

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему:

**Розробка проекту освітлення багатоярусних
конструкцій тепличних комплексів**

Виконав: студент 4 курсу, групи **ЕТс-41**

напряму підготовки (спеціальності)

**141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

	<hr/>	Кузьмич В.І. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Керівник	<hr/>	Зінь М.М. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Нормоконтроль	<hr/>	Коваль В.П. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Завідувач кафедри	<hr/>	Коваль В.П. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	
Рецензент	<hr/>	Габрусєв Г.В. (прізвище та ініціали)
	(підпис)	

Факультет *прикладних інформаційних технологій та електроінженерії*
(повна назва факультету)

Кафедра *електричної інженерії*
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *Коваль В.П.*

« 29 » січня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня *бакалавр*
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю *141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»*
(шифр і назва)

студенту *Кузьмичу Владиславу Ігоровичу*
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Розробка проекту освітлення багато ярусних конструкцій тепличних комплексів*

Керівник роботи *Зінь Мирослав Михайлович, к.т.н., доцент*
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом по університету від *22 січня 2024 року № 4/7-47*

2. Термін подання студентом роботи *24 червня 2024 р.*

3. Вихідні дані до роботи *Норми і правила освітлення теплиць, характеристика приміщення теплиці, технічна характеристика освітлювального обладнання яке застосовується для освітлення в теплиці.*

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналітичний розділ.

2. Проектно-конструкторський розділ.

3. Розрахунковий розділ.

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Характеристика існуючого освітлювального обладнання для освітлення рослин при вирощуванні ярусним способом, загальний вигляд світлодіодного світильника для вирощування мікрозелені та його характеристика, 3D модель SMART-теплиці, загальний вигляд оптичної системи працюючого світильника, схема теплового розрахунку світлодіодного світильника, схема моделювання розрахункових кривих сили світла та їх візуалізація у програмі DIALux.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Нормоконтроль</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри ЕІ Коваль В.П.</i>		
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>к.т.н., доц. кафедри МТ Гурик О.Я.</i>		

7. Дата видачі завдання

29 січня 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд за напрямком кваліфікаційної роботи	29.01.24 – 01.03.24	
2	Підготовка основної частини пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	02.03.24 – 22.04.24	
3	Підготовка розділу «Безпека життєдіяльності та основи ОП»	23.04.24 – 11.05.23	
4	Складання переліку використаних літературних джерел	12.05.24 – 27.05.24	
5	Підготовка вступу, висновків, змісту, реферату	28.05.24 – 11.06.24	
6	Отримання відгуку та рецензії на кваліфікаційну роботу, підготовка доповіді на захист	12.06.24 – 24.06.24	

Студент

_____ (підпис)

Кузьмич В.І.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Зінь М.М.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕТс – 41. - Т. : ТНТУ, 2024.

Обсяг кваліфікаційної роботи становить 55 сторінок. В роботі міститься 28 рисунків, 10 таблиць, 15 літературних джерел.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: « Розробка проекту освітлення багатоярусних конструкцій тепличних комплексів.

Метою роботи є розробка системи освітлення багатоярусних конструкцій у тепличному комплексі.

В роботі запропонована конструкція світлодіодного фітосвітильника для підвищення ефективності вирощування низькорослих рослин багатоярусним способом у тепличному комплексі. В результаті дослідження зроблено висновки щодо перспективності застосування світлодіодних фітосвітильників та проведено техніко-економічне обґрунтування розробки для збільшення обсягів вирощування мікрозелені.

Перелік ключових слів:

ФІТОСВІТИЛЬНИК, ФОТОСИНТЕЗ, ОПРОМІНЕНІСТЬ, АКТИВНА ФОТОСИНТЕТИЧНА РАДІАЦІЯ, АГРОФОТОНІКА, ОСВІТЛЕННЯ, ЗАКРИТИЙ ГРУНТ.

ЗМІСТ**с.**

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Актуальність вирощування рослин у вертикальних агрофермах	8
1.2 Аналіз світлотехнічного обладнання що використовується при вирощуванні рослин	8
1.3 Норми і правила для світильників зі світлодіодними джерелами світла	11
1.4 Вимірювальні прилади	13
1.5 Технологічні принципи вирощування рослин ярусним способом	17
1.6 Висновки до розділу 1	19
2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	21
2.1 Моделювання системи освітлення для вирощування рослин вертикальним способом	21
2.2 Вибір оптимального розташування світильників при вертикальному вирощуванні рослин	22
2.3 Розробка світильника для вирощування рослин ярусним способом	28
2.4 Висновки до розділу 2	37
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	39
3.1 Розрахунок трансформатора блоку живлення	39

	5
3.2 Тепловий розрахунок світильника	44
3.3 Висновки до розділу 3	47
4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	48
4.1 Заходи щодо охорони праці в умовах комбінованого освітлення примі- щень	48
4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації освітлювального обладнання	49
4.3 Пожежна небезпека	50
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	53
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	54

ВСТУП

Актуальність теми. Тепличне господарство України з кожним роком розширюється – збільшуються площі господарств, розширюється асортимент оброблюваних культур. Проте головне не кількісний чи асортиментний приріст, а нові технології вирощування. Насамперед, автоматизація теплиць. Автоматизація дозволяє збільшити виробництво та істотно скоротити витрати. Рух до повної автоматизації змінює потреби у використанні ручної праці та мінімізує витрати.

Традиційне сільське господарство має очевидну межу для свого зростання – воно обмежене кількістю землі, придатної для цього. Тому для використання території було запропоновано технологію багатоярусного вирощування. Однак вертикальне господарство накладає на технології, які застосовуються всередині ферми, певні обмеження. Наприклад, використання технології безпідставного вирощування - гідропоніки, при якій коріння рослин занурені в спеціальний субстрат, що є розчином поживних речовин, який безперервно циркулює в системі. Друге важливе обмеження пов'язане з освітленням, тому що має бути організоване на кожному з ярусів, де вирощуються ті чи інші рослини.

Освітлювальні установки повинні бути максимально компактними. Цим вимогам відповідають світлодіодні системи освітлення. Однак вони дорогі, але і економічні в експлуатації.

Технологія освітлення ярусного вирощування зелені із застосуванням світлодіодів забезпечує цілорічне виробництво зелені високої якості. Для цього необхідно створення оптимально комфортних умов, що забезпечують ефективний розвиток рослин.

На даний момент безліч систем опромінення стелажних установок мають неефективні параметри, забезпечують нерівномірний розподіл, не керовані за спектральним складом, мають високу чи недостатню потужність. Це веде до неефективного зростання та розвитку культур.

Метою роботи є розробка системи освітлення багатоярусних конструкцій у тепличному комплексі.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

1. Оцінка впливу світлодіодного випромінювання на зростання та розвиток мікрозелені.
2. Визначення достатнього рівня потоку ФАР для ефективної мікрозелені

Було поставлено інженерне завдання щодо розробки освітлювального приладу для багатоярусних конструкцій. Для цього необхідно було врахувати:

1. Конструкцію освітлювальної установки
2. Розташування освітлювального приладу в установці
3. КСС для рівномірного опромінення кожного ярусу в установці
4. Здійснити тепловий розрахунок розробленого приладу

Структура роботи. Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку посилань.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Актуальність вирощування рослин у вертикальних агрофермах

Нові тепличні комплекси активно будуються в багатьох регіонах країни. На стадії будівництва перебувають понад 300 га теплиць з яких до 2030 року планується зібрати понад 1,5 млн. тон овочів на рік.

Створення вертикальних міських теплиць повинно забезпечити повністю контрольоване середовище, яке дозволить отримувати стабільний урожай незалежно від сезону, а розміщувати такі теплиці можна у приміщеннях без природного світла. Вертикальні ферми є дуже перспективним напрямом сільського господарства, що не потребує великих капіталовкладень і нових технологічних рішень.

Вертикальні агроферми будуються у багатьох економічно розвинутих країнах таких, як США, Німеччина, Японія, Сінгапур.

1.2 Аналіз світлотехнічного обладнання що використовується при вирощуванні рослин

В галузі рослинництва велика компанія Philips Lighting пропонує ефективні та інноваційні рішення для вирощування рослин. Компанія Philips розробила модуль GreenPower LED для багаторясного вирощування в кондиціонованих середовищах без природнього освітлення оптимізований для закритих кліматичних об'єктів з контрольованим кліматом, таких як міські та вертикальні ферми, центри розмножування та дослідження, які використовують багаторясні системи для вирощування сільськогосподарських культур, такі як: листові овочі та трави, мікрозелень, ягідні культури та квіти.

Відомо, що червоний спектр найбільш ефективний для фотосинтезу, вегетативного розмножування та стимулювання росту рослини. Червоний спектр

також позитивно впливає на регенеративні властивості і цвітіння рослини. Синій спектр в свою чергу позитивно впливає на розвиток і зміцнення рослини.



Рисунок 1.1 – Модуль GreenPower LED

Таблиця 1.1 – Характеристики модуля GreenPowerLED

Параметр	GreenPower LED
Напруга живлення	220 В
Потужність	22-27 Вт
Світловий потік	мкмоль/с
ККД	мкмоль/Дж
Ступінь захисту	IP66
Термін служби	25 000 годин

Модуль GreenPowerLED випускається та постачається споживачам у чотирьох спектральних версіях.

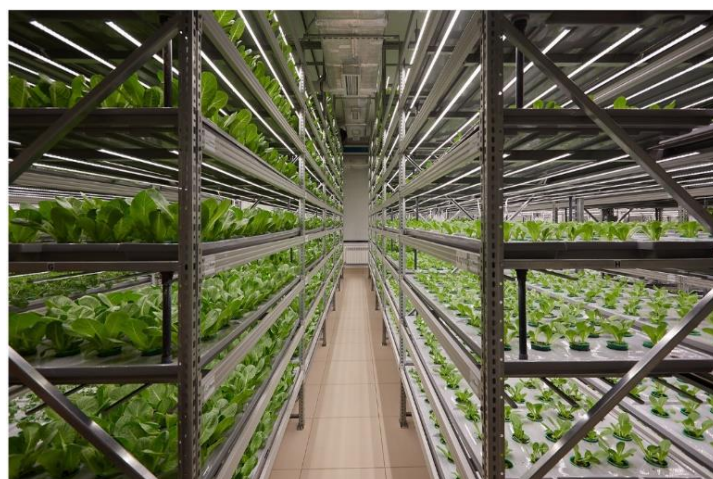
Таблиця 1.2 – Спектральна характеристика модуля GreenPowerLED

1.	DR/B	Deep red (DR) – насичено червоний
2.	DR/B/FR	Blue (B) – синій
3.	DR/W	White (W) – білий
4.	DR/W/FR	Far red (FR) – легкий червоний

На рисунку 1.2 показано вертикальну ферму Green Sense, що знаходиться в Портеджі поблизу Чикаго (США), розташована така ферма в будівлі промислового складу площею 12 000 м² у ній вирощують салат, мікрозелень, у тому числі капусту, руколу, крес-салат та кулінарні трави. Близько 80% продукції йде до продуктових магазинів, а 20% – до компаній, які обслуговують ресторани та установи.



а



б

Рисунок 1.2 – Вертикальні ферми

а – ферма Green Sense, б – Салатна вертикальна ферма iFarm

Ферма Green Sense має близько 7,5 м автоматизованого освітлення за допомогою світлодіодних модулів від Phillips із синім та червоним спектром.

Вітчизняні виробники тепличних світлодіодних приладів для ярусного вирощування намагаються не відставати від закордонного досвіду та використовують розроблені технології у власних фермах.

Наприклад, творці iFarm Project пропонують повноспектральний світлодіодний світильник, який вони використовують для ярусного вирощування (рис. 1.2, б).

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики світлодіодної світильника iFarm

Потужність	не більше 29 Вт
Корельована колірна температура	3000 К
Розміри: Д/Ш/В	1.8м/15мм/6мм
Вага	200 г
Тип та матеріал	алюмінієвий корпус з покриттям анодованим сріблом, розсіювач – прозора пластикова лінза

Світові фірми в галузі рослинництва пропонують досить широкий спектр вертикальних ферм закритої світлокультури із незалежно регульованою інтенсивністю білого та червоного каналів, що дозволяє підбирати оптимальне співвідношення синього та червоного спектру (і загальної інтенсивності).

1.3 Норми і правила для світильників зі світлодіодними джерелами світла

Основний документ, що регулює технічні вимоги для світлодіодних фітосвітильників, це ДСТУ 8546:2015 "Світильники зі світлодіодними джерелами світла" Загальні технічні умови. У цьому стандарті регулюються типи КСС

фітосвітильників для освітлення рослин зверху, у тому числі і в багатоярусних установках стелажного типу, – це Л (напівширока) або Ш (широка).

Також нормується ефективність приладів ФАР (фотосинтетична активна радіація), що має бути 2,0 (мкмоль/с)/Вт у приладів, призначених для освітлення рослин зверху; для додаткового освітлення рослин в обсязі цінозу (міжрядного освітлення) – 1,8 (мкмоль/с)/Вт; і не менше 1,9 (мкмоль/с)/Вт-для приладів, призначених для освітлення рослин у багатоярусних установках стелажного типу. Максимальна температура нагрівання не повинна перевищувати 60°C.

Так ж, в стандарті в пункті коротко викладено порядок визначення ефективності приладів у галузі ФАР:

а) вимірювання спектральної щільності випромінювання ВП в області ФАР (400-700 нм).

б) розрахунок фотосинтетичного потоку фотонів за формулою:

$$F_{\text{фар}} = \int_{400}^{700} \varphi_{\lambda} \cdot \frac{\lambda}{h \cdot c \cdot N_A} \cdot dl = K \cdot \int_{400}^{700} \varphi_{\lambda} \cdot \lambda \cdot dl \quad (1.1)$$

де:

$F_{\text{фар}}$ – фотосинтетичний потік фотонів, мкмоль/с;

φ_{λ} – Спектральна щільність розподілу потужності випромінювання приладу (в області ФАР), Вт/нм;

λ – довжина хвилі, нм;

$h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постійна Планка;

$c = 3 \cdot 10^{-17}$ нм/с – швидкість світла;

$N_A = 6,022 \cdot 10^{17}$ моль⁻¹ – число Авогадро;

$K = 8,36 \cdot 10^{-3}$ мкмоль⁻¹нм⁻¹Дж⁻¹ – коефіцієнт.

в) Ефективність у сфері ФАР розраховують за формулою:

$$\eta_{\text{ФАР}} = F_{\text{ФАР}} / P \quad (1.2)$$

де:

$\eta_{\text{ФАР}}$ – ефективність у сфері ФАР, (мкмоль/с) / Вт;

$F_{\text{ФАР}}$ – фотосинтетичний потік фотонів, мкмоль/с;

P – споживана потужність, Вт.

Сьогодні багато виробників пропонують світлодіодні світильники для освітлення теплиць, багатоярусних установок, досвічування, що відповідають стандарту і це є визначальним фактором для споживача.

1.4 Вимірювальні прилади

Діапазон сонячної радіації в межах від 400 до 700 нм, що використовується рослинами для фотосинтезу отримав назву фотосинтетично активної радіації (ФАР).

Фотосинтез - це процес перетворення енергії світла на енергію хімічних зв'язків органічних речовин. Для здійснення фотосинтезу пігменти в тканинах рослин повинні поглинати енергію фотонів потрібних довжин хвиль і потім використовувати цю енергію для запуску ланцюга хімічних реакцій фотосинтезу.

При взаємодії випромінювання з рослиною енергія фотонів, що падають, розподіляється наступним чином:

- Відбивається ~ 10%
- Пропускається ~ 10%
- Переходить в тепло ~ 35%
- Транспірація ~ 43%
- Фотосинтез ~ 2%

Фотосинтетичні пігменти вищих рослин поділяються на дві групи

- 1) хлорофіли;
- 2) каротиноїди.

Роль цих пігментів у тому, щоб поглинати світло і перетворювати його енергію на хімічну енергію.

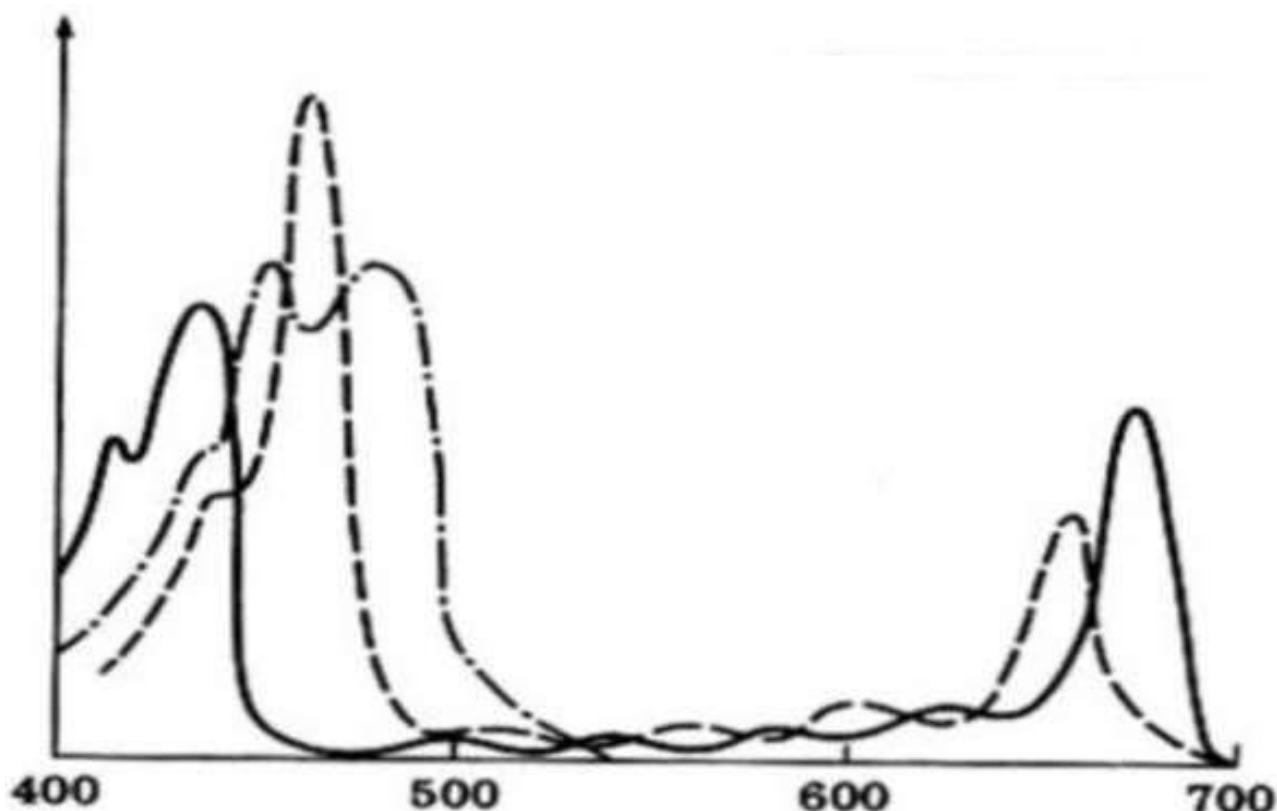


Рисунок 1.3 – Спектри поглинання хлорофілів а та б та каротиноїдів

Хлорофіли а та б мають два основні максимуми поглинання в червоній та синьо-фіолетовій частинах спектру з незначними відмінностями у їх положенні. Як видно на малюнку 1.3, у хлорофілу б максимум поглинання в червоній частині спектра дещо зміщений у бік короткохвильових променів, а в синьо-фіолетовій частині, навпаки, у бік довгохвильових променів у порівнянні з положенням аналогічних максимумів у хлорофілу а.

Усі рослини по-різному сприймають різні довжини хвиль у діапазоні ФАР. Це з різним поглинанням різних типів пігментів у листі кожної рослини.

Оцінка ФАР за світловими величинами ускладнена через необхідність перерахунку. На сьогодні не існує загальноприйнятого підходу у визначенні величини ФАР тому наукова література насичена різноманітними величинами, що характеризують падаюче на рослини і оптичне випромінювання, що сприймається ними.

Відсутність єдиного підходу до вимірювання потоку фотонів безумовно

пов'язана з відсутністю офіційної одиниці вимірювання фотонного потоку в міжнародній системі СІ.

PPF – фотосинтетичний потік фотонів. Це абсолютна кількість фотонів у ФАР діапазоні, що випромінює джерело світла кожену секунду. Параметр PPFD – це кількість фотосинтетично активних фотонів, що потрапляють на вимірювану поверхню рослини в течія даної секунди.

Для вимірювання PPFD використовувався спектрофотометр ТКА-ФАР. Прилад призначений для вимірювання абсолютного спектрального розподілу джерел світла та світлових приладів у видимій області в діапазоні від 400 до 790нм, вимірювання енергетичної освітленості (опроміненості) та щільності фотосинтетичного фотонного потоку PPFD в $\frac{\text{МКМОЛЬ}}{\text{С} \cdot \text{М}^2}$.



Рисунок 1.4 – Спектрофотометр «ТКА-Спектр» (ФАР)

Таблиця 1.4 - Основні технічні дані та характеристики приладу Спектрофотометр «ТКА-Спектр» (ФАР)

Діапазон виміру повної опроміненості (два режими виміру: з ослаблювачем і без ослаблювача)	100 ÷ 600 000 мВт/м ² (калібрування за джерелом типу А)
Режим вимірювання	Безперервний/Пауза
Спектральний діапазон	400 ÷ 790 нм
Основна відносна похибка вимірювань опроміненості	(не більше) ± 8,0%
Приймач	Поліхроматор, 128-піксельна лінійка кремнієвих фотоелементів
Крок сканування	3,33 нм
Ширина спектральної лінії (FWHM)	9,9 нм
Діапазон часу інтеграції (проведення вимірювання)	16 ÷ 4096 мс

Вимірювання освітленості в люксах дозволяє оцінити фотосинтетично активну радіацію в будь-яких інших одиницях. Для вимірювання параметра освітленості використано люксметр ТКА-люкс.



Рисунок 1.5 – Люксметр ТКА-люкс

Таблиця 1.4 - Основні характеристики приладу для вимірювання освітленості

Діапазон вимірювання освітленості	1,0 ÷ 200 000 лк
Основна відносна похибка вимірювання	± 6,0%
Межі додаткової відносної похибки приладу при вимірюванні оптичних величин за рахунок зміни чутливості фотометричної головки при зміні температури повітря у зоні вимірів на кожні 10 °С	± 3,0%
Рідкокристалічний дисплей	3½ розряду
Розміри вимірювального блоку Д/Ш/В	155 × 77 × 40 мм
Вага приладу	0,45 кг
Елемент живлення	типорозмір батареї «Крона»

1.5 Технологічні принципи вирощування рослин ярусним способом

Перша у світі комерційна вертикальна ферма була створена у Сінгапурі SkyGreens. Її творець Jack Ng розпочав експерименти з вирощуванням зелені в 2010 році, через рік оприлюднив результати, і на наступний 2011 рік запустив повноцінне виробництво і налагодив поставки в продуктові магазини країни.

Запатентована конструкція вертикальної ферми складається з ярусів, що обертаються, встановлених на алюмінієвій рамі А-подібної форми (див. рис 1.6 а). Висота ярусів може досягати до 9 метрів і нараховувати 38 ярусів.

Ферма компанії Plenty, що знаходиться в Сан-Франциско, буквально вирощує рослини вертикально. Ряди піддонів із рослинами встановлюються на висоту шість метрів. Автоматизовано практично кожен етап виробничого процесу (див. рис. 1.7).



а



б

Рисунок 1.6 – Вертикальная ферма SkyGreens

Як бачимо, існує досить багато варіацій ярусних конструкцій. Стандартна комплектація універсальних вертикальних або багаторярусних установок, яку пропонує більшість виробників, включає:

- ✓ каркас із міцних довговічних матеріалів;



Рисунок 1.7 – Вертикальна ферма Plenty

- ✓ світлодіодні фітолампи;
- ✓ піддони, стаканчики, касети, лотки для вирощування різних культур;
- ✓ потужне насосне обладнання;
- ✓ обладнання для забезпечення вентиляції, опалення;
- ✓ інструкцію по експлуатації, вирощування культур, набір інструментів для збирання конструкції;

1.6 Висновки до розділу 1

Останнім часом, через необхідність здорового харчування, люди все більше прагнуть правильно і якісно харчуватися, вживати виключно корисні речовини багаті мікроелементами і корисними властивостями. Виростає інтерес до рослинної продукції різних видів, зокрема мікрозелені. Вперше мікрозелень стала популярна в Каліфорнії, але швидко поширилася по всій Америці і всьому світу. Пов'язаний такий факт, що саме перші листи рослин містять найбільшу концентрацію корисних речовин, що входять до складу зеленої маси. Більшість

мікрозелені має в 30 разів більший вміст корисних для організму людини речовин, ніж вже сформовані рослини. Мікрозелень – це пророщені рослини у фазі листя сім'ядолі, що складаються з одного-двох справжніх листків. Висота такої рослини становить близько 2,5-15 см. Зазвичай від посіву до збирання врожаю проходить від 7 до 21 дня. Мікрозелень слід відрізнити від проростків, які мають короткий цикл від 2-7 днів. Також її слід відрізнити від дорослої зелені. Як мікрозелені вирощують як традиційну зелень: салат, цибуля, кріп, петрушка, кінза та інші пряні трави, так і рослини, як зелень, що використовуються рідко: редис, дайкон, буряк, або не використовуються взагалі: злаки, соняшник, нут, капуста . Отже:

1. Приклади багатоярусних конструкцій та тенденції розвитку подібних тепличних технологій пов'язані з раціональним використанням площ та обсягом готової продукції. Крім того, це один із способів оптимального обробітку низькорослої та швидкозростаючої рослинної продукції, так необхідної для харчового раціону людини.

2. В умовах сучасних інноваційних технологій світлодіодного освітлення та супутніх мікроелектронних компонентів, що супроводжує технологічний процес тепличного господарства, дозволяє вдосконалювати умови багатоярусного вирощування рослин, конструкціями від 10 і більше ярусів.

3. Інтерес до ярусних конструкцій та способів вирощування на них рослин тільки збільшується, а за прогнозами GrandViewResearch, інвестиції у вертикальні ферми досягнуть понад 10 млрд доларів до 2030 року.

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Моделювання системи освітлення для вирощування рослин вертикальним способом

Моделювання системи освітлення для вирощування рослин вертикальним способом передбачає вирішення низки завдань: визначення оптимальних параметрів багатоярусного стелажа, оптимальне розташування світильника в ньому, відповідна КСС, підбір ефективного фітосвітильника.

Для визначення впливу опромінення різними світловими приладами на рослини, було проведено експеримент щодо вирощування мікрозелені в трьох осередках. Освітлювальна установка - це стелажна конструкція з нішами, модель якої представлено на рисунку 2.1а.

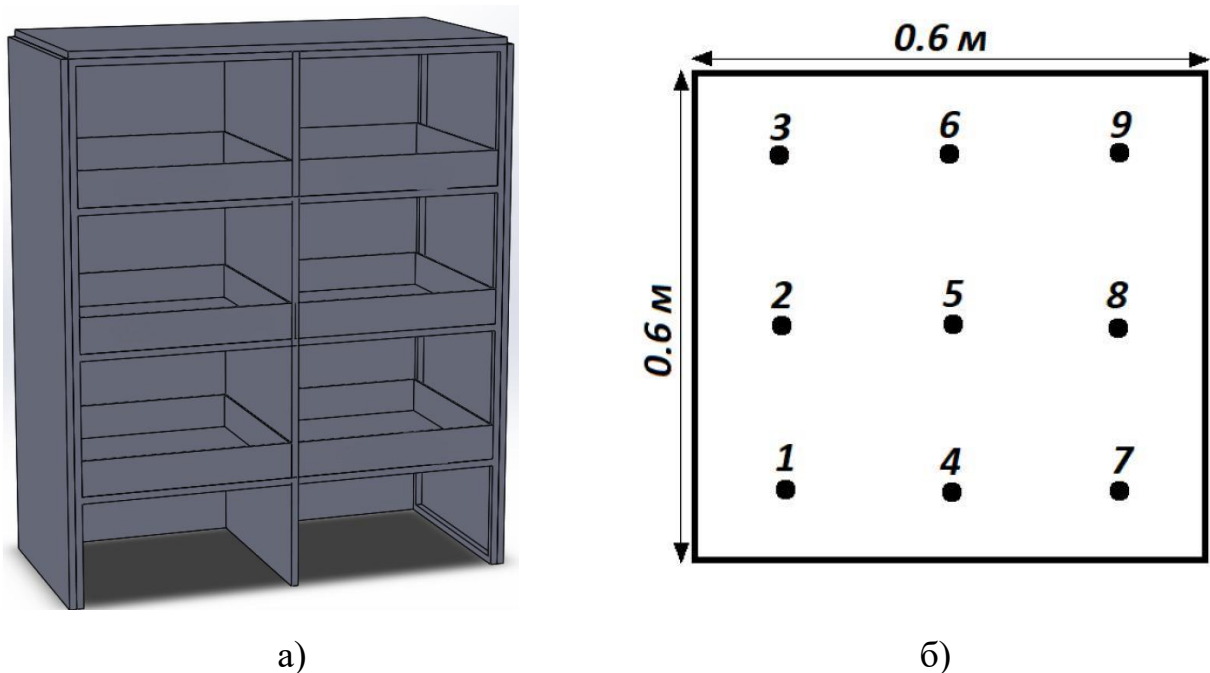


Рисунок 2.1 – а) модель стелажа виконана в програмі SolidWorks; б) контрольні точки в ніші стелажа.

Ніші виготовлені із спіненого ПВХ, що забезпечує як високий коефіцієнт відбиття так і низький коефіцієнт теплопередачі. Стелажна конструкція забезпечена проточною системою поливу. Схема контрольних точок, у яких проводилися вимірювання, показано рисунку 2.2 б.

Таблиця 2.1 – Характеристика світлових приладів у нішах

Ніша №1	Рожеве світло	Встановлено два світлодіодні світильники потужністю по 10,5 Вт кожен.
Ніша №2	Біле світло	Встановлено світлодіодні лампи білого світла в кількості 4 штук потужністю 15 Вт кожна.
Ніша №3	Змішане світло	Встановлено один маджентовий світлодіодний світильник потужністю 30 Вт.
Ніша №4,	Темрява	Відсутність світильників для вирощування в темряві
Ніша №5, Ніша №6	Темрява	Відсутні освітлювальні прилади, немає вирощування

З урахуванням розташування світильника в ярусній установці, кривої сили світла для дослідницької установки розроблено фітосвітильник та проведено його тепловий розрахунок у SolidWorks.

Спочатку в програмі DIALux evo опрацьовано кілька варіантів розташування та висота підвісу світильника.

2.2 Вибір оптимального розташування світильників при вертикальному вирощуванні рослин

У програмі DIALux evo був побудований стелаж для визначення оптимального розташування світильників при вирощуванні мікрозелені: №1-відкритий, №2-з трьома бортами, №3-закрита повністю з усіх боків. У кожній ніші два варіанти розташування світлових приладів – горизонтально та вертикально (рисунок 2.2).

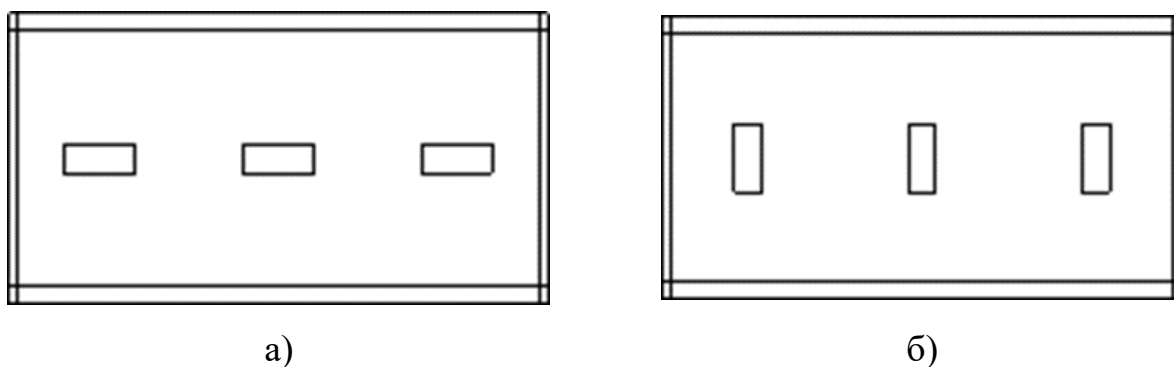


Рисунок 2.2 – Розташування а) 1 варіант горизонтально; б) 2 варіант

вертикально

Рівномірність освітленості визначається як відношення значення максимальної освітленості до значення середньої на заданій поверхні.

Розрахункові поверхні №1, на відстані 50 см від світлового приладу, для трьох установок, де №1-відкрита, №2-з трьома бортами, №3-закрита повністю з усіх боків; для першого варіанту розташування світлового приладу вертикально.

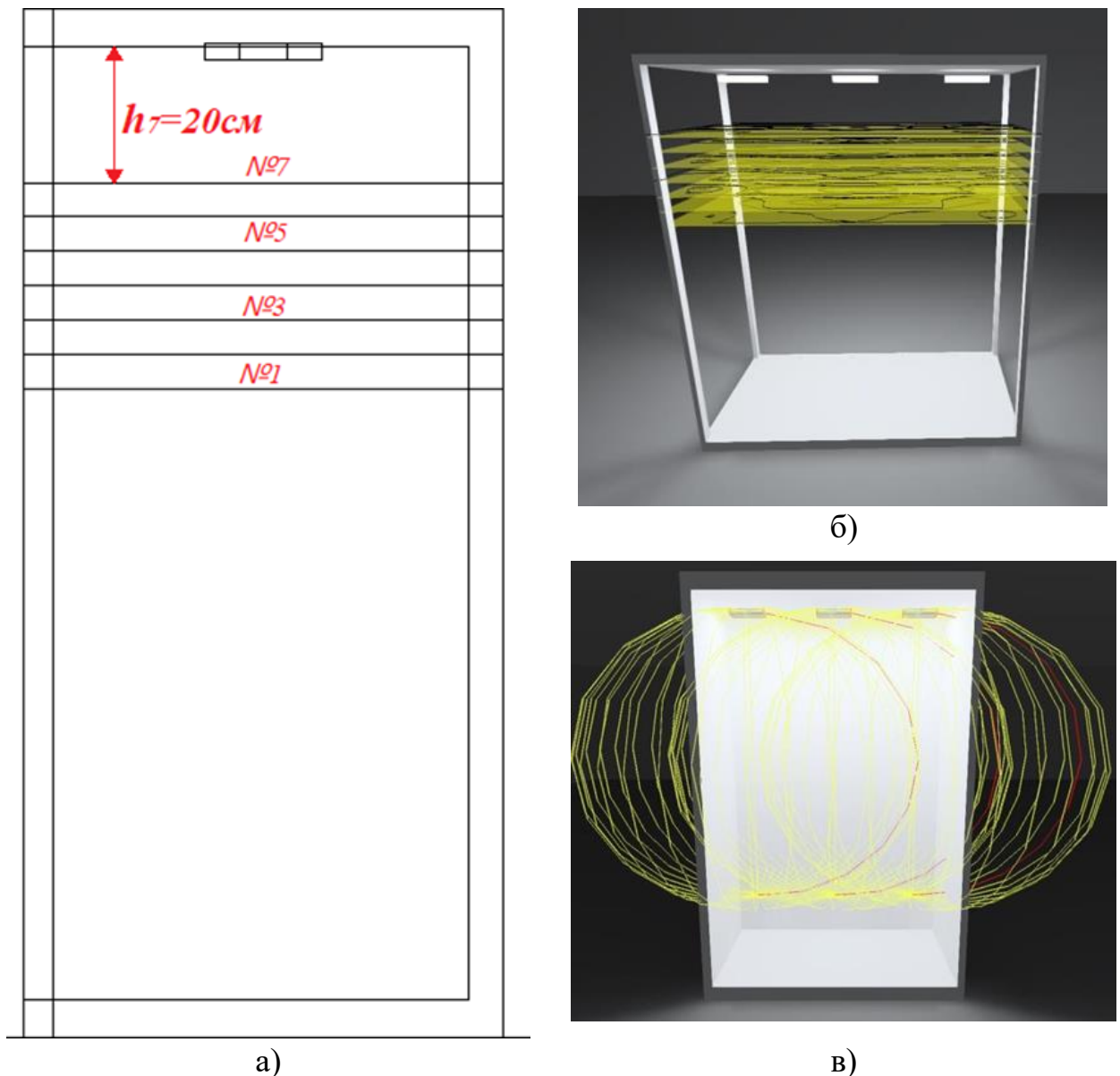


Рисунок 2.3 – Модель стелажа у DIALux evo: а) схема розташування розрахункових поверхонь (вид збоку); б) у відкритій ніші №1; в) ніші №2 із трьома бортами

Значення середньої освітленості та рівномірності з усіх розрахункових поверхонь зведено до загальної таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення середньої освітленості і рівномірності на розрахункових поверхнях

№РП		$E_{cp}(лк)$			U_0		
		Ніша №1	Ніша №2	Ніша №3	Ніша №1	Ніша №2	Ніша №3
1(h=50см)	а	985	1361	1855	0,74	0,77	0,84
	б	984	1374	1857	0,75	0,88	0,85
2(h=45см)	а	1091	1498	1967	0,73	0,76	0,83
	б	1090	1491	1970	0,73	0,77	0,85
3(h=40см)	а	1212	1627	2091	0,70	0,74	0,82
	б	1210	1619	2093	0,71	0,76	0,84
4(h=35см)	а	1349	1768	2222	0,68	0,72	0,80
	б	1347	1759	2222	0,69	0,74	0,83
5(h=30см)	а	1505	1922	2356	0,63	0,69	0,78
	б	1502	1911	2355	0,65	0,72	0,80
6(h=25см)	а	1684	2086	2496	0,57	0,64	0,72
	б	1675	2069	2492	0,60	0,66	0,75
7(h=20см)	а	1899	2276	2659	0,47	0,53	0,64
	б	1869	2234	2629	0,51	0,55	0,66

Як видно з таблиці 2.2 у всіх нішах стелажа значення практично однакові тому ми можемо припустити, мікрозелень знаходиться в однакових умовах і освітлюється однаково. Згідно даних таблиці 2.2 були побудовані спектри випромінювання у трьох одиницях: відносних, $мВт/м^2$ та $мкмоль/с \cdot м^2$.

Спектр у всіх нішах стелажа є аналогічно спектру випромінювання побутових світлодіодних світильників з температурою 3000-3500 К.

У всіх нішах присутнє випромінювання в синій області в діапазоні від 440 до 450 нм і червоній області 600-680 нм. Дані спектри розташовані в області поблизу максимумів що беруть активну участь у процесі фотосинтезу – хлорофіли *а* та *б*.

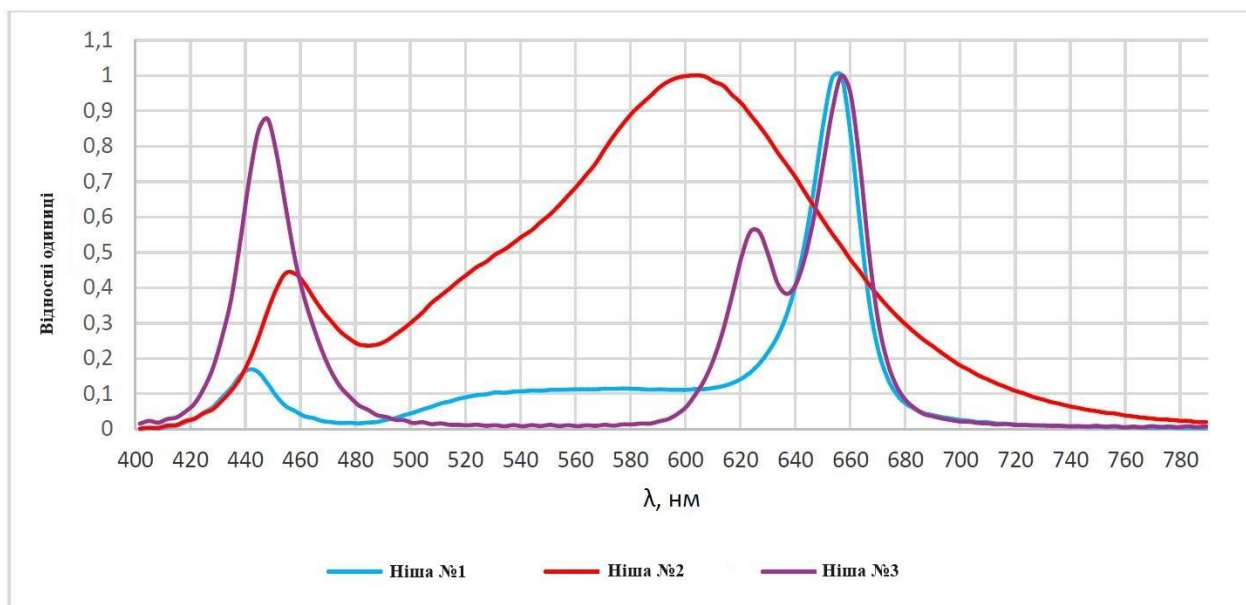


Рисунок 2.4 – Спектр випромінювання у відносних одиницях

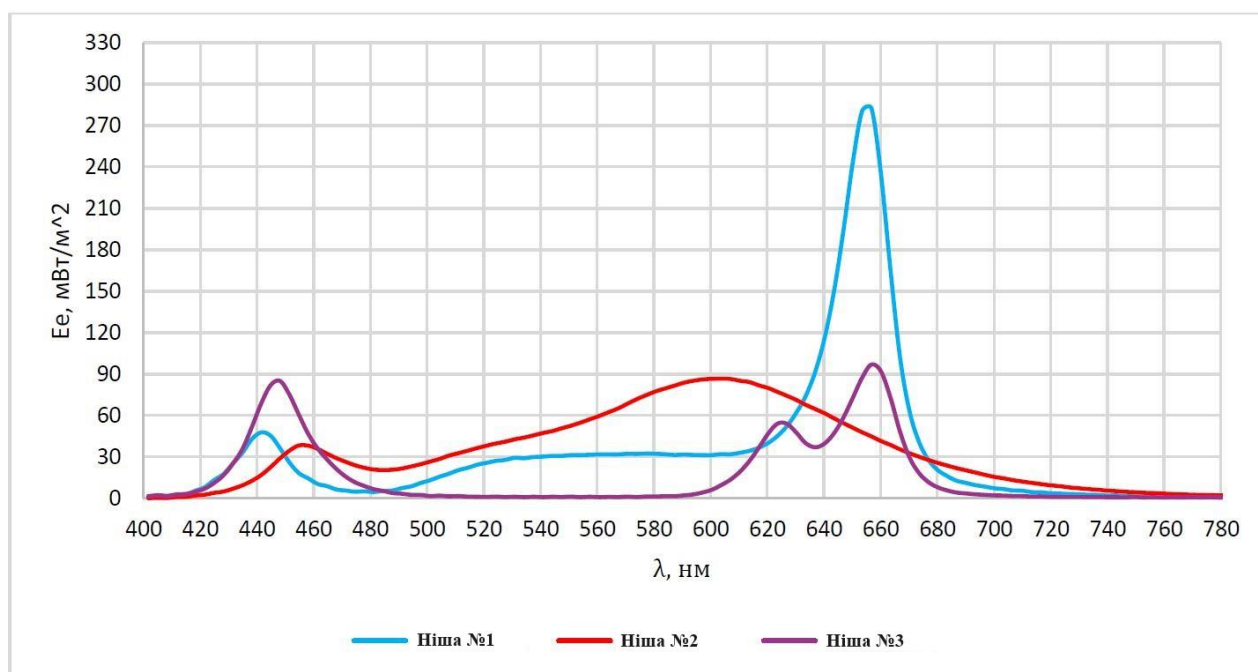


Рисунок 2.5 – Спектр випромінювання у мВт/м²

Якщо на початку росту рослин виміряти освітленість у контрольних точках то вона буде відповідати значенням які наведені в таблиці 2.3.

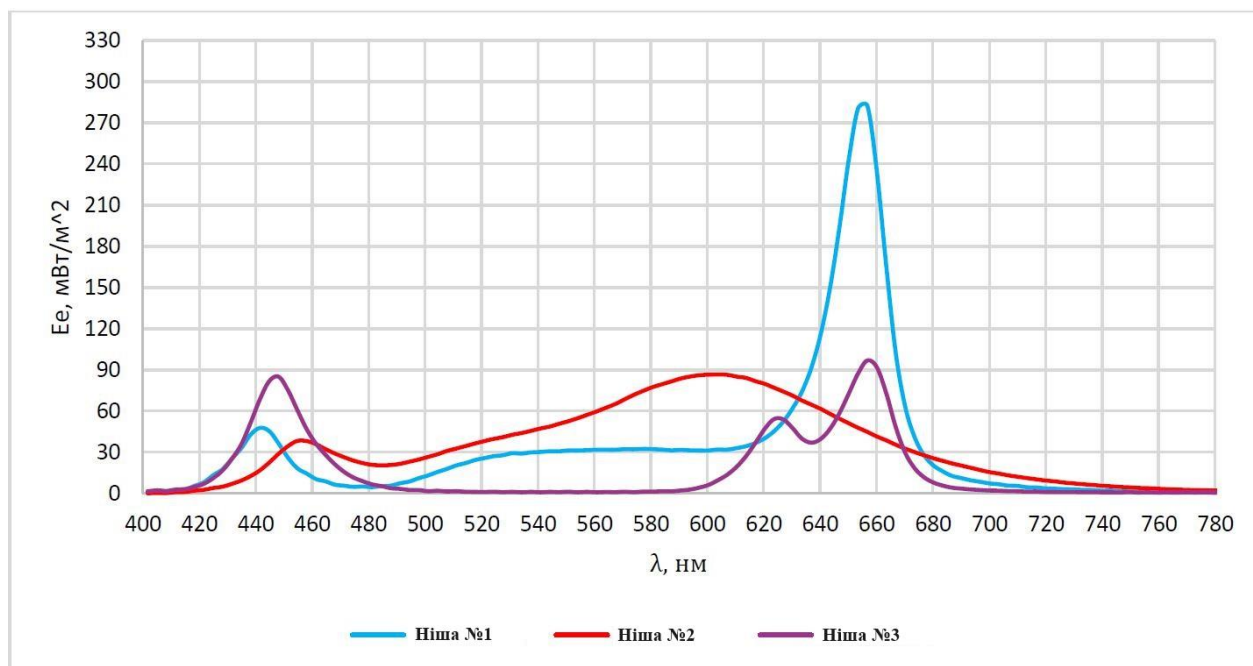


Рисунок 2.6 – Спектр випромінювання у мкмоль/с·м²

Як видно з графіків рис. 2.4 – 2.6 спектральний склад ніші 1 і 3 найбільше відповідають спектру ФАР.

Таблиця 2.3 – Освітленість в контрольних точках

№к.т.	Ніша №1	Ніша №2	Ніша №3
	E_v , ЛК		
1	3050	4820	1080
2	3940	6670	1030
3	2900	5350	571
4	4330	5320	1366
5	5310	6940	1300
6	2920	5280	790
7	3530	5110	1623
8	4350	6490	1174
9	2510	5870	795
середнє	3648	5761	1081

У програмі Surfer15, з врахування значення освітленості (E_v), було змодельовано поверхневий розподіл освітленості у кожній ніші, на висоті мікро-

зелені, результат моделювання у вигляді ізоліній наведено на рисунках 2.7-2.9.

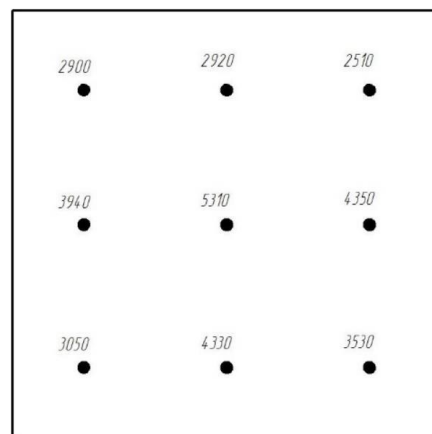
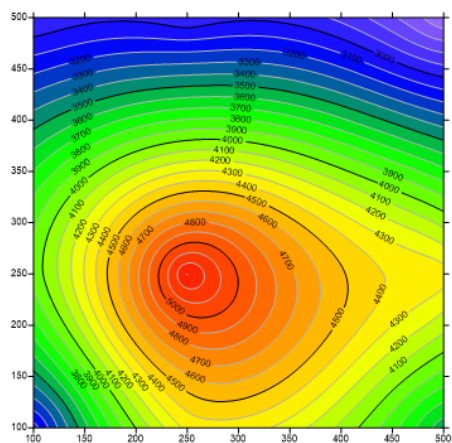


Рисунок 2.7 – Розподіл освітленості в Ніші №1 (ізолінії)

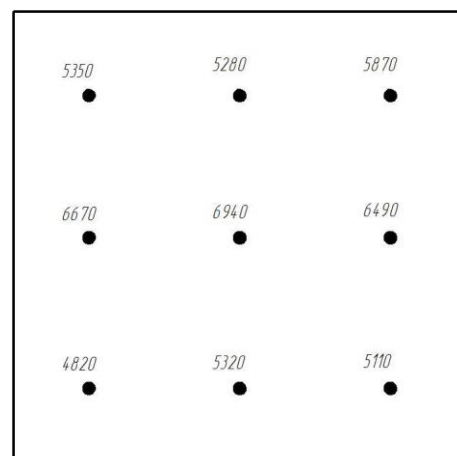
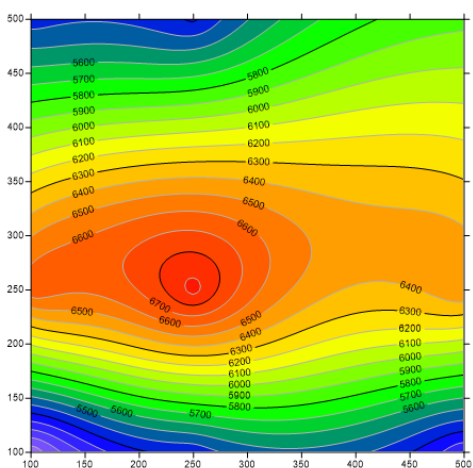


Рисунок 2.8 – Розподіл освітленості в Ніші №2 (ізолінії)

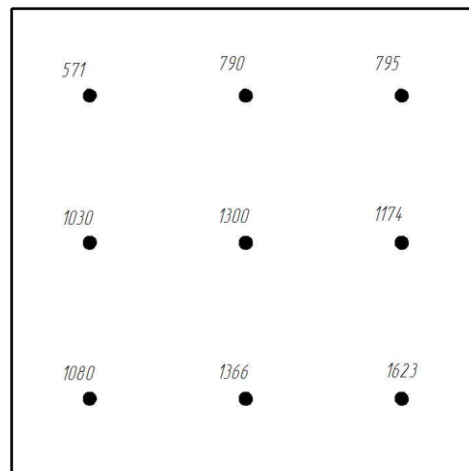
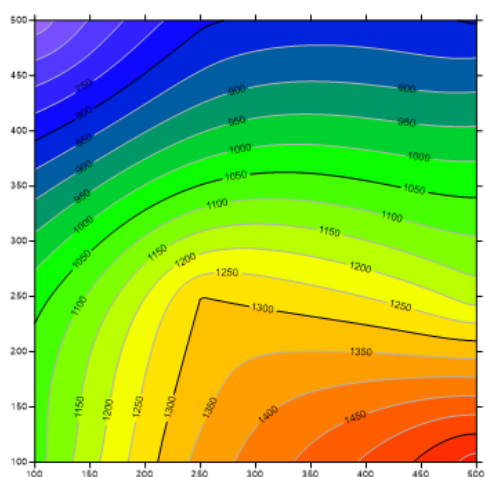


Рисунок 2.9 – Розподіл освітленості в Ніші №3 (ізолінії)

Отже, нами визначено, що найбільш оптимальним способом розташування світлового приладу є горизонтальне положення.

2.3. Розробка світильника для вирощування рослин ярусним способом

Враховуючи результати моделювання, була запропонована конструкція світлодіодного світильника із забезпеченням рівномірності розподілу світлового потоку, та можливість пересування з допомогою крокового двигуна.

Оптика світильника, зображена на рисунку 2,12 розроблялась у демоверсії програми TracePro 73. За будовою світильник має подовгасту структуру його оптична система має два дзеркальні відбивачі (4) з коефіцієнтом дифузного відбиття не більше 12%. Внутрішні бічні стінки корпусу (5) самого світильника утримують відбивачі з двох сторін, і для надійної фіксації вставляються у спеціальні направляючі. Довжину світильника можна змінювати в залежності від потреб від 20 см до 2 метрів.

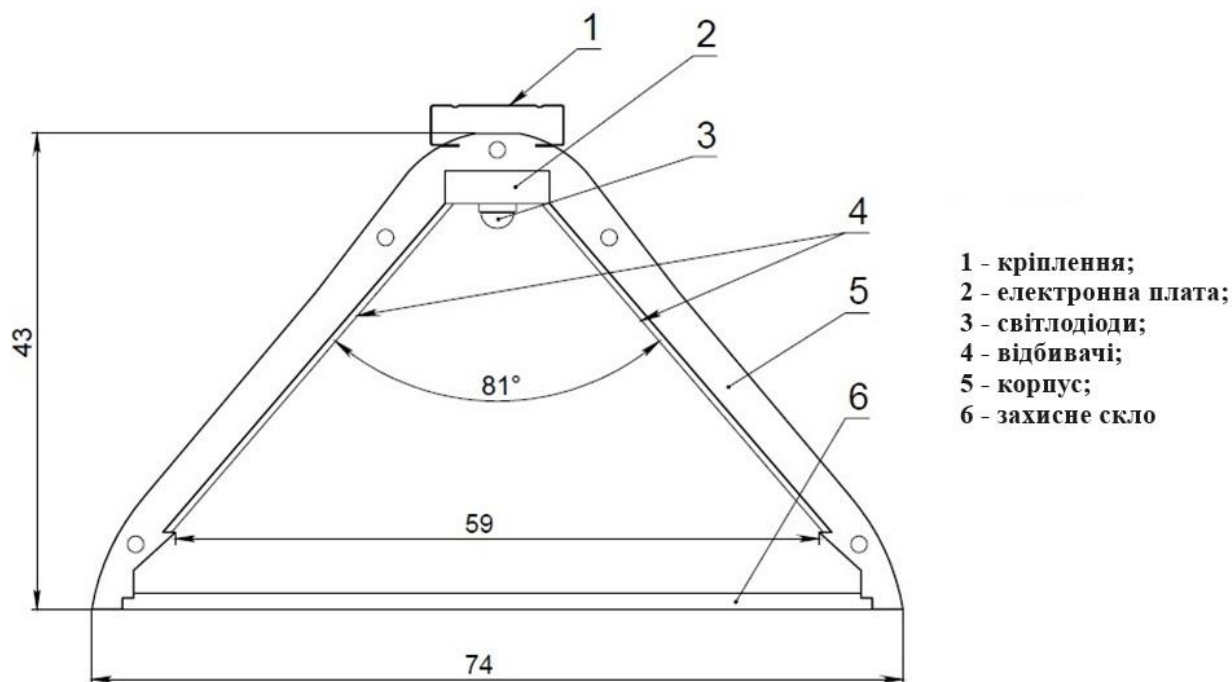
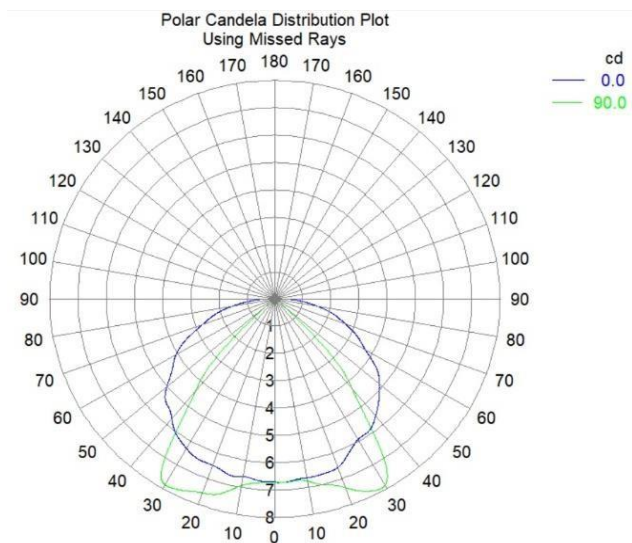
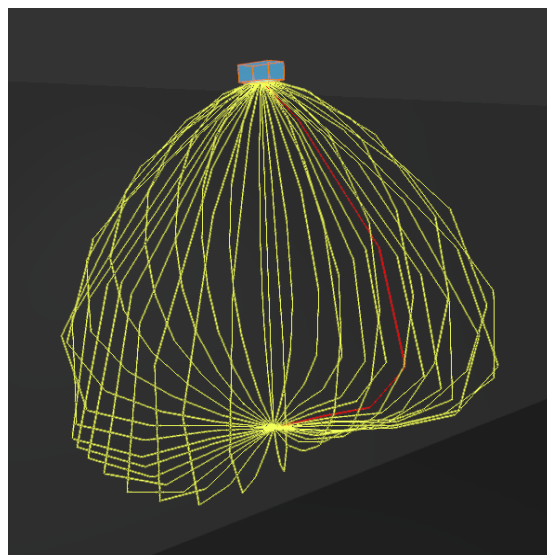


Рисунок 2.12 – Оптична система світильника



а



б

Рисунок 2.13 – а) Розрахункова крива сили світла; б) Візуалізація у програмі «DIALux evo»

Як джерело світла (3) в світильнику можуть використовуватися світлодіоди серії CREE. Основні характеристики світлодіода представлені у таблиці 2.4. Було вибрано 10 світлодіодів по 3 Вт, отже загальна потужність світильника 30 Вт.

В процесі розрахунку у програмі DIALux був використаний IES-файл вже готового світлового приладу, який був розташований у ніші №3 стелажа (таблиця 2.1). Фітосвітильник зібраний з алюмінієвого радіатора та світлодіодного модуля, з використанням термопасти та проводів.



Рисунок 2.14 – Загальний вигляд світильника

До електронної плати (2) припаюються два дроти, що служать для з'єднання з джерелом живлення. Перед закріпленням світлодіодного модуля до радіатора на задню сторону плати наноситься термопаста, тим самим забезпечується покращена передача теплової енергії, що генерується світлодіодами, від кристалів через плату до радіатора і далі навколишньому простору. Світлодіодна плата складається з чотирьох білих світлодіодів та восьми червоних світлодіодів. Використовувані світлодіоди представлені у таблиці 2.4, які послідовно підключаються в даному випадку.

Таблиця 2.4 - Характеристики світлодіодів

Модель світлодіода	XPEEPR-L1-0000-00901	XTEAWT-E0-00000000BKE3
Колір	червоний	Білий
Світловий потік	350 лм	156 лм
Струм	350 мА	350 мА
Номінальна напруга	2,1В	2,77В
Розмір корпусу	3,45×3,45	

Світлодіодний світильник для підвищення ефективності освітлення та рівномірності розподілу світлового потоку може бути обладнаний пристроєм зворотньо-поступального руху. Загальний вигляд світильника із зворотньо-поступальним блоком показано на рисунку 2.15.

Блок для забезпечення зворотньо-поступального руху складається із платформи 1, до якої кріпиться кутник 8, на якому розміщений кроковий двигун із вмонтованим редуктором 7. На вихідному валу двигуна встановлена конічна шестерня, що входить в зачеплення з шестернею, що встановлена на ведучому валу 4. Ведучий вал посаджений на підшипники, що запресовані в корпуси підшипників 2. На кінцях валу кріпляться ведучі колеса 3.

З іншого боку платформи розміщений ведений вал 5, на кінцях якого встановлені шарики-підшипники, що виступають в якості ведучих коліс 6.

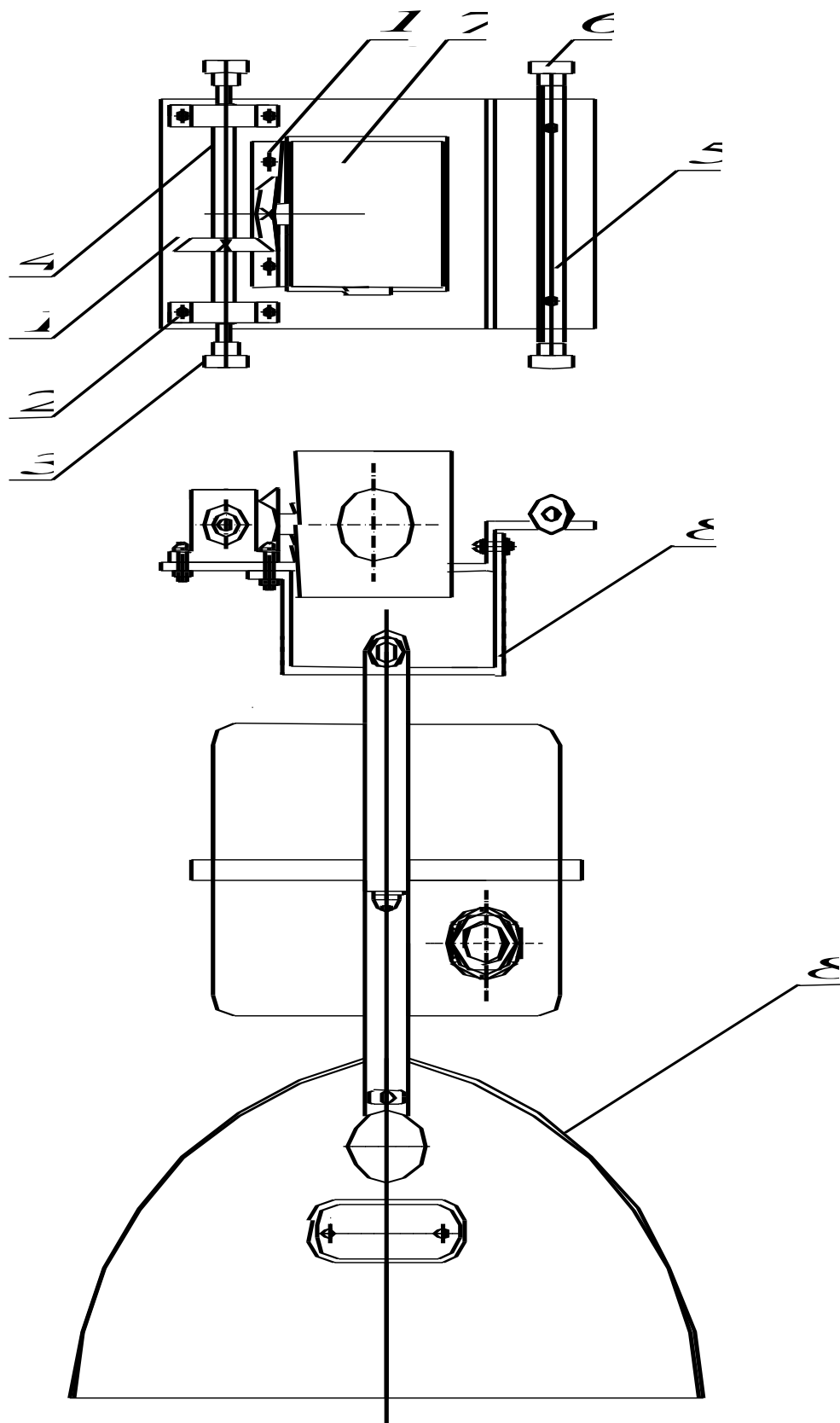


Рисунок 2.15 – Загальний вигляд світильника із зворотно-поступальним блоком

Таким чином пристрій для забезпечення зворотно - поступального руху являє собою платформу із двома ведучими і двома ведомими колесами, до якого підвішаний світильник і який встановлений на двох сталєних кутниках, що розміщені вздовж опромінювальної поверхні і служать в якості направляючих, по яких рухається блок.

Рух відбувається таким чином: обертовий рух від електродвигуна 7 через систему шестернь і ведучий вал передається на ведучі колеса, які обертаючись плавно переміщують світильник вздовж освітлювальної поверхні.

Швидкість руху задається як параметрами електроприводу, тобто: передаточним числом вмонтованого редуктора, передаточним числом кінчних шестерень, діаметром ведучих коліс; так і швидкістю комутації обмоток двигуна, що задається блоком управління кроковим двигуном.

Для обмеження руху і включення двигуна на реверс служать світлові датчики, які кріпляться на зворотно – поступальному пристрої і спрацьовують при перериванні світлового потоку з допомогою металевих пластин, які розміщені на кутниках і можуть переміщуватись вздовж них.

Переміщуючи пластинки вздовж кутників можна регулювати довжину «пробігу» і таким чином збільшувати чи зменшувати площу опромінення.

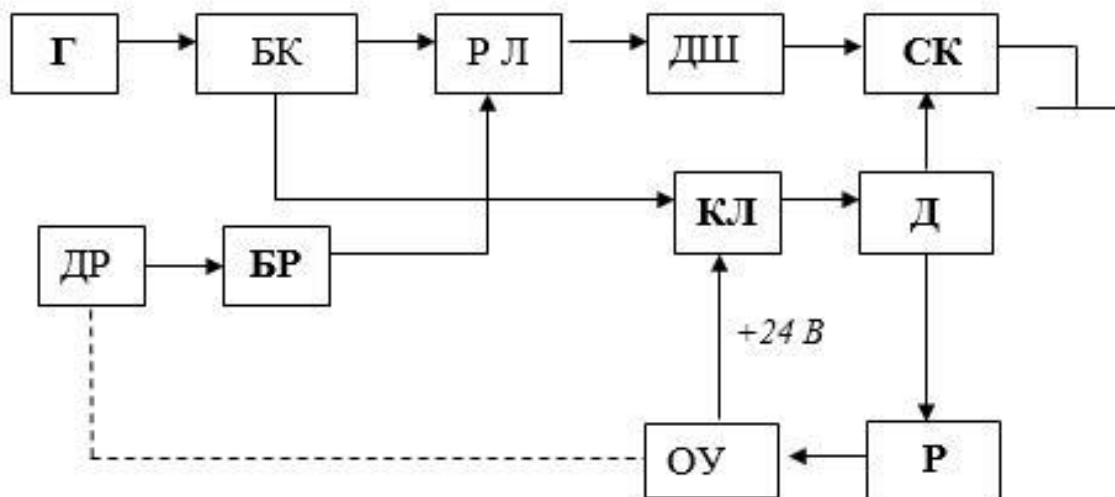


Рисунок 2.16 – Електрична функціональна схема

Г- генератор; БК- блок комутації; РЛ- реверсивний лічильник; ДШ- дешифратор; КЛ- транзисторний ключ; ДР- датчик реверсу; БР- блок реверсу;

Д- двигун; Р- редуктор; ОУ- освітлювальна установка; СК- силові ключі;

Електричну функціональну схему приведено на рисунку 2.16.

Генератор (Г) виробляє імпульси прямокутної форми, із частотою, що плавно регулюється в межах від 0,1 до 1 кГц. Зміною частоти генерації регулюється швидкість руху опромінювальної установки.

Блок комутації (БК) дозволяє проходження імпульсів від генератора до реверсивного лічильника (РЛ), а також подає сигнал на транзисторні ключі (Кл), які відкриваються і дозволяють проходженню напруги +24 В на обмотки статора крокового двигуна (Д).

Імпульси від реверсивного лічильника поступають на дешифратор (ДШ) і силові ключі (СК), які призначенні для почергової комутації обмоток статора крокового двигуна. Ротор двигуна обертається із швидкістю, що визначається швидкістю комутації обмоток.

Обертний рух від валу двигуна через редуктор (Р) передається на освітлювальну установку (ОУ), яка розміщується на сталених кутниках і плавно переміщується вздовж опромінювальної поверхні .

Для обмеження руху і включення двигуна на зворотній хід служать датчики реверсу, які спрацьовують при доїжджанні світильника до однієї із кінцевих точок руху і керуючий сигнал із блоку реверсу (БР) поступає на реверсивний лічильник, який починає відлік імпульсів у зворотному напрямку.

Блок управління кроковим двигуном призначений для управління кроковим двигуном У1 типу ЕИ-1, рисунок 2.17.

Швидкість обертання крокового двигуна, а отже і швидкість руху опромінюючої установки визначається частотою тактових імпульсів, що виробляє генератор, зібраний на елементах DD1.1-DD1.3, конденсаторі С1 і резисторі R7. Частота генерації визначається параметрами конденсатора С1 і змінного резистора R7, з допомогою якого вона регулюється в межах від 0,1 до 1 кГц.

Тактові імпульси від генератора через елемент дозволу DD3.3 поступають на вхід синхронізації лічильника DD4.

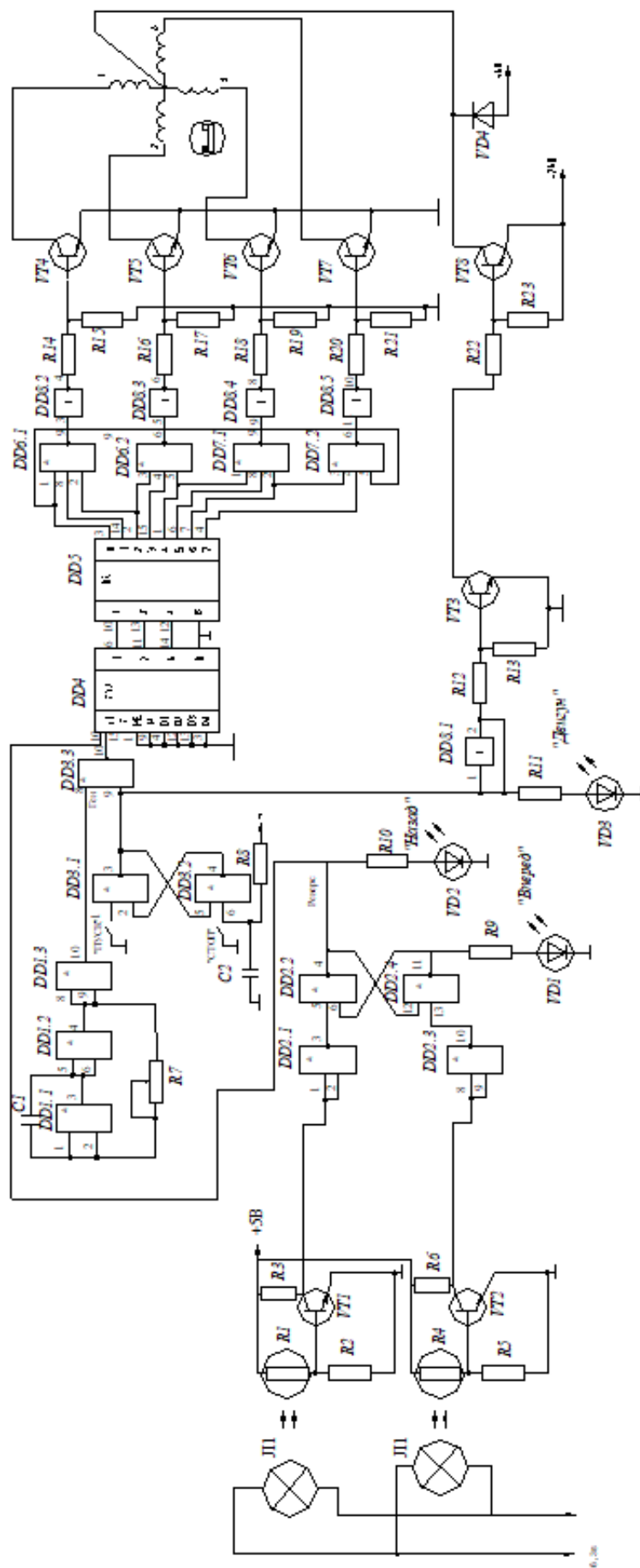


Рисунок.2.17 – Принципова електрична схема

При включенні живлення блок комутації, що складається із RS-тригера, зібраного на логічних елементах 2I-HE, DD3.1-DD3.2. і елемента DD3.3. встановлюється у вихідний стан, що забороняє проходження імпульсів від генератора на вхід синхронізації лічильника DD4. Це відбувається за рахунок ланки R8, C2, постійна часу якої визначається формулою $\tau=RC$. В момент включення логічний «0» через конденсатор C2 поступає на вхід елемента DD3.2., що аналогічно натискуванні кнопки «Стоп» і на виході елементу DD3.1. встановлюється логічний «0», який поступає на елемент дозволу DD3.3. Таблиця істинності елементу приведена в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Таблиця істинності елементу 2I-HE

X1	X2	Y
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

Якщо на одному із входів присутній логічний «0», то не зважаючи на зміну сигналу на іншому вході стан виходу мінятися не буде.

Крім того сигнал з виходу DD3.2. через інвертор DD8.1 поступає на базу транзистора VT3, який закривається і відповідно закривається транзистор VT8, який відключає напругу 24 В від обмоток статора, при цьому через діод VD4 на обмотки двигуна подається напруга +5 В.

Таким чином після включення живлення кроковий двигун працювати не буде. Для цього щоб його привести в рух необхідно натиснути кнопку «Пуск». RS-тригер переключиться в протилежний стан і на вході елементу DD3.1. появиться логічна «1», що дозволяє проходження тактових імпульсів від генератора через елемент DD3.3. на вхід лічильника DD4. Одночасно на елемент DD8.1. поступає логічний «0» .

Транзистори VT3 і VT8 відкриваються і на обмотки статора двигуна У1 поступає напруга +24 В. Двигун має чотири обмотки, підключення яких багатоступінчасте і управляється дешифратором DD5 елементами DD6 і DD7, інверторами DD8.2.-DD8.5., а також силовими ключами, зібраними на транзисторах VT4-VT7.

Напрямок обертання визначається рівнем сигналу, що присутній на вході 10 “±1” лічильника DD4 і подається на нього з блоку реверсу.

Блок реверсу складається із лампочок Л1 і Л2, фото резисторів R1 і R4, логічних елементів DD2.1. і DD2.3., які служать інверторами і RS-тригера, зібраного на елементах DD2.2.-DD2.4. В момент включення стан виходу тригера може бути довільний і відповідно напрямок обертання двигуна також довільний.

На фоторезистори R1 і R4 падає світловий потік від ламп Л1 і Л2, опір їх низький і транзистори VT1 і VT2 відкриті і на вході RS- тригера через інвертори DD2.1., DD2.3. поступають логічні “1”, тому тригер перебуває в стані збереження інформації.

Обертаючись двигун переміщує опромінюючу установку вздовж теплиці. Для обмеження руху ОУ служать пластини, які розміщені в кінцевих точках руху. Коли ОУ наближається до однієї із цих точок пластина перериває світловий потік від однієї із ламп до фото резистора, транзистор закривається і стан RS-тригера міняється на протилежний, на вхід 10 лічильника DD4 поступає сигнал і він починає відлік у зворотному напрямку. Напрямок руху ОУ міняється на протилежний. Для зупинки руху служить кнопка «Стоп».

Для індикації напрямку руху служать фотодіоди VD1 «Вперед» і VD2 «Назад», для індикації включення двигуна VD3 «Двигун».

Схема блоку живлення приведена на рисунку 2.18.

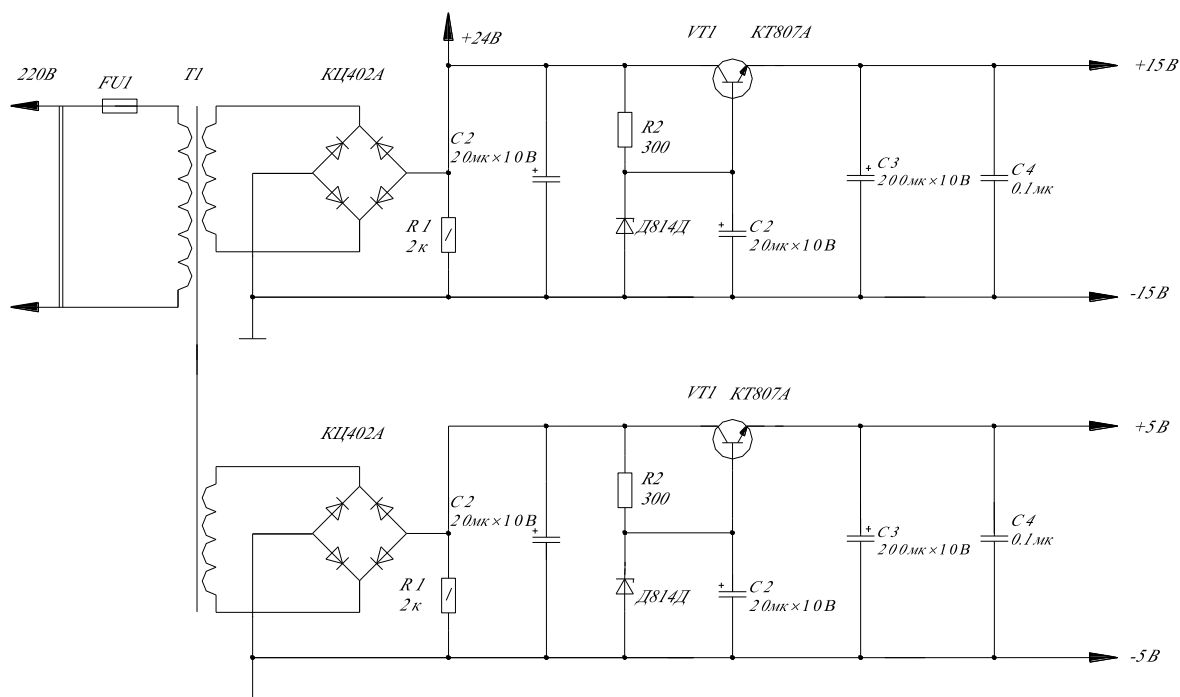


Рисунок 2.18 – Схема блоку живлення.

Блок живлення призначений для вироблення стабілізованих напруг 15В і 5В, а також випрямленої напруги 24 В. Напряга 15 В використовується для живлення блоку управління кроковим двигуном, який в основному складається із мікросхем серії К561. Напряга 24В і 5В використовується для живлення обмоток крокового двигуна У1. Крім того напругою 5В живляться лампочки Л1 і Л2.

Блок живлення виконаний по стандартній схемі компенсаційного стабілізатора.

Діодний міст КЦ402А можна замінити випрямляючими діодами, напругою не менше 30 В і струмом 400 мА. Транзистор VT1 типу КТ807 повинен бути встановлений на радіатор, так як схема споживає великий струм.

2.4 Висновки до розділу 2

Проведені дослідження та моделювання системи освітлення для вирощування рослин вертикальним способом дозволили зробити наступні висновки:

1. За результатами моделювання в програмі DIALux evo встановлено, що горизонтальне розташування світильників є більш оптимальним порівняно з вертикальним для забезпечення рівномірного розподілу освітленості.

2. Розроблено світлодіодний світильник з урахуванням результатів моделювання, що забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку та може пересуватись за допомогою крокового двигуна.

3. Використання світлодіодів серії CREE дозволило досягти необхідних параметрів світлового потоку, при цьому забезпечуючи ефективне тепловідведення.

Отже, результати моделювання та конструювання підтвердили можливість створення ефективних систем освітлення для вирощування рослин вертикальним способом, які забезпечують оптимальні умови для росту та розвитку рослин.

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Розрахунок трансформатора блоку живлення

Вихідні дані:

- частота змінного струму $f=50$ Гц;
- номінальне значення напруги мережі - первинної обмотки

$U_m=220$ В;

- коефіцієнт форми кривої напруги $K\phi=1,11$;
- номінальне значення напруги вторинних обмоток $U_n=24$ В і

$U_{nn}=8$ В;

- струми навантаження відповідно $I_n=3$ А $I_{nn}=1$ А;
- коефіцієнт потужності $\cos\varphi=1$;
- максимальна температура оточуючого середовища $T_{max}=+45$ °С;
- коефіцієнт корисної дії $\eta=0,88$.

Розрахунок проводимо в такій послідовності:

1) Вибір магнітопроводу.

а) сумарна потужність вторинних обмоток трансформатора визначається за формулою:

$$P_{ntr} := U_n \cdot I_n + U_{nn} \cdot I_{nn} \quad (3.1)$$

$P_{ntr}=80$ В·А;

б) габаритна потужність трансформатора (вторинні обмотки підключаються до мостових схем випрямлення і не мають середніх точок) обчислюється за формулою:

$$P_g := P_{ntr} \cdot \frac{\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{2} \quad (3.2)$$

$$P_g = 85.5 \text{ В} \cdot \text{А};$$

в) вибір типорозміру магніто проводу проводиться по значенню конструктивного коефіцієнта $Sc \cdot Sok$. Із відповідних графіків і таблиць [10] знаходимо:

-індукція магнітного поля $B = 1,5 \text{ Тл}$;

-густина струму $J = 3 \text{ А/мм}^2$.

-коефіцієнт заповнення вікна $K_{ок} = 0.3$;

-коефіцієнт заповнення магнітопровода сталлю $K_c = 0.95$.

Значення коефіцієнта $Sc \cdot Sok$ визначаємо за формулою:

$$Sc Sok := P_g \cdot 10^2 \cdot \frac{(1 + \eta)}{4 k_f \cdot f_c \cdot B \cdot J \cdot K_c \cdot K_{ок} \cdot \eta} \quad (3.3)$$

$$Sc Sok = 64,121 \text{ см}^4.$$

На основі цих даних вибираємо магнітопровід типу ШЛМ25×40 із електротехнічної сталі марки 3411 з товщиною стрічки 0,35 мм. Даний магнітопровід забезпечує значення коефіцієнта $Sc \cdot Sok = 67,5 \text{ см}^4$.

Геометричні розміри магніто проводу:

$$a = 12,5 \text{ мм}; \quad b = 40 \text{ мм}; \quad c = 15 \text{ мм}; \quad h = 45 \text{ мм};$$

$$Sc = 10 \text{ см}^2; \quad Sok = 6,75 \text{ см}^2; \quad L_c = 15,9 \text{ см}.$$

де a -товщина навивки; b - ширина стрічки; c - ширина вікна; h -висота вікна;

L_c - середня довжина магнітної силової лінії.

2) Розрахунок обмоток трансформатора.

а) Діюче значення ерс первинної обмотки трансформатора визначаємо за формулою:

$$E_1 := U_m \cdot \left(1 - \frac{\Delta U_1}{100} \right) \quad (3.4)$$

де $\Delta U_1 = 4\%$ - відносне падіння напруги на первинній обмотці ,яке визначається по графіку [10].

$$E_1 = 211,2 \text{ В}.$$

б) Діюча ерс одного витка визначається за формулою:

$$e := 4 \cdot k_f \cdot f_c \cdot B \cdot S_c \cdot K_c \cdot 10^{-4} \quad (3.5)$$

$$e = 0,316 \text{ В.}$$

в) Число витків первинної обмотки визначається за формулою:

$$w_1 := \frac{E_1}{e} \quad (3.6)$$

$$w_1 = 668 \text{ витків.}$$

г) Діюча ерс вторинних обмоток E2 і E3 трансформатора під навантаженням визначається за формулою ($\Delta U_2 = 6\%$, $\Delta U_3 = 6\%$)

$$E_2 := U_n \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_2}{100} \right) \quad (3.7)$$

$$E_3 := U_{nn} \cdot \left(1 + \frac{\Delta U_3}{100} \right) \quad (3.8)$$

$$E_2 = 25,44 \text{ В, } E_3 = 8,48 \text{ В.}$$

д) Число витків вторинних обмоток визначаємо за формулою:

$$w_2 := \frac{E_2}{e} \quad (3.9)$$

$$w_3 := \frac{E_3}{e} \quad (3.10)$$

$$w_2 = 80 \text{ витків, } w_3 = 27 \text{ витків.}$$

3) Визначення складових і повного струму первинної обмотки трансформатора.

а) активна складова, яка дорівнює сумі струмів навантаження обчислюється за формулою:

$$I_1 := I_n \cdot \left(\frac{U_n}{U_m} \right) + I_{nn} \cdot \left(\frac{U_{nn}}{U_m} \right) \quad (3.11)$$

$$I_1 = 0,364 \text{ А;}$$

б) активна складова, обумовлена втратами в магніто проводі, визначається за формулою:

$$I_{st} := G_{st} \cdot \frac{P_{st}}{U_m} \quad (3.12)$$

$$I_{st}=0,014 \text{ A};$$

в) реактивна складова, яка дорівнює струму намагнічування трансформатора визначається за формулою:

$$I_{\mu} := H_{\mu} \cdot \frac{L_c}{w_1} \quad (3.13)$$

де H_{μ} - значення питомих ампер-витків намагнічування для вибраного значення індукції знаходимо з таблиці [10], $H_{\mu}=4,5$. $I_{\mu}=0,107 \text{ A}$.

г) повний струм первинної обмотки визначається за формулою:

$$I_2 := \sqrt{(I_1 + I_{st})^2 + I_{\mu}^2} \quad (3.14)$$

$$I_2=0,393 \text{ A}.$$

д) струм холостого ходу трансформатора визначається за формулою:

$$I_x := \sqrt{I_{st}^2 + I_{\mu}^2} \quad (3.14)$$

$$I_x=0,108 \text{ A}.$$

В загальному випадку струм холостого ходу малопотужних трансформаторів при частоті мережі 50 Гц складає 25-40% номінального значення струму первинної обмотки.

4) Вибір обмоточних проводів.

а) діаметр мідного дроту кожної обмотки визначається по відомому діючому значенні струму обмотки I_n , I_{nn} і вибраному значенню густини струму J визначаємо за формулами:

$$d_{m1} := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_2}{3}}, \quad d_{m2} := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_n}{3}}, \quad d_{m3} := 1.13 \cdot \sqrt{\frac{I_{nn}}{3}}, \quad (3.15)$$

$$d_{m1}=0,409\text{мм}, \quad d_{m2}=1.13\text{мм}, \quad d_{m3}=0.652\text{мм}.$$

Розраховані значення діаметра проводу кожної обмотки заокруглюємо до найближчого стандартного значення:

$$d_1=0.4\text{мм}, \quad d_2=1,12\text{мм}, \quad d_3=0,67\text{мм};$$

При невеликих струмах (до 3-5 А) і напрузі обмоток до 500 В рекомендується використовувати провід марки ПЕЛ чи ПЕВ-1.

Для обмоток w_1 вибираємо провід ПЕВ-1 з діаметром по ізоляції $d_{iz1}=0.44$ мм, обмотки w_2 , w_3 виконуємо проводом марки ПБД з діаметром по ізоляції $d_{iz2}=1,16$ мм і $d_{iz3}=0,71$ мм.

5) Конструктивний розрахунок розміщення в вікні магнітопровода.

Всі обмотки виконуються багатошаровими і несекційними, виток до витка на каркасі із електрокартону товщиною $\delta_k=2$ мм. Для запобігання западання витків із наступних шарів в шари, які лежать нижче, після намотки кожного шару прокладається між шарова ізоляція товщиною 0,05 мм в первинній обмотці, 0,12 мм у вторинній обмотці. Між обмотками прокладається ізоляція у вигляді двох шарів кабельного паперу товщиною 0,12 мм, тобто $\delta=0,24$ мм.

Визначимо число шарів m в кожній обмотці трансформатора:

$$m_1 := w_1 \cdot \frac{d_{iz1}}{(h - 2 \cdot \delta_k) \cdot K_{yk}} \quad (3.16)$$

$$m_2 := w_2 \cdot \frac{d_{iz2}}{(h - 2 \cdot \delta_k) \cdot K_{yk}} \quad (3.17)$$

$$m_3 := w_3 \cdot \frac{d_{iz3}}{((h - 2 \cdot \delta_k) \cdot K_{yk})} \quad (3.18)$$

$m_1=8$ шарів, $m_2=3$ шарів, $m_3=1$ шар.

б) Визначення маси трансформатора.

а) масу магнітопроводу знаходимо з таблиць [10]: $G_c=1,23$ кг;

б) маса міді кожної із обмоток визначається за формулою:

$$G_{m1} := w_1 \cdot g_1 \cdot L_{01} \cdot 10^{-3} \quad (3.19)$$

$$G_{m2} := w_2 \cdot g_2 \cdot L_{02} \cdot 10^{-3} \quad (3.20)$$

$$Gm3 := w3 \cdot g3 \cdot L03 \cdot 10^{-3} \quad (3.21)$$

де $g1, g2, g3$ – маса одного кілометра мідного дроту певних діаметрів, яка визначається з таблиці.

$$g1=1,15 \text{ кг}, \quad g2=8,94 \text{ кг}, \quad g3=3,22 \text{ кг}.$$

$L01, L02, L03$ – середня довжина витка кожної із обмоток, які визначаються за формулою:

$$L01 := 2 \cdot (2 \cdot a + b + 4 \cdot \delta k + (diz1 \cdot m1 + \delta iz1 \cdot m1 + \delta)) \cdot 10^{-3} \quad (3.22)$$

$$L02 := 2 \cdot (2 \cdot a + b + 4 \cdot \delta k + (diz2 \cdot m2 + \delta iz2 \cdot m2 + \delta)) \cdot 10^{-3} \quad (3.23)$$

$$L03 := 2 \cdot (2 \cdot a + b + 4 \cdot \delta k + (diz3 \cdot m3 + \delta iz3 \cdot m3 + \delta)) \cdot 10^{-3} \quad (3.24)$$

$$L01=0,154 \text{ м}, \quad L02=0,153 \text{ м}, \quad L03=0,147 \text{ м}.$$

Загальна маса міді обмоток визначається за формулою:

$$Gm := Gm1 + Gm2 + Gm3 \quad (3.25)$$

$$Gm=0,241 \text{ кг}.$$

в) Загальна маса трансформатора визначається за формулою:

$$Gtr := (Gc + Gm) \cdot 1,2 \quad (3.26)$$

$$Gtr=1,765 \text{ кг}.$$

7) Опір обмоток постійному струму визначається за формулою:

$$r1 := \rho1 \cdot L01 \cdot w1 \cdot 10^{-2} \quad (3.27)$$

$$r2 := \rho2 \cdot L02 \cdot w2 \cdot 10^{-2} \quad (3.28)$$

$$r3 := \rho3 \cdot L03 \cdot w3 \cdot 10^{-2} \quad (3.29)$$

де $\rho1, \rho2, \rho3$ – електричний опір дроту, який визначається за таблицями

$$[10]: \quad \rho1=0,14 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad \rho2=0,018 \text{ Ом} \cdot \text{м}, \quad \rho3=0,05 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

$$\text{Отже, } r1=0,144 \text{ Ом}; \quad r2=0,0022 \text{ Ом}; \quad r3=0,0019 \text{ Ом}.$$

3.2 Тепловий розрахунок світильника

За допомогою програмного забезпечення «SolidWorks» та додавання «flow

simulation» провели розрахунок теплових режимів роботи світильника.

Дані, які знадобились для розрахунку:

- ККД використовуваних світлодіодів: не менше 40%
- Повна електрична потужність світлового приладу: 10 Вт
- Теплова потужність, що розсіюється: 6 Вт
- Температура довкілля 25 °С
- Матеріали, що використовуються: Сплав алюмінію 1060 (корпус, відбивач, друкована плата, ЦД, бічні кришки, кріплення), ПММА прозорий пластик (захисне скло).

Результати розрахунку наведені нижче.

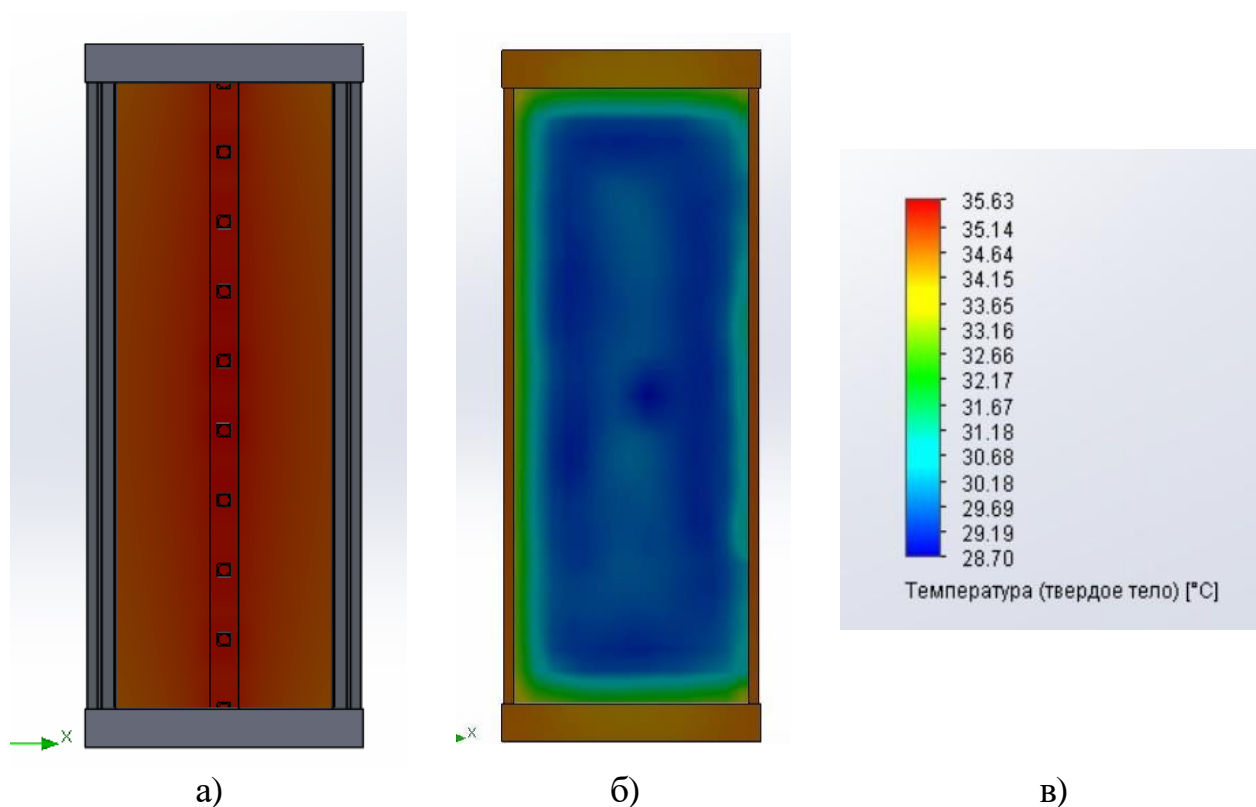


Рисунок 3.1 – Температура твердого тіла, де: а) виділені відбивачі, плата, світлодіоди; б) виділено захисне скло; в) шкала температури

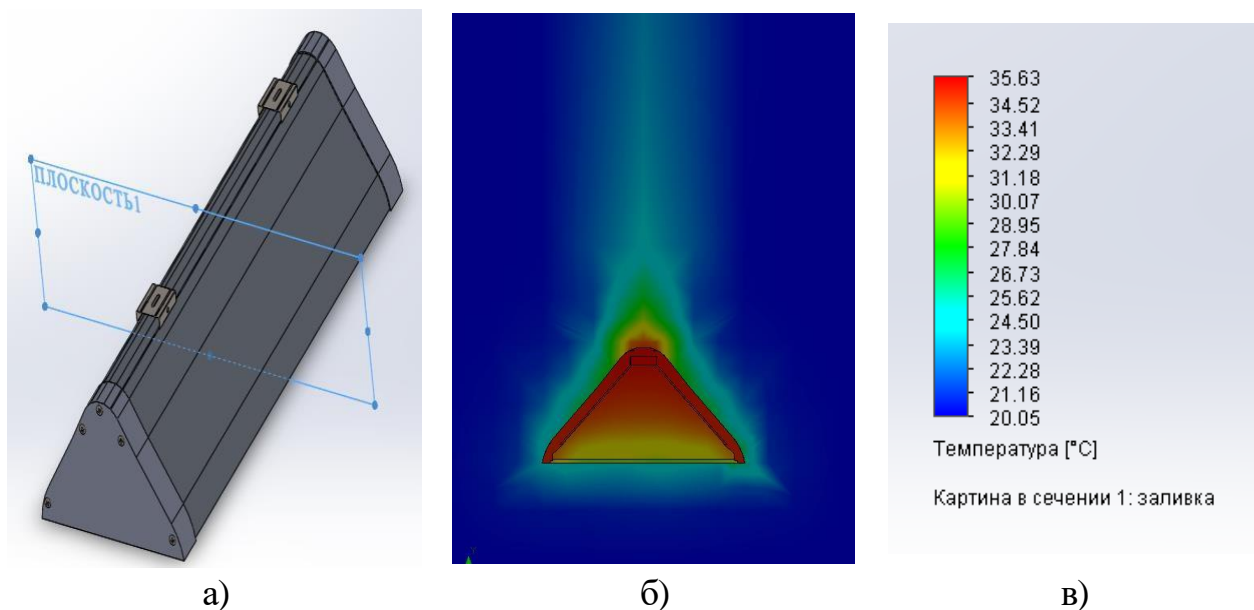


Рисунок 3.2 – а) схема розрізу світильника; б) розподіл температури у перерізі; в) шкала температури

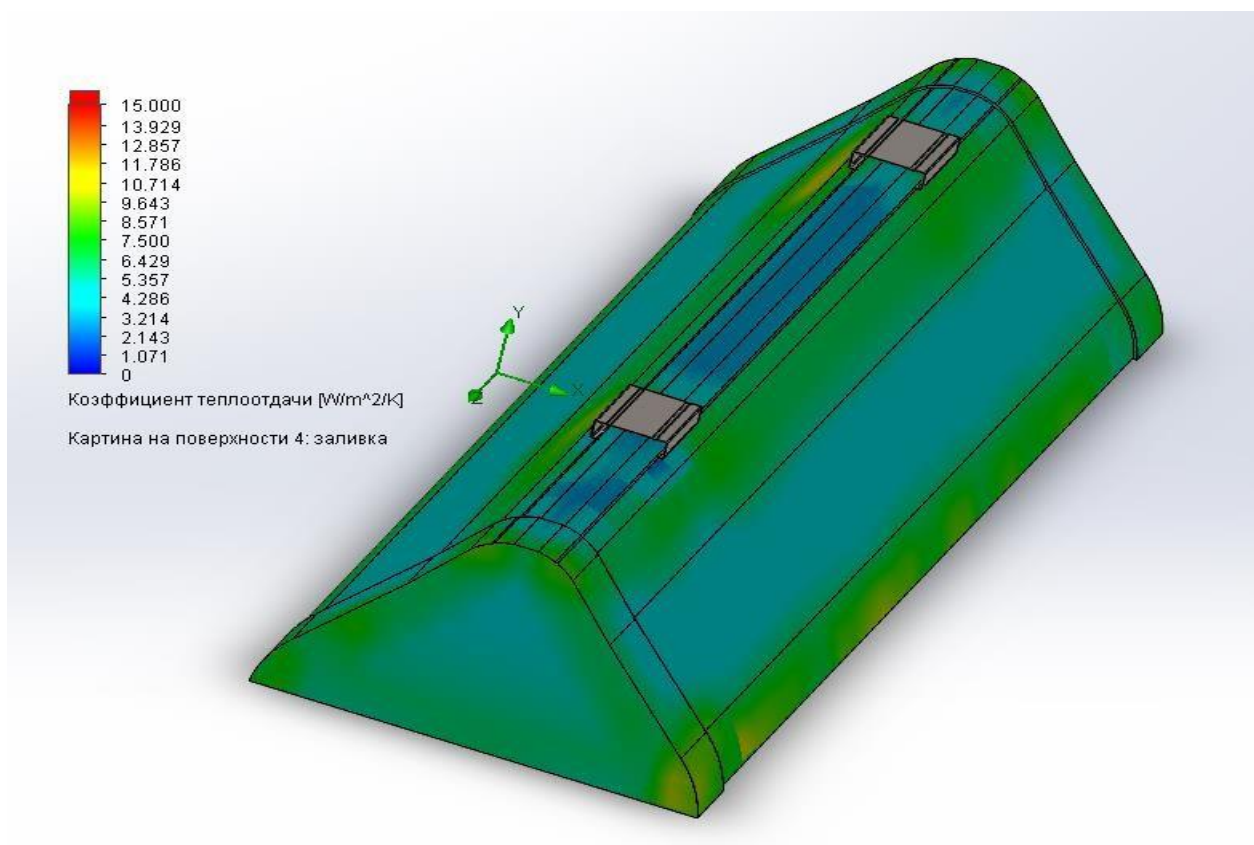


Рисунок 3.3 – Тепловіддача світильника

За результатом теплового розрахунку температура світлодіодів становить 35.6 ° C, що відповідає вимогам стандартів.

3.3 Висновки до розділу 3

У результаті проведеного розрахунку трансформатора блоку живлення та теплового розрахунку світильника були досягнуті наступні результати:

1. Було визначено сумарну потужність вторинних обмоток (80 В·А) та габаритну потужність трансформатора (85.5 В·А).
2. Вибрано магнітопровід типу ШЛМ25×40 з електротехнічної сталі марки 3411.
3. Проведено розрахунок кількості витків первинної (668 витків) та вторинних (80 і 27 витків) обмоток.
4. Розраховано струми первинної обмотки (повний струм 0.393 А) та струм холостого ходу (0.108 А).
5. Визначено діаметри мідних дротів для кожної обмотки: первинної (0.4 мм), вторинних (1.12 мм і 0.67 мм).
6. Проведено конструктивний розрахунок розміщення обмоток в вікні магнітопроводу, враховуючи необхідну ізоляцію.
7. Визначено масу трансформатора (1.471 кг) та опори обмоток постійному струму (0.144 Ом, 0.0022 Ом, 0.0019 Ом).
8. Використовуючи програмне забезпечення «SolidWorks» та «Flow Simulation», проведено тепловий аналіз світильника.
9. Встановлено, що температура світлодіодів при роботі світильника становить 35.6 °С, що відповідає вимогам стандартів.
10. Розраховано теплові режими роботи світильника з урахуванням матеріалів: алюміній 1060 (корпус, відбивач, друкована плата, ЦД, бічні кришки, кріплення) та ПММА прозорий пластик (захисне скло).

Загалом, проведені розрахунки показали, що трансформатор блоку живлення та світильник задовольняють технічним вимогам і забезпечують надійність та ефективність роботи в умовах експлуатації. Трансформатор має відповідні електричні та теплові характеристики, а світильник демонструє оптимальний тепловий режим, що сприяє тривалій і стабільній роботі світлодіодів.

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Заходи щодо охорони праці в умовах комбінованого освітлення приміщень

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двохстороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, здійснюване через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване — поєднання верхнього та бокового освітлення.

На рівень освітленості приміщення при природному освітленні впливають наступні чинники: світловий клімат; площа та орієнтація світлових отворів; ступінь чистоти скла в світлових отворах; пофарбування стін та стелі приміщення; глибина приміщення; наявність предметів, що заступають вікно як зсередини так і з зовні приміщення.

Оскільки природне освітлення непостійне впродовж дня, кількісна оцінка цього виду освітлення проводиться за відносним показником – коефіцієнтом природнього освітлення (КПО)

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

На робочих місцях встановлюються світильники місцевого освітлення ($e = 2\%$). В місцях де постійно працюють робітники застосовують люмінесцентні Штучне освітлення використовується двох систем: загальне або комбіноване. Загальне освітлення - освітлення, при якому світильники розміщуються у

верхній зоні приміщення рівномірно або пристосувальне до розташування обладнання Комбіноване освітлення - додаткове освітлення, при якому до загального освітлення додається ще й місцеве. Місцеве освітлення - освітлення,

яке створюється світильниками, які концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях.

Таблиця 4.1 – Нормування освітленості

Характеристика зорової роботи	Найменший об'єкт розрізнення, мм	Розділ зорової роботи	Підрозділ роботи	Контраст об'єкту розрізнення з фоном
Середньої точності	Більше 0,5 до 1	IV	а	малий
Характеристика фону	Освітленість, лк		КЕО E_H %	
	Штучне освітлення		Природне освітлення	Сумісне освітлення
	Комбіноване	Загальне		
малий	750	300	2	1

Щоб зменшити ефект пульсації світлового потоку, сусідні світильники включають на різні фази мережі. Освітлення сучасних електромеханічних та ремонтно-механічних цехів реалізують за допомогою прожекторів із галогеновими лампами. Освітленість робочих місць при застосуванні ламп розжарювання повинна бути не менше 10 лк. Черговий та оперативний персонал повинен бути забезпечений додатковими акумуляторними ліхтарями.

4.2 Правила техніки безпеки при експлуатації освітлювального обладнання

Робота щодо забезпечення безпечної експлуатації ЕУ здійснюється згідно з обов'язковими, для всіх споживачів електроенергії, незалежно від їх відомчої приналежності, правилами технічної експлуатації ЕУ споживачів та правилами техніки безпеки при експлуатації ЕУ споживачів. Обслуговування діючих ЕУ, проведення в них оперативних переключень, організація та виконання ремонтних, монтажних, налагоджувальних робіт і випробувань здійснюються

спеціально підготовленим електротехнічним персоналом.

Роботи в діючих ЕУ з врахуванням заходів безпеки поділяються на виконувани: зі зняттям напруги, без зняття напруги на струмоведучих частинах і поблизу них, без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, котрі знаходяться під напругою. До робіт, виконуваних зі зняттям напруги, відносяться роботи, котрі виконуються в ЕУ, в котрій зі всіх струмоведучих частин знята напруга. До робіт, виконуваних без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них, відносяться роботи, котрі проводяться безпосередньо на цих частинах.

Роботою без зняття напруги на віддалі від струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, вважається робота, при котрій виключається випадкове наближення працюючих людей та використовуваного ними ремонтного обладнання і інструменту до струмоведучих частин на віддаль менше встановленої і не вимагається вживання технічних або організаційних заходів (безперервного нагляду) для запобігання такому наближенню. При виконанні робіт зі зняттям напруги та без зняття напруги на струмоведучих частинах та поблизу них повинні виконуватись організаційні та технічні заходи.

До організаційних заходів відносяться:

☞ оформлення роботи по наряді-допуску, розпорядженню або за переліком робіт, виконуваних в порядку поточної експлуатації;

☞ допуск до роботи;

☞ нагляд під час роботи;

☞ оформлення перерви під час роботи;

☞ переводи на інше робоче місце.

4.3 Пожежна небезпека

У всіх випадках для горіння характерні три стадії: виникнення, поширення та згасання полум'я. Найбільш загальними властивостями горіння є здатність осередку полум'я пересуватися по всій горючій суміші шляхом передачі тепла або дифузії активних частинок із зони горіння в свіжу суміш.

Звідси виникає й механізм поширення полум'я, відповідно тепловий та дифузійний. Горіння, як правило, проходить за комбінованим теплодифузійним механізмом.

В залежності від агрегатного стану й особливостей горіння різних горючих речовин і матеріалів пожежі, за ГОСТ 27331-87 «Пожарная техника. Классификация пожаров», поділяються на відповідні класи та підкласи:

клас А - горіння твердих речовин, що супроводжується (підклас А1) або не супроводжується (підклас А2) тлінням;

клас В - горіння рідких речовин, що не розчиняються (підклас В2) у воді;

клас С - горіння газів;

клас Д - горіння металів легких, за винятком лужних (підклас Д1);

лужних (підклас Д2), а також металовмісних сполук (підклас Д3);

клас Е - горіння електроустановок під напругою.

Для виникнення горіння необхідна одночасна наявність трьох чинників - горючої речовини, окислювача та джерела запалювання. При цьому, горюча речовина та окисник повинні знаходитися в необхідному співвідношенні один до одного і утворювати таким чином горючу суміш, а джерело запалювання повинно мати певну енергію та температуру, достатню для початку реакції. Горючу суміш визначають терміном «горюче середовище». Це - середовище, що здатне самостійно горіти після видалення джерела запалювання. Для повного згорання необхідна присутність достатньої кількості кисню, щоб забезпечити повне перетворення речовини в його насичені оксиди. При недостатній кількості повітря окислюється тільки частина горючої речовини. Залишок розкладається з виділенням великої кількості диму. В цих умовах також утворюються токсичні речовини, серед яких найбільш розповсюджений продукт неповного згорання - оксид вуглецю (СО), який може призвести до отруєння людей. На пожежах, як правило, горіння відбувається за браком окисника, що серйозно ускладнює пожежегасіння внаслідок погіршення видимості або наявності токсичних речовин у повітряному середовищі. Горіння може бути гомогенним та гетерогенним.

При гомогенному горінні речовини, що вступають в реакцію окиснення,

мають однаковий агрегатний стан - газо- чи пароподібний.

Якщо початкові речовини знаходяться в різних агрегатних станах і наявна межа поділу фаз в горючій системі, то таке горіння називається гетерогенним.

Як уже зазначалось, відповідно до ГОСТ 12.1.004 - 91 «Пожарная безопасность» вибухопожежна безпека об'єкта забезпечується системами:

- попередження вибухів і пожеж;
- протипожежного та противибухового захисту;
- організаційно-технічних заходів.

Система попередження вибухів і пожеж має за мету не допустити виникнення вибухів і пожеж.

Заходи і засоби попередження утворення горючого середовища в кожному конкретному випадку визначаються реальними умовами, що розглядаються, вибухопожежонебезпечними властивостями речовин і матеріалів, що використовуються у технологічному циклі.

Попередження утворення горючого середовища може забезпечуватись загальними заходами або їх комбінаціями, що наведені в ГОСТ 12.1.007 – 76 «Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».

Найбільш радикальним заходом попередження утворення горючого середовища є заміна горючих речовин і матеріалів, що використовуються, на негорючі та важкогорючі.

Тому попередження виникнення в горючому середовищі або внесення до нього джерел запалювання є головним стратегічним пріоритетом у роботі щодо запобігання пожежам. Джерелом запалювання може бути нагріте тіло чи екзотермічний процес, які здатні нагріти деякий об'єм горючої суміші до температури, коли швидкість тепловиділення ініційованого нагрівом процесу окислення перевищує швидкість тепловідводу із зони реакції.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Загальні висновки до роботи будуть включати суть того, що було виявлено, розроблено і проаналізовано протягом всього процесу дослідження. Давайте сформулюємо загальні висновки, виходячи з усіх трьох розділів вашої роботи.

1. Використання вертикальних агроферм набуває все більшої популярності завдяки своїм очевидним перевагам, таким як ефективне використання простору, зменшення витрат та збільшення врожаю на одиницю площі.

2. Проведений аналіз різноманітного світлотехнічного обладнання дозволив визначити оптимальні типи світильників для використання у вертикальних агрофермах, що забезпечує ефективне фотосинтезування та розвиток рослин.

3. Вивчення технологічних принципів вирощування рослин за допомогою ярусного методу дозволило розробити оптимальну систему управління середовищем та забезпечити найкращі умови для росту рослин у вертикальних агрофермах.

4. Процес розробки світильника спеціально для вирощування рослин у вертикальних агрофермах за ярусним методом дозволив створити ефективний інструмент для забезпечення оптимального росту та розвитку рослин.

5. Результати розрахунків, проведених для системи освітлення та блоку живлення, підтверджують ефективність та безпеку розробленої системи для використання у вертикальних агрофермах.

Ця робота не лише простежує етапи дослідження, проектування та розрахунків системи вирощування рослин у вертикальних агрофермах, але й демонструє їх практичну придатність і значення для сучасного сільського господарства. Отримані результати можуть бути використані як основа для подальших досліджень та розробок у цій галузі.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Андрійчук В.А. Енергоощадні джерела світла для світлокультури рослин / В.А. Андрійчук // Світлотехніка. – 2014. - №1. – С. 41 – 47.
2. Андрійчук В.А., Костик Л.М. Розрахунок інтегральних характеристик світлового поля, створеного опромінювачем з несиметричним світловим розподілом // «Світлотехніка та електроенергетика», 2009. - №3(19). - С.39-45.
3. Беліков О.Є. Штучне освітлення рослин захищеного ґрунту. / О.Є. Беліков // Наукові праці. Екологія. – 2014. №220. – С. 20 – 23.
4. Математична модель рухомого опромінювального пристрою / Володимир Андрійчук, Марія Котик, Любов Костик, Мирослав Наконечний, Ярослав Осадца, Ярослав Філюк // МММТЕС, 22-23 листопада 2022 року. –Т. : ФОП Паляниця В. А., 2022. – С. 33–35.
5. Котик М. І. Вплив імпульсного опромінення на процеси росту і розвитку рослин / М. І. Котик, Л. М. Костик, В. А. Андрійчук // Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 60-річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175-річчя з дня народження Івана Пулюя, 14-15 травня 2020 року. - Т. : ТНТУ, 2020. – С. 207.
6. Костик Л. М. Підвищення енергетичної ефективності тепличних опромінювальних установок / Л. М. Костик, Д. С. Романюк // Збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 28-29 листопада 2018 року. - – Т. : ФОП Паляниця В. А., 2018. – Том 3. – С. 74.
7. Котик М. І. Оцінка ефективності фотосинтезу рослин при фотоімпульсній стимуляції / Марія Котик, Володимир Андрійчук, Любов Костик // Materials 6th International Scientific Conference «Lighting and power engineering: history, problems and perspectives», 30 січня - 02 лютого 2018 року. – Т. : ФОП Паляниця В.А., 2018. – С. 45–46.

8. Семчишин В. В. Енергоощадне опромінення теплиць / В. В. Семчишин, Л. М. Костик // Збірник тез доповідей VI Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 16-17 листопада 2017 року. – Т. : ТНТУ, 2017. – Том 3. – С. 122.

9. Гавриш С.В. Джерела світла для рослинництва/ С.В. Гавриш // Комунальне господарство міст. – 2002. – №138. – С. 237-244.

10. Велит І.А. Вибір джерела світла для оптичного опромінення рослин томатів, огірків та розсади/ І.А Велит // Системи Матеріали XI-ї науково-практичної конференції «Перспективні напрямки сучасної електроніки», КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФЕЛ, 6-7 квітня 2017 р. (електронне видання) управління, навігації та зв'язку. – 2013. – №1(25). – С. 128-132.

11. Іваненко В. Ф. Ефективність впровадження енергозберігаючих технологій в овочівництві закритого ґрунту. Продуктивність агропромислового виробництва. 2011.

12. Левкіна Р. В. Підвищення ефективності енерговикористання в овочівництві : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. екон. наук: спец. 08.07.02. – «Економіка сільського господарства і АПК» / Р. В. Левкіна – Харків 2003. 21 с. №18. С. 101–107.

13. Білоконь Т. М. Економічні аспекти впровадження енергозберігаючих технологій на підприємствах закритого ґрунту / Т. М. Білоконь // Збірник наукових праць ВНАУ. 2012. №1 (56). Т 2. С.146–151.

14. Віхрова Л. Г. Математичне і комп'ютерне моделювання розподілу температур в теплиці для створення системи управління. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. 2011. №24(II). С.174–180.

15. Іваненко В. Ф. Особливості формування енерговитрат на виробництво продукції овочівництва закритого ґрунту. Наук. вісн. ЛНУВМБТ ім. С. З. Гжицького. 2011. Т. 13 №2 (48). Ч. 3. С. 71–78.