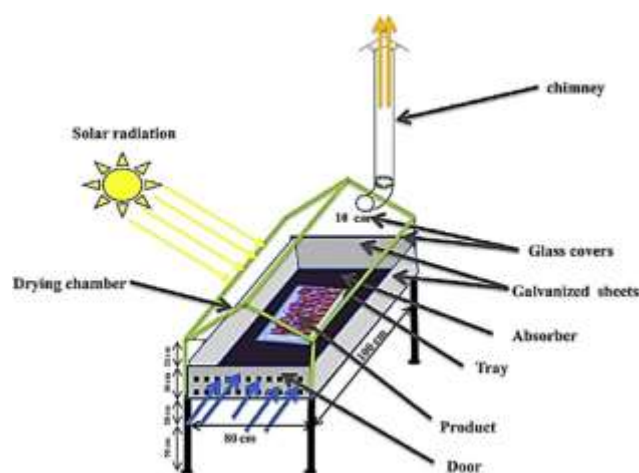
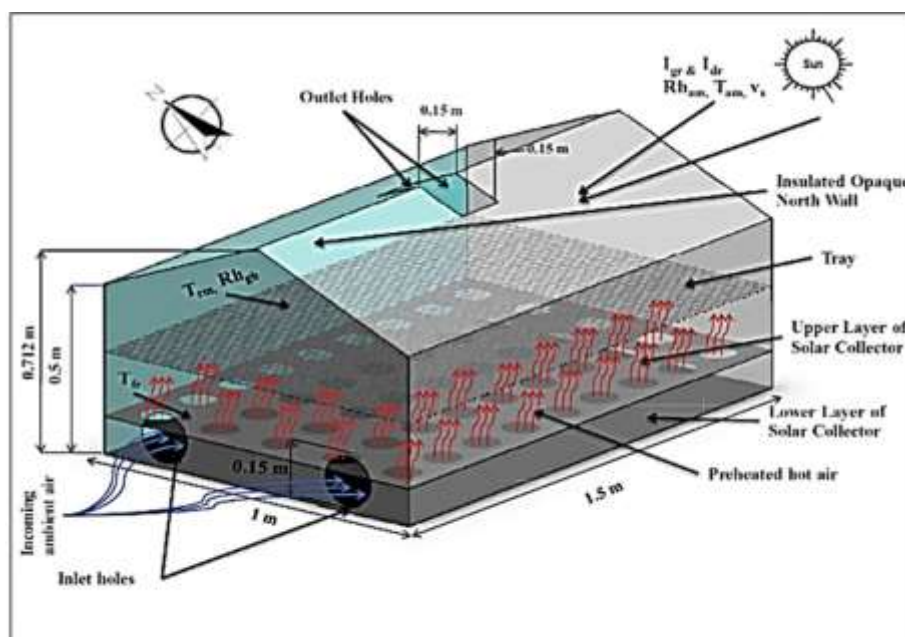


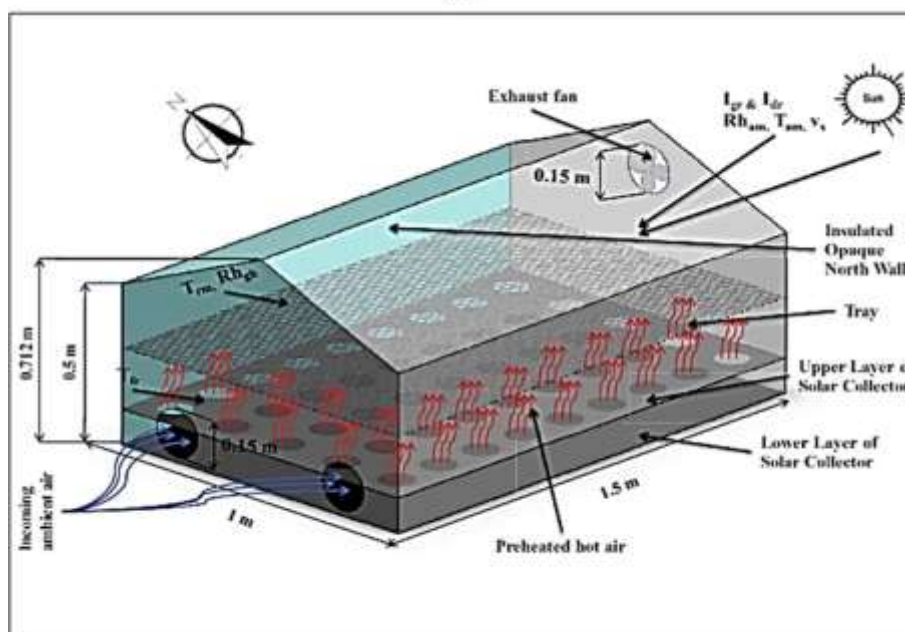
Рисунок 3.3 - Дати сушіння в сушарці з прямим сонячним випромінюванням

Лушпиння гіркового гарбуза сушили у двох режимах: примусової та природної конвекції, використовуючи сонячний колектор для нагріву повітря, розташований всередині теплиці (рис. 3.4). Сонячний колектор був виготовлений з двох чорних листів ПВХ площею 1,37 м² з проміжком 100 мм між ними. Тепловий продукт колекторів використовувався для нагрівання вхідного атмосферного повітря, яке, в свою чергу, використовувалося для вилучення вологи з продуктів. Каewkiew оцінив ефективність сушіння в теплиці площею 160 м² з параболічним дахом, покритою полікарбонатними листами, за допомогою фотоелектричних елементів потужністю 50 Вт для живлення вентиляційної установки сушарки (рис. 3.5). Ця система показала

кращі результати сушіння, ніж сушіння на відкритому сонці, фактично, трьох днів було достатньо, щоб знизити вміст вологи до 9%, починаючи з 74%.



(a)



(b)

Рисунок 3.4 - Тепличні сушарки в режимі природної (а) та примусової конвекції (б).

Інша експериментальна робота, виконана ELkhadraoui et al. (2015), показала, що теплична сушарка має кращі показники, ніж сушіння на відкритому сонці. Вони виявили, що сушіння на відкритому сонці зайняло 24 години, щоб знизити вологість червоного перцю до 16%, тоді як сушіння в теплиці - лише 17 годин. Крім того, вони виявили, що сушіння на відкритому

сонці зайняло 76 годин, щоб знизити вологість винограду Султана до 18%, тоді як сушіння в теплиці зайняло лише 50 годин.



Рисунок 3.5 - Великомасштабна сонячна сушарка для теплиці з полікарбонатним покриттям за оцінкою Kaewkiew.

Морад досліджував сушіння рослин м'яти перцевої в режимі примусової конвекції в тунельній сушарці теплиці (рис. 3.6). Вони вивчали продуктивність теплиці в залежності від навантаження рослин та швидкості повітряного потоку. Було виявлено, що витрата повітря 2,10 м³ /хв може скоротити період сушіння до 9 год для рослин і 8 год для листя.



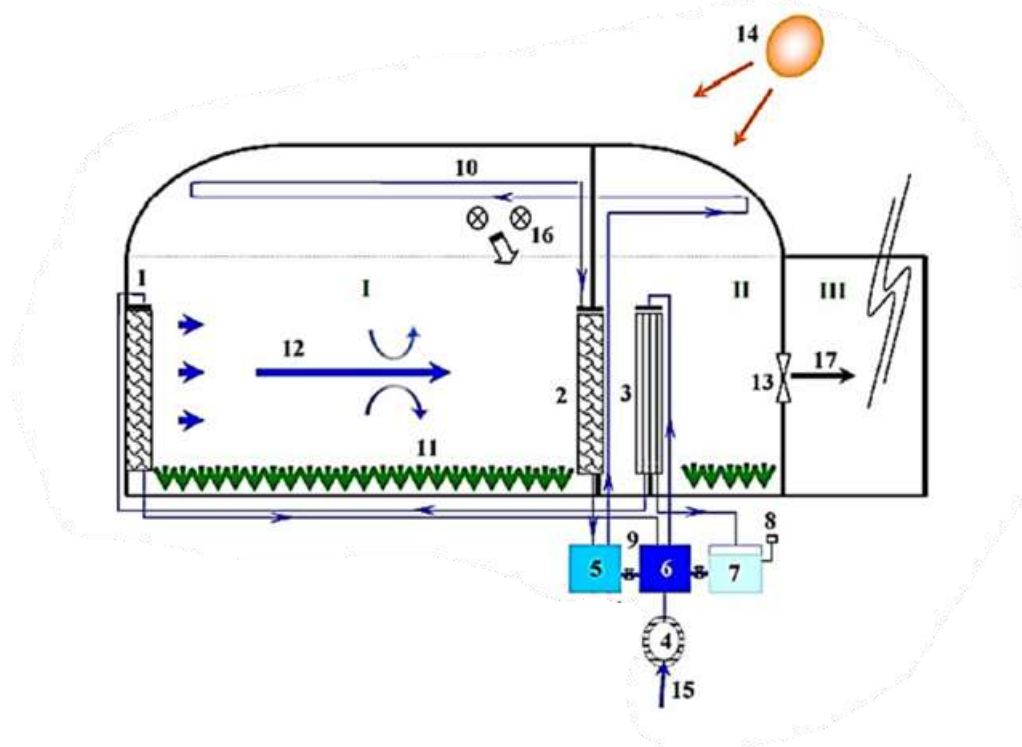
Рисунок 3.6 - Сонячна тунельна теплична сушарка

3.3 Опріснення морської води в теплицях

Потреба у воді у світі значно зростає, і багато країн відчувають труднощі з її постачанням. Як наслідок, в останні роки зростає потреба в опрісненні морської води. Існує кілька методів, які були розроблені для опріснення води:

зворотний осмос і дистиляція є відомими методами, але їх критикують за вплив на навколишнє середовище та енергоспоживання. Недорогий метод, який використовує сонячну енергію для економії енергії, полягає у зволоженні та осушенні повітря всередині теплиці, цей метод називається опріснення морської води в теплиці. Отримана вода може бути використана для зрошення сільськогосподарських угідь або для споживання людиною.

Zareі описав механізм роботи теплиці на морській воді (рис. 3.7). Вона складається з сонячних теплових колекторів, конденсатора і рослин, розташованих між двома випарниками з морською водою. Перший випарник, обмінюючись теплом з навколишнім повітрям на вході, знижує його температуру і підвищує вологість. Сонячне випромінювання нагріває внутрішнє повітря за допомогою парникового ефекту, створюючи відповідний мікроклімат для рослин. Повітря, що проходить через другий випарник, повинно мати високу вологість і температуру, щоб зробити можливим виробництво води. Підігріта морська вода, що проходить через перший випарник. Дистильована вода проходить через сонячні теплові колектори і нагрівається перед подачею в другий випарник. Дистильована вода виробляється шляхом теплообміну між гарячим і вологим повітрям та холодною морською водою.



1 - Випарник 1; 2 - Випарник 2; 3 - Конденсатор; 4 - Колодязь; 5 - Резервуар для гарячої живильної води; 6 - Резервуар для холодної солонуватої води; 7 - Прісна вода; 8 - Апарат провідності; 9 - Додатковий клапан; 10 - Труби для сонячного опалення; 11 - Сільськогосподарські культури; 12 - Охолоджене та зволожене повітря; 13 - Вентилятори; 14 - Сонячна енергія; 15 - Забір живильної води; 16 - Вентилятор; 17 - Сухе та гаряче повітря; I - Перший відсік; II - Другий відсік; III - Третій відсік.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-ХІІ) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування [34, 36].

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

навчання безпечним методам і прийомам праці;
перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;
при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

- падіння з висоти;
- ураження електричним струмом;
- підвищена напруженість електричного поля;
- підвищена запиленість повітря робочої зони;
- підвищений рівень вібрації;
- недостатня освітленість робочої зони;
- фізичні перевантаження;
- нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

- напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;

- рукавички на - 3 місяці;
- черевики шкіряні на - 24 місяці;
- калоші діелектричні - чергові;
- рукавиці діелектричні - чергові;
- килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

- тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;
- дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;
- вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;
- вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;
- знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.
- негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;
- знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;
- виконувати тільки доручену роботу;
- дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;
- знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог: не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконатися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

4.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

- зі зняттям напруги;
- без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;
- без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

- оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;
- проводити підготовку робочих місць;
- допуск до роботи;
- здійснювати контроль над виконанням робіт;
- переводити на інше робоче місце;
- установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановленні запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

4.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

- в разі раптового відключення електроенергії,;
- якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;
- в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;
- в разі іскріння;
- при найменших ознаках загоряння, появи диму, запаху гару;
- якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

4.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення

потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовлений замерзанням або засухою ґрунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з'єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η

– це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення R_3 . Згідно правил улаштування електроустановок (ПУЕ) найбільш припустимі значення R_3 , складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{R_e \cdot R_3}{R_e - R_3}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; R_3 – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, m^2 ; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_r = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де l_r – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; a – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_v} \left(\ln \frac{2l_v}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_v}{4t - l_v} \right), \quad (4.4)$$

1.	-	0,4 5	0,4 0	0,3 4	0,2 7	0,2 2	0,2 0	0,1 9
2.	-	0,5 5	0,4 8	0,4 0	0,3 2	0,2 9	0,2 7	0,2 3
3.	-	0,7 0	0,6 4	0,5 6	0,4 5	0,3 9	0,3 6	0,3 3

Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_v=5$ м, діаметром $d=12$ мм і відстанню між ними $a'=5$ м та горизонтальних електродів (сталеві смуга перетином 440 мм) на глибині $t=0,8$ м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема $c=20$ Ом/м). Коефіцієнти вертикальної прокладки K_v і горизонтальної прокладки K_r приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $K_v=1,3$, $K_r=2,5$).

Таблиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв'язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
-------	--

Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів K_r , K_v за кліматичними зонами

Кліматична зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту $t=0,8$ м, K_r	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі $t=0,5-0,8$ м, K_v
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_v \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_r \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1,3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.г} = 2,5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$$R_e = 15 \text{ Ом}.$$

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_3 = 4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначемо необхідний опір штучного заземлювача $R_{ш}$:

$$R_{ш} = \frac{15 \cdot 4}{15 - 4} = 5,5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_r = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального R_v та горизонтального R_r електродів:

$$R_v = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5} \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 5,7 \text{ Ом},$$

$$R_r = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln \frac{2 \cdot 300}{0,5 \cdot 0,04 \cdot 0,8} = 0,3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коефіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $K_v=0,4$ та $K_r=0,21$;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_r = \frac{5,7 \cdot 0,3}{5,7 \cdot 0,21 + 0,3 \cdot 0,4 \cdot 56} = 0,22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталеві смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм^2 , занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

В роботі було проведено аналіз роботи тепличного господарства для забезпечення оптимальної роботи теплиці з метою економії та ефективного використання енергоресурсів. Було проаналізовано недоліки та переваги такого процесу. Встановлено, наступні висновки:

- Найкращий покривний матеріал повинен мати максимальний коефіцієнт пропускання в спектрі PAR і мінімальний коефіцієнт пропускання в довгохвильовому діапазоні.

- Поліетиленові плівки низької щільності (LDPE) є найпоширенішим матеріалом, що використовується через їхні хороші механічні та оптичні властивості, а також завдяки їхній економічно конкурентоспроможній ціні.

- Орієнтація зі сходу на захід (E-W) є найбільш підходящою для всіх широт через менші потреби в енергії та більший збір сонячної радіації.

- CFD-моделі є потужним інструментом для дослідження полів швидкості та температури всередині теплиці. Існує декілька інструментів для моделювання для отримання детальної інформації про механізми тепло- і масообміну всередині теплиці, але вони повинні включати в себе моделі для середовища кімнатних рослин.

- Тепличні системи можуть бути оснащені декількома сонячними або системами накопичення енергії для забезпечення сприятливого мікроклімату для різних типу культур.

- Представлені й інші застосування, такі як тепличні сушарки та опріснення морської води в теплицях. Тепличні сонячні сушарки мають кращу ефективність в активному режимі порівняно з пасивним. При опрісненні морської води в теплицях, отримана вода може бути використана для зрошення сільськогосподарських угідь.

References:

Перелік літератури:

1. Sethi V.P. On the selection of shape and orientation of a greenhouse: thermal modeling and experimental validation. *Sol. Energy*. 2009. 83 (1), p. 21–38.
2. Mobtaker H.G. Ajabshirchi Y. Ranjbar, S.F. Matloobi M. 2019. Simulation of thermal performance of solar greenhouse in north-west of Iran: an experimental validation. *Renew. Energy*. 2016. 135 (2) p. 88–97.
3. Çakır U. Şahin E. Using solar greenhouses in cold climates and evaluating optimum type according to sizing, position and location: a case study. *Comput. Electron. Agric.* 2015. 117 (3) p. 245–257.
4. Gupta M.J. Chandra P. Effect of greenhouse design parameters on conservation of energy for greenhouse environmental control. *Energy*. 2002. 27 (4) p. 777–794.
5. Singh R.D. Tiwari G.N. Energy conservation in the greenhouse system: a steady state analysis. *Energy*. 2010. 35 (5) p. 2367–2373.
6. Dragičević S.M. Determining the optimum orientation of a greenhouse on the basis of the total solar radiation availability. *Therm. Sci.* 2011. (6) p.15.
7. El-Maghlany W.M. Teamah M.A. Tanaka H. Optimum design and orientation of the greenhouses for maximum capture of solar energy in North Tropical Region. *Energy Convers. Manage.* 2015. 105 (7) p.1096–1104.
8. Brun R. de Villele O. Orientation of greenhouses in the Mediterranean Zone. In: *Symposium on Cultivation of Vegetables under Protection in the Mediterranean Regions*. 1973. (8) p. 43–54.
9. Kittas C. Baille A. Determination of the spectral properties of several greenhouse cover materials and evaluation of specific parameters related to plant response. *J. Agric. Eng. Res.* 1998. 71 (9) p. 193–202.
10. Baxevanou C. Fidaros D. Bartzanas T. Kittas C. 2018. Yearly numerical evaluation of greenhouse cover materials. *Comput. Electron. Agric.* 2018. 149 (10) p. 54–70.

11. Lamnatou C. Chemisana, D. Solar radiation manipulations and their role in greenhouse claddings: fluorescent solar concentrators photoselective and other materials. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2013. 27 (11) p.175–190.
12. Wu G. Yang Q. Fang H. Zhang Y. Zheng H. Zhu Z. Feng, C. Photothermal day lighting performance analysis of a multifunctional solid compound parabolic concentrator for an active solar greenhouse roof. *Sol. Energy* 2019. 180 (12) p. 92–103.
13. Sangpradit K. Study of the solar transmissivity of plastic cladding materials and influence of dust and dirt on greenhouse cultivations. *Energy Procedia.* 2014. 56(13) p. 566–573.
14. Geoola, F. Kashti Y. Levi A. Brickman, R. Quality evaluation of anti-drop properties of greenhouse cladding materials. *Polym. Test.* 2004. 23 (14) p. 755–761.
15. Cemek B. Demir Y. Testing of the condensation characteristics and light trans- missions of different plastic film covering materials. *Polym. Test.* 2005. 24 (15) p. 284–289.
16. Alsadon A. Al-Helal I. Ibrahim A. Abdel-Ghany A. Al-Zaharani S. Ashour T. The effects of plastic greenhouse covering on cucumber (*Cucumis sativus* L.) growth. *Ecol. Eng.* 2016. 87 (16) p. 305–312.
17. Sharma P.K. Tiwari G.N. Parametric study of a greenhouse by using Runge-Kutta methods. *Energy Convers. Manage.* 1999. 40 (17) p. 901–912.
18. Jain D. Tiwari G.N. Effect of greenhouse on crop drying under natural and forced convection II. Thermal modeling and experimental validation. *Energy Convers. Manage.* 2004. 45 (18) p. 2777–2793.
19. Cooper P.I. Fuller R.J. A transient model of the interaction between crop environment and greenhouse structure for predicting crop yield and energy consumption. *J. Agric. Eng. Res.* 1983. 28 (19) p. 401–417.
20. Tavares C. Goncalves A. Castro P. Loureiro D. Joyce A. Modelling an agriculture production greenhouse. *Renew. Energy.* 2001. 22 (20) p. 15–20.

21. Boulard T. Baille A. A simple greenhouse climate control model incorporating effects of ventilation and evaporative cooling. *Agric. For. Meteorol.* 1993. 65 (21) p. 145–157.
22. Su Y. Xu L. Towards discrete time model for greenhouse climate control. *Eng. Agric. Environ. Food.* 2017. 10 (22) p. 157–170.
23. Mohammadi B. Ranjbar S.F. Ajabshirchi Y. Application of dynamic model to predict some inside environment variables in a semi-solar greenhouse. *Inform.Process. Agric.* 2018. 5 (23) p. 279–288.
24. Fabrizio E. Energy reduction measures in agricultural greenhouses heating: envelope, systems and solar energy collection. *Energy Build.* 2012. 53(24) p. 57–63.
25. Pakari A. Ghani S. Evaluation of a novel greenhouse design for reduced cooling loads during the hot season in subtropical regions. *Sol. Energy.* 2019. 181 (25) p. 234–242.
26. Chen, C. Li Y. Li N. Wei S. Yang, F. Ling H. Yu N. Han, F. A computational model to determine the optimal orientation for solar greenhouses located at different latitudes in China. *Sol. Energy.* 2018. 165(26) p. 19–26.
27. Graamans L. Baeza E. Van Den Dobbelsteen A. Tsafaras I. Stanghellini C. Plant factories versus greenhouses: comparison of resource use efficiency. *Agric. Syst.* 2018. 160 (27) p. 31–43.
28. Коноваленко І.В., Навчальний посібник. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 / Коноваленко І.В., Марущак П.О. – Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020 – 320 с.
29. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с.
/(Рекомендовано до друку вченою радою Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя протокол № 9 від 4 жовтня 2022 р.

30. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>
31. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
32. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с.
33. Автоматизація періодичних технологічних процесів: Типова програма, методичні вказівки, теорія та практика. Лабораторний практикум / Укладачі: Проць Я.І., Данилюк О.А., Федорів П.С. - Тернопіль: ТДТУ, 2005 -135 с.
34. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
35. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
36. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.

37. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
38. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>
39. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
40. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп'ютерні мережі : навчальний посібник. Книга 1. Львів : «Магнолія 2006». 2013. 256 с.