

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя  
(повне найменування вищого навчального закладу)  
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії  
(назва факультету)  
Електричної інженерії  
(повна назва кафедри)

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи

**магістр**

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему: **Імпульсні опромінювальні пристрої для світлокультури рослин**

Виконав: студент 6 курсу, групи ЕЕМз-61

напряму підготовки (спеціальності) \_\_\_\_\_

**141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка**

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

**Аннишинець Є.Ю.**

\_\_\_\_\_  
(підпис)

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Керівник

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Андрійчук В.А.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Вакуленко О.О.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Рецензент

\_\_\_\_\_  
(підпис)

**Федак С.І.**

\_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)



## АНОТАЦІЯ

Аннишинець Є.Ю. Імпульсні опромінювальні пристрої для світлокультури рослин. 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії. Кафедра електричної інженерії, група ЕЕмз-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2019.

Стор. - 108; рис. - 22; табл. - 7; креслень - \_\_; джерел - 22; додатків - \_.

Метою роботи є аналіз опромінювальних пристроїв та їх створення для світлокультури рослин, що працюватимуть в імпульсному режимі із максимальним наближенням до спектральної ефективності фотосинтезу з врахуванням особливостей рослин та їх впливу на морфометричні показники.

Об'єктом дослідження є процеси та технічні засоби опромінення рослин в тепличних господарствах.

Предметом дослідження є імпульсні опромінювальні пристрої для світлокультури рослин.

У роботі проаналізовано опромінювальні пристрої, що застосовуються для тепличних господарств, обгрунтовано вибір та наведено переваги імпульсного світлодіодного опромінення для світлокультури рослин, розглянуто їх вплив на морфометричні та біохімічні показники росту рослин, приведено конструкцію світлодіодного опромінювального пристрою та його розміщення в теплиці.

Проведені експерименти з імпульсними джерелами світла та представлені їх результати.

Ключові слова: опромінювальна установка, імпульсне опромінення, світлокультура рослин.

## ANNOTATION

Annyshynets Y. Pulse irradiation devices for plant light culture. 141 - Electricity, Electrical Engineering and Electromechanics. Ternopil Ivan Puluj National Technical University. [Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering](#). Chair of Electrical Engineering, group EEM3-61. – Ternopil.: TNTU, 2019.

Page – 108; Illustrations – 22; Tables –7; Blueprints – ; Sources – 22; Applications – -.

The purpose of this work is to analyze the irradiation devices and their creation for light culture of plants that will operate in a pulsed mode with the maximum approximation to the spectral efficiency of photosynthesis taking into account the characteristics of plants and their influence on the morphometric parameters.

The objects of study is the processes and technical means of irradiation of plants in greenhouse farms.

The subjects of the study is pulsed irradiation devices for light crop plants.

The paper analyzes the irradiation devices used for greenhouse farms, substantiates the selection and advantages of pulsed LED irradiation for plant culture, discusses their effect on the morphometric and biochemical indicators of plant growth, and design of the LED irradiation device.

Experiments with pulsed light sources have been performed and their results are presented.

Keywords: irradiation plant, pulse irradiation, plant light.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	.....
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	.....
1.1 Загальні відомості про опромінювальні пристрої для теплиць.....	.....
1.2. Вирощування рослин в тепличних господарствах.....	.....
1.2.1. Пересувні установки для опромінення рослин.....	.....
1.2.2. Рухомі установки для опромінення рослин.....	.....
1.3 Вибір ДС для світлокультури рослин.....	.....
1.4 Технічні вимоги до проекту опромінювальної світлотехнічної установки.....	.....
1.5 Аналіз використання джерел штучного освітлення у світлокультурі рослин	.....
1.6 Захист освітлювальних електромереж.....	.....
1.7 Розрахунок освітлювальної мережі.....	.....
1.8 Висновки до розділу.....	.....
2. НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА.....	.....
2.1 Реакція світла і транспорт фотонів.....	.....
2.2 Темнова реакція.....	.....
2.3 Флуоресценція хлорофілу.....	.....
2.4 Інтенсивність імпульсного освітлення.....	.....
2.5 Характеристики світлодіодів.....	.....
2.6 Висновки до розділу.....	.....
3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	.....
3.1 Світлодіодне освітлення для рослин.....	.....
3.2 Переваги та недоліки СД ОП для теплиць.....	.....
3.3 Генерація короткотривалих імпульсів СД.....	.....
3.4 Висновки до розділу.....	.....
4. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	.....
4.1 Експерименти з імпульсними джерелами світла.....	.....
4.2 Імпульсні світлові ефекти.....	.....

4.3	Розрахунок системи освітлення.....	
4.4	Висновки до розділу.....	
5.	СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	
5.1	Середовище Matlab.....	
5.1.1	Світлодіодні масиви.....	
5.1.2	Введення для сценаріїв Matlab.....	
5.2	Моделювання роботи світлових приладів у програмному середовищі DIALux.....	
6.	ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	
6.1	Економічне і соціальне значення заходів з поліпшення умов і охорони праці.....	
6.2	Розрахунок економічної ефективності заходів з охорони праці.....	
6.3	Система техніко-економічних показників ефективності проекту.....	
7.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	
7.1.	Охорона праці.....	
7.1.1	Особливості випромінювання оптичного діапазону.....	
7.1.2	Потенційні небезпеки в сільськогосподарському виробництві.....	
7.1.3	Загальні вимоги безпеки при виконанні робіт в рослинництві.....	
7.2.	Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	
7.2.1	Державна система моніторингу довкілля, основні завдання, організація і функціонування.....	
7.2.2	Захист світлотехнічної апаратур и та електронної апаратури від ушкоджень, викликаних ЕМІ ядерних вибухів.....	
8.	ЕКОЛОГІЯ.....	
8.1	Фотоперіодизм.....	
8.2	Екологічні групи рослин за вимогами до світла.....	
8.3	Тепловий режим рослин.....	
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ.....	
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	

## ВСТУП

**Актуальність роботи.** На сьогодні найбільшою проблемою в овочівництві на закритому ґрунті є системи штучного клімату, насамперед, освітлення.

Оскільки вирощування в теплицях відбувається найчастіше саме в холодний період року, коли світловий день вже короткий і ФАР (фотосинтетично активна радіація), то як правило для світлолюбивих рослин необхідно штучне освітлення теплиць. Тепличні світильники - це один з основних елементів, без якого зимові теплиці просто нездатні давати хороший урожай. Для нормального росту рослин необхідна певна періодичність світлового дня. Як відомо, якщо світловий день зменшується до 10 годин, помідори перестають давати плоди, а якщо світловий день стає менше 8 годин, то і самі рослини перестають рости. Необхідність застосування додаткового освітлення рослин, обумовлюється їх фотоперіодичністю.

Завдяки технічному прогресу, сучасні городники забезпечують тепличні рослини світлом і вночі, і взимку, при цьому штучне освітлення: покращує ріст рослин (вирощування виключно природним світлом значно знижує продуктивність); дозволяє отримати продукцію за більш короткі терміни і в той час, коли попит на неї найбільш високий; допомагає вирощувати теплолюбиві культури, які не зустрічаються в місцевому кліматі; знижує кінцеву собівартість овочів на 15% шляхом підвищення врожайності.

Отже, актуальність роботи зумовлена необхідністю забезпечення тепличних господарств енергоощадними опромінювальними пристроями.

**Мета роботи:** дослідження впливу імпульсного опромінення на світлокультуру рослин.

**Завдання:** проаналізувати опромінювальні пристрої та створити прилади для світлокультури рослин, що працюватимуть в імпульсному режимі із максимальним наближенням до спектральної ефективності фотосинтезу з врахуванням особливостей рослин та їх впливу на морфометричні показники.

**Об'єкт дослідження:** процеси та технічні засоби опромінення рослин в тепличних господарствах.

**Предмет дослідження:** техніко-енергетичні характеристики освітлювальних установок для закритого ґрунту.

**Наукова новизна:**

- обґрунтовано доцільність використання імпульсних опромінювальних пристроїв;
- показано вплив імпульсного опромінення при частоті імпульсів 120Гц і тривалості імпульсу 0,004 секунди з наступним рівним темним періодом.

**Практичне значення.**

Запропоновані опромінювальні установки з використанням додаткового імпульсного опромінення дозволяють при незначному підвищенні енергозатрат в порівнянні з контролем одержати кращі морфометричні показники рослин закритого ґрунту, що робить їх привабливим для використання в теплицях.

**Апробація.** М.І. Котик, Є.Ю.Аннишинець Імпульсні опромінювальні пристрої для світлокультури рослин VIII Міжнародна науково-технічна конференція молодих учених та студентів. Актуальні задачі сучасних технологій – Тернопіль 27-28 листопада 2019, Том 3, С.44.

**Структура роботи.** Робота складається з розрахунково-пояснювальної записки та графічної частини. Розрахунково-пояснювальна записка складається з вступу, 8 розділів, висновків та переліку посилань (22 найменування).



## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

### 1.1 Загальні відомості про опромінювальні пристрої для теплиць

Опрямінювальні установки для вищих рослин застосовуються в оранжереях і тепличних комбінатах, при прискореному виведенні нових сортів сільськогосподарських культур і розмноженні дорогого посівного матеріалу в селекційних центрах країни, а також при теоретичних дослідженнях в області фізіології рослин, біофізики, генетики. Особливо важливе значення має світлокультура рослин для промислових центрів Півночі й Східного Сибіру.

В умовах світлокультури енергія оптичного випромінювання (ОВ) є діючим чинником, що робить вплив на ріст і розвиток рослин. Найбільш важливі три основних характеристики випромінювання: спектральний склад, опромінення і тривалість добового опромінення (фотоперіод). Останнім часом надають значення четвертому фактору – структурі світлового поля.

Випромінювання в спектральному діапазоні 400-700 нм відіграє найбільш важливу роль для рослин. Це випромінювання одержало назву фотосинтетично активної радіації (ФАР). В області ФАР розташовані спектри поглинання більшості пігментів - фоторецепторів рослинної клітини.

Зелені пігменти — хлорофіли — є основним фоторецептором фотосинтетичного апарату рослин, який перетворює енергію світла в енергію хімічних зв'язків продуктів фотосинтезу — органічної речовини і молекулярного кисню. Фотосинтез — безумовно найважливіший процес у життєдіяльності рослин.

Процес фотоморфогенезу (зміни розміру і форми рослин під дією ОВ різної інтенсивності і якості) починається поглинанням світла фітохромом, який існує у двох формах: одна з них поглинає червоне випромінювання з  $\lambda=660$  нм (Ф660), а друга — дальнє червоне випромінювання з  $\lambda=730$  нм (Ф730). Під дією збудженого фітохрому стимулюються проростання насіння, розтягання стебла, утворення листків, формування кореневої системи та інше.

Одночасно з енергетичною дією на рослину (фотосинтезом) випромінювання ФАР і прилягаючих областей впливає на життєдіяльність рослин через реакції, у принципі від фотосинтезу не залежні, але визначальні як продуктивність (загальна або господарсько-корисна), так і харчова якість рослинної продукції. ОВ викликає в рослинах наступні процеси: фототропізм, тобто індукційований світлом рух частини біологічного об'єкта (рослини); фотоморфогенез, тобто регулярний вплив світла на ріст і розвиток рослин, проростання насіння, ріст стебла, клітинне дихання; фотоперіодизм, тобто ритмічна зміна різноманітних морфологічних, біохімічних і фізіологічних властивостей і функцій організмів під впливом чергування і тривалості світлових і темнових інтервалів, а також фотосинтетичної реакції таких агентів основних процесів фотосинтезу, як хлорофіл, каротиноїди і т.п.. Всі ці процеси мають свої характерні спектри дії, рівні опромінення.

У більш широкому спектральному діапазоні виділяються наступні умовні ділянки відповідно до їх впливу на фізіологічні процеси:

більше 1000 нм – тільки тепловий вплив;

1000-700 нм – в основному ефект витягування стебла;

700-400 нм – основна для життєдіяльності рослин область спектра (ФАР);

400-315 нм (УФА) –формативний ефект;

315-280 нм (УФВ) – випромінювання шкідливе для більшості рослин;

коротше 280 нм (УФС) - рослини швидко гинуть.

Фітофотометрична оцінка випромінювання оснований або на енергетичній, або на ефективній системі величин, що оцінює випромінювання за допомогою селективної функції фотосинтезної ефективності, отриманої розрахунковим шляхом для середнього листка.

Вказана система має ряд переваг, властивих системам ефективних величин, однак практичну її цінність для світлокультури істотно знижує відсутність у ряді випадків прямої кореляції між інтенсивністю фотосинтезу та продуктивністю рослин.

Енергетична система оцінки випромінювання приписує рівнозначну дію випромінюванню будь-якого спектрального діапазону в межах спектральної області ФАР від 400 до 700 нм. Використання енергетичної системи величин виправдане при не зовсім ще сформованих відомостях про закономірності впливу спектрального складу випромінювання на рослини.

Джерела ОВ знаходять різне застосування у світлокультурі рослин. Люмінесцентні лампи мають ККД ФАР до 2,2 %, дешеві, довговічні й доступні, але для них характерна низька концентрація потужності, що не дозволяє створити у фітоустановці високі рівні опромінення. Цей недолік подекуди усунутий у рефлекторних люмінесцентних лампах потужністю 150 Вт типу ЛФР 150, застосовуваних для опромінювальних установок стелажної конструкції. Ртутні газорозрядні лампи високого тиску типу ДРЛФ з люмінофором з підвищеною часткою випромінювання в червоній частині спектра мають ККД ФАР 10 % при потужності 400Вт, випускаються з рефлекторним покриттям на зовнішній колбі і входять у комплект опромінювача. Їхні достоїнства – більша концентрація потужності, високий термін служби, низька вартість і сприятливі спектральні характеристики, недолік – низький ККД ФАР. У ще більшій мірі це відноситься до ламп "змішаного випромінювання" типу ДРВ 750, що складаються із ртутного розрядного пальника й змонтованої в зовнішній колбі вольфрамової спіралі, яка відіграє роль баласту. Ксенонові трубчасті лампи типу ДКсТ завдяки великій потужності забезпечують дуже високі опромінення ФАР. Їхні недоліки – висока частка ближнього ІЧ-випромінювання, наявність УФ-випромінювання з довжиною хвилі 300 нм, низький ККД ФАР, що обмежує їх застосування в світлокультурі. Натрієві лампи високого тиску і металогалогенні лампи мають найбільш високий К.К.Д ФАР – 24-30 %, що відкриває їм широкі перспективи використання для світлокультури рослин.

Випромінювання металогалоїдних ламп (МГЛ) типу ДРФ 1000 з добавками іодидів індію і літію сконцентровано в області максимумів спектра поглинання хлорофілу. Фотобіологічні експерименти на овочевих культурах,

що належать до трьох різних видів, показали, яка існує можливість подальшої оптимізації спектральних характеристик МГЛ з добавками, максимуми випромінювання яких лежать у діапазонах 400-435 та 580-680 нм. Для вивчення спектра дії ОБ на конкретні сільськогосподарські культури придатні селективні МГЛ, випромінювання яких сконцентровано в окремих діапазонах ФАР.

Іншим можливим напрямком у конструюванні опромінювальних приладів для світлокультури є використання відбиваючих дзеркальних поверхонь-зводів, за допомогою яких досягається коефіцієнт використання світлового потоку порядку 70 %. У цих установках світловий потік високоінтенсивних джерел світла перерозподіляється на робочу поверхню в процесі одноразового відбиття, розташованими в просторі дзеркальними відбивачами.

Норми опроміненості в установках світлокультури приймають з урахуванням умов природного освітлення. В осінньо-зімовий час частка природного освітлення знижується порівняно з літніми умовами в 60-100 разів при скороченні довжини світлового дня в 2-3 рази. Для компенсації недостатності природного випромінювання при опромінюванні розсади овочевих культур за допомогою штучних джерел ОБ в середніх широтах необхідне створення рівнів опроміненості 25-60 Вт/м<sup>2</sup>, для квіткових або декоративних рослин вони можуть бути дещо нижче 15-30 Вт/м<sup>2</sup>. У селекційних теплицях, фітотронах і фітокамерах без природного освітлення повинні бути істотно вищі рівні опроміненості – 100-300 Вт/м<sup>2</sup>. Вживання опромінювальних установок в тепличному овочівництві дозволяє на 20-40 % збільшити урожай огірків, на 15-20% – томатів, на 50-70% – салату, одержати перші плоди томатів у квітні, а огірків – у лютому-березні при посадці рослин у грудні-січні. Досвічування рослин в теплицях в осінньо-зімовий період в умовах Півночі вимагає рівнів опроміненості 100-500 Вт/м<sup>2</sup>. Досвічування компенсує скорочення довжини світлового дня.

## **1.2 Вирощування рослин в тепличних господарствах, їх способи**

В загальному випадку ОУ складається з опромінювача, електричної проводки, пристрою для керування режимом роботи, установки і механічного пристрою для переміщення опромінювачів відносно опромінювальних об'єктів.

В стаціонарних установках, котрі призначені для опромінення рослин, механічних пристроїв немає. В рухомих установках механічний пристрій призначений для постійного переміщення опромінювачів в процесі опромінення. В пересувних установках завдяки механічному пристрою опромінювачі періодично переміщуються після завершення процесу опромінення з одної ділянки на іншу.

В механізованих установках для опромінення насіння та інших матеріалів механічний пристрій зазвичай являє з себе конвеєр або транспортер для рівномірного переміщення, перемішування і обертання опромінюючого матеріалу.

Стаціонарні установки, в яких нема механічних пристроїв, як правило, простіші в обслуговуванні, їх монтаж менш трудомісткий.

### **1.2.1 Пересувні установки для опромінення рослин**

Число опромінювачів, потрібних для опромінення в один календарний термін одної і тої ж площі, можна зменшити, якщо кожним опромінювачем протягом доби опромінювати дві або три ділянки. Частіше за все щоденно кожним опромінювачем обробляють дві ділянки. Для переміщення опромінювачів з одної ділянки на іншу використовують спеціальні механічні пристрої.

Можливі два способи послідовного опромінення двох або трьох ділянок:

- переміщення опромінювачів на відстань, рівну довжині ділянки, опромінюючого одночасно одним опромінювачем;

- переміщення опромінювачів на відстань, рівну довжині ділянки, опромінюючого всіма опромінювачами, розміщеними в одному ряді.

В першому способі опромінювачі підвішують над стелажми на відстані один від одного в два або три рази більшій, ніж в стаціонарних установках. Між ділянками, що опромінюються одночасно кожним опромінювачем, знаходяться по одній або по дві такі самі ділянки, але не опромінюючі. Після опромінення перших ділянок всі опромінювачі переміщуються на один «крок» і розташовуються над другими ділянками. По закінченні часу опромінення других ділянок опромінювачі переміщуються ще на «крок» і опромінюють треті ділянки. Після опромінення третіх ділянок опромінювачі повертаються в початкове положення. На наступну добу процес переміщення опромінювачів повторюється в такій самій послідовності. Вагомим недоліком цього способу є те, що невеликі ділянки опромінюючих рослин чергуються з ділянками не опромінюючими. Частина рослин не опромінюючих ділянок під час опромінення сусідніх ділянок також одержує опромінення невеликої інтенсивності. Ця інтенсивність при відсутності природнього випромінювання недостатня для фотосинтезу рослин, але вона посилює дихання рослин і обумовлює часто небажаний фотоперіодичний ефект.

Це може негативно впливати на ріст, розвиток і продуктивність рослин.

Пристрій для переміщення опромінювачів складається з монорейса, закріпленого над стелажми і роликів, що перекочуються по ньому, до яких прикріплені опромінювачі. Замість монорейки можна використовувати металеву полосу, кутник або добре натягнутий трос. Опромінювачі можна переміщати вручну (з невеликим числом опромінювачів) або за допомогою електродвигуна. В автоматизованій установці процес переміщення опромінювачів може здійснюватись за заданою програмою протягом доби без участі людини. До кареток опромінювачі кріплять за допомогою тросів або ланцюгів так, щоб можна було змінювати їх висоту підвісу по мірі росту рослин.

В пересувних установках з опромінювачами, що періодично переміщуються на один або два «кроки» штепсельну розетку і ПРА розміщують так, щоб відстань між місцями з'єднання проводу живлення до опромінювача і до розетки або ПРА була однаковою при розміщенні опромінювача в крайніх положеннях. Довжину з'єднувального проводу вибирають такою, щоб він не сильно натягувався при знаходженні опромінювача в крайніх (найбільше віддалених) положеннях.

В другому способі послідовного опромінювання опромінювачі розміщують на такі й же відстані один від одного, як в стаціонарних установках, щоб після опромінення одної ділянки всі опромінювачі перемістились на другу частину теплиці і рослини вже одержавши опромінення в нічний час не підлягали небажаному опроміненню з низькою інтенсивністю.

Пристрій складається з монорейсу, кареток з роликками, замкнутого тросу і електроприводу для руху замкнутого тросу і опромінювачів.

Монтаж установки починають з кріплення моно рейсів над серединами стелажів. Потім на монорейси вішають каретки з роликками. Після закріплення привідної станції і натяжних роликів відмірюють трос, намотують його на привідний барабан редуктор і натягують. Перед натягуванням тросу натяжні ролики ставлять в положення, яке відповідає найменшому натягу тросу на напрямляючи і натяжних роликках. Потім підвішують опромінювачі і включають електродвигун. При цьому перевіряють роботу пристрою переміщення і знову регулюють натяг тросу.

Якщо в установці використовується автоматичний пристрій для включення і відключення механізму переміщення, то після налагодження механічної частину регулюють автоматичний пристрій. Перевіряють чи правильно розміщені кінцеві вимикачі і чи надійно вони спрацьовують.

### **1.2.2 Рухомі установки для опромінення рослин**

В спектрі випромінювання ЛР міститься багато ІЧ випромінювання. При використанні нерухомих опромінювачів з ЛР ІЧ-випромінювання може

викликати перегрів і опіки у рослин. При постійному переміщенні опромінювачів з ЛР небезпека перегріву рослин зменшується. Крім того, постійне переміщення опромінювачів збільшує рівномірність опромінюючої площі стелажів і покращує опромінення нижніх листків рослин. Це забезпечує більш ефективне використання рослинами енергії випромінювання на фотосинтез. У випадку непередбаченої зупинки опромінювачів при тривалому горінні ламп над одною ділянкою рослин може виникнути перегрів або опіки. Це є вагомим недоліком установок з опромінювачами, що постійно рухаються. Схема підключення опромінювачів до мережі в цих установках повинна виключати можливість їх роботи при зупинці механізму переміщення. Відомі конструкції установок, в яких опромінювачі по замкненому контуру весь час рухаються в одному напрямку, і установок з зворотно-поступальним рухом опромінювачів.

Установки з рухом опромінювачів в одну сторону дозволяють створити більшу швидкість руху опромінювачів. Проте вони порівняно важкі і в практиці не застосовуються.

### **1.3 Вибір ДС для світлокультури рослин**

Найважливішими світлотехнічними вимогами до СП є вимоги до світлорозподілу. Необхідно звернути увагу на той важливий факт, що жодна з ефективних КСС світильників для освітлення теплиць не може бути забезпечена СП з дифузними оптичними системами. Необхідні значення коефіцієнтів посилення і напрямів, в яких вони повинні бути забезпечені, диктують необхідність вибору. Цей аргумент, до речі, є одним з основних для прискореного розвитку розробки і виробництва саме дзеркальних і призматичних СП.

Одним з найважливіших завдань раціонального конструювання СП є забезпечення ефективного світлорозподілу. При цьому під ефективним світлорозподілом розуміють такий, що забезпечує найкращі кількісні і якісні



показники ОУ при найменших економічних затратах. Ця остання обставина має особливе значення.

З врахуванням великої кількості варіантів світлотехнічних завдань навіть в принципово однотипних ОУ розробка СП з оптимальним для кожного конкретного випадку використанням світлорозподілу економічно невиправдана. Тому однією з найважливіших цілей системного конструювання СП є створення СП, необхідних для вирішення найпоширеніших завдань техніки освітлення з максимальним обмеженням кількості типів СП за їхніми світлотехнічними характеристиками.

Проблеми тепличного овочівництва складні і представляють комплекс взаємообумовлених ланок: агротехнічних, фізіологічних, технічних і економічних, оптимізація яких вимагає тісного зв'язку цілеспрямованих наукових досліджень і практики.

Значна частина капіталовкладень, які йдуть на розвиток матеріально-технічної бази тепличного овочівництва і рослинництва, вкладається в енерго- і електрозабезпечення. Для технологічного процесу штучного опромінювання рослин навіть середньому за корисною площею господарству (приблизно 15 га), необхідно мати встановлену потужність 6000 кВт і вище.

Збільшення виробництва сільськогосподарської продукції при скороченні чисельності робочої сили і витрат електроенергії може бути забезпечене раціональним вибором світлотехнічного обладнання для теплиць.

Великий внесок у світлотехнічну ефективність опромінюючої установки вносить оптична система, яка повинна забезпечувати високий ККД використання світлового потоку і рівномірність освітлення робочої поверхні. До світлотехнічних вимог перш за все слід віднести вимоги до кривої сили світла (КСС). Ці вимоги базуються на необхідності створювати в установці на робочій площі рівномірний розподіл випромінювання при рівномірному розміщенні світильників в лінії, паралельно осі теплиці. Відхилення середньої освітленості від нормованої величини звичайно приймають  $\pm 20\%$ , але відношення  $E_{\max}/E_{\min}$  повинне бути не більше — 2.0, де  $E_{\max}$  і  $E_{\min}$  —

максимальна і мінімальна освітленості. Особливістю розміщення світильників у теплицях є порівняно невелика висота підвісу  $h=1-2,5$  м над рівнем розсади.

Найбільш раціональною оптичною системою для освітлення горизонтальної поверхні з невеликих висот є циліндричний відбивач з широкою кривою світлорозподілу і горизонтальним розміщенням лампи. Така система забезпечує майже 50%-ний прямий вихід оптичного випромінювання лампи і відсутність багатократних відбивань, що передбачає великий ККД освітлювального приладу.

Рівні опромінення під світлотехнічними установками в теплицях і для світлокультури залежать від ряду факторів: умов природного освітлення, відбору сортів з більшою площею листя, оптимальної щільності стояння рослин, світлопроникності теплиць, часу досвічування розсади. Доцільними й економічно виправданими є рівні середньої освітленості над розсадою овочів від 5 до 8 клк; для пристовування розсади до умов природного випромінювання потрібно від 2,5 до 3 клк.

На підставі численних і глибоких досліджень можна виділити кілька критеріїв, на базі яких використовують сучасні ДС у рослинництві, а також окреслити основу для подальших цілеспрямованих пошуків зі створення спеціальних рослинницьких ДС (СДСР).

Один із основоположників рослинницької світлотехніки В. В. Мешков [3] запропонував підбір ламп для вказаної мети як на підставі значень світлового потоку, так і спектральних характеристик відповідно до фотобіологічних процесів, що протікають у рослинах за інших рівних умов (термін служби, стабільність характеристик ДС, системи живлення і т.д.). З цією метою в 60-х роках ХХ ст. прийняли за основу неселективну криву — ФАР, яка використовується і дотепер.

Умовно кажучи, світлокультуру рослин можна розділити на створення світлосистем у «чистому вигляді», тобто коли рослини перебувають поза дією сонячного випромінювання (умови полярної ночі, теплиці в підвалах, в умовах нетривалого світлового дня і т.п.), й опромінення рослин під дією сонячного

світла в осінньо-весняний період, коли частка штучного освітлення у всьому циклі світлового впливу на рослини не перевищує 30%.

У першому випадку — створення рослинницької лампи є актуальним, тому що дає помітний ефект і стимулює подальші наукові пошуки в цьому напрямі, тоді як у другому випадку відокремити явну перевагу тих чи інших ДС досить складно, а пошук і впровадження ДС має сенс здійснювати на підставі результатів рішення першого завдання.

Проте при розв'язанні другого завдання, як правило, на практиці йдуть найбільш простим шляхом використання установок для опромінення рослин із досить високими світловими й експлуатаційними характеристиками (натрієві і метало–галогенні лампи), хоча для рослинництва ці ДС не призначалися.

У спеціальній літературі автори висловлюються як за створення спеціального ДС для рослинництва, так і проти [1]. Однак сучасний розвиток дозволяє реалізувати досить складні ідеї, про практичне втілення яких 10–30 років тому не могло бути й мови.

#### **1.4 Технічні вимоги до проекту опромінювальної світлотехнічної установки (ОСУ)**

<i>Основні</i>	<i>Додаткові</i>
1. Призначення	1.1. Область застосування 1.2. Наявність аналога 1.3. Потреба на рік (у тому числі основної комплектації)
2. Характеристика приймача	2.1 Спектральні характеристики ОВ (оптичного випромінювання) 2.2 Інтегральна чутливість. 2.3 Тимчасова залежність реакції приймача від опромінення, періодичність 2.4. Залежність реакції приймача від

		<p>просторової характеристики поля випромінювання</p> <p>2.5. Габарити, конфігурація, фазовий стан</p>
3.Вимоги до продуктивності		<p>3.1. Виробнича потужність ОСУ</p> <p>3.2. Мінімальний обсяг продукції в одиницю часу з одиниці площі, обсягу або максимальний час виробництва одиниці кінцевої продукції</p> <p>3.3. Якісні характеристики продукту(виробу)</p>
4. Умови експлуатації		<p>4.1.Кліматичні умови</p> <p>4.2.Характеристика навколишнього середовища приміщення</p> <p>4.3.Вимоги до транспортування і зберігання</p>
5. Конструктивно-технологічні вимоги		<p>5.1.Джерело живлення</p> <p>5.2.Термін служби, надійність</p> <p>5.3.Вимоги до захисту від ураження електричним струмом</p> <p>5.4.Допустимі радіо- і акустичні перешкоди</p> <p>5.5.Вимоги до керування (регулювання)</p> <p>5.6.Монтажно-технологічні вимоги</p> <p>5.7. Технологічні режими опромінення</p>
6. Вимоги до техніко-економічних характеристик		<p>6.1. Максимальна вартість установки (капітальні витрати)</p> <p>6.2 Максимальна витрата електроенергії</p> <p>6.3. Максимальне число обслуговуючого персоналу і його кваліфікація</p>

## 1.5 Аналіз використання джерел штучного освітлення у світлокультурі рослин

У роботі [2] автори використовували натрієві лампи високого тиску потужністю 330 Вт для опромінення томатів. Додаткове освітлення забезпечило приріст продукції на 66% при традиційній системі вирощування (два врожаї щороку: навесні і восени] та на 71% — при вирощуванні томатів цілий рік.

Вплив додаткового освітлення на врожай і мінеральний склад томатів було розглянуто в роботі [3]. Томати вирощували при природному освітленні і при опроміненні натрієвими лампами інтенсивністю випромінювання 30 і 60 Вт/м<sup>2</sup>. Додаткове освітлення прискорювало дозрівання, підвищуючи врожай томатів. У варіанті без освітлення врожай становить 12 кг/м<sup>2</sup>, у варіанті з додатковим освітленням — 15-18 кг/м<sup>2</sup>. Дослідники додатково освітлювали томати сорту Ломбіто натрієвими лампами високого тиску, інтенсивність освітлення становила 100 мкмоль-м<sup>-2</sup>-с<sup>-1</sup>. Висока інтенсивність світлового потоку сприяла швидкому росту і розвитку сіянців, а в період цвітіння і плодоутворення — зав'язуванню і росту плодів.

Порівняльну ефективність джерел різного типу, які можна використовувати для вирощування рослин у закритому ґрунті, продемонстровано в роботі [4]. Запропоновано методики створення «рослинницької» лампи: наближенням широкосмугового спектра ламп до однаково енергетичного (33%-33%-34%; 20%-40%-40%) чи за рахунок зменшення зеленої складової, наприклад, на 10%, тобто 20%-20%-60% або 40%-10%-50%.

У роботі [5] автори експериментально довели, що при зниженні рівня природної освітленості на фоні постійного штучного додаткового освітлення, що проводилося лампами ДРЛФ 400 і ксеноновими лампами з водяним охолодженням ДКСТВ6000 зі встановленою потужністю 1,2 кВт/м<sup>2</sup> при вирощуванні огірка гібрида Московський тепличний, урожай зростає на 14,6-17,1%, у порівнянні з контролем.

В університеті провінції Квебек автори [6] проводили досліди з додаткового освітлення тепличних огірків сортів Корона, Фабріола, Пандекс і Сандра у зимово-весняному обороті натрієвими лампами потужністю 400-1000 Вт. Загальна тривалість освітлення становила 18 годин, режим додаткового освітлення — з 4.30 до 8.30. Варіанти освітленості — 100, 200 або 300 лк. Контроль — тільки природне освітлення. Найбільш ефективною була освітленість 300 лк. Загальна кількість товарних плодів з 1 м<sup>2</sup> площі за 5 місяців збирання збільшилася (проти контролю) на 47-90%.

У контролі за 5 місяців у середньому по всіх сортах зібрали 45 плодів/м<sup>2</sup>. Найвищою врожайністю характеризувався сорт Фарбіола 78 товарних плодів з 1 м<sup>2</sup>. Збір урожаю при додатковому освітленні починали на 19 днів раніше, ніж у контролі.

Автори провели досліди [7, 14, 22] з вивчення впливу освітленості натрієвих ламп високого тиску і люмінесцентних ламп холодного світіння на продуктивність листового салату сортів Гранд Репідс Форсинг і Рубай Конн. У першому випадку на висоті 1 м розміщували одну натрієву лампу потужністю 400 Вт, у другому — на висоті 0,49 м — 16 люмінесцентних ламп потужністю по 40 Вт кожна. Освітленість рослин становила 25 клк. При освітленні салату люмінесцентними лампами маса листків однієї рослини в момент збирання дорівнювала 250 і 310 мг, у варіанті з натрієвими лампами — на 21 і 38% більше, при цьому споживана потужність натрієвої лампи була на 36% нижчою, ніж 16 люмінесцентних.

У роботі [8] описано вирощування вівса під ксеноновими лампами водяного охолодження ДКСТВ6000, а також під лампами ДРИ2000-6. Об'єктами дослідження слугували два сорти вівса Синельниковський 14 та Ішимський 48. Рослини вирощували в теплиці на установках УВР. Під опроміненням лампами формувалися могутні, високорослі рослини. Тривалість вегетаційного періоду від сходів до повної стиглості в досліджуваних сортів вівса під лампами ДКСТВ6000 становила 65-70 днів, під лампами ДРИ2000-6 — 70-75 днів, тобто опромінення дуговими метало-галогенними лампами

призводило до більш тривалого розвитку рослин. Під обома типами ламп рослини формували 2-3 стебла, з яких одне було продуктивним, а інші не встигали визрівати і давали щупле зерно. Під ксеноновими лампами ДКСТВ6000 врожай зерна сорту Синельниковський 14 становив  $272,5 \text{ г/м}^2$ , під лампами ДРИ2000-6 —  $449 \text{ г/м}^2$ . Кращий налив зерна був при освітленні рослин лампами ДКСТВ6000. Однак ці лампи витрачають значну кількість електроенергії і води. Експлуатація ламп ДРИ2000-6 дозволяє, не знижуючи освітленості рослин, знизити встановлену потужність утрое. Для вирощування вівса в теплиці на установках УВР найбільш перспективними є дугові металогалогенні лампи ДРИ2000-6. Пропоновані режими й агротехніка вирощування рослин у теплиці на установках УВР під лампами ДРИ2000-6 дають змогу з жовтня по квітень одержувати два покоління вівса.

У роботі [9] автори для додаткового освітлення сортів рододендрона Уник'ю і Ганна Троянд Уїтней використовували НЛВТ зі світанку до заходу — і лампи розжарювання (ЛР — з 20.00 до 4.00] — окремо й у сполученні. Нічне додаткове освітлення лампами розжарювання стимулювало утворення коріння в обох додатково освітлених періодах. Так, у сорті Уник'ю, який важко вкоріняється, укоріненість наставала через 17 тижнів при освітленні НЛВТ і досягла 75%, діаметр кореневої системи 2,7 см, при освітленні ЛР — 98% і 4,2 см, ЛР +НЛВТ-95% і 4,8 см, без додаткового освітлення — 78% і 2,8 см. Додаткове освітлення НЛВТ восени пригнічувало початковий розвиток коренів у сорту Уник'ю, але стимулювало їхній розвиток в обох сортів на більш пізніх станах розвитку. Навесні додаткове освітлення НЛВТ стимулювало ріст коренів у сорті Уник'ю, але не впливало на сорт Ганна Троянд Уїтней.

У роботі [10,15] автори порівнювали ефективність вирощування полуниці в зимових теплицях. Додаткове освітлення для створення 16-годинного світлового дня забезпечували лампами ДРЛФ400, інтенсивність освітлення —  $40-80 \text{ Вт/м}^2$ . Найбільшу врожайність забезпечує сорт Редгаунтлет:  $1,9 \text{ кг/м}^2$  при вирощуванні на грядках (густина 14 рослин/ $\text{м}^2$ ) і  $7,2 \text{ кг/м}^2$  при вертикальній культурі (густина 50 рослин/ $\text{м}^2$ ).

У роботі [11, 16, 21] автори проводили дослід з вирощування горщикових рослин (зимово-весняного періоду цвітіння]. Провідне місце посідає вирощування цикламена. Додаткове освітлення лампами ДРЛФ400 (120-140 Вт/м<sup>2</sup>) прискорює початок цвітіння цинерарії на 3-5 тижнів.

Вплив додаткового освітлення на ріст, розвиток і цвітіння горщикових рослин бульбової бегонії розглянуто в [12, 17, 20]. Рослини трьох сортів вирощували при двох варіантах додаткового освітлення: освітлювали натрієвими лампами високого тиску з розрахунку 25 Вт/м<sup>2</sup> і 50 Вт/м<sup>2</sup>. Розміри освітлених рослин перевищували контроль у середньому на 16%, вартість опалення знизилася на 7%. Додаткове освітлення було ефективним для сорту Радіант: цвітіння наставало на вісім днів раніше. Найменш чуттєвий до 12% додаткового освітлення сорт Роті Швабенланд. Усі сорти реагували на додаткове освітлення помітним підвищенням якості.

Вплив зимового додаткового освітлення горшкових хризантем на якість продукції розглянуто в роботі [13] сортів Брайт Голден Єнн. У перші два тижні рослини додатково освітлювали по 11 годин на день натрієвими лампами 5(Ж/Т, які створювали освітленість 7500 лк, контрольні рослини не освітлювали. Додаткове освітлення збільшувало вирівнювання рослин, висаджених на 44-48 тижнів у році, але тільки при щільності розміщення 16 і 25 горщиків/м<sup>2</sup>, а також збільшувало число квіток і прискорювало цвітіння. Порівнювали три освітленості — 3000, 5000 і 7500 лк. Найбільш вирівняними за цвітінням були рослини у варіанті з освітленістю 7500 лк, однак на висоту рослин освітлення не вплинуло.

По технічних характеристиках СД лампи можуть відрізнятися:

- кольором свічення: червоний, жовтий, зелений, голубий, білий;
- кількістю СВД: від 9 до 60 шт.;
- розмірами: 40...60 мм діаметр, 30...70 мм висота;
- типом цоколя: E14, E26, E27, GU10;
- напругою живлення: постійна - 12...38 В, змінна - 220...270 В;
- струмом споживання: 18...40 мА;



- споживаною потужністю: 0,8...2,5 Вт;
- яскравістю випромінювання (сила світла): 40...350 кд.

Основними перевагами СД ламп є:

- низьке енергоспоживання: в 100 разів менше в порівнянні із звичайною ЛР;
- тривалий термін служби (до 100000 год, тобто 11 років) за умови безперервної роботи, що в 100 разів довше в порівнянні з ЛР і в 50 разів довше за галогенову лампу;
- міцна і надійна в експлуатації, вібростійка і ударостійка конструкція;
- діапазон робочих температур - 30...+75°C;
- відсутність ІЧ і УФ випромінювання, не містить ртуть;
- можливість цифрового управління для динамічних ефектів.

## 1.6 Захист освітлювальних електромереж

Освітлювальні пристрої вибираються залежно від кількості груп, схеми з'єднання, управління та захисту апаратів, та за умовами середовища, в яких вони будуть працювати. Для сільськогосподарських об'єктів рекомендуються ОП з плавкими запобіжниками або автоматичними вимикачами (автоматами) типу А-3161, АБ-25 та ін.

Струм установки апарату захисту (запобіжника, автомата)  $I_a$  визначається з умови

$$I_a \geq I_p, \quad (1.1)$$

де  $I_p$  - розрахунковий струм навантаження ділянки лінії, що захищається даними апаратом захисту, А.

Автоматичні вимикачі мають, як правило, комбіновані відсічення: тепловий та електромагнітний. При малих струмах короткого замикання вони відключають лінію з деякою тимчасовою затримкою за рахунок спрацьовування теплового відсічення, якому необхідний певний інтервал часу

нагріву. При значних струмах короткого замикання спрацьовує електромагнітне відсічення і автоматичний вимикач відключає аварійну ділянку мережі практично миттєво.

Номінальні струми апаратів захисту повинні бути не менше розрахункових струмів захищених ділянок, по можливості близькими до них і не повинні відключати установку при включенні ламп. Для цього номінальні струми плавких вставок запобіжників і уставок автоматичних вимикачів з урахуванням пускових струмів потужних ламп розжарювання і ламп ДРЛ, ДРІ, ДНаТ щодо робочого струму лінії, як правило, завищують в 1,4 рази (для автоматів з комбінованими відсіченнями на струм менше 50А , а також для навантаження з лампами розжарювання) і в 1,2 рази (для ламп типу ДРЛ, ДРІ, ДНаТ із захистом мережі плавкими запобіжниками).

### **1.7 Розрахунок освітлювальної мережі**

Нагрівання провідників викликається проходженням по них електричного струму. Температура провідників залежить від величини цього струму і умов тепловіддачі в навколишнє середовище. Допустима температура провідників обмежується класом нагрівостійкості його ізоляції. Щоб температура не перевищила допустимого значення, в залежності від класу ізоляції, матеріалу проводу і способу його прокладки (в повітрі, в трубі, в будівельній конструкції, в землі). Для кожного стандартного перетину згідно табличних даних, наведених в ПУЕ, обмежують допустиму силу робочого струму.

Для проводів і шнурів з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з мідними і алюмінієвими жилами, прокладеними відкрито і в одній трубі такий спосіб прокладки електропроводки виробничих освітлювальних мереж є найбільш поширеним і досить загальним для прийняття струмових навантажень в цілому при інших способах прокладки.

Таким чином, на підставі максимального розрахункового струму навантаження ( $I_p$ ) на даній ділянці мережі по табличних даних ПУЕ

знаходиться мінімально можливий перетин жили проводу ( $s$ ) з умови його допустимого нагріву, щоб виконувалася умова:

$$I_p \leq I_d, \quad (1.2)$$

де  $I_d$  - максимально можливий допустимий струм навантаження на провід, А;

$I_p$  - максимальний розрахунковий струм навантаження на даній ділянці мережі (А), який для освітлювальних мереж з урахуванням значення коефіцієнта попиту, рівного одиниці, розраховується за максимальною розрахунковою потужністю освітлювальних установок ( $P_y, \text{Вт}$ ) і середньозваженому коефіцієнту потужності ( $\cos j$ ) с урахуванням фазності ( $m$ ) електроживлення на даній ділянці:

$$I_p = P_y / (m U_\phi \cos j), \quad (1.3)$$

де  $U_\phi$  - фазна напруга на даній ділянці мережі, В.

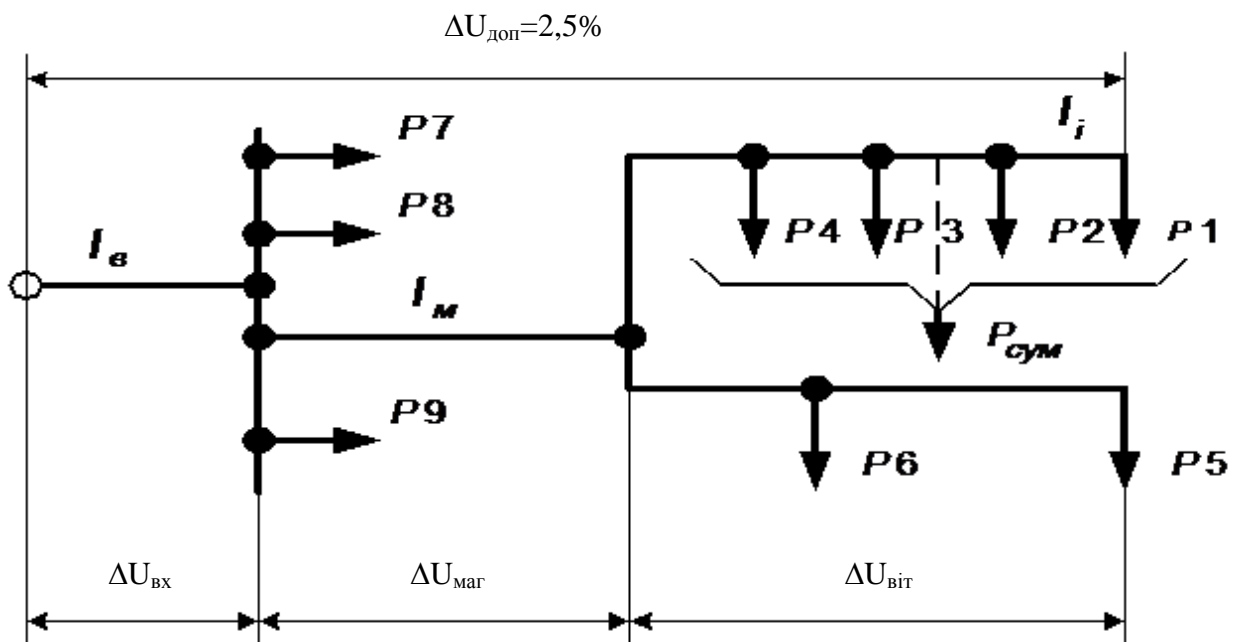


Рис.1.1 Розрахункова схема освітлювальної мережі.

З іншого боку, втрата напруги в проводах залежить від перетину, матеріалу струмопровідної жили, довжини проводу, сили струму і прийнятої системи напруги. Зазвичай, значення допустимої втрати напруги у внутрішній

освітлювальній мережі приймається до 2,5% від номінального, щоб забезпечити необхідний рівень напруги у всіх споживачів даної мережі, рис. 1.1.

Розрахунок перерізу проводів по допустимій втраті напруги проводять за формулою:

$$S = \frac{\sum P_i \cdot l_i}{C \cdot \Delta U_i \cdot \cos \varphi}, \quad (1.4)$$

де  $P_i \times l_i$  - електричний момент навантаження  $i$ -ї ділянки мережі, кВт×м;

$P_i$  - сумарна потужність навантаження  $i$ -ї ділянки мережі, кВт;

$l_i$  - довжина  $i$ -ї ділянки мережі, м;

$\Delta U_i$  - приймається втрата напруги на  $i$ -й ділянці мережі, %;

$C$  - коефіцієнт, значення якого залежить від напруги мережі, матеріалу струмопровідної жили і числа проводів в групі даної ділянки;

$\cos \varphi$  - середньозважений коефіцієнт потужності навантаження.

Таким чином, перетин жил провідників на кожній ділянці освітлювальної мережі визначається струмом навантаження (допустимим нагріванням) і допустимою втратою напруги, прийнятої на даній ділянці при розрахунку за формулою (1.4). При цьому перетин жили проводу має бути більше або дорівнювати перерізу, допустимому за умовою механічної міцності.

Як приклад запишемо формульні вирази для розрахунку перетину жили проводів по допустимій втраті напруги для введення в щиток освітлення ( $S_v$ ) і для магістралі ( $S_m$ ) на підставі розрахункової схеми рис.1.1.

Для цього, виходячи з реальної довжини ділянки і значення навантаження на даній ділянці мережі, слід замислитися над розрахунковими значеннями втрат напруги на цих ділянках  $\Delta U_{вх}$  і  $\Delta U_{маг}$  таким чином, щоб сумарна втрата напруги ( $\Delta U_{вх} + \Delta U_{маг} + \Delta U_{віт}$ ) не перевищувала допустимого значення для внутрішньої проводки, рівного  $\Delta U_{доп} = 2,5\%$  від  $U_n$ .

В результаті для схеми рис.1.1 отримаємо такі вирази для заданих ділянок мережі:

$$S_B = \frac{(P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6+P_7+P_8+P_9) \cdot l_B}{C \cdot \Delta U_B \cdot \cos \varphi_B},$$

$$S_M = \frac{(P_1+P_2+P_3+P_4+P_5+P_6) \cdot l_M}{C \cdot \Delta U_M \cdot \cos \varphi_M}.$$

Отримані розрахункові січення проводів округлюють до найближчих великих (рівних) стандартних січень.

Наступним етапом за довідковими таблицями допустимих струмових навантажень на відповідні ізольовані проводи та кабелі по розрахунковому струмі ділянки мережі визначають необхідне стандартне січення провідників, виходячи з допустимого нагріву проводу або кабелю.

Остаточо на кожній ділянці мережі з двох певних січень приймається те січення провідника, яке виявиться більшим. В цьому випадку задовольняються вимоги як по допустимій втраті напруги, так і по допустимому струмовому навантаженні.

Після чого на підставі виразу (1.4) уточнюють дійсні втрати напруги на кожній з ділянок мережі і в цілому у внутрішній проводці приміщення.

При рівномірному навантаженні на ділянці вона може бути замінена сумарною, яка додається в середині ділянки.

## 1.8 Висновки до розділу

Як свідчать наведені дані, для вирощування рослин різних видів, різних сортів використовують освітлення різноманітного спектрального складу, а значить, і різні види ламп.

## 2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

### 2.1 Реакція світла і транспорт фотонів

Загальновідомо, що вищі рослини та інші фотосинтетичні організми, такі як ціанобактерії та водорості, використовують світло, вуглекислий газ і воду для створення власних продуктів обміну речовин. Це використовується, прямо чи опосередковано, для наших енергетичних потреб. Найвідомішою формою фотосинтезу, а також тією, яка буде описана тут, є та, яку здійснюють вищі рослини та водорості (2.1).



Цей процес можна розділити на дві реакції; реакція світла, де потрапляє світло,  $\text{H}_2\text{O}$  передається в  $\text{H}^+$  і  $\text{O}^{2-}$ , а енергія фіксується в АТФ і НАДФН, а темні реакції, які використовують енергію, що виділяється з АТФ і НАДФ, для перетворення  $\text{CO}_2$  в  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ .

Не всі електромагнітні випромінювання, випромінювані сонцем, можуть використовуватися у світловій реакції, лише невелика частина спектру, що називається фотосинтетично активним випромінюванням (ФАР), може використовуватися у світловій реакції.

Світлова реакція фотосинтезу відбувається в серії білкових комплексів, пов'язаних з тилакоїдною мембраною хлоропласта, які з'єднані між собою мобільними носіями електронів. Спосіб описаних фотосистем вище не є найбільш очевидним. Кожна фотосистема складається з величезної площі центрів заготівлі світла (ЦЗС) та центру реакції. Енергетичні утворення називаються екситонами. Вони є здатними заряджати димерним центром фотосинтетичної реакції хлорофільний димер під назвою P680 в PSII або P700 в PSI, де 680 нм і 700 нм позначають пікову довжину хвилі поглинання у відповідних реакційних центрах. ЦЗС містять кілька типів пігментів, які поглинають світло різних частин спектру електромагнітного випромінювання (фотони з різним енергетичним вмістом); хоча все світло, яке поглинається,

лежить у фотосинтетично активному випромінюванні. Хлорофіл а і b поглинають переважно синє (400-450нм) і червоне (650–700нм) світло (рис. 2.1), тоді як каротиноїди, також поглинають світло із зеленої частини (450-550 нм) спектру. Крім того, хлорофіл а поглинає синю частину спектру при менших довжинах хвиль та червону частину спектру при більш високій довжині хвилі, ніж хлорофіл b (рис. 2.1).

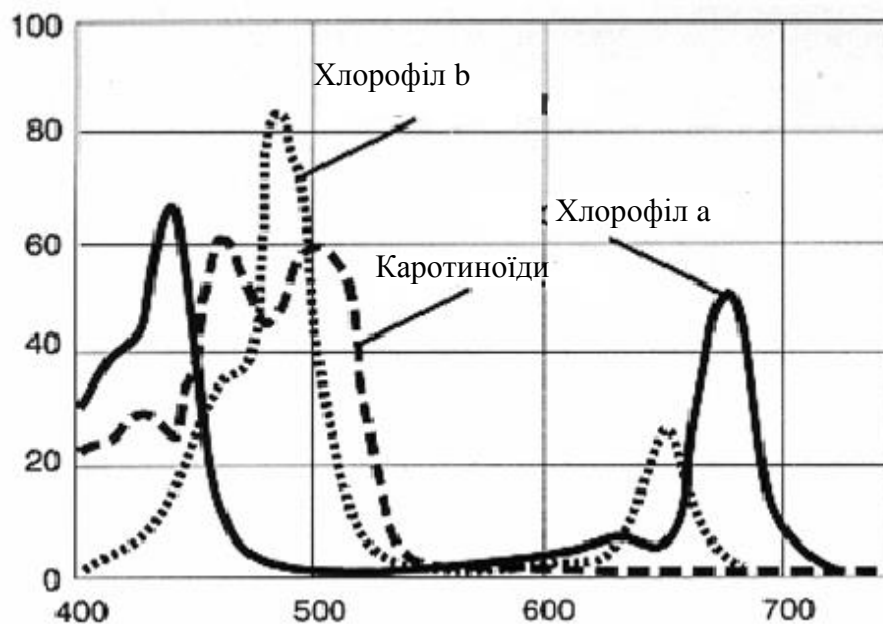


Рисунок 2.1 – Розрахункові спектри поглинання хлорофілу а, хлорофілу b і каротиноїдів

СЗЦ пов'язаний з PSI, а ЦЗСП - PSII, кожен з цих ЦЗС складається з різних комбінацій описаних вище компонентів, хлорофілів, каротиноїдів тощо, тому вони мають різні спектри поглинання. І це ще раз визначає, чому кожна фотосистема має різний спектр поглинання. У вищих рослинах та зелених водоростях PSII поглинає більше світла, ніж PSI при довжині хвиль приблизно від 670 нм до 450 нм. При довжині хвилі більше 670 нм і меншій 450 нм поглинання PSI стає переважаючим (рис. 2.2). Для максимальної ефективності фотосинтезу важливо, щоб обидві фотосистеми працювали приблизно з однаковою швидкістю. За короткий термін цього можна досягти переходами, що забезпечують механізм, завдяки якому можна досягти більш збалансованого

збудження двох фотосистем. Однак у довгостроковій перспективі фотосистеми реагують, змінюючи кількість PSI проти PSII.

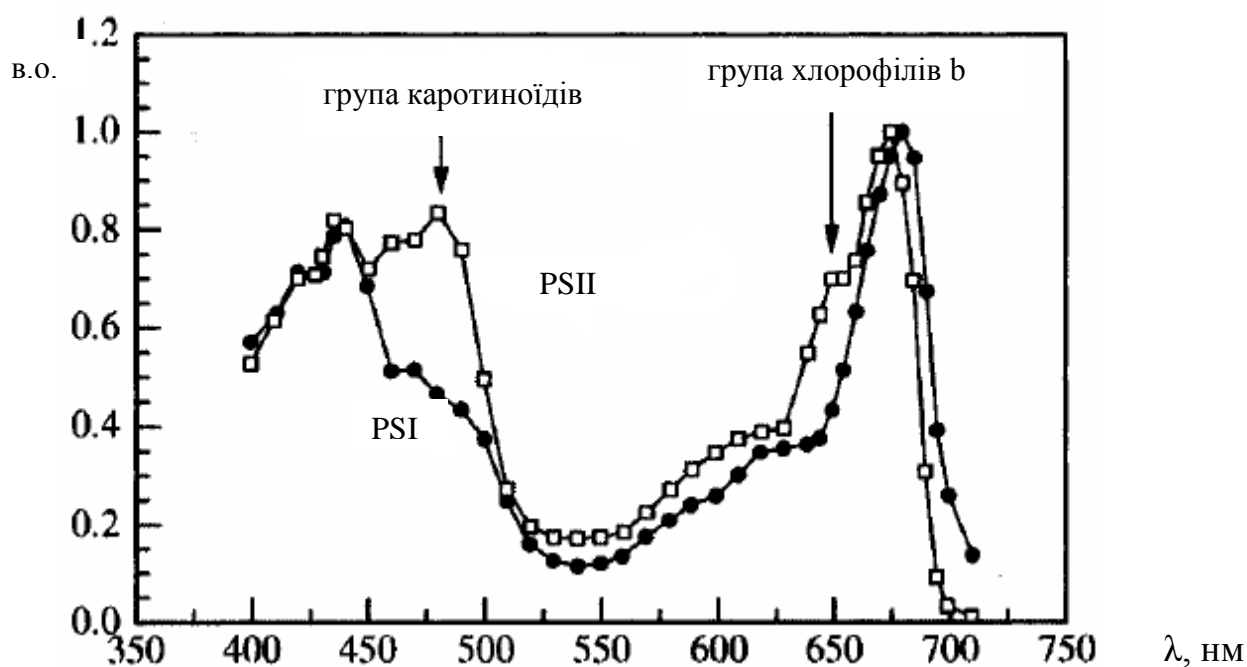


Рисунок 2.2 – Порівняльні поглинання фотосистем I і II

Піки червоного поглинання - 700 нм для PSI і 680 нм для PSII. Раніше передбачалося, що все світло, що потрапляє на рослини, було використано для фотосинтезу, але стало зрозуміло, що це не так. Коли фотон захоплює атом комплексу легкого збирання, він стає збудженим. Різні кольори світла мають різну довжину хвилі і, отже, різний рівень енергії, що призводить до різного рівня збудження. Швидкість розпаду збудженого стану залежить від радіаційних переходів, флуоресценції та фотохімії. Ці процеси мають константи швидкості знеструмлення відповідно  $K_d$ ,  $K_f$  і  $K_p$ , так що загальна константа швидкості дорівнює (2.2):

$$K=K_d+K_f+K_p \quad (2.2)$$

Коли початкове значення збуджених станів  $n_0$ , зменшується до  $n$  збуджених станів у часі,  $t$ , то  $n$  задається виразом (2.3):

$$n=n^0 e^{-Kt} \quad (2.3)$$

де  $e$  - основа логарифму.



Збудження P680 і P700 викликає викид хлорофілів з окислення до первинних акцепторів електронів, хлорофілу для PSI і молекул феофітину для PSII. Після цього транспорт електронів починається по ланцюгу окислювально-відновних компонентів.

## 2.2 Темнова реакція

Темнова реакція, хоч вона і називається таким чином, не потребує темряви для функціонування, як це стосується світлової реакції, яка потребує світла, але вона функціонує як у світлі, так і в темряві, тому краща назва була б світлою незалежною реакцією. У темряві продукти реакції, що утворюються у світловій реакції (АТФ і НАДФН), забезпечують енергією та електронами для відновлення вуглекислого газу до органічних молекул. Цей процес відбувається в так званому циклі Кальвіна, реакція відбувається в хлоропласті.

Темнові реакції – це, головним чином, серія хімічних реакцій і значно повільніші, ніж світлові реакції (пікосекундний масштаб ( $10^{-12}$  с)), тому може бути корисним короткий темновий період між світлими періодами, щоб переконатися, що продукти, що утворились в результаті світлової реакції, обробляються до того моменту, поки буде надходження нових продуктів.

## 2.3 Флуоресценція хлорофілу

Поглинений фотон може зазнати численних поділів, у листі вони зводяться до трьох основних напрямків. Фотони можуть бути використані для фотосинтезу, вони можуть розсіюватися як тепло і можуть бути повторно випромінені як флуоресценція. Вимірюючи вихід флуоресценції, можна щось сказати про зміни дефіциту фотохімії та тепловідведення. Хоча лише 1-2% поглинених фотонів перетворюються на флуоресценцію, виміряти їх досить просто. Зміни флуоресценції, які вперше спостерігали Каутський та його працівники на початку 1960-х виявили, що якщо листок переноситься з темряви

на світло, збільшення флуоресценції відбувається за один проміжок часу. Підвищення флуоресценції можна пояснити зменшенням прийому електронів у фотосинтетичний шлях фотосистеми II (PSII). Коли PSII поглинає світло і  $Q_A$  приймає електрон, ніяких інших електронів не можна приймати, поки  $Q_A$  не передасть свій електрон в  $Q_B$ . У цей період реакційний центр PSII закритий. При перенесенні листя з темряви на світло  $Q_A$  повністю зменшується і флуоресценція досягає свого максимуму ( $F_m$ ), оскільки швидкість транспорту електронів (фотохімічне гасіння) є постійною, а нефотохімічне гасіння (NPQ) ще не відбулося. Після цього рівень флуоресценції зменшується внаслідок фотохімічного гасіння і NPQ.

Параметри фотохімічного гасіння завжди відносяться до відносного значення та змінної флуоресценції. Найбільш корисним є параметр, що вимірює ефективність фотохімії PSII. Цей параметр вимірює частку світла, поглиненого хлорофілом, пов'язаним з PSII, який використовується у фотохімії.

Переважно флуоресценція PSII вимірюється через те, що PSII має більш високу флуоресценцію, ніж фотосистема I (PSI), а вихід флуоресценції змінюється при зміні фізіологічних умов. Флуоресценція PSI залишається здебільшого досить стабільною.

## **2.4 Інтенсивність імпульсного освітлення**

Теперішня техніка та досвід застосування імпульсного світла зі світлодіодами, причини розбіжностей сприйняття імпульсного світла на різних частотах не були повністю з'ясовані. Тому було б дуже цікаво дослідити різні аспекти фотосинтезу, такі як ефективність та зростання PSII. Наприклад, цікавим було б побачити, як рослини реагують на імпульсне світло і, що ще важливіше, як вони реагують у поєднанні з ефективністю фотосинтезу та вмістом хлорофілу. Крім того, ефект імпульсного світла навколо частоти приблизно одного герца заслуговує на велику увагу. Однак цікаво дізнатися, чи

спричинений цей ефект тим фактом, що сигнал "вимкнено" все ще мав інтенсивність світла  $28 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ , або частотою імпульсного світла.

Був проведений експеримент, щоб перевірити, скільки світлодіодів потрібно для досягнення інтенсивності світла, необхідної рослинам, щоб зробити можливим розрахунок, було вибрано інтенсивність світла  $200 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$ . Цей розрахунок був зроблений у програмі Microsoft excel. Світлодіодні масиви були протестовані на показник інтенсивності світла в  $1,8\text{А}$ , це означає  $162 \text{ мА}$  на світлодіод ( $24$  світлодіоди на масив). Для цього розрахунку були використані всі наявні масиви, щоб можна було порівняти різні кольори та їх вихід. Потім цей вихід був введений для обчислень Excel. Які показані та пояснені в таблиці 2.1. Максимальний струм для цих світлодіодів становить  $350 \text{ мА}$ , який використовується для цього розрахунку; однак не розумно керувати світлодіодами на цьому максимумі, оскільки це зменшить як години освітлення, так і ефективність цих світлодіодів.

Таблиця 2.1 – Розрахунок кількості світлодіодів, необхідних для середньої інтенсивності світла  $200 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Колір	Інтенсивність світла		Інтенсивність світла/СД <sup>2</sup>	Потрібні СД <sup>3</sup>
	для $162\text{мА}$	для $350\text{мА}$ <sup>1</sup>		
Жовтий	54	116	5	41
Зелений	60	128	5	38
Червоний	206	443	18	11
Синій	121	260	11	18

<sup>1</sup>Обчислюється як максимальний прямий струм, поділений на струм, використаний для вимірювання, помножений на вимірюване значення інтенсивності світла;

<sup>2</sup>Обчислюється як інтенсивність світла при максимумі, поділеному на кількість наявних світлодіодів;

<sup>3</sup>Обчислюється як бажана інтенсивність світла, поділена на інтенсивність світла на світлодіоді, округлена до цілого значення.

В другому експерименті масиви були покриті алюмінієвою фольгою. Це було зроблено тому, що алюмінієва фольга відбиває майже все світло і його можна захопити квантовим датчиком. Це призвело до набагато вищої інтенсивності світла на один масив, що чітко вказує на те, що значна частина світла, що випромінюється світлодіодними масивами, випромінюється збоку, а не прямо вниз. Звідси можна зробити висновок, що при використанні цих масивів було б розумно покрити сторони області, яку необхідно випромінювати; так щоб все світло досягало місця, до якого воно повинне досягнути. Ця особливість обумовлена типом використовуваних світлодіодів та їх конструкцією (рис. 2.3). Однак усі наведені тут дані для такої площі, як і початкові масиви, які були протестовані. Нові масиви мали значно більшу площу.

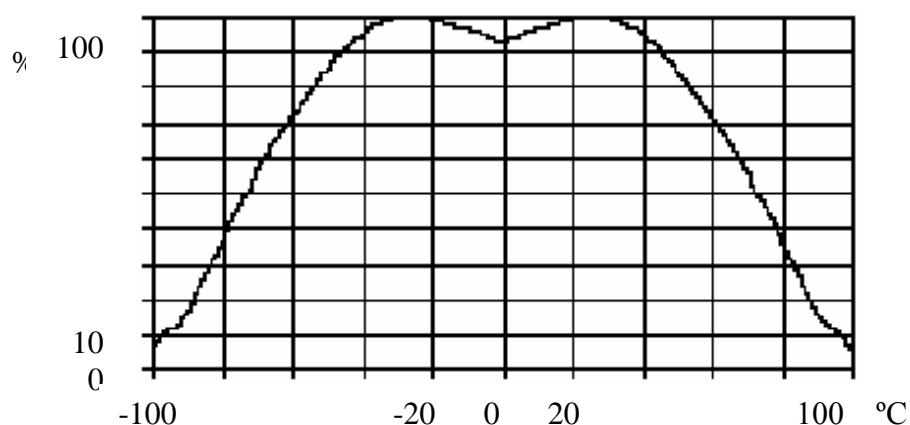


Рисунок 2.3 – Просторовий діапазон випромінювання світла для червоного та червоно-оранжевого кольорів

Враховуючи дані таблиці 2.2 було прийнято рішення використовувати низькі робочі цикли, кількість світлодіодів 24 для звичайного масиву та 48 для

масиву, який би використовувався для імпульсу. Вони були розділені на площі  $300 \text{ см}^2$  на радіаторі з площею  $500 \text{ см}^2$ , тому фактична освітлена площа становила  $500 \text{ см}^2$ .

Таблиця 2.2 – Розрахунок кількості світлодіодів, необхідних для середньої інтенсивності світла  $200 \text{ мкмоль м}^{-2} \text{ с}^{-1}$

Колір	Інтенсивність світла		Інтенсивність світла/СД <sup>2</sup>	Потрібні СД <sup>2</sup>
	для 54мА <sup>1</sup>	для 350мА <sup>2</sup>		
Червоний	345	2236	93	3
Синій	335	2171	90	3
Блакитний	115	745	31	7
Зелений	112	725	30	7

<sup>1</sup>Середні значення беруться за 3 вимірювання і округлюються до 0 десятків.

<sup>2</sup>Усі розрахунки виконані так, як у таблиці 2.1.

## 2.5 Характеристики світлодіодів

Важливим аспектом світлодіодів є те, що вони керуються струмом і, отже, не керуються напругою. Їх потужність зростає зі зростанням струму, під час лише незначного збільшення напруги.

Важливим для використовуваних світлодіодів є максимальний середній струм ( $I_{\text{сmax}}$ ), який вони можуть приймати, і напруга на них під час роботи при цьому струмі ( $U_i$ ) (таблиця 2.3). Для забезпечення правильної роботи та захисту світлодіода відповідно напруга на світлодіоді повинна бути вище, ніж  $U_{\text{min}}$ , і не може перевищувати  $U_{\text{max}}$ .

Таблиця 2.3 – Електричні характеристики світлодіодів

$I_{\text{сmax}}$ , mA	$U_{\text{min}}$ , В	$U_t$ , В	$U_{\text{max}}$ , В
350	2,21	2,85	3,41

Коли світлодіоди працюють з великою потужністю, вони, як правило, нагріваються, це призводить до підвищення температури з'єднання всередині світлодіодів. Коли температура з'єднання стає занадто високою, змінюється світловий вихід світлодіодів. Тому, коли в роботі світлодіоди повинні бути охолоджені, це може досягатися встановленням їх на радіатор і розміщенням вентилятора охолодження ПК на задній панелі радіатора. Але виводи повинні бути ізольовані від радіатора, щоб запобігти короткому замиканню. Цю проблему було подолано розпиленням шару пластику на радіатор і відгинанням відводів світлодіодів від поверхні радіатора (рис. 2.4).

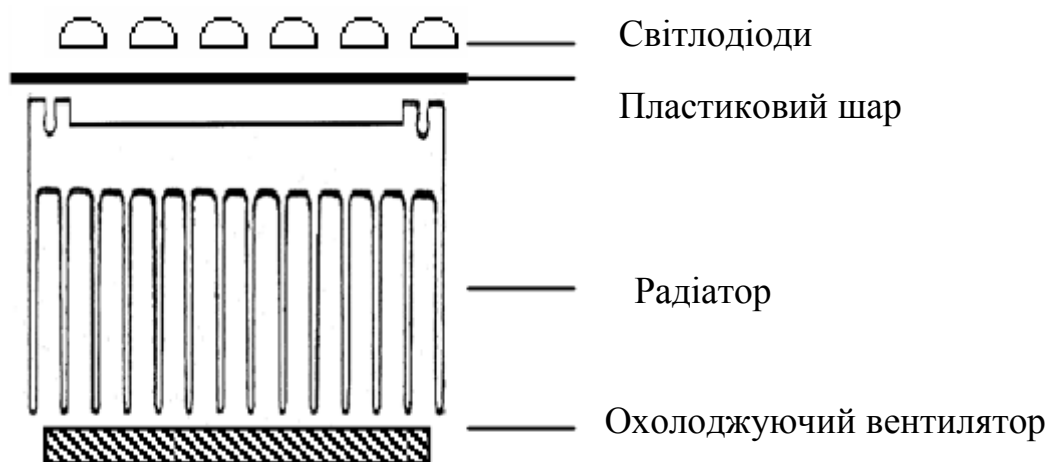


Рисунок 2.4 – Конструкція СД-масиву

Світлодіоди монтуються на радіатор термопровідним клеєм для забезпечення належного теплообміну. Після цього відводи паяються послідовно дротом між ними. Один масив, той, який робився імпульсним, був побудований з 48 світлодіодів, в результаті чого шість світлодіодів послідовно і вісім рядів, з'єднаних паралельно (рис. 2.5). Інший масив був побудований з 24 світлодіодів, в результаті чого три світлодіоди послідовно та вісім серій з'єднані

паралельно. За рис. 2.5 та значеннями з таблиці 2.3 підраховують загальний  $I_{\text{сmax}}$ ,  $U_{\text{min}}$ ,  $U_t$  і  $U_{\text{max}}$  для світлодіодних масивів (таблиця 2.4), використовуючи наступні рівняння:

$$\text{Загальний } I_{\text{сmax}} = \text{сума } \{I_1 \dots I_8\} = 8I_{\text{сmax}} \quad (2.4)$$

$$\text{Загальна } U_{\text{min}} = \text{сума} \{U_A \dots V_C\} = 3U_{\text{min}} \text{ (для масиву з 24 СД)} \quad (2.5)$$

$$\text{Загальна } U_{\text{min}} = \text{сума} \{U_A \dots U_F\} = 6U_{\text{min}} \text{ (для масиву з 48 СД)} \quad (2.6)$$

$U_t$  і  $U_{\text{max}}$  обчислюються так само, як  $U_{\text{min}}$ .

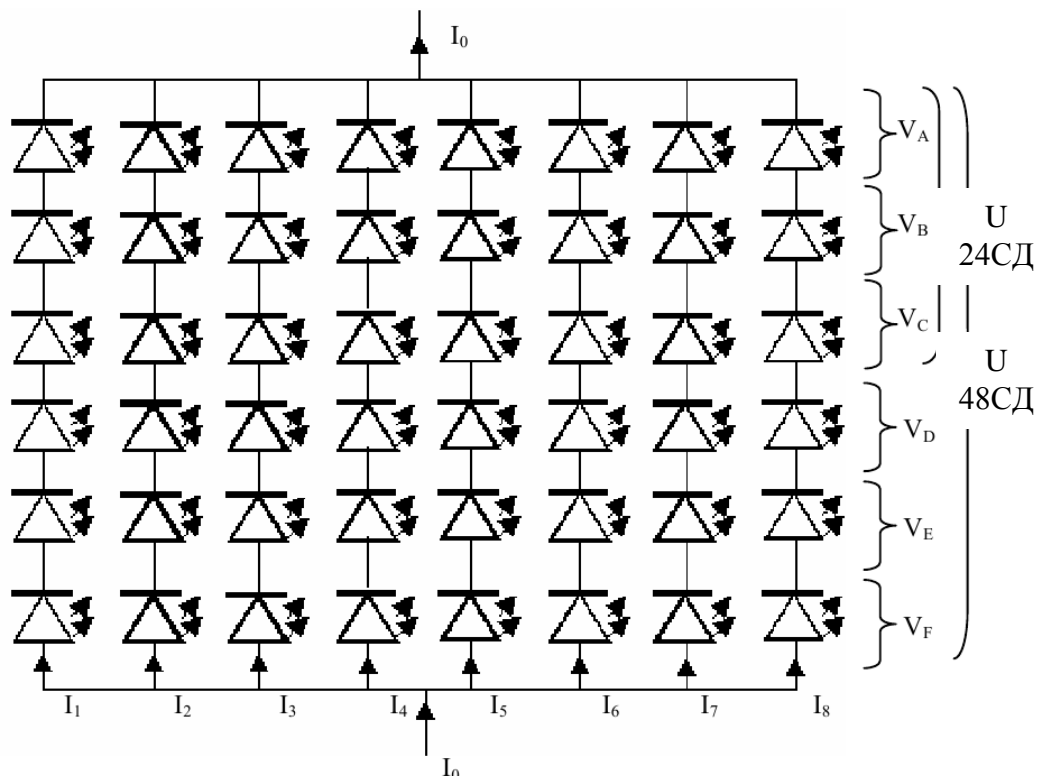


Рисунок 2.5 – Схематичне розміщення СД масиву (24 або 48 СД)

Таблиця 2.4 – Загальні електричні значення для використаних СД масивів

	$I_{\text{сmax}}$ , А	$U_{\text{min}}$ , В	$U_t$ , В	$U_{\text{max}}$ , В
24СД	2,8	6,93	8,85	10,53
48СД	2,8	13,86	17,7	21

Для того, щоб запусити світлодіодні масиви таким чином, як було потрібно для цього дослідження, знадобилося деяке інше електронне обладнання. В першу чергу подача струму на світлодіодні масиви повинна була

бути відключена в кінці фотоперіоду. Тому було зроблено реле, яке могло перервати потік струму до масивів. Зв'язок між масивами та реле здійснювався вимірювальною коробкою, яка вже була зроблена для вимірювання струму, що подається до масивів. Ще один ящик був зроблений із запобіжником, який спрацював би там, де відбулося б коротке замикання або коли струм на масивах був би занадто високим. Останнє, але не менш важливе, було зроблено коробку для повного вимкнення струму, оскільки завжди був якийсь струм витoku з джерела, коли його потрібно було б повністю вимкнути.

Сценарії Matlab були перевірені шляхом вимірювання інтенсивності світла, яку імпульсний світлодіодний масив міг генерувати, в заданий струм і в точках, які також можуть бути задані як вихід матричних сценаріїв. У сценарії Matlab була представлена та сама модель, яка містила 48 світлодіодів які були розміщені в точно таких же місцях, як і реальний масив, і були розкинуті на площі приблизно  $300 \text{ см}^2$  на загальній модельованій площі  $500 \text{ см}^2$ . Загалом інтенсивність світла у 121 точці даних була змодельована та виміряна, тоді ці інтенсивності світла порівняно з аналізом дисперсії.

Щоб перевірити, чи можна отримати достатньо високу інтенсивність світла з масиву, його потрібно було оцінити. Для цього було зроблено налаштування, в якому струм та інтенсивність світла можна було виміряти одночасно, пропускаючи струм через вимірювальну коробку, перш ніж досягти світлодіодного масиву. Струм вимірювали за допомогою графічного дисплея, а вимірювання інтенсивності світла проводили за допомогою квантового сенсора. Змінність світловіддачі різних світлодіодних масивів вимірювали за допомогою квантового сенсора, який розміщувався на кілька сантиметрів над висотою, де зростали рослини. Світлодіодні масиви, встановлені таким чином, щоб випромінювати інтенсивність світла, яку вони зазвичай роблять під час експерименту,  $200$  та  $400 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$  відповідно для безперервного та імпульсного світлодіодного масиву. Квантовий сенсор розміщували в різних задалегідь визначених місцях у районі, де зазвичай розміщували рослини. Всього в цій області  $216 \text{ см}^2$  було взято 48 точок даних.



Інтенсивність світла, яка вимірювалася в 10 см від світлодіодного масиву, лінійно зростала зі збільшенням струму (рис. 2.6).

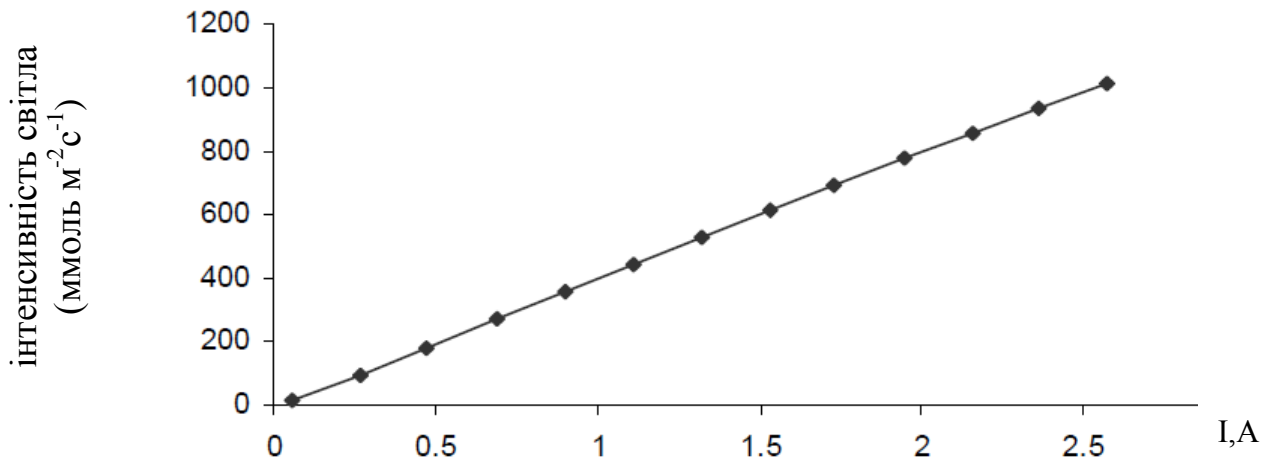


Рисунок 2.6 – Інтенсивність світла, виміряна в 10 см від світлодіодного масиву, порівняно з струмом, застосованим на масиві

## 2.6 Висновки до розділу

Хоча інтенсивність світла, передбачена сценаріями Matlab, дещо нижча, ніж реальна інтенсивність світлодіодного масиву, між ними немає суттєвої різниці.

## 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Світлодіодне освітлення для рослин

Швидкий ріст рослини і хороший урожай в теплиці потребують не тільки води та ґрунту. Правильний рівень світла також дуже важливий. Дуже часто виробники роблять серйозну помилку, встановлюючи багато ламп НЛВТ і ставлячи їх близько до рослин. Лампи НЛВТ виділяють багато тепла. Більше того, лампа, розташована близько до рослини, може спалити листя. СД опромінення є одним із найбільш перспективних видів додаткового освітлення для теплиць, тому давайте розглянемо це більш детально, оскільки ці лампи мають багато переваг порівняно з іншими типами ламп, а також тому, що це новий етап розвитку садівничого освітлення. Дефіцит світла є серйозною проблемою в зимовий сезон, коли денне світло коротке і коли сонячного світла немає або його недостатньо для ефективного вирощування. Вертикальні ферми або - більш поширені в Європі - вертикальні фермерські контейнери - хороші приклади таких ферм.

На сьогодні існує кілька схем використання штучних світлодіодних світильників:

- Доповнення. Для посилення фотосинтезу. У цьому випадку використовуються світлодіодні світильники в поєднанні з природним сонячним світлом;

- Періодична. Додаткове світлодіодне освітлення використовується лише для того, щоб мати можливість контролювати період денного світла;

- Повний заміник сонячного світла. Ця схема максимально покращує процес контролю росту рослин. Варто зазначити, що повна заміна денного світла застосовується лише в приміщеннях з кліматичним режимом. Тільки підтримуючи рівновагу, можна збагатити оптимальну швидкість росту рослини.

Перш ніж встановлювати світлодіодні вирощувальні світильники в теплиці, важливо розібратися в перевагах його для рослин.

У рослинах відбувається складний хімічний процес: з простих молекул будуються гігантські органічні ланцюги, що утворюють рослину. Для всіх процесів потрібна енергія, і в реальних умовах життя рослини використовують сонячні промені, щоб отримати її. Легкий фотон потрапляє в лист і запускає біохімічні реакції, результатом яких є збільшення маси – розвиваються корінь, стебло, листки, плоди. Жодне світло не означає фотосинтезу, і немає рослини без фотосинтезу. Ніякого кореневого розвитку, пагони не мають нових листків, не утворюються бутони, і ви навіть не можете мріяти про плоди.

Штучне освітлення повинно забезпечувати засвоєння, яке необхідне для росту рослин. Світлодіодне асиміляційне освітлення дозволяє збільшити урожай з кожного квадратного метра та скоротити період вирощування. Світлодіодні світильники із специфічним спектром світла - ідеальне рішення.

Кожен вид рослин має різні вимоги до освітлення, що відрізняються також на стадії розвитку рослин. Найбільше світла потрібно для овочів пасльону, перцю та баклажанів, які потребують більше світла, ніж помідори, а якщо їм не вистачає необхідного світла, вони просто розпушують квіти. Помідори черрі менш «гоłodні». Огірки, листяні салати і зелень можуть робити з меншим світлом, а кріп не може. Ключовий момент тут полягає в тому, що рослинам, які вирощуються для вживання в їжу листя, потрібно менше світла, ніж рослинам, вирощеним для квітів і плодів.

Додаткове світлодіодне освітлення в теплицях дійсно важливо взимку, навесні та восени, коли день короткий. Рослини фотоперіодичні, тобто для переходу від вегетації до стадії цвітіння або плодоношення їм потрібна певна тривалість денного світла. Рослинам із довгим денним світлом потрібно більше 12 годин, щоб почати цвітіння, рослинам із коротким днем - менше. Є рослини, нейтральні до денного світла.

За спектрочутливістю рослин слід враховувати не тільки загальний потік світла, але і його спектр. Іншими словами, не кожен світлодіодний відросток підходить для додаткового освітлення рослин в теплиці. Чим більше світла випромінюється в правій частині спектру, до якого рослина сприйнятлива, тим

ефективніше це вплине на ріст рослини. Ми робимо асиміляційне світло з врахуванням характеристик системи для кожної культури. Світлодіодна система освітлення не заважає іншим системам теплиць, включаючи, наприклад, систему затінення.

Всі рослини сприймають світло по-різному. Це потрібно враховувати під час використання світлодіодних світильників у теплиці.

Відповідно до вимог освітлення всі рослини можна розділити на три групи:

- Світлолюбиві. У природі росте на відкритому просторі. Вони не переносять навіть легкого затінення. Рослини цієї групи воліють рівень освітлення не менше 10000лк.

- Середньосвітлолюбиві. Рослини, які потребують рівня світла 3-5 тис.лк.

- Тіневитривалі. Може рости при рівні світла 500-1000 люкс.

Рослини кактусів і пасльонових - це короткі або нейтральні рослини ДІС. Капуста, коренеплоди будуть цвісти довгим днем.

Деякі породи квітів настільки особливі, що потребуватимуть поєднання коротких та довгих ДІС. Основне правило полягає в тому, що тропічні рослини належать до рослин короткого дня та типу північних до довгих днів. Рослинам потрібне світло на всіх стадіях розвитку.

Тому якщо рослини не ростуть і не квітнуть, розсада розтягується, виробники повинні додати додаткову світлодіодну систему освітлення для теплиці. Найскладніше вибрати світлодіодні лампи для вирощування освітлення, оскільки існує велика кількість садівничих ламп, які відрізняються ціною, енергоефективністю та спектром. До недавнього часу існувала загальна думка, що для рослинності рослинам потрібна переважно синя частина спектру, а червона - для цвітіння та плодоношення. Дотримання цього правила – це причини несмачних, милоподібних овочів та безсмакової зелені. Рослинам потрібен повний спектр, а не монохромний світлодіод, і це потрібно враховувати при виборі світлодіодних світильників. Рослини, які потребують мало світла в природних умовах, дуже скоро досягнуть точки, коли збільшення

кількості світла не принесе жодних змін. Підвищення інтенсивності світла, що надається рослині, не гарантує збільшення зростання. Нестача або надлишок освітлення може бути небезпечним для посівів у теплиці.

Нестача світла:

1. Перша і найвірогідніша ознака нестачі світла - опадання листя. Рослини намагаються компенсувати недолік світла зменшенням площі листя;
2. Також потрібно звернути увагу на встановлений для рослини режим світла. У такому випадку нижнє листя рослини починає жовтіти і сохнути.
3. Плодоносні рослини не цвітуть у належний час або не цвітуть, але їх квітки менші та нижчі за якістю, як це стосувалося до цього виду культур.
4. Зазвичай барвисті листки рослини стають просто зеленими;
5. Дослідження росту відсутні, подовжені стебла з довгими міжвузлями.

Надлишок світла:

1. Листя в'януть;
2. Квітуча рослина починає цвісти як завжди, але швидко в'яне таким чином, що не характерно для цієї рослини;
3. Коричневі або сірі плями з'являються на листках через опіки;
4. Листя кланяються;
5. Листя зморщуються і відшаровуються. Звичайно, багато з цих симптомів також можуть бути ознакою інших проблем, тому якщо ви хочете бути задоволеними врожаєм, до проблем потрібно підходити комплексно.

Давайте визначимося, які світлодіодні світильники ростуть підходять для додаткового освітлення рослин у теплицях.

Світлодіодні світильники набирають все більшої популярності в тепличних програмах. Як було сказано раніше, рослинам необхідне світло. Дуже часто природного денного світла недостатньо для розвитку рослин та цвітіння в теплицях, особливо в осінній та зимовий сезон. З цієї причини для додаткового освітлення парникових речовин використовують штучні світильники. Існує ряд ламп, які використовуються для загального освітлення, але мало хто з них оптимізований для вирощування рослин у теплицях,

закритих садах та вертикальних господарствах. Тому для садівництва застосовують спеціальні лампи з оптимізованим спектром. Існує небагато технологій, що застосовуються для спеціальних світильників для садівництва.. Хоча світлодіодні вирощувальні світильники є відносно новими для зростання рослин, вони швидко забирають свою частку ринку у садівництві.

Не всі світлодіодні світильники хороші для застосування в теплицях. Важливо враховувати довжину хвилі окремих світлодіодів, а також коефіцієнт світлодіодів. Іншими словами, світловий спектр дуже важливий для планування світла для доповнення або заміни світла. Існує прямий зв'язок між фотосинтезом та спектром та інтегралом денного світла (ДІС) фотосинтетичного випромінювання (ФАР). Найбільш ефективні довжини хвиль для фотосинтезу - червоні 660 нм і сині 430-450 нм з великим співвідношенням синього в спектрі, найкращі на етапах розмноження та вегетації. Синій спектр допомагає виробляти інгібітори росту, які сприяють утворенню рослин, покращують щільність і товщину стебел та листя. Світло з більшим співвідношенням червоного спектра, особливо з піком 660 нм, найкраще для цвітіння та плодоношення, розвитку коренів. Зараз проводиться багато досліджень з метою оптимізації спектрів та створення ідеального світла для ефективного використання світлодіодних світильників.

### **3.2 Переваги та недоліки СД ОП для теплиць**

Світлодіодні світильники – це складний освітлювальний прилад, його продуктивність багато в чому залежить від технічних характеристик. Для вибору світлодіодних світильників для рослин слід враховувати такі фактори, як тип рослини, який потрібно вирощувати, етап розвитку рослини та площа освітлення. На відміну від технології НЛВТ, де світло випромінюється у площині світлодіодів 360 градусів, є джерелами спрямованого світла. Вторинні лінзи можна використовувати для фокусування світла і рівномірного спрямування його на зростаючу поверхню, куди це потрібно. Це допомагає

уникнути світловідбивачів великої площі та мінімізувати відтінок тіні світлодіодних світильників та підвищити рівномірність освітлення. Світлодіоди ідеально підходять для росту рослин.

Критичними технічними характеристиками світлодіодних світильників є:

- Фотосинтетичний фотонний потік (PPF). Це кількість фотонів у спектрі ФАР за секунду. Він вимірюється в мкмоль/с.

- Фотосинтетична щільність потоку фотона (PPFD). Це кількість фотонів, які падають від зростаючих світлодіодних вогнів на квадратний метр поверхні в секунду. Він вимірюється в мкмоль  $m^{-2}s^{-1}$ . Для вимірювання цього параметра використовується квантовий метр. PPFD від зростаючого світла багато в чому залежить від загальної величини PPF світлодіодного освітлення та оптичної системи і висоти її кріплення.

- Спектр. Деякі частини спектру ФАР менш ефективні, ніж інші, але точний склад спектру залежить від типу рослини та стадії його розвитку та умов вирощування (без сонячного світла, недостатнього сонячного світла). Навіть при великій кількості PPF рослини можуть отримувати світло в менш ефективному спектрі ФАР, наприклад, зелений та жовто-оранжевий, таким чином знижуючи ефективність світла фотосинтезу.

- Ефективність. Ефективність вирощування являє собою відношення випромінюваних фотонів на витрачений ватт. Якісні світлодіодні рослинні світильники матимуть ефективність до 2,7 ммоль/Вт.

- Розміри. У теплицях рослини отримують ідеальне світло від сонця. Вони використовували сонячне світло мільйони років для фотосинтезу, тому немає жодної причини, чому вони не повинні отримувати стільки сонячного світла, скільки потрібно. Великі об'ємні світильники мають великий тінювий слід, що запобігає потраплянню сонячного світла на поверхню рослини. Чим менший світлодіодний світильник, тим менша його тінь, тим більше природних сонячних променів отримують рослини. Цей параметр не так важливий у приміщеннях для вирощування та інших умовах, коли рослина не отримує сонячного світла.

- Кут викидів. Якщо ви не вирощуєте одну рослину, для рівномірного покриття більшої площі потрібен широкий кут випромінювання світлодіодного світла. Це можна зробити як шляхом вибору підходящої вторинної оптики для світлодіодів з правильною кривою світла, так і за всією схемою установки системи.

- Управління теплом. Світлодіоди не випромінюють стільки світла, як лампи НЛВТ. Чим вище температура на світлодіоді, тим вище погіршення оптичного виходу та терміну експлуатації. Для управління теплом від світлодіода в світильнику використовується кілька варіантів. Одне - пасивне охолодження із застосуванням алюмінієвих радіаторів. Іншим є активне охолодження, яке зазвичай робиться за допомогою вентиляторів, але є деякі компанії, які пропонують більш екзотичні методи, наприклад водяне охолодження. У нас є як активні, так і пасивні охолоджені світлодіодні світильники, хоча пасивне охолодження для масштабних професійних проектів є кращим.

- Напруга. Найпоширеніша напруга в світлодіодних світильниках, з якими можна зустрітись, є універсальною 110-265В змінного струму. Ця електрична напруга підходить для домашніх господарств більшості частин світу. Однак в оранжереях зазвичай встановлюють вхідні світильники напругою 400 В.

- захист від напруги (IP). Рейтинг IP дуже важливий для світлодіодних світильників, особливо в теплицях. Ви можете зустріти високу вологість і туман у теплицях. Це чудово для рослин, але не добре для електроніки. Тому важливо ретельно розглянути рейтинг IP, вибираючи світильники рослинництва. IP-65 може забезпечити надійну роботу протягом тривалого часу. У вентиляторних світильниках практично неможливо досягти цього IP, тому їх не рекомендують для професійного використання.

На фотосинтез сильно впливає не тільки інтенсивність та спектральні композиції, але й графік освітлення, або співвідношення часу, яке рослина проводить у світлі та у темряві. Морфологією деяких рослин та стадіями



вегетації/цвітіння можна керувати, змінюючи час освітлення. Збільшення інтегралу денного світла в рослинах короткого дня може спричинити порушення стадії цвітіння. Деякі рослини в період денного світла нейтральні, напр. троянди, які не впливають на період освітлення. Перш ніж встановлювати світлодіодні світильники, слід знайти наші світлові переваги рослин, на яких вони будуть рости.

Його можна розміщувати дуже близько до рослин, оскільки вони не виділяють багато тепла і не можуть спалити листя. Залежно від потужності світлодіодного світла, відстань може бути не менше 10 см від рослини. Цього можна досягти за допомогою підвісних світильників вирощування рослин. Мотузки можуть допомогти відрегулювати необхідну відстань від рослини. Розміщення світлодіодного освітлення має велике значення для розвитку рослин.

Переваги світлодіодних світильників:

- Як було зазначено раніше, світлодіоди можуть дозволити оптимізацію спектру з акцентом на червону та синю частину спектру та точну настройку спектру ФАР.

- Світлодіодні світильники не виділяють багато тепла, що дозволяє розміщувати їх дуже близько до рослин і навіть між навісом рослин. Очевидно, пожежонебезпека цих вогнів мінімальна.

- Світлодіодні світильники не містять ртуті та інших небезпечних речовин.

- Невеликі розміри, мала вага та без громіздких баластів - це особливості, що дозволяють використовувати світлодіоди як у тепличному, так і у вертикальному вирощуванні ферми.

- До 50% економії споживання електроенергії порівняно з лампами НЛВТ.

Недоліки світлодіодних світильників:

- Хоча ефективніші, ніж у багатьох звичайних джерел світла, які використовуються в садівництві, вони мають значно вищу ціну.

- Ще немає розроблених стандартів для його використання в світлодіодних садівничих освітленнях.
- Відносно нова технологія, яка буде вдосконалюватися з року в рік.

### 3.3 Генерація короткотривалих імпульсів СД

Генерувати ультракороткі імпульси світла непросто. Не кажучи вже про те, що навіть виявлення та вимірювання таких коротких імпульсів саме по собі є технологічною проблемою.

В якості джерела світла використовується звичайний світлодіод (синій 460nm), керований ланцюгом для генерації надкоротких імпульсів. З наведеної нижче схеми видно, що світлодіод приводиться в рух лавинним транзистором ZTX415, зміненим на 270 В. Заряд накопичується в конденсаторі С1 і потім вивільняється за дуже короткий час, коли імпульс надходить на основу транзистора. На резисторі R2 до 0,1 Ом може прийматися сигнал, що відповідає імпульсу струму, що протікає в діоді (рисунок 3.1).

Слід імпульсу струму: це приблизно 0,5 В і тривалістю менше 10нс, тому надзвичайно короткий. Тривалість та амплітуда імпульсу сильно залежать від величини ємності конденсатора С1. Збільшення значення С1 збільшує тривалість імпульсу, а зменшення його може ще більше скоротити тривалість імпульсу.

Для скорочення тривалості імпульсу необхідно зменшити паразитичну індуктивність шляху з подальшим струмом, зокрема опором R2 та з'єднаннями між С1, транзистором, світлодіодом, R3 і D1. Цього можна досягти дуже короткою проводкою та використанням великої площі заземлення. Резистори також слід вибирати з низькою паразитарною індуктивністю.

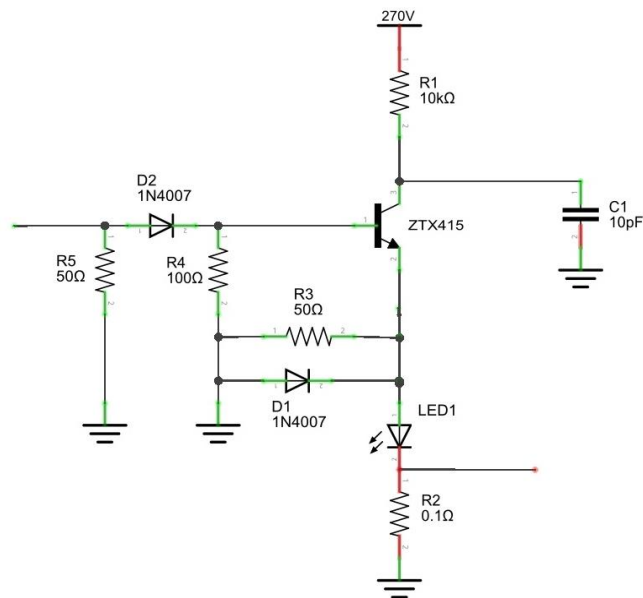


Рисунок 3.1 Схема включення імпульсного СД

Значення R3 і R6, 50 Ом мають функцію, що дозволяє рециркулювати струм, який проходить через світлодіод, щоб сприяти швидкому відключенню імпульсу.

За позитивним імпульсом йде негативний імпульс, це допомагає спорожнити світлодіодний перехід від носіїв заряду, внаслідок чого світлодіод швидко вимикається після імпульсу.

Генератор високої напруги, який, починаючи зі стабілізованих 5В, генерує 270В, необхідні для зміщення лавинного транзистора. На мідній основі, з'єднаній із землею, на якій розміщуються компоненти, виробляють надкороткий імпульс.

### 3.4 Висновки до розділу

При додатковому освітленні червоні та сині частини спектру ФАР найбільш ефективні для розвитку та росту рослин, інші спектри менш ефективні для використання у освітленні. Для різних рослин, а також для різних етапів їх розвитку потрібні різні співвідношення червоного та синього спектрів.

## 4 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

### 4.1 Експерименти з імпульсними джерелами світла

Імпульс випромінювання світла робився за допомогою стандартизованого осцилятора, який був здатний лише змінювати частоту сигналу. Таким чином, коефіцієнт зарядки кожного експерименту завжди залишався 1, а це означає, що сигнал "увімкнено" був таким, як сигнал "вимкнено". Також у перших двох експериментах, та у перші три дні третього експерименту вікно, яке повністю вимкнуло сигнал, ще не було закінчено, тому інтенсивність світла «вимкненого» сигналу все ще становила  $27,5 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Це було враховано при встановленні денного світла, оскільки сигнал "увімкнено" був нижчим, проте в першому експерименті сигнал "увімкнення" був вищим, ніж вважалося. Всі інтенсивності світла вимірювали квантовим датчиком. Кожна обробка завжди перевірялася за двома процедурами, проведеними одночасно, з яких одна - безперервна система червоного світлодіода, а інша складалася з безперервних білих флуоресцентних трубок потужністю 58 Вт. Обидва способи мали однакове щоденне світло як імпульсна світлодіодна система, за винятком експерименту 1. Проведені експерименти мали частоту від 0,012 до 120 Гц з кроком фактора десять.

Інтенсивність світла кожного варіанту вимірювали на початку експерименту, за винятком імпульсної світлодіодної обробки, яку вимірювали на половині експерименту, оскільки «коробку», яка повністю вимкнула сигнал, було встановлено в середині і в кінці експерименту. Всі інтенсивності світла вимірювали квантовим датчиком.

Наприкінці експерименту була також створена система, яка могла виміряти добовий інтеграл світла (ДІС), це було зроблено для перевірки обчисленої ДІС. Система складалася з фотодіоду, який був пов'язаний з комп'ютером, який служив реєстратором даних. Фотодіод був вперше

використаний в комбінації з квантовим датчиком, щоб обчислити формулу, яка б співвідносила інтенсивність світла до виходу фотодіоду.

Однак траплялися деякі точки даних, коли сигналу взагалі не повинно бути, тому повне темне середовище, обчислена інтенсивність світла від виходу фотодіоду все ще становила  $5 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , це має величезний вплив на щоденний світловий інтеграл, тому що з темрявою протягом 8 годин, це призводить до завищення ДІС в 144300 мкмоль.

Інтенсивність довжини хвилі імпульсної установки світлодіодів була значно більшою, ніж для безперервної світлодіодної установки; це було викликано тим, що імпульсна установка світлодіодів мала інтенсивність світла, яка була в два рази вища, ніж у безперервної світлодіодної установки. Довжина хвилі флуоресцентної обробки складалась в основному з піків у синій, червоній та зеленій частині спектру, але цікаво, що пік у червоній області знаходиться на дещо меншій довжині хвилі, ніж у світлодіодів. Крім того, велика кількість енергії, що надається люмінесцентними лампами, менш ефективно використовується рослиною, оскільки пік приблизно в 550 нм збігається з найнижчою точкою в спектрі поглинання листа (рис.4.1).

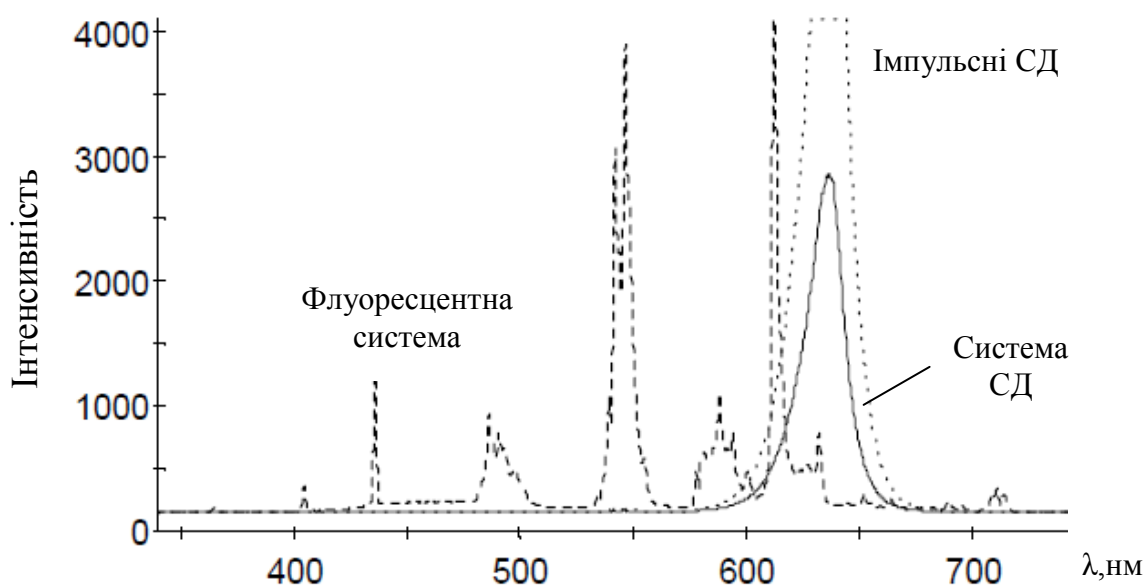


Рис.4.1 – Залежність довжини хвилі від інтенсивності опромінення використаних пристроїв

Безперервні та імпульсні світлодіодні системи мають однакову довжину хвилі; імпульсний світлодіод вищий лише через більш високу інтенсивність світла імпульсної установки. Флуоресцентна система складається в основному з вершин червоного, зеленого та синього кольорів.

Зростання площі рослини, розташованої між кожним вимірюванням було графічно розраховано в часі. В основному це призвело до чіткої картини прихильності до навколишнього середовища протягом перших двох днів, а потім «синусоїдний» тип функції, щодня або кілька днів високого зростання, а потім день або кілька днів нижчого зростання. Ця картина мала місце для всіх методів опромінення та для всіх експериментів, а приклад показаний на рис. 4.2 при 1,28 Гц.

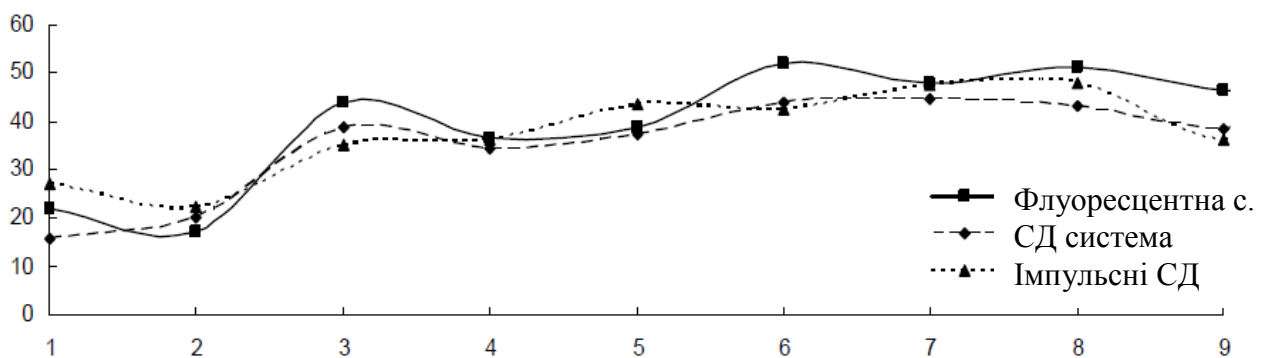


Рисунок 4.2 – Відносний приріст (%) різних методів опромінення між кожним вимірюванням

Це показує виразні закономірності відносного зростання, оскільки перші кілька днів рослинам потрібно окліматизуватися до свого середовища, а після цього демонструвати схему підйомів і падінь. Для усунення картини у відносному зростанні (рисунок 4.2), площа, зайнята в кожному кубі, була побудована в залежності від часу, а потім на цих даних була встановлена експоненціальна крива зростання, щоб отримати міру відносної швидкості росту площі. При побудові графіку експоненціальної кризи зростання перші два дні залишаються поза межами періоду окліматизації рослин. Для безперервної світлодіодної установки в частині А та для імпульсної установки світлодіодів у

частині В. В обох частинах нанесені найвищі та найнижчі криві росту. У безперервній СД установці  $R^2$  - це показник того, наскільки добре прилягання вирівнюється до даних даних, для найвищої та найнижчої кривої росту 0,9972 і 0,9881 відповідно. Для імпульсної світлодіодної установки ці показники становлять 0,999 та 0,992 відповідно. Для обох методів опромінення вказані показники дуже високі, це означає, що придатність дуже хороша.

Співвідношення площі листя та відносна швидкість росту в усіх експериментах була порівняна, щоб побачити, який загальний ефект мало імпульсне опромінення. Спочатку було зроблено графік, щоб перевірити, чи відмінності між експериментами для обох світлодіодних варіантів були подібними до відмінностей між експериментами для флуоресцентної обробки (рисунок 4.3). Зрозуміло, що швидкість росту імпульсного опромінення лежить по тій же лінії, що і при безперервному опроміненні. Але є одна відмінна точка - 0,012 Гц, де явно значно нижчий темп росту. Для співвідношення площі листя (СПЛ) очевидно, що імпульсне опромінення дещо вище, ніж безперервне, де при 0,012 Гц є дуже високе СПЛ і при 120 Гц досить низьке СПЛ.

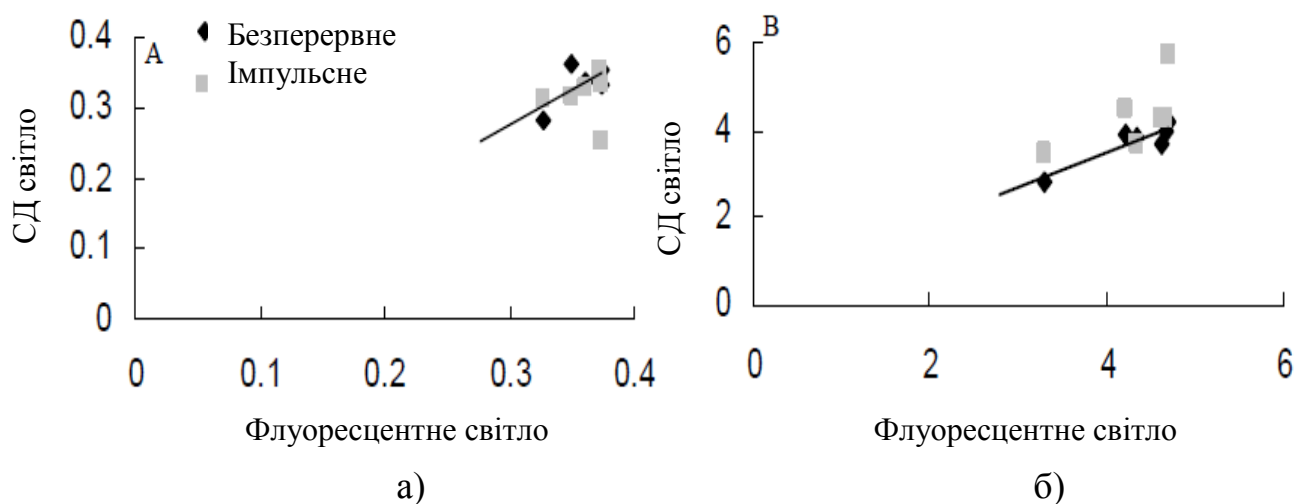


Рисунок 4.3 – Відносна швидкість росту ( $\text{см}^2\text{см}^{-2}\text{день}^{-1}$ )(а) та співвідношення площі листя ( $\text{см}^2\text{мг}^{-1}$ )(б) світлодіодного опромінення порівняно з флуоресцентним

Тенденція в обох графіках базується на безперервному опроміненні. Ефекти, показані на рисунку 4.3, перевіряються шляхом побудови графіку співвідношення площі листка та відносної швидкості росту обох світлодіодних опромінювань проти логарифму частоти імпульсу (рис. 4.4). Щоб перевірити, чи дійсно була різниця між двома світлодіодними методами опромінення, було здійснено один із способів двох лінійних тенденцій, і між двома методами опромінення співвідношення площі листа була статистична різниця та відсутність статистичної різниці між двома методами опромінення відносної швидкості росту площі.

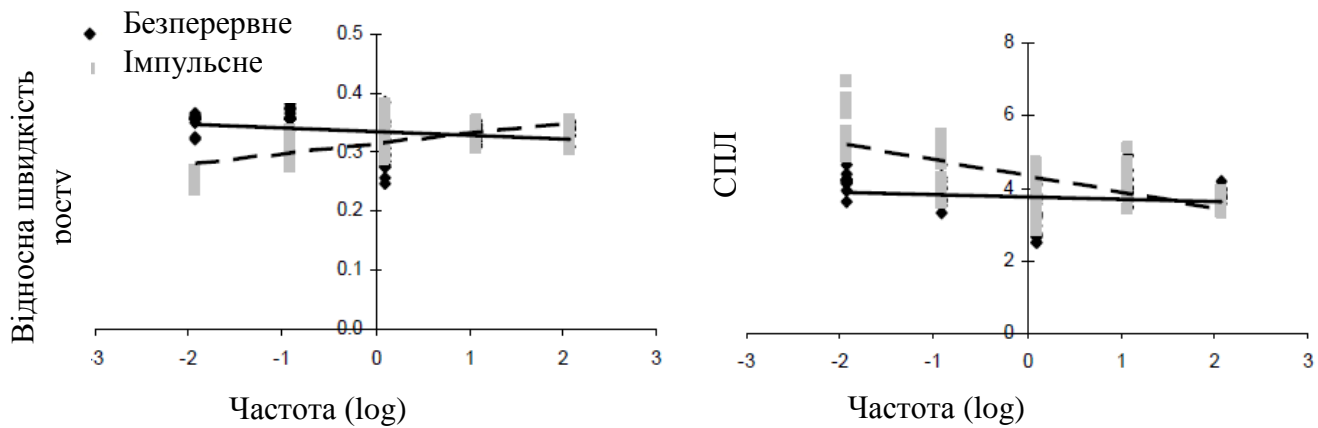


Рисунок 4.4 – Відносна швидкість росту ( $\text{см}^2\text{см}^{-2}\text{день}^{-1}$ )(а) і співвідношення площі листя ( $\text{см}^2\text{мг}^{-1}$ )(б) двох світлодіодних опромінювань, безперервних і імпульсних, порівняно з логарифмом частоти імпульсів

Порівняння проводилося за різні часи, коли проводилися експерименти, позначається як частота імпульсного опромінення, результати відносної швидкості росту площі показані на рисунку 4.5, а результати для співвідношення площі листя показані на рисунку 4.6. Відповідно до цього випробування, існували значні відмінності між різними експериментами для двох контрольних процедур, безперервного флуоресцентного опромінення та безперервного світлодіодного опромінення. Відносна швидкість росту першого експерименту 1,28 Гц є найвищою разом з експериментами 0,012 Гц, 12 Гц і 120 Гц, з яких лише останній не є значно вищим, ніж експеримент 0,12 Гц, що



значно вище другого експерименту 1,28 Гц, який має найнижчу відносну швидкість росту площі. У безперервній світлодіодній установці експерименти 0,012 та 0,12 Гц мали найвищий відносний темп росту площі.

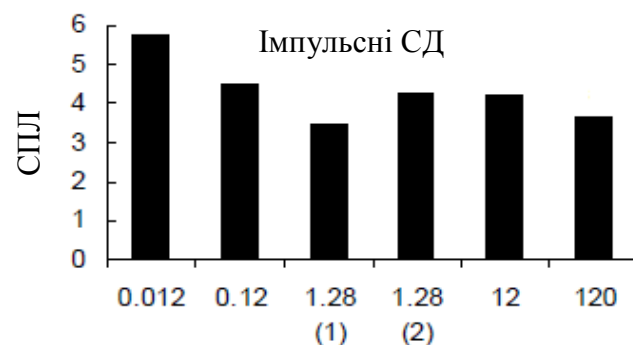
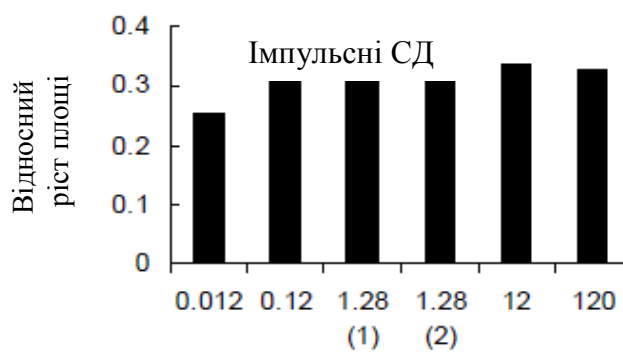
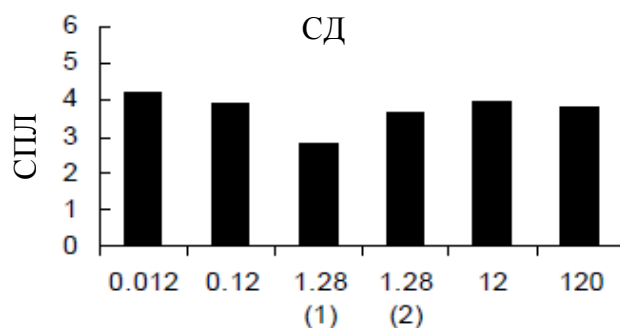
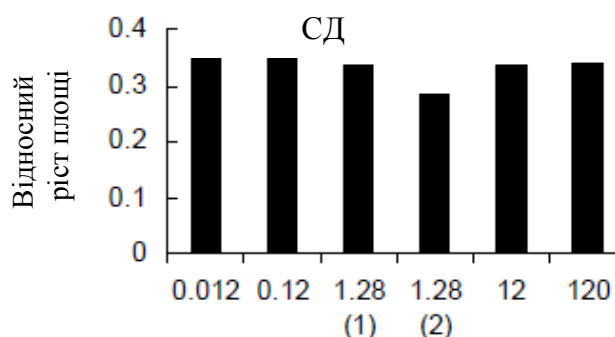
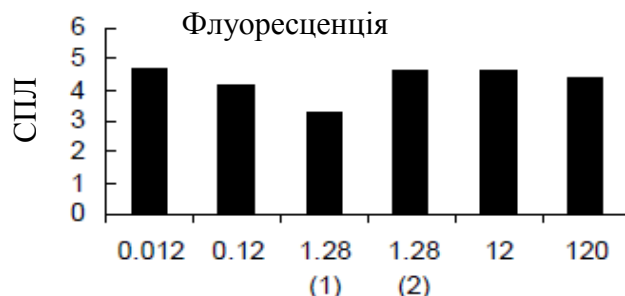
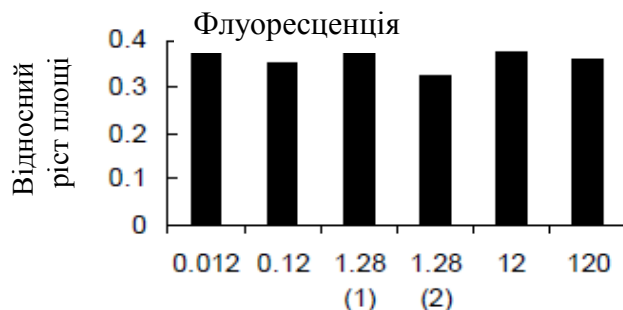


Рисунок 4.5 – Залежність відносної швидкості росту площі співвідношення площі листа ( $\text{см}^2\text{мг}^{-1}$ ) ( $\text{см}^2\text{см}^{-2}\text{день}^{-1}$ ) імпульсних експериментів за трьома методами опромінення

Рисунок 4.6 – Залежність імпульсних експериментів за трьома методами опромінення

У імпульсній установці світлодіод на 1,28 Гц мав найвищий відносний темп росту площі, за ним експерименти 12 та 120 Гц, далі 0,12 Гц, а другий 1,28

Гц та опромінення 0,012 Гц мали найнижчу відносну швидкість росту (рисунок 4.5).

СПЛ першого експерименту 1,28 Гц є найнижчим, за ним слідом експеримент 0,12 Гц, що суттєво не відрізняється від другого експерименту 1,28 Гц та експерименту 120 Гц, які суттєво не відрізняються від експерименту 12 та 0,012 Гц, однак вони обидва значно вищі, ніж раніше обговорювані експерименти. При безперервній світлодіодній установці перший експеримент 1,28 Гц мав найнижчу СПЛ, далі другий експеримент 1,28 Гц, 120 Гц та 0,12 Гц. З них опромінення 0,12 Гц і 120 Гц суттєво не відрізняються від 12 Гц, опромінення 12 Гц суттєво не відрізняється від 0,012 Гц, яка має найвищий СПЛ. У імпульсній світлодіодній установці перший експеримент 1,28 Гц та експеримент 120 Гц мають найнижчу СПЛ, за нею слідує 0,12 Гц, другий 1,28 Гц та 0,12 Гц, і всі вони суттєво відрізнялися від експерименту 0,012 Гц (рис. 4.6).

Довжина хвилі джерел світла, використаних у цьому дослідженні (рис. 4.1), показує, що в червоних світлодіодів випромінювання лежить в області, де листя поглинають його дуже ефективно, тоді як велика кількість випромінювання, що випромінюється люмінесцентними лампами, потрапляє в зони, де листя не дуже ефективно в своєму поглинанні. Тому ці світлодіоди були б ефективнішими джерелами засвоєння світла для росту рослин, ніж люмінесцентні лампи, але це лише в тому випадку, коли розвиток і морфологія рослин не змінюються монохроматичним джерелом світла. Однак багаторазові повідомлення свідчать про те, що додавання блакитного світла має важливе значення для здорового розвитку рослин.

"Синусоїдальні" схеми росту ймовірно, спричинені тим, що рослини накопичують крохмаль за один день, і лише інвестують цукор у відростання існуючих плодів, а на наступний день використовують частину накопиченого крохмалю разом із щойно придбаним цукром для створення нових фронтів, однак це пояснення не обґрунтоване експериментальними даними.

Відповідність розрахункової швидкості росту площі була такою, як очікувалося, оскільки рослини зазвичай ростуть за експоненціальною схемою зростання. Іноді траплялися деякі відхилення від цієї картини, але це, ймовірно, було спричинене розростанням ряски, що зростають одна над одною, так що не всі наявні площі можна виміряти. Крім того, заростання також спричиняє самозатінення, що призводить до зниження росту плодів.

#### **4.2 Імпульсні світлові ефекти**

З рисунка 4.4, СПЛ зменшується від найнижчої частоти імпульсів до найвищої частоти, і ця тенденція суттєво відрізняється від тенденції в безперервному режимі світлодіодної установки, що дуже близька до прямої лінії. Для відносних темпів зростання площ ця різниця не виникає, тому тенденція здається трохи нереальною. При частоті імпульсів 1,28 Гц в обох повторях імпульсна світлодіодна установка мала більш високу відносну швидкість росту, рівну суху масу, і, таким чином, більше співвідношення площі листя від безперервного опромінення світлодіодів. Результати вимірювань флуоресценції показали, що різниця у ефективності PSII майже не спостерігається, а якщо і була різниця, рослини, що вирощували при імпульсних світлодіодах, мали нижчу ефективність. З цих результатів очевидно, що рослини адаптують свої фотосистеми, а отже і весь свій фотосинтез до імпульсного світла. Рослини під імпульсним світлом здаються менш ефективними, оскільки їм потрібна більша кількість фотосинтетичної тканини, площа лицьових частин, щоб мати змогу виробляти стільки ж сухої маси. З експериментів Чуа і Діксона, які також використовували імпульсне освітлення здається, що за час спалаху приблизно 0,4 секунди, як і в цьому експерименті, приріст сухої маси за 72 години становить приблизно на 300% більше, ніж за світловий період 12 годин. Вони припускають, що це викликано частотою спалаху та тривалістю темного періоду. Крім того, вони не вимірювали будь-якого приросту площі, тому порівняння не можна

продовжувати. Poni and Intriери показали, що на частоті 1,33 Гц ефективність фотосинтезу листя винограду становить приблизно 75% фотосинтезу при сонячному світлі; однак вони не отримали однакою щільність потоку фотонів, тому порівняння насправді не вірно. Тому цілком можливо, що швидкість фотосинтезу рослин при 1,28 Гц є такою ж, як і для тих, що знаходяться під дією постійного опромінення.

При частоті імпульсів 12 Гц, і тривалості імпульсу 0,4 секунди з подальшим рівним темним періодом, відносна ефективність PSII трохи нижча, ніж у безперервного світлодіодного світла, що призводить до меншої сухої маси для імпульсних установок. Однак як відносна швидкість росту площі, так і СПЛ суттєво не відрізняються. Це вказує на те, що рослини під імпульсним світлом не спрацьовують на збільшення площі листя, щоб збільшити виробництво асиміляту. Це явно не погоджується з даними, опублікованими Чуа та Діксоном, а також іншими згаданими у їх статті, які свідчать про певне збільшення виробництва сухої маси на тривалість нижче 1 секунди порівняно з фотоперіодом 12 годин. Але вони порівнюють однакові інтенсивності світла, а не рівні світлові суми, як у цьому експерименті, крім того, їх дані були непридатними для аналізу Sager and Giger, тому відносна ефективність переривчастого та безперервного світла невідома.

При частоті 0,012 Гц і тривалості імпульсу 40 секунд з подальшим рівним темним періодом, відносна ефективність PSII за допомогою імпульсного світла трохи нижча, але більш-менш дорівнює ефективності безперервної світлодіодної установки. Однак суха маса рослин під імпульсним світлом нижча, тому це є наслідком іншого обмеження на шляху фотосинтезу до росту рослин. Відносний приріст площі під імпульсним світлом також зменшується, ймовірно, через обмежену кількість асимілятів, доступних для отримання нової тканини. Загалом здається, що приріст площі значно зменшується, ніж суха вага, оскільки СПЛ значно вищий для рослин, що вирощуються при імпульсному світлі, він навіть перевищує СПЛ рослин, вирощених під флуоресцентним світлом, і таким чином долається звичний вплив червоного

світла. Чуа і Діксон демонструють однакове зниження сухої ваги, приблизно протягом однієї хвилини імпульсу, вони навіть кажуть, що це лікування призводить до найменшої сухої маси. Це співпадає з даними, однак це не впливає на ефективність фотосинтезу.

При частоті імпульсів 120 Гц і тривалості імпульсу 0,004 секунди з наступним рівним темним періодом, відносна ефективність PSII імпульсної установки дорівнювала або навіть була трохи вище, ніж у безперервних світлодіодних пристроях. В результаті подібної ефективності суха маса рослин під імпульсним світлом також дорівнювала тій, що знаходиться під безперервним світлом, швидкість росту рослин під імпульсним світлом також дорівнювала тій, що під безперервним світлодіодним світлом. Однак, коли ми дивимось на СПЛ, імпульсні світлодіодні установки мають нижчий СПЛ, ніж постійні світлодіодні установки. Рослини реагують так, ніби їм не потрібно збирати більше світла, і замість цього вони можуть вкладати свої асимілати в кореневу тканину.

### **4.3 Розрахунок системи освітлення**

Світлові прилади з великою кількістю світлодіодів можна вдосконалювати, використовуючи різні за спектром випромінювання та орієнтацією джерела світла. Розглянемо проектування освітлювальної тепличної установки із світлодіодами. Для розрахунку освітленості нам необхідно мати світловий розподіл джерела світла.

На основі результатів досліджень ефективності джерел випромінювання та світлових приладів, для вирощування рослин змодельовано опромінювальний пристрій з світлодіодами типу МТК. В розробленій установці зкомбіновані три довжини хвилі, які найбільше потрібні для рослин, що складаються з 65 % червоного кольору свічення (620-630 нм), 20 % синього (460-470 нм) і 15 % зеленого (525-530 нм).

Для моделювання системи освітлення будемо використовувати теплицю з розмірами 4 м х 3 м, площею в  $12 \text{ м}^2$ . Її геометрія приведена на рис. 4.7. Висота складає 2,5 м, а висота підвісу світлових приладів з урахування конструкції теплиці дорівнює 2,4 м. Вказана геометрія теплиць найбільш часто застосовується для вирощування низькорослих рослин.

В якості опромінювача вибрали матрицю з СД типу МТК.

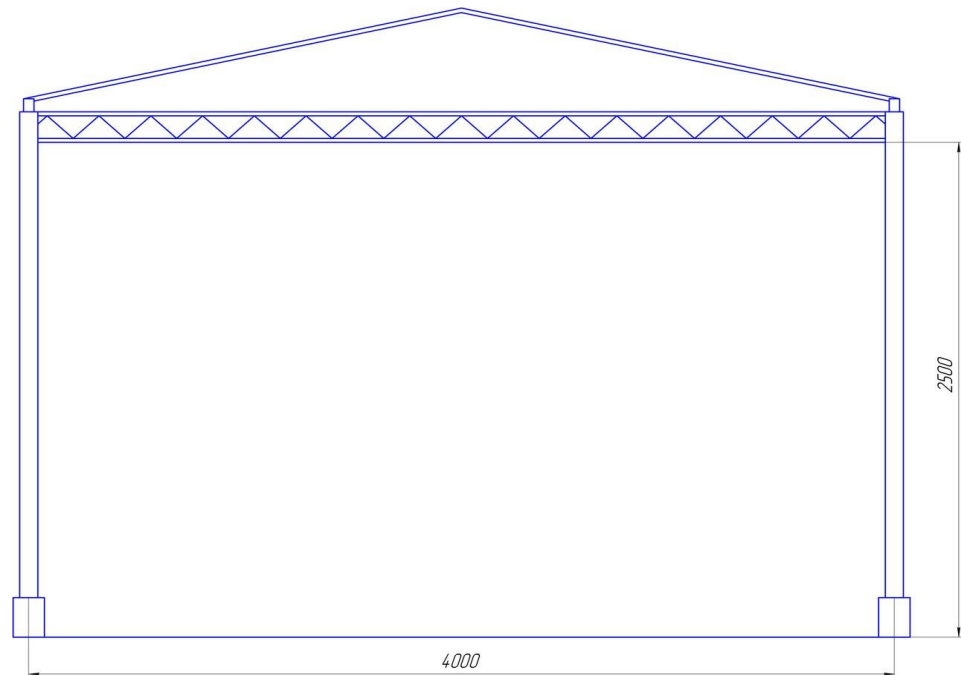


Рис. 4.7 — Геометрія теплиці

Для опромінення дослідної теплиці було розроблено світлодіодний світильник, розмірами  $0,1 \text{ м} \times 0,1 \text{ м}$ , яка складається з 81 СД (рис. 4.8), з них 12 зелених світлодіодів, 18 синіх та 51 червоний.

Нехай заданий середній рівень опромінювання для світлокультури складає 3000 лк. Він нормується на висоті 0,85 м від поверхні землі з урахуванням висоти столика 0,5 м та початкової висоти рослин, що прийнята 0,2 м, і на висоті 1,5 м для кінцевої висоти рослин. Коефіцієнти рівномірності рівня освітленості відповідно повинні бути не менше, ніж 0,9 для висоти 0,8 м та 0,7 для висоти 1,5 м. Для підлоги використано налаштування програми для об'єкту “бетон” з коефіцієнтом відбивання 27 %. Стіни змодельовані гіпсовою

штукатуркою з коефіцієнтом відбивання 78 % та стандартна стеля з коефіцієнтом відбивання – 70 %.

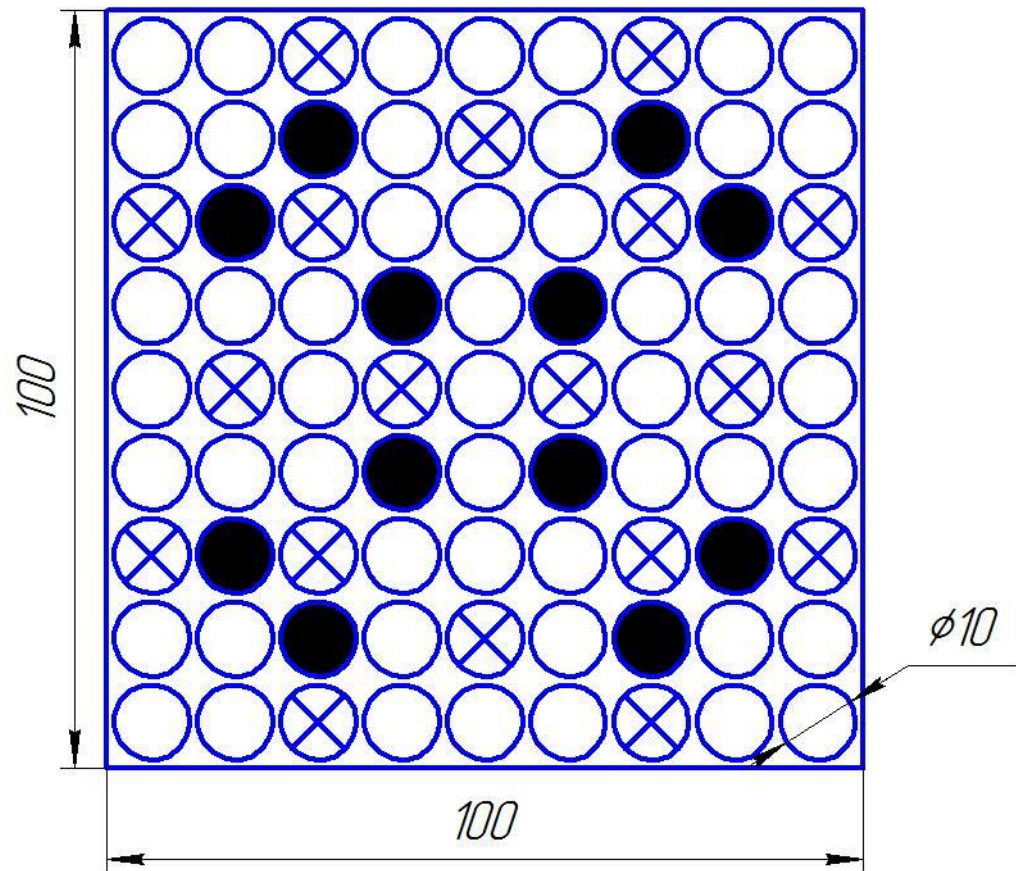


Рис. 4.8 – Світлодіодний світильник для освітлення домашніх теплиць

Характеристика світлодіодів типу МТК:

Струм: 20мА

Вхідна напруга: 3-3,2В (для синіх і червоних)

1,9-2,1 (для зелених)

Кут освітлення: 20°

Довжина хвилі: 460-470 нм (для синіх)

525-530 нм (для зелених)

620-630 нм (для червоних)

Розташування світильників вибрано у теплиці, шляхом їх безпосереднього кріплення до них. Таким чином, структура полів складається з

6 рядів по 7 СП (рис 3.8), які розташовані на фермах теплиці, з монтажною висотою 2,4 м.

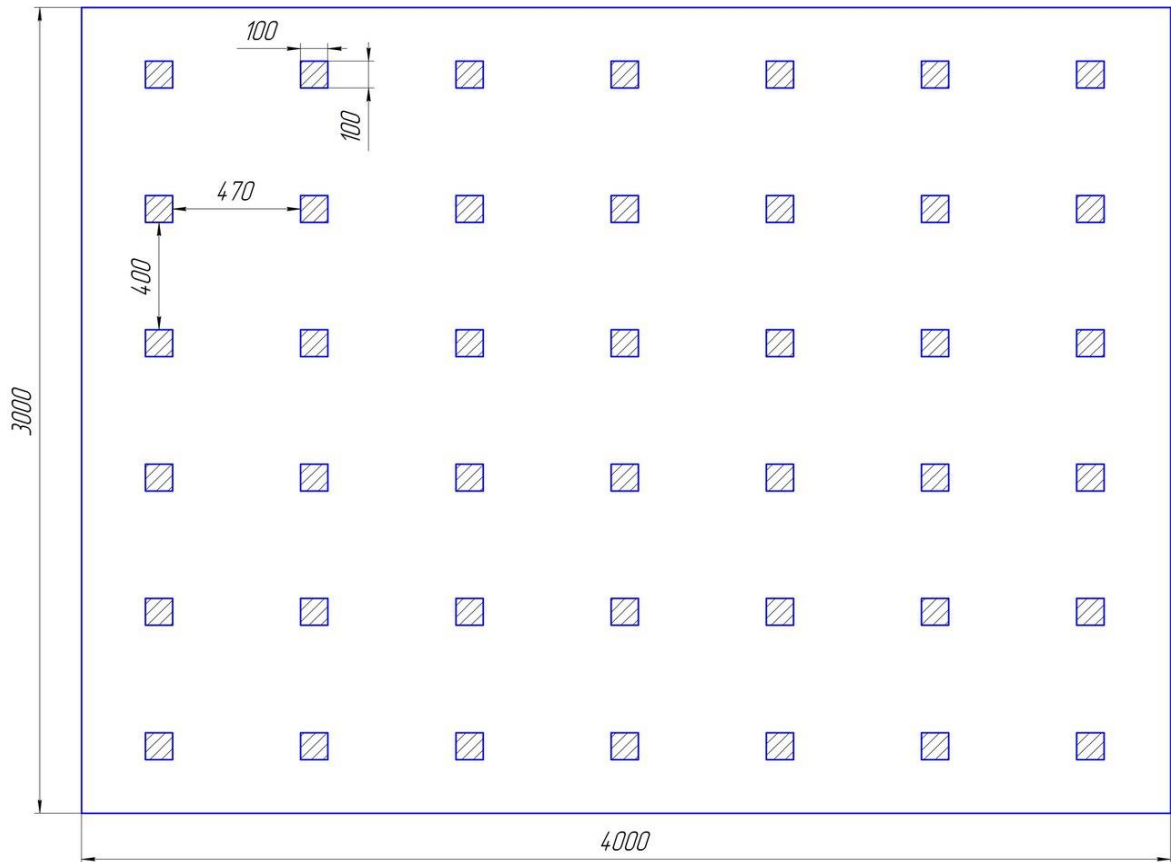


Рис. 4.9 – Схема розташування світильників у теплиці

Таким чином використано 42 СП для імпульсного освітлення.

#### 4.4 Висновки до розділу

На основі результатів досліджень ефективності джерел випромінювання та світлових приладів, для вирощування рослин змодельовано опромінювальний пристрій з світлодіодами типу МТК.



## 5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 5.1 Середовище Matlab

**MATLAB** — пакет прикладних програм для числового аналізу, а також мова програмування, що використовується в даному пакеті. Система створена компанією *The MathWorks* і є зручним засобом для роботи з математичними матрицями, малюванням функцій, роботи з алгоритмами, створення робочих оболонок (user interfaces) з програмами в інших мовах програмування. Хоча цей продукт спеціалізується на чисельному обчисленні, спеціальні інструментальні засоби працюють з програмним забезпеченням Maple, що робить його повноцінною системою для роботи з алгеброю.

MATLAB надає користувачеві велику кількість функцій для аналізу даних, які покривають майже всі області математики, зокрема:

- Матриці та лінійна алгебра — алгебра матриць, лінійні рівняння, власні значення і вектори, сингулярності, факторизація матриць та інше.
- Многочлени та інтерполяція — корені многочленів, операції над многочленами та їх диференціювання, інтерполяція та екстраполяція кривих.
- Математична статистика та аналіз даних — статистичні функції, статистична регресія, цифрова фільтрація, швидке перетворення Фур'є та інші.
- Обробка даних — набір спеціальних функцій, включаючи побудову графіків, оптимізацію, пошук нулів, чисельне інтегрування та інше.
- Диференційні рівняння — вирішення диференційних і диференційно-алгебраїчних рівнянь, диференційних рівнянь із запізнюванням, рівнянь з обмеженнями, рівнянь в часткових похідних та інше.
- Розріджені матриці — спеціальний клас даних пакету MATLAB, що використовується у спеціалізованих додатках.
- Цілочисельна арифметика — виконання операцій цілочисельної арифметики в середовищі MATLAB.

Після виклику Matlab із середовища Windows на екрані виникає вікно, зображене на рис. 5.1.

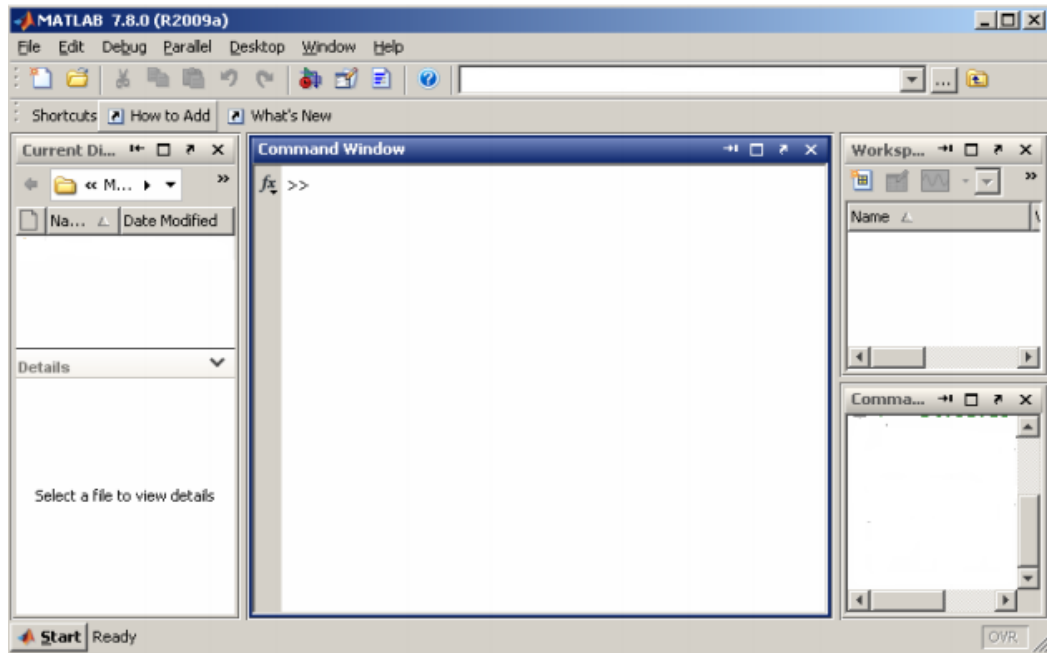


Рис. 5.1 – Вигляд повного вікна Matlab

Якщо закрити усі бокові допоміжні підвікна, залишиться одне вікно, яке називають "командним" (Command Window) середовища Matlab (рис. 5.2).

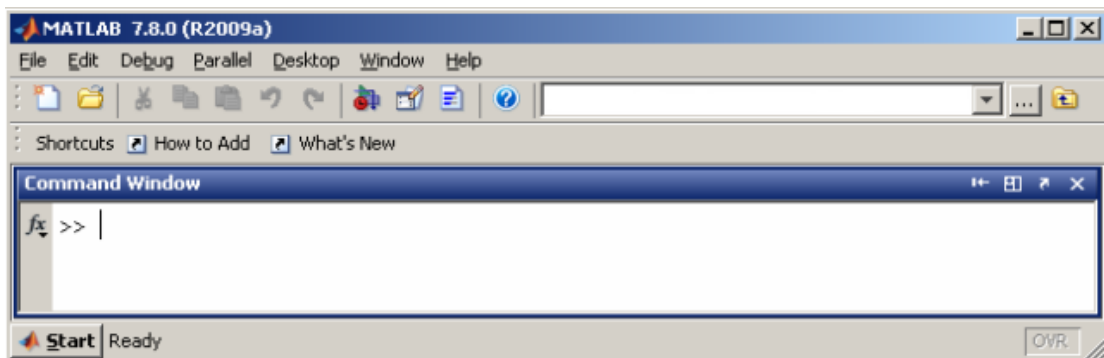


Рис. 5.2 – Вигляд командного вікна Matlab

Це вікно є головним у Matlab. У ньому виникають символи команд, що набираються користувачем на клавіатурі дисплея, відображуються результати виконання цих команд, текст програми, яка виконується, і інформація про помилки виконання програми, розпізнані системою. Ознакою того, що Matlab

готова до сприйняття і виконання чергової команди, є поява в останньому рядку текстового поля командного вікна знака запрошення (>>), праворуч якого миготить вертикальна риса. У верхній частині вікна (під заголовком) розміщений рядок меню, в якому містяться меню File, Edit, Debug, Parallel, Desktop, Windows, Help. Щоб відчинити якесь меню, потрібно встановити на ньому курсор миші і клацнути її лівою кнопкою. Тут відзначимо лише, що для виходу із середовища Matlab достатньо відчинити меню File і обрати у ньому команду Exit MATLAB, або просто зачинити командне вікно, клацнувши лівою клавішою миші, коли курсор миші встановлений на зображенні верхньої крайньої правої кнопки цього вікна (з позначенням хрестика).

### **5.1.1 Світлодіодні масиви**

Для дослідження впливу імпульсного світла, що забезпечується світлодіодами, необхідно було створити світлодіодні масиви, які здатні забезпечити достатню віддачу світла на досить великій площі. Зроблено вимикаючий ящик, щоб переконатися, що масиви не можуть бути короткозамкненими, і який також міг захистити масив від занадто високого рівня струм. Крім того, була виготовлена коробка, яка могла повністю відключити живлення вночі. Цей блок містив реле, яке могло відключити струм, коли б не було живлення, і ввімкнути потік струму під час живлення. А для імпульсної установки було виготовлено спеціальний ящик, який повністю вимикав струм, оскільки завжди був якийсь струм виток, коли сигнал повинен бути вимкненим.

### **5.1.2 Введення для сценаріїв Matlab**

Поодинокі світлодіоди були встановлені на мідному «полюсі», який виступав в ролі радіатора. З них було виготовлено вісім таких «жердин», діаметр яких був дванадцять мм і довжиною десять см. Верхня частина «жердин» була абсолютно плоскою. На цій верхній частині були встановлені окремі світлодіоди. Після того, як світлодіоди були прикріплені до полюсів, їх

підключили. Світлодіоди були повішені на рухому раму, яка знаходилася на п'ять см над квантовим датчиком, цей кадр дозволив перемістити світлодіоди на десять см відносно квантового датчика. Світлодіоди працювали зі струмом 20 мА.

Світлодіоди, встановлені на полюсах, встановлюють інтенсивність світла. На основі цих вимірювань інтенсивність світла було оцінено поліном для моделювання того, яка буде інтенсивність світла на кожній відстані від світлодіода (таблиця 5.1). Ці многочлени є основним вкладом для розрахунків у програмі Matlab.

Таблиця 5.1 – Поліноми, що оцінюють інтенсивність світла на відстані  $x$  для кожного світлодіода

Колір	Інтенсивність світла на відстані від світлодіода
Синій	$y = -0,0012*x^2 + 0,0086*x + 4,55825$
Зелений	$y = -0.0006*x^2 + 0.0005*x + 2,5285$
Червоний	$y = 0,0002*x^2 - 0,0827*x + 6,519$
Червоно-помаранчевий	$y = -0,0021*x^2 + 0,042*x + 5,441$

Для того, щоб обчислити мінливість у LED-масивах, які там будують, були написані файли сценаріїв Matlab.

Сценарії:

- Make\_list
- Index\_vec
- Червоний (червоний колір може бути замінений будь-яким кольором, змінивши використаний поліном)
- Різноманітність

Файл починається з запитання, який має бути великий масив, щоб обчислити, він запитує розмір однієї сторони квадрата. Це робиться тому, що єдиною можливою формою масиву в цій програмі є квадратна форма. Програма продовжується, запитуючи місця розташування світлодіодів, їх потрібно надати

як такий масив [a b; c d; тощо]. З масиву світлодіодних локацій програма обчислює кількість вставлених світлодіодів і надає це значення як `loop_number`. Згодом вона використовує програму `make_list` для складання списку комірок сітки. Який обчислюється як 1, поки розмір сітки у квадраті та переміщується з метою створення стовпця. Створена змінна - `grid_cells`. Після цього виділяється простір для виходу опромінення, це робиться шляхом складання масиву нулів з шириною `loop_number` та довжиною `grid_size` в квадрат.

Наступний крок – цикл, який обчислює відстань між кожною коміркою. Цикл починається зі створення розташування, яке повторюється стільки разів, скільки є світлодіодів. І для кожного з цих повторів він обчислює відстань, використовуючи файл `index_vec`. Цей файл потребує `grid_cells`, `grid_size` та кожне окреме розташування, визначене тим, у якому циклі він знаходиться, який визначається місцеположенням, як вхідні дані. З цих входів він обчислює відстань, яку має кожна позиція від кожного світлодіода. Однак тепер обчислена відстань не є реальною відстані, оскільки програма обчислює відстань між кожною коміркою, реальна відстань задається шляхом множення відстані, обчисленої на 10, оскільки діаметр світлодіода становить 10 мм. На основі відстані обчислюється інтенсивність світла, для цього розрахунку була створена поліноміальна функція шляхом вимірювання інтенсивності світла кожного кольорового світлодіода на збільшенні відстані та використання цих даних для виготовлення полінома. Інтенсивність світла перевіряється на негативні значення, оскільки негативна інтенсивність світла неможлива. Останній пункт циклу створює масиви опромінення для кожного світлодіода. Ці масиви опромінення такі ж, як і інтенсивності світла, за винятком того, що негативні значення заміщені нулями. Потім петля закінчується.

Тоді `x` визначається як сума всіх масивів опромінення для кожного положення. Ці значення `x` потім залишаються абсолютно однаковими, змінюється лише їхнє положення. Змінна `x` – перелік значень інтенсивності світла; однак початковий масив був квадратним. Так створюється змінна `u`, в

якій  $x$  переставляється в початковий квадрат. Кількість присутніх світлодіодів відображається на виході командою `loop_number`.

Згодом створюється фігура, яка складається з двох кроків. Перший крок містить кольорову карту інтенсивності світла. Другий показує розташування всіх присутніх світлодіодів. Нарешті змінні обчислюються у різноманітності файлів; за допомогою цих змінних можна показати зміни інтенсивності світла в масиві. Він використовує масив інтенсивності світла та розмір сітки в якості входів. З цих входів він обчислює змінні  $z$  і число.  $z$  – стовпець відсотків максимальної інтенсивності світла, а число – рядок чисел, що починається від 1 до розміру сітки, який необхідний для побудови графіку  $z$ . Цей сюжет можна зробити, вставивши команду `'plot (число, z (51, число))'` 51, можна замінити кожним номером, який хоче побудувати, це число означає позицію на осях  $x$  з якого хочеться побудувати сюжет.

Ці сценарії також використали для обчислення розподілів світла, парникового освітлення. Однак деякі рядки повинні бути змінені, щоб програма працювала належним чином, це рядки 17 та 19. Рядок 17 повинен бути змінений, щоб обчислити дійсну відстань, це може бути інакше, коли використовується інше джерело світла. Рядок 19 повинен бути змінений таким чином, щоб обчислювати реальні інтенсивності світла, для цього слід встановити інші функції полінома на основі вимірювань світла, взятих від джерела світла.

Проблема, яка виникає у всіх кольорових файлах, полягає в тому, що вони не можуть обчислити інтенсивність світла, якщо використане лише одне джерело світла. Щоб подолати це, на лінії 16 після `led_locations` (місцезнаходження, :) потрібно видалити (позначено знаком плюс (+)). А на лінії 27 `x=sum(irr_array,2)` повинен стати: `x=irr_array(:,2)` (позначений знаком мінус (-)). Тоді це обчислює все правильно, якщо є лише одне джерело світла.

Світловий масив сценаріїв Matlab

44.061 NS2 46.79 NS

1 Наведені значення - це в середньому понад 121 точку даних.

2 Засоби, за якими слідує НС, не суттєво відрізняються ( $P < 5\%$ ), як встановлено аналізом дисперсії.

#### Змінність світловіддачі

Різна мінливість двох світлодіодних масивів наведена в таблиці 6.7. Для порівняння мінливість світловіддачі люмінесцентних ламп також наведена в цій таблиці. Змінність відсоток для імпульсного масиву був найвищим, що для безперервного масиву був найнижчим і люмінесцентні лампи були між ними (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Варіативність світловіддачі світлодіодних масивів та люмінесцентних ламп

Безперервний масив	Імпульсний масив	Люмінесцентні лампи
12.5	19	14.5

Світлодіодні масиви реагували таким чином, як і очікувалося, завдяки чому інтенсивність світла лінійно зростала. Це означає, що масив реагує так само, як і окремі світлодіоди.

Побудована модель Matlab дозволила оцінити, скільки світлодіодів слід розмістити, щоб досягти певної інтенсивності світла. Крім того, можна дати оцінку найкращого місця для розміщення світлодіодів. Однак його потрібно було перевірити на реальність за допомогою інших масивів, ніж ті, що використовувались для побудови моделі. Тому коли був побудований перший світлодіодний масив, його перевіряли на предмет моделі, щоб побачити, чи є якісь відмінності. Схоже, що модель дає розумну оцінку реальності, оскільки не було суттєвої різниці між моделлю та реальним світлодіодним масивом. Однак невелику недооцінку моделі можна легко пояснити тим, що вдалося лише виміряти інтенсивність світла, випромінюваного світлодіодами, на максимальному рівні 10 см від світлодіода. Хоча світлодіоди, ймовірно, випромінюватимуть світло далі, це вплине на модель при оцінці нижчої загальної інтенсивності світла.

Загалом, сценарії Matlab можна використовувати для моделювання того, як буде реагувати світлодіодний масив. Сценарії можна було б навіть використовувати для моделювання світловіддачі інших джерел світла, однак деякі незначні зміни повинні бути внесені, перш ніж можна буде це моделювати. Дана модель використовується для оцінки того, скільки світла буде випромінювати джерело світла та як воно розповсюджується на задану область.

Змінність імпульсного масиву була вищою, ніж для безперервного масиву, але цей результат є цілком очевидним, оскільки імпульсний масив складається з подвоєної кількості світлодіодів безперервного масиву. Це призведе до плям дуже високої інтенсивності та деяких плям, які мають досить низьку інтенсивність. Однак, оскільки мінливість випромінювання світла обох світлодіодних масивів лежить в тому ж діапазоні, що і у люмінесцентних ламп, ця мінливість, ймовірно, не призведе до великої різниці в експериментах.

## **5.2 Моделювання роботи світлових приладів у програмному середовищі DIALux**

Програма для утилітарного освітлення повинна задовольняти наступні вимоги [14]:

- мати зрозуміле та легке в освоєнні програмне середовище для проектування систем освітлення;
- забезпечувати роботу з базою даних світлових приладів, фотометричні тіла яких представлені в форматі файлів IES;
- надавати компонувальний звіт про результати розрахунку та графічно їх представляти;
- поширення програми на правах безкоштовного використання;
- постійне оновлення програми: виправлення помилок, додавання нових функцій і можливостей.

Таким вимогам задовольняє програмне середовище DIALux, що розробляється німецьким інститутом прикладної світлотехніки. Програма



призначена для розрахунку різних видів освітлення. Вона враховує всі сучасні вимоги до дизайну і розрахунку освітлення, а також підтримує міжнародні і національні стандарти Європейських країн. Професійний проектувальник може вирішити за допомогою DIALux різні задачі: розрахувати в повній відповідності з нормами освітлення як внутрішніх, так і зовнішніх сцен, вуличне, архітектурне освітлення і навіть отримати фотореалістичну візуалізацію проекту. Таким чином, в даній роботі світлотехнічний розрахунок системи освітлення для світлокультури проводиться у програмному середовищі DIALux.

DIALux - потужна комп'ютерна програма по розрахунку і безпосередньому дизайну штучного освітлення. Даний софт розробляється з 1994 року компанією DIAL (Deutsche Institut fur Angewandte Lichttechnik). Ця компанія представлена німецьким інститутом прикладної світлотехніки. Програма для розрахунку освітлення може використовувати будь-які дані освітлювального технічного обладнання різних виробників, у яких існують електронні бази виготовлених світильників у певному форматі, підтримуваному системою DIALux.

Програма розрахунку штучного освітлення DIALux є однією з найкращих програмних забезпечень для точного розрахунку штучного освітлення на ринку подібного програмного софту. Вона повністю враховує всі нині існуючі вимоги по креативному дизайну і безпосередньому розрахунку штучного освітлення. Програма DIALux також повністю підтримує всі національні та міжнародні стандарти європейських країн і держав.

Програмний софт DIALux корисний для всіх, хто має пряме або непряме відношення до розрахунку штучного освітлення. Для тих, хто робить розрахунок електричного освітлення лише іноді, призначається DIALux Light Асистент, що забезпечує точний розрахунок штучної освітленості всього за кілька операцій. Досвідчений проектувальник легко може вирішити за допомогою програми DIALux будь-яке завдання: точно розрахувати відповідно до діючих норм освітленості електричне освітлення як зовнішніх, так і

внутрішніх сцен, різне вуличне освітлення, зовнішнє освітлення, а також отримати графічну візуалізацію майбутнього проекту.

Інтерфейс є універсальним і багатофункціональний:

- Можна побудувати в одному файлі приміщення з виведенням індивідуального звіту по ньому.
- Є функція управління світловим потоком на кожен світильник або групу світильників після розрахунку освітленості.
- Доступна можливість вибору прозорих текстур відповідно до їх світлопропускної здатності.

Для розрахунку опроміненості теплиці були здійснені наступні кроки:

1. У початковому діалоговому вікні були задані параметри теплиці, що освітлювалась (рис. 5.3).

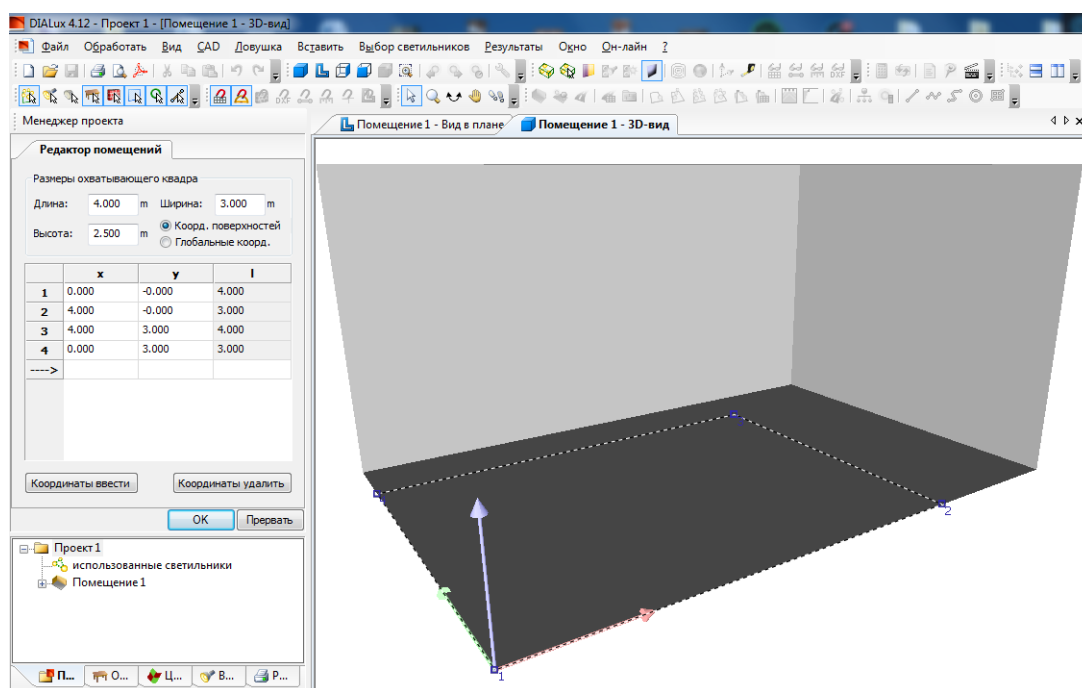


Рис. 5.3 – Вікно запису розмірів теплиці

2. Обрання текстур для підлоги, стін та стелі.
3. Наступний кроком – це розташування спроектованих світлових приладів згідно поставленого завдання (рис. 5.4).

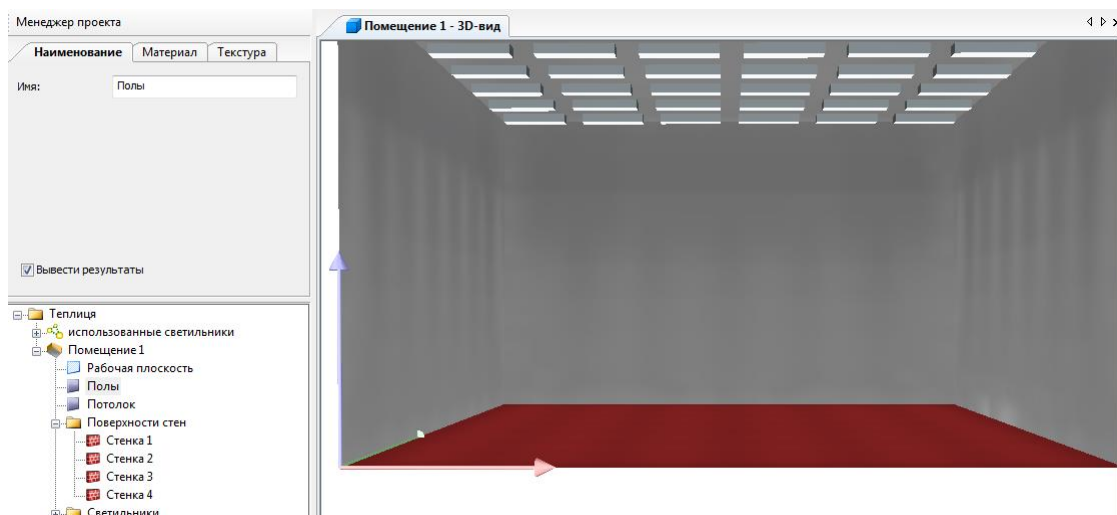


Рис. 5.4 – Розташування світильників

4. Для оптимального розташування світильників задається необхідний рівень освітленості, який складає у середньому для даного випадку 3900 лк, що видно з графіку значень ізоліній (рис. 5.5).

5. Для перевірки здійсненого розташування здійснили розрахунок освітлення робочої площини теплиці на висоті 0,85 м.

6. З одержаних даних робимо висновок про вдалий підбір світлових приладів і їх розташування на підвісах.

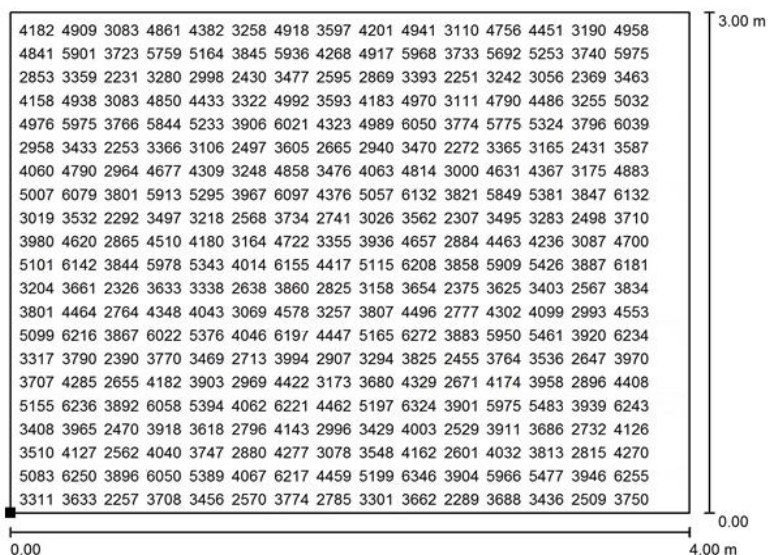


Рис. 5.5 – Графік значень ізоліній

## 6 ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Економічне і соціальне значення заходів з поліпшення умов і охорони праці

Ефективність заходів щодо поліпшення умов і охорони праці оцінюється, у першу чергу, за показниками соціальної ефективності, які передбачають створення умов праці, що відповідають санітарним нормам і вимогам правил безпеки. Покращення умов і охорони праці призводить до зменшення кількості виробничих травм, загальної і професійної захворюваності; до скорочення чисельності працівників, що працюють в умовах, які не відповідають санітарно-гігієнічним нормам; зменшення кількості випадків виходу на пенсію за інвалідністю внаслідок травматизму чи професійної захворюваності; скорочення плинності кадрів через незадовільні умови праці тощо.

Соціально-економічна ефективність розраховується з метою:

- економічного обґрунтування планових заходів, необхідних для вибору оптимальних варіантів технологічних, ергономічних та організаційних рішень;
- визначення фактичної ефективності заходів щодо поліпшення умов і охорони праці;
- оцінки результатів управління виробництвом на різних рівнях;
- розрахунку необхідних витрат для приведення умов праці на робочих місцях у відповідність до нормативних вимог;
- визначення раціональних розмірів матеріального стимулювання працівників підприємства, науково-дослідних, конструкторських і проектних організацій за розробку і запровадження працезахоронних заходів.

Оцінка соціально-економічної ефективності працезахоронних заходів здійснюється на підприємствах усіх форм власності, у тому числі на робочому місці, дільниці, у цеху. Вона може визначатися також по галузі та в державі в

цілому. Показники соціальної і соціально-економічної ефективності розраховуються як відношення величин соціальних або соціально-економічних результатів до витрат, необхідних для їх здійснення. Такі показники характеризують кількість умовних одиниць сукупного об'єму соціального чи соціально-економічного результату в розрахунку на одиницю витрат. Показники соціальної і соціально-економічної ефективності використовуються для визначення фактичного рівня питомих витрат, необхідних для зменшення кількості працюючих у незадовільних умовах, зниження рівня травматизму, захворюваності, плинності кадрів на різних підприємствах та в економіці в цілому. Оцінювати економічні аспекти охорони праці слід за допомогою методів оцінки соціальної й економічної ефективності заходів для створення умов праці, що відповідають чинним нормативним актам з охорони праці.

## **6.2 Розрахунок економічної ефективності заходів з охорони праці**

Здійснення витрат на охорону праці підприємством є необхідним у процесі організації виробничого процесу. Розрахунок показника ефективності витрат підприємства на заходи з охорони праці є позитивним моментом у визначенні доцільності та результативності здійснення заходів з охорони праці.

Немає нічого ціннішого за здоров'я людини та життя у чистому довіллі. Згідно з оцінками експертів Всесвітньої організації охорони здоров'я людське здоров'я на 8% залежить від стану охорони здоров'я у країні, де ця людина мешкає, на 18% від її генетики та на 74% – від способу життя, у тому числі від умов праці та діяльності.

Як відомо, свою професійну діяльність людина здійснює на робочому місці – частині виробничого простору одного або групи працівників, оснащеної технологічним обладнанням, інвентарем, інструментом, робочими меблями, необхідними для виконання певного виду робіт. І саме тут виникає необхідність здійснення активного процесу впровадження заходів з охорони праці. Працівники – найцінніші ресурси на підприємстві, і останнє, задля

уникнення на людей впливу негативних чинників, що виникають як результат неефективної організації робочого місця чи небезпек, зобов'язане здійснювати заходи щодо охорони праці. Однак такі заходи можуть різною мірою впливати на досягнення цілей: невеликі суми вкладень можуть позитивно вплинути на охорону праці, а інколи величезні капіталовкладення дають незначний результат.

Саме тому необхідним є розрахунок показника ефективності витрат підприємства на заходи щодо охорони праці. Він визначається як відношення розміру річної економії від поліпшення умов і безпеки праці до суми вкладень підприємства в охорону праці за формулою:

$$E_{EF} = E_P / V_{ЗАГ},$$

де:

$E_P$  – річна економія від поліпшення умов і охорони праці на підприємстві

(прибуток чи зменшення збитків);

$V_{ЗАГ}$  – загальні витрати підприємства на охорону праці.

Можна застосовувати дві методики розрахунку економії від поліпшення умов і охорони праці при визначенні ефективності витрат підприємства на охорону праці:

- за економічними показниками, представленими у звітності підприємства (форма № 1-ПВ (умови праці), № 1-УБ (відомча), № 7-тнв та інші);

- за показниками, що ґрунтуються на зіставленні зміни основних соціально-економічних результатів за певний період (зменшення рівня травматизму і захворюваності, пільг і компенсацій за роботу в несприятливих умовах праці, зменшення плинності кадрів).

Загальні витрати підприємства на охорону праці визначаються за формулою:

$$V_{ЗАГ} = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_6,$$

де:

- $V_1$  – витрати на пільги і компенсації за шкідливі умови праці (додаткові відпустки, скорочений робочий день, лікувально-профілактичне харчування, отримання молока чи інших рівноцінних продуктів, підвищені тарифні ставки, доплати за умови та інтенсивність праці, пенсії на пільгових умовах);

- $V_2$  – витрати на ліквідацію наслідків аварій на виробництві (вартість зіпсованого устаткування, інструментів, зруйнованих будівель, витрати на врятування потерпілих, розслідування нещасних випадків, виплати зарплати і доплати за час простою, вартість ремонту частково зіпсованого обладнання, машин і механізмів, будівель і споруд, вартість підготовки чи перепідготовки працівників замість вибулих внаслідок загибелі чи інвалідності);

- $V_3$  – витрати на штрафні санкції (за недотримання нормативних вимог, за порушення вимог законодавства, за час вимушеного простою через небезпечність виконання робіт та через припинення робіт органами державного нагляду за охороною праці, за недотримання договірних зобов'язань з іншими підприємствами, за ураження населення, житлового фонду, приватного майна та забруднення довкілля, за несвоєчасну сплату страхового внеску, несвоєчасне інформування Фонду соціального страхування про кількість працівників, річний фактичний обсяг реалізованої продукції (робіт, послуг), річну суму заробітної плати на підприємстві, нещасні випадки на виробництві та професійні захворювання, що сталися на підприємстві, про зміни технології робіт, виду діяльності підприємства або його ліквідацію);

- $V_4$  – витрати на заходи з охорони праці за рахунок джерел фінансування, регламентованих нормативними актами держави;

- $V_5$  – витрати на заходи з охорони праці за колективними договорами;

- $V_6$  – витрати на заходи з охорони праці з фонду охорони праці підприємства.

Отже, покращення умов праці, підтримання на належному рівні шкідливих та небезпечних чинників виробничого середовища, зниження показників виробничого травматизму та професійної захворюваності

супроводжується не тільки соціальним, а й економічним ефектом. Економічна ефективність здійснюваних заходів залежить від співвідношення покращення умов праці (оцінених у грошовому виразі) та суми витрат підприємства на охорону праці. Як результат, зростає період професійної активності працівників, зростає продуктивність праці, скорочуються видатки, пов'язані з виробничим травматизмом та професійною захворюваністю, скорочуються видатки на пільги та компенсації.

### **6.3 Система техніко-економічних показників ефективності проекту**

Ефективність нової техніки досить важко виразити узагальнюючим показником, оскільки технічний прогрес, як правило, викликає багатоаспектний ефект. З цієї причини для визначення економічної ефективності нової техніки та технології рекомендується використовувати систему показників.

До складу такої системи показників входять:

1) вартісні показники:

- загальний обсяг та питомі капітальні вкладення (на одиницю продукції або потужності обладнання), необхідні для здійснення передбачених заходів;

- собівартість одиниці продукції до та після впровадження техніки та річна економія від зниження собівартості;

- додатковий прибуток, що утворюється за рахунок скорочення витрат на утримання та експлуатацію обладнання, загальноце-хових, загальнозаводських та позавиробничих витрат;

- строк окупності капітальних вкладень в нову техніку;

- коефіцієнт ефективності інвестицій;

2) трудові показники:

- трудомісткість виробів до та після впровадження нової техніки та технології;

- скорочення потреби в робочій силі;

- підвищення продуктивності праці;



3) натуральні показники:

- обсяг додаткового випуску продукції;
- питомі витрати сировини, матеріалів, палива, енергії (на одиницю продукції);
- строки проведення заходів (або тривалість будівництва);
- вихід продукції у розрахунку на 1 м<sup>2</sup> виробничої площі та ін.

Крім того, для обґрунтування техніко-економічної ефективності проекту можуть використовуватися показники якості продукції, поліпшення умов праці та підвищення її безпеки.

## 7 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.1 ОХОРОНА ПРАЦІ

#### 7.1.1 Особливості випромінювання оптичного діапазону

Цим терміном позначається випромінювання видимого діапазону хвиль (0,4—0,77 мкм), а також межуючих з ним діапазонів — інфрачервоного (ІЧ) з довжиною хвилі 0,77—0,1 мкм та ультрафіолетового (УФ) з довжиною хвилі 0,4—0,05 мкм.

Таким чином, з боку довгих хвиль між оптичним діапазоном та НВЧ лежить маловивчений та поки що маловикористовуваний діапазон субміліметрових хвиль (0—0,1 мм), а з боку коротких хвиль — перехід до рентгенівського випромінювання.

Радіоелектронні прилади, як і будь-які інші, мають ККД менше 100 %, і частина енергії джерел живлення витрачається на покриття втраті та в кінцевому рахунку переходить у тепло, тобто, в ІЧ випромінювання.

Джерелами ІЧ випромінювання є багато елементів та вузлів радіоапаратури — електровакуумні, напівпровідникові та квантові прилади, індуктивності, резистори, трансформатори, з'єднувальні проводи тощо. Аналогічним чином електровакуумні прилади у скляних балонах дають випромінювання у видимій області спектра. Але такого роду випромінювання порівняно малої інтенсивності не викликає помітного екологічного впливу. Це ж стосується і некогерентного УФ випромінювання, яке використовується у технологічному процесі фотолітографії при виробництві мікросхем.

Лазерне випромінювання має ряд особливостей. Воно характеризується великою часовою та просторовою когерентністю — кореляцією (сумісністю) фаз коливань у деякій точці простору на певну величину моменту часу, а також кореляцією фаз коливань у різних точках простору в один і той же момент часу.

Часова когерентність зумовлює монохроматичність (одно-частотність) випромінювання, що впливає із самого принципу дії лазера як квантового

прилада. У реальних умовах з ряду причин ширина спектра лазерного випромінювання обмежена, хоча й досить немала.

Просторова когерентність зумовлює високу скерованість лазерного випромінювання, тобто малу кутову розбіжність променя на великих відстанях. У зв'язку із малою довжиною хвилі лазерне випромінювання може бути сфокусоване оптичними системами (лінзами та дзеркалами) невеликих геометричних розмірів, обмежених дифракцією, завдяки чому на малій площі досягається велика густина випромінювання.

Вказані властивості та їх поєднання є основою для широкого використання лазерів. За їх допомогою здійснюється багатоканальний зв'язок на великих відстанях (причому кількість каналів тут у десятки тисяч разів може перевищувати можливості НВЧ діапазону), лазерна локація, дальнометрія, швидке опрацювання інформації.

Вплив лазерного випромінювання на біологічні тканини може призвести до теплової, ударної дії світлового тиску, електрострикції (механічні коливання під дією електричної складової ЕМП), перебудови внутріклітинних структур. Залежно від різних обставин прояв кожного ефекту зокрема чи їх сумарна дія можуть відрізнятися.

При великій інтенсивності і дуже малій тривалості імпульсів спостерігається ударна дія лазерного випромінювання, яка розповсюджується з великою швидкістю та призводить до пошкодження внутрішніх тканин за відсутності зовнішніх проявів.

Найважливішим фактором дії потужного лазерного випромінювання на біологічне середовище є тепловий ефект, який проявляється у вигляді опіку, іноді з глибинним руйнуванням — деформацією і навіть випаровуванням клітинних структур. При менш інтенсивному випромінюванні на шкірі можуть спостерігатися видимі зміни (порушення пігментації, почервоніння) з досить чіткими межами ураженої ділянки. Шкірний покрив, який сприймає більшу частину енергії лазерного випромінювання, значною мірою захищає організм від серйозних внутрішніх ушкоджень. Але є відомості, що опромінення

окремих ділянок шкіри викликає порушення у різних системах організму, особливо нервової та серцево-судинної.

У зв'язку з різною поглинальною здатністю живих тканин при відносно слабких ушкодженнях шкіри можуть виникати серйозні ураження внутрішніх тканин — набряки, крововиливи, змертвіння, згортання крові. Результатом навіть дуже малих доз лазерного випромінювання можуть бути такі явища, як майже при НВЧ опроміненні — нестійкість артеріального тиску, порушення серцевого ритму, втома, роздратування. Звичайно, такі порушення зворотні і зникають після відпочинку.

Найсильніше впливає лазерне випромінювання на очі. Тут найсерйознішу небезпеку становить випромінювання УФ діапазону, яке може призвести до коагуляції білка, рогівки та опіку слизової оболонки, що викликає повну сліпоту. Випромінювання видимого діапазону впливає на клітини сітківки, внаслідок чого настає тимчасова сліпота або втрата зору від опіку з наступною появою рубцевих ран. Випромінювання ІЧ діапазону, яке поглинається райдужною оболонкою, кришталіком та скловидним тілом, більш-менш безпечно, але також може спричинити сліпоту.

Таким чином, лазерне випромінювання ушкоджує (часом безповоротно) усі структури ока.

Внаслідок лазерного опромінення у біологічних тканинах можуть виникати вільні радикали, які активно взаємодіють з молекулами та порушують нормальний хід процесів обміну на клітинному рівні. Наслідком цього є загальне погіршення стану здоров'я, (як і при впливі іонізаційних випромінювань).

### **7.1.2 Потенційні небезпеки в сільськогосподарському виробництві**

Промислова безпека – система, або комплекс правових та організаційно-технічних заходів, спрямованих на забезпечення безпечної експлуатації

об'єктів, машин, механізмів і устаткування підвищення безпеки та виконання технологічних процесів з метою запобігання аварій та нещасних випадків.

У сільському господарському виробництві є багато небезпек. Особливу увагу необхідно приділяти потенційно небезпечним (особливо небезпечним) об'єктам. Це такі об'єкти, робота з якими при порушенні вимог безпеки може призвести до травм або інших тяжких наслідків.

Основними особливо небезпечними об'єктами в сільськогосподарському виробництві є:

- рухомі машини і механізми;
- пестициди і мінеральні добрива;
- обладнання, що працює під тиском;
- статична електрика;
- напруга в електричній мережі;
- тварини;
- хвороботворні мікро- і макроорганізми;
- склади, що містять запаси речовини для дезінфекції і дератизації сховищ для зерна, тваринницьких приміщень;
- склади із запасами отрутохімкатів для сільського господарства;
- склади горючо-мастильних матеріалів.

Вимоги безпеки праці при роботах з використанням особливо небезпечних об'єктів викладені в даному розділі.

### **7.1.3 Загальні вимоги безпеки при виконанні робіт в рослинництві**

Найвищий рівень травматизму спостерігається при виконанні робіт, пов'язаних з експлуатацією сільськогосподарської техніки і транспортних засобів.

В овочівництві, плодівництві, у цехах і пунктах переробки овочів і фруктів завдяки технічному прогресу і здійсненню комплексу організаційних і технічних заходів з охорони праці досягнені значні успіхи в боротьбі з травматизмом на виробництві. Однак умови праці на окремих ділянках в

овочівництві, плодівництві і на переробних підприємствах все ще залишаються небезпечними. До найбільш травмонебезпечних в даних галузях відносяться механізовані роботи, роботи на транспорті, при обслуговуванні технологічного обладнання і електроустановок, ремонтні і навантажувально-розвантажувальні роботи.

Значний виробничий травматизм відмічається на навантажувально-розвантажувальних і транспортних роботах: при підніманні важких вантажів вручну, знаходження людей під вантажем і в радіусі дії піднімальних механізмів, невикористання рукавиць при навантажувальних роботах, падіння вантажів з транспортного засобу у випадку їх неправильного навантаження або закріплення.

Необережне і невміле поводження з ручним інструментом, його несправність, неузгодженість дій між працівниками можуть викликати травмування верхніх і нижніх кінцівок.

Таким чином, найбільш частими причинами нещасних випадків на виробництві є неправильні дії і неправильні прийоми роботи ненавчених і які не прийшли інструктаж для працівників. Для зниження рівня травматизму необхідно перш за все здійснювати організаційні заходи, а також укріплювати трудову і виробничу дисципліну.

У зниженні виробничого травматизму суттєва роль належить також організаційним та соціально-економічним заходам для поліпшення умов праці. Важливе значення мають пропаганда охорони праці і її безпеки, профілактичні дії, у першу чергу ефективне навчання працівників, у т.ч. зріст професійних навичок механізаторів, а також поліпшення роботи служби охорони праці кожного підприємства. Комплексне рішення цих питань дозволить зменшити виробничий травматизм, підняти ефективність використання сільськогосподарської техніки, знизити економічні збитки, зберегти здоров'я і життя працівників, стимулювати їх високу працездатність.

Керівництво і відповідальність за організацію і стан робіт з охорони праці в галузі рослинництва покладається на головного агронома, головного механіка (власника).

Особи, відповідальні за організацію і стан охорони праці, зобов'язані:

- знати і виконувати Положення про організацію роботи з охорони праці, а також правила і норми безпеки праці і виробничої санітарії;
- закріплювати машину персонально за кожним механізатором наказом по підприємству (рішенням правління господарства). При тимчасовій передачі машини іншому механізатору оформлювати відповідне письмове розпорядження;
- не допускати переведення працівників на інший вид робіт або на іншу машину без проведення інструктажу з охорони праці, а при необхідності і курсового навчання;
- забороняти використання сільськогосподарських і спеціальних машин, обладнання, інструментів і транспортних засобів в особистих цілях без дозволу адміністрації;
- обладнувати спеціальні майданчики для тимчасового і постійного зберігання тракторів, сільськогосподарських і спеціальних машин і транспортних засобів, що виключають можливість виїзду техніки без дозволу адміністрації;
- призначати старшого на роботах, у яких зайняті дві людини і більше;
- не допускати до управління тракторами, складними сільськогосподарськими і спеціалізованими машинами осіб, які не мають документів на право управління, що не пройшли інструктаж з охорони праці, а також осіб молодше 17 років; випускники середніх загальноосвітніх шкіл, які закінчили курс трудового навчання по професії механізатора і отримали посвідчення на право водіння самохідних сільськогосподарських машин, можуть допускатися до роботи на вказаних машинах до досягнення 17-літнього віку під керівництвом досвідчених механізаторів-наставників;
- як виняток допускати до обслуговування і роботи на нескладних

сільськогосподарських причіпних та стаціонарних машинах і знаряддях, для управління якими не потрібно мати прав, осіб, не молодших 16 років, які вивчили устрій машини, необхідні регулювання і пройшли інструктаж з охорони праці і протипожежного захисту;

– не допускати до роботи робітників, службовців в нетверезому стані;

– відстороняти від роботи осіб, які порушили вимоги нормативних документів з охорони праці, і допускати їх до роботи тільки після проходження позапланового інструктажу;

– проводити навчання робітників, службовців методам і прийомам надання першої долікарняної допомоги при нещасних випадках;

– виділяти, позначати й обладнувати спеціальні місця для прийняття їжі і короткочасного відпочинку працівників в полі і на інших ділянках робіт, підтримувати необхідний санітарний стан виробничих ділянок та побутових приміщень;

– не допускати до роботи на машинах і механізмах осіб, у яких спеодяг незаправлений і не застібнутий, а волосся не підібрано під головний убір (кашкет).

Перевезення людей, матеріалів і інших вантажів допускається лише за умови технічно справного автомобіля, правильного оформлення документів на право виїзду.

Автомашини, призначені для перевезення людей, обладнуються: заслонами, укріпленими на висоті не менше 1,5м від верху борта; драбинками для посадки і висадки пасажирів; твердим металевим каркасом, накритим тентом. Надання бригадам необладнаних машин забороняється.

Керівник бригади зобов'язаний особисто перевірити наявність у водія шляхового листа і прав на водіння автомобіля. Технічну справність автомобіля в польових умовах підтверджує своїм підписом водій автомашини.

Відповідальним за безпеку при переїздах на автомашині є водій, і він зобов'язаний вимагати виконання правил безпеки від усіх осіб, що перевозяться на автомашині. Під час перевезення людей у кузові автомашини призначається



старший, що спостерігає за поведінням пасажирів. Перевезення людей на вантажних автомобілях у польових умовах дозволяється тільки водіям, які мають посвідчення водія з категорією “Д” й, у виняткових випадках, – водіям що мають категорію “С”, зі стажем роботи не менше 3-х років.

Забороняється перевозити разом з людьми пальне і мастильні матеріали, а також важкі вантажі (моноліти для центрів, знаків, труби, бочки, трос, цвяхи та ін.).

Не дозволяється перевозити людей у кузовах транспорту, який буксирується, і того, який буксирує. Не допустимо спати в кабіні чи в кузові зупиненої машини з мотором, що працює.

Вантажно-розвантажувальні роботи повинні проводитися під керівництвом відповідальної особи, на рівній площадці, у темний час доби – на освітленій. Автомобіль, поставлений під навантаження чи розвантаження, загальмовується. Забороняється знаходитися на вантажно-розвантажувальній площадці особам, що не мають прямого відношення до виконуваної роботи.

Навантаження і розвантаження вантажів, що порохать, проводиться у відповідному спецодязі, респіраторах, протипилових окулярах.

При навантаженні і розвантаженні вантажів механічними кранами повинні виконуватися «Правила улаштування і безпеки експлуатації вантажопідйомних кранів» та інструкцією з безпечного проведення робіт по переміщенню вантажів стріловими самохідними і пересувними кранами й автосавантажувачами.

Варто враховувати, що верх перевозимого вантажу не повинен перевищувати габаритну висоту проїздів під мостами, переходами й у тунелях. Штучні вантажі при навантаженні повинні бути закріплені, прив'язані чи встановлені так, щоб не відбувалося їхнього самовільного зсуву під час транспортування.

Не можна допускати підйому вантажів до 50кг по похилих трапах чи сходити на висоту не більш 3м по вертикалі. Вантажі вагою більш 50кг і довгомірні вантажі повинні вантажитися механізмами.

Забороняється перевезення людей на тракторі поза кабіною і на причіпному інвентарі. Не можна стрибати з трактора, коли він рухається. Рушати з місця і зупинятися необхідно за умовним сигналом.

Під час грози варто припинити роботу і відійти від трактора в безпечне місце.

Забороняється переїжджати на тракторі мости, греблі, гаті та їм подібні спорудження, не переконавшись у безпеці переїзду.

Виконувати ручну роботу у викопаній ямі необхідно тільки після від'їзду трактора і його зупинці.

## 7.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 7.2.1 Державна система моніторингу довкілля, основні завдання, організація і функціонування

Державна система моніторингу довкілля – це система спостережень, збирання, оброблення, передавання, збереження та аналізу інформації про стан довкілля, прогнозування його змін і розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій для прийняття рішень про запобігання негативним змінам стану довкілля та дотримання вимог екологічної безпеки.

Система моніторингу є складовою частиною національної інформаційної інфраструктури, сумісної з аналогічними системами інших країн.

Принципи створення і функціонування системи моніторингу:

- узгодженості нормативно-правового та організаційно-методичного забезпечення, сумісності технічного, інформаційного і програмного забезпечення її складових частин;
- систематичності спостережень за станом довкілля та техногенними об'єктами, що впливають на нього;
- своєчасності отримання, комплексності оброблення та використання екологічної інформації, що надходить і зберігається в системі моніторингу;
- об'єктивності первинної, аналітичної і прогнозної екологічної інформації та оперативності її доведення до органів державної влади, органів місцевого самоврядування, громадських організацій, засобів масової інформації, населення України, заінтересованих міжнародних установ та світового співтовариства.

Система моніторингу спрямована на:

- підвищення рівня вивчення і знань про екологічний стан довкілля;
- підвищення оперативності та якості інформаційного обслуговування користувачів на всіх рівнях;

- підвищення якості обґрунтування природоохоронних заходів та ефективності їх здійснення;
- сприяння розвитку міжнародного співробітництва у галузі охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та екологічної безпеки.

Система моніторингу ґрунтується на використанні існуючих організаційних структур суб'єктів моніторингу і функціонує на основі єдиного нормативного, організаційного, методологічного і метрологічного забезпечення, об'єднання складових частин та уніфікованих компонентів цієї системи.

Організаційна інтеграція суб'єктів системи моніторингу на всіх рівнях здійснюється органами Мінприроди на основі: загальнодержавної і регіональних (місцевих) програм моніторингу довкілля, що складаються з програм відповідних рівнів, поданих суб'єктами системи моніторингу укладених між усіма суб'єктами системи моніторингу угод про спільну діяльність під час здійснення моніторингу довкілля на відповідному рівні.

До складу виконавців зазначених програм суб'єкти системи моніторингу можуть залучати підприємства, установи і організації незалежно від їх підпорядкування і форм власності.

Суб'єкти системи моніторингу - центральні органи виконавчої влади погоджують з Мінприроди розроблені ними проекти нормативно-правових актів та нормативних документів з питань проведення моніторингу довкілля.

Методологічне забезпечення об'єднання складових частин і компонентів системи моніторингу здійснюється на основі:

- єдиної науково-методичної бази щодо вимірювання параметрів і визначення показників стану довкілля, біоти і джерел антропогенного впливу на них;
- впровадження уніфікованих методів аналізу і прогнозування властивостей довкілля, комп'ютеризації процесів діяльності та інформаційної комунікації;

- загальних правил створення і ведення розподілених баз та банків даних і знань, картування і картографування екологічної інформації, стандартних технологій з використанням географічних інформаційних систем.

### **7.2.2 Захист світлотехнічної апаратури та електронної апаратури від ушкоджень, викликаних ЕМІ ядерних вибухів**

Вибухи в атмосфері і в більш високих шарах призводять до виникнення потужних електромагнітних полів які зважаючи на їх короткочасного існування прийнято називати електромагнітним імпульсів (ЕМІ). Вражаюча дія ЕМІ обумовлена виникненням напруг і струмів в провідниках, різної протяжності, розташованих в повітрі, на землі, та інших об'єктах.

Основною причиною генерації ЕМІ тривалістю менше 1 с вважають взаємодію  $\gamma$ -квантів і нейтронів атмосфери у фронті ударної хвилі і навколо неї. Важливе значення має також виникнення асиметрії в розподілі просторових електричних зарядів, пов'язаних з особливостями поширення випромінювання та утворення електронів.

При наземному або низькому повітряному вибуху  $\gamma$ -кванти, що випускаються з зони протікання ядерних реакцій, вибивають з атомів повітря швидкі електрони, які летять у напрямку руху  $\gamma$  квантів зі швидкістю, близькою до швидкості світла, а позитивні, іони (залишки атомів) залишаються на місці. В результаті такого розділення електричних зарядів в просторі утворюються елементарні і результуючі електричні та магнітні поля ЕМІ. При наземному і низькому повітряному вибухах вражаючий вплив ЕМІ спостерігається на відстані близько декількох кілометрів від центру вибуху.

При висотному ядерному вибуху ( $> 10$  км) можуть виникати поля ЕМІ в зоні вибуху і на висотах 20-40 км від поверхні землі. ЕМІ в зоні вибуху виникає за рахунок швидких електронів, які утворюються в результаті взаємодії  $\gamma$  - квантів ядерного вибуху з матеріалом оболонки боєприпасу і рентгенівського випромінювання з атомами навколишнього розрідженого повітряного простору.

Випущене із зони вибуху  $\gamma$  -випромінювання в напрямку поверхні землі починає поглинатися в більш щільних шарах атмосфери на висотах 20-40 км, вибиваючи з атомів повітря швидкі електрони. В результаті поділу та переміщення позитивних і негативних зарядів в цій області і в зоні вибуху, а також при взаємодії зарядів з геомагнітним полем Землі виникає електромагнітне випромінювання, яке досягає поверхні землі в зоні радіусом до кількох сотень кілометрів.

Електричні та магнітні поля ЕМІ в ролі вражаючого фактора характеризуються напруженістю поля. У динаміці імпульс ЕМІ представляє собою швидко загасаючий коливальний процес з декількома квазіпівперіодами. Напруженість електричного і магнітного полів залежить від потужності, висоти вибуху, відстані від центру вибуху і властивостей навколишнього середовища.

Вражаюча дія ЕМІ проявляється насамперед по відношенню до радіоелектронної та електротехнічної апаратури. Під дією ЕМІ у зазначеній апаратурі наводяться електричні струми і напруги, які можуть викликати пробую ізоляції, пошкодження трансформаторів, згоряння розрядників, псування напівпровідникових приладів, перегорання плавких вставок та інших елементів радіотехнічних пристроїв. Найбільш схильні до впливу ЕМІ лінії зв'язку, сигналізації та управління. Коли ЕМІ недостатній для пошкодження приладів або окремих деталей, то можливо спрацьовування засобів захисту (плавких вставок, грозозарядників) та порушення працездатності ліній.

Якщо ядерні вибухи стануться поблизу ліній енергопостачання, зв'язку, які мають велику протяжність, то наведені в них напруги можуть поширюватися по проводах на багато кілометрів і викликати пошкодження апаратури і ураження особового складу, що знаходиться на безпечному видаленні по відношенню «іншим вражаючих факторів ядерного вибуху».

Електромагнітний імпульс являє небезпеку і за наявності міцних споруд (укритих командних пунктів, ракетних стартових комплексів), які розраховані на стійкість до впливу ударних хвиль наземного ядерного вибуху, здійсненого на відстані декількох сотень метрів. Сильні електромагнітні поля можуть

пошкодити електричні ланцюги і порушити роботу неекранованого електронного та електротехнічного обладнання.

До основних способів захисту від небезпечних електромагнітних випромінювань електронних пристроїв відносяться;

1. Зменшення індуктивних наводок в кабелях зв'язку і колах електроживлення. Досягається наступними шляхами:

- перехід від металевих кабелів зв'язку на оптичні;
- захист прокладених металевих кабелів від ударів блискавки за допомогою спеціальних пристроїв;
- екранування будівель і споруд, в яких встановлена апаратура;
- скорочення довжин і оптимізацією трас прокладки кабелів всередині будівлі.

2. Вирівнювання потенціалів досягається електричним з'єднанням усіх струмопровідних елементів в єдину екіпотенціальную систему, частиною якої також є заземлювальні пристрої. До системи вирівнювання потенціалів підключаються: металеві оболонки кабелів, корпусу обладнання, хвилеводи і зовнішні провідники коаксіальних кабелів, заземлюючі пристрої.

3. Розмикання ланцюга з небезпечним струмом, що протікає через захищені пристрої. Цей метод широко застосовується для захисту установок і споживачів від короткого замикання, а також ліній та обладнання зв'язку при аварійному контакті з мережами електроживлення. рідше розмикання ланцюга небезпечного струму використовується для захисту від імпульсних наводок, від блискавки або комутаційних процесів в ЛЕП.

До елементів захисту електронної апаратури від шкідливого впливу ЕМІ відносяться елементи захисту по напрузі (варистори), та по струму (термокотушки, позистори).

Приблизно 10-15 років тому з'явилися технології виробництва високоякісних і недорогих оксидно-цинкових варисторів. Це дозволяє широко застосовувати варистори для захисту електронного обладнання. Застосування варисторів для захисту високочастотних кіл живлення обмежено їх відносно

високою ємністю. Опір варистора сильно залежить від прикладеної до нього напруги. Варистори виготовляються з метало оксидних частинок (оксид цинку зі спеціальними присадками).

Ці частинки спресовані таким чином, що контакти між ними діють як напівпровідникові переходи. Мільйони часток імітують роботу мільйонів діодів, при підвищенні напруги пробивається все більше переходів, через варистор починає протікати струм з виділенням тепла. При перевищенні напругою порога спрацьовування струм через варистор різко зростає, відбувається стабілізація напруги. Варистор починає працювати в режимі обмеження напруги.

Однак слід пам'ятати, що при зростанні струму збільшується кількість розсіяваного на ньому тепла. Тому не допускається тривале використання варистора, в режимі обмеження. Такі характеристики варистора, як напруга спрацьовування і максимальний струм, визначаються складом матеріалу, його товщиною і діаметром (як правило, варистори мають форму диска).

Елементи захисту по струму призначені для захисту від тривалих впливів, тому вимоги, до них, відрізняються від вимог до елементам захисту по напрузі. Можна назвати основні: робочий струм, струм обмеження, залишковий струм, внутрішній опір, час спрацьовування, відновлюваність, діапазон робочих температур.

Відрізняється також схема включення цих елементів: якщо захист по напрузі включається паралельно навантаженні, то захист по струму включається послідовно і служить для від'єднання навантаження від лінії. Причому якісний елемент струмового захисту повинен відповідати таким вимогам: надійно захищати обладнання від надмірних струмів; при виході з ладу цей елемент повинен забезпечувати обрив кола живлення; мати мінімальний розмір і бути зручним для монтажу; повинен вносити мінімальні перешкоди в роботу апаратури (мати мінімальний опір).

Термокатушки - один з найпоширеніших в минулому елементів захисту по струму. Підвищення струму вище певних меж викликає нагрів котушки, що



призводило до механічного відключення ланцюга навантаження від джерела небезпечного струму. Недоліком термокатушки є: необхідність їх заміни після спрацьовування, відносно великі розміри і вага, тривалий час спрацьовування. Проте, цей же принцип роботи, реалізований на більш високому технологічному рівні, в деяких випадках може бути ефективно використаний.

Найбільш широко поширеними в техніці елементами струмового захисту є позистори. Майже всі виробники електронного обладнання використовують ці елементи в своїх розробках. При перевищенні струмом, що проходить через позистор, деякого порогового значення, позистори нагріваються і переходять з низкоомного стану в високоомний. Таким чином вони обмежують протікаючий через них струм. Після припинення впливу позистор остигає і відновлює малий внутрішній опір. Саме ця властивість є основною перевагою позисторів в порівнянні з плавкими вставками та термокатушками, які є одноразовими елементами.

На даний момент випускається два типи позисторів: керамічні та на полімерній основі. Керамічні позистори виготовляються з напівпровідникової кераміки. Їх опір в кілька разів вище полімерних. Керамічні позистори мають більш стабільні характеристики і більш високу стійкість до тривалих впливів, ніж полімерні.

Полімерний позистор виготовляється з матеріалу, всередині якого формуються низькоомні струмопровідні ланцюжки з вуглецю. При перевищенні струмом встановлених меж розсіювана потужність збільшується, що викликає нагрівання і розширення полімеру. При досягненні певної температури відбувається розрив струмопровідних ланцюжків, і елемент переходить в високоомний стан. Так відбувається відключення апаратури від мережі живлення.

## 8 ЕКОЛОГІЯ

### 8.1 Фотоперіодизм

Фотоперіодизм – це властивість організмів сприймати співвідношення тривалості дня та ночі. Фотоперіодизм можна назвати явищем географічним, оскільки співвідношення довжини дня і ночі зумовлене широтою певної місцевості. Це важлива характеристика світлового режиму, сигнальний фактор, який керує добовими та сезонними ритмами життєдіяльності організмів. У рослин фотоперіодичний ефект проявляється в узгодженні періоду цвітіння та дозрівання плодів із періодом найінтенсивнішого фотосинтезу.

Залежно від фотоперіодичної реакції рослин, що визначається тривалістю світлового періоду, необхідного для переходу їх до цвітіння, розрізняють рослини довгого дня, короткого і нейтральні.

Рослини довгого дня для переходу до цвітіння й подальшого розвитку потребують більш як 12 годин на добу безперервного світлового періоду (льон, овес, пшениця).

У рослин короткого дня цвітіння відбувається за тривалості світлового періоду доби 12 годин і менше (хризантема).

Фотоперіодично нейтральні рослини цвітуть у широкому інтервалі світлового періоду (бузок, гречка, виноград). Кожному виду властивий свій критичний фотоперіод. Види, сорти та форми, розповсюджені у високих широтах, належать переважно до рослин довгого дня, тоді як види тропічної та субтропічної зон – здебільшого короткоденні або нейтральні. Хоча основним критерієм фотоперіодичної реакції рослин вважається проходження генеративної фази розвитку, перелік явищ, які контролюються світловим періодом, значно ширший. Від фотоперіоду залежить продуктивність рослин, їхня стійкість до хвороб, здатність до симбіозу.

Вивчення фотоперіодизму дало можливість штучно регулювати розвиток деяких видів рослин і тварин. Так, завдяки збільшенню в теплицях світлового

періоду до 12-15 годин взимку вдається вирощувати різні овочеві культури та декоративні рослини. Фотоперіодичні реакції проявляються лише за впливу й інших факторів середовища, зокрема в певному інтервалі температур. Тому фотоперіодизм часто супроводжується термоперіодизмом.

Фотоперіодизм тісно пов'язаний з біоритмами, біологічним годинником, які в сукупності формують адаптивний механізм регулювання функцій живого організму в часі. В процесі еволюції рослини пристосувалися до різних умов освітлення.

## **8.2 Екологічні групи рослин за вимогами до світла**

Вимоги рослин до освітленості визначають за показником світлового забезпечення. Цей показник розраховується за відношенням освітленості в тому місці, де живе рослина, до повної освітленості на відкритому місці. Для кожної рослини можна визначити середнє, мінімальне та максимальне значення світлового забезпечення. За вимогою до освітленості розрізняють три основні екологічні групи рослин.

- світлолюбні (геліофіти);
- тіньовитривалі або факультативні геліофіти;
- тіньові або сціофіти.

До світлолюбних рослин належать мешканці відкритих, добре освітлених місць росту. Вони мають високе стебло, розсічені листові пластинки, в листках добре розвинена стовбчаста асиміляційна паренхіма, досить багато продихів, розгалужена коренева система. У світлолюбних видів максимальна інтенсивність фотосинтезу (світлове насичення) спостерігається за 0,25-0,33 повної яскравості денного світла. Більшість з них раніше зацвітають, мають дрібне насіння, самосів якого добре виживає на оголеному ґрунті або в низькорослому рослинному покриві. Типовими геліофітами є степові та лучні злаки, рослини тундри, високогір'я, ранньовесняні ефемери та ефемероїди, більшість культурних рослин, багато бур'янів. Часто геліофіти водночас є

ксерофітами й мають ксероморфні ознаки. Для тих геліофітів, що зростають у гірських районах, характерні приземисті форми, які навіть утворюють подушки.

Група тіньовитривалих рослин, або факультативних геліофітів, характеризується широкою екологічною амплітудою відносно світла. До цієї групи належать більшість видів деревних порід, кущів – ялина, граб, ліщина, бузина.

Тіньовитривалі рослини можуть рости при повному денному світлі, на відкритих, добре освітлених місцях, але краще розвиваються при деякому затіненні, наприклад у лісах (дуб, липа, бузок). Тіньовитривалими є також більшість кімнатних рослин. Тіньовитривалість рослин знижується у вищих широтах, у горах, сухому кліматі, на бідніших ґрунтах.

У тіньових рослин (плаун булавовидний, барвінок малий, квасениця звичайна) листки темно-зеленого кольору з високим вмістом хлорофілу, стовпчаста паренхіма погано розвинена або відсутня. Вони не витримують повного освітлення, проте завдяки структурі листка сциофіти навіть за слабкого освітлення здатні засвоювати вуглекислий газ не менш ефективно, ніж листки геліофітів. Тіньові рослини в умовах високої сонячної інсоляції не можуть регулювати інтенсивність транспірації й на відкритій місцевості звичайно засихають. До цієї екологічної групи належать рослини нижніх ярусів лісу. В дібровах це так зване широкотрав'я. У тропічних лісах у цих рослин поширені специфічні форми – ліани та епіфіти.

Всі перелічені екологічні групи чітко не розмежовані. Навіть один і той самий вид може виявити різні вимоги до світла в різних кліматичних або ґрунтових умовах і навіть протягом життя одного індивідуума. Більш того, в межах крони одного дерева можна зустріти світлові та тіньові листки, що відрізняються анатомічно і морфологічно.

Із рослинних угруповань найактивніше змінюють склад сонячного світла лісні масиви, тому до поверхні ґрунту доходить незначна частина сонячної радіації. Причому нетривалий світловий весняний період до розпускання бруньок на деревах змінюється довготривалим затіненням упродовж літньої

вегетації, а восени, після листопаду – знову настає просвітлення. Рослини, які мешкають під пологом лісу, пристосовані до незначного освітлення. Для таких рослин характерна сезонна адаптація до світлового режиму. Їхній життєвий цикл організований так, що основний його період не збігається з періодом найбільшого затінення. Весняна екологічна ніша використовується світлолюбивими ефемероїдами.

Ефемероїди – багаторічні трав'янисті рослини з коротким періодом вегетації (всього декілька тижнів) і тривалим періодом спокою, під час якого вони зберігаються у вигляді бульб, кореневищ і цибулин.

Це такі види, як пшінка весняна, печіночниця звичайна, анемона жовтецева та ін. Під пологом дубових, букових і грабових лісів досить поширеними ефемероїдами є проліска дволисна, зірочки жовті, ряст порожнистий. В листяних і мішаних лісах ці рослини проростають зразу ж після танення снігу і невдовзі розпочинають цвісти, тому до повного розкриття бруньок і масової появи листя та встановлення постійної тіні встигають завершити основну частину свого вегетаційного періоду. Такі рослини характеризуються підвищеною холодостійкістю, пристосовані до швидкого росту та розвитку навіть при низьких температурах. Повне затінення вони переживають у стані спокою переживають у стані спокою. За короткий період такі рослини синтезують достатню кількість органічних речовин, яких вистачає для наступного періоду росту та створення запасів на перезимівлю. Їхній життєвий цикл не збігається з річним кліматичним ритмом і сезонною ритмікою рослин помірних широт, що вегетують улітку.

Інший тип сезонного пристосування до відповідного режиму освітлення можна спостерігати у рослин із довготривалим періодом вегетації, розвиток яких розпочинається ранньою весною та закінчується пізно восени. Це такі рослини як медунка темна, медунка вузьколиста, копитняк європейський, яглиця звичайна.

Таким чином, різні види рослин мають певні пристосування до різних умов освітлення.

### 8.3 Тепловий режим рослин

Життєдіяльність будь-якого виду відбувається в певних інтервалах температур. При цьому прослідковується зона оптимуму, мінімуму та максимуму.

Оптимальним тепловим режимом вважається той, за якого впродовж усього життя, особливо в період інтенсивного росту і розвитку, кількість і тривалість періоду тепла найкращим чином забезпечують хід усіх фізіологічних процесів у даній рослині за даних умов. У зоні мінімуму або максимуму спостерігається затухання активної діяльності організмів.

Мінімальний тепловий режим – це той мінімальний термін тривалості і кількості тепла, за межами якого життя рослин у даних умовах стає неможливим через його дефіцит.

Верхня межа кількості та тривалості тепла, за якою рослина гине від високої температури, називається максимумом теплового режиму.

Як низькі температури (холод), так і високі (жара) спричиняють порушення життєвих процесів. Слід враховувати, що кожна фаза і стадія розвитку рослин має як свій оптимум, так і свій верхній та нижній поріг температурного режиму.

Рослина набуває або втрачає тепло в результаті радіаційного потоку, спрямованого на неї або від неї. Вдень, під впливом прямої та розсіяної радіації, рослина нагрівається, вночі, віддаючи тепло, - охолоджується. Ступінь нагріву окремих органів і частин рослини залежить від пори року, часу доби, розміщення тих чи інших органів відносно Сонця, від рельєфу місцевості та інших причин. Особливо впливає на температуру рослин тепловий режим ґрунту. Є дані, що рослина завжди має вищу температуру, ніж навколишнє повітря, якщо температура поверхні ґрунту вища за температуру приземного шару повітря й, навпаки, вона холодніша, якщо температура поверхні ґрунту нижча за температуру приземного шару повітря. Тому температура рослин рідко збігається з температурою повітря. Найчастіше рослина в цілому й окремі

її частини мають дещо іншу температуру, ніж температура навколишнього повітря.

Різноманітність теплових умов на Землі значною мірою зумовлює географічне поширення рослин. Для більшості організмів діапазон оптимальних значень температури становить 10.....30°C. Але в неактивному стані, наприклад, анабіозі, живі істоти здатні витримувати значно ширший діапазон температур (від -200°C до +100°C). Так спори деяких бактерій нетривалий період витримують температуру до 180°C, а цисти найпростіших, яйця круглих червів і коловерток, насіння, спори більшості прокариот, пилок рослин після зневоднення не втрачають життєздатності за температури, близької до абсолютного нуля (-273,15°C).

Анабіоз – стан організму, за якого відсутні помітні прояви життєдіяльності внаслідок гальмування процесів обміну речовин. Він супроводжується значними втратами води (до 75%). Коли настають сприятливі умови, організми виходять із стану анабіозу і життєві процеси поновлюються.

Для багатьох організмів амплітуда коливань температур їхньої активної життєдіяльності обмежується певними межами.

За межами крайніх температур – летальна зона, де настає незворотній процес відмирання, тобто температурний фактор визначає можливі межі життя. Температурний фактор на більшості площі Землі зазнає чітко виражених добових і сезонних коливань, що зумовлює відповідний ритм біологічних явищ у природі. Разом з іншими кліматичними факторами температура визначає як широтну зональність, так і вертикальну поясність розселення організмів, насамперед, різних видів рослин.

Північна межа поширення багатьох видів рослин помірних, особливо теплих поясів, певним чином зумовлена дефіцитом тепла. Для півночі характерні тривалі зими з низькими температурами, тоді як літній вегетаційний період короткий і холодний.

За відношенням до тепла виділяють два типи організмів – теплолюбні і холодостійкі. Теплолюбні існують у зонах тропічного і субтропічного клімату,

а в помірних поясах – у місцях існування, що добре забезпечені теплом. Види, для існування яких оптимальною є низька позитивна температура, називають холодостійкими.

Для більшості організмів оптимальними є температури від 25 до 30°C. Види, оптимум життєдіяльності яких приурочений до області високих температур, відносять до термофільних. Термофіли – це мешканці теплих кліматичних зон, наприклад, тропіків. Термофільність характерна для багатьох мікроорганізмів. Так, представник ціанобактерій осциляторія трапляється в гарячих джерелах із температурою від 85 до 93°C. Успішно витримують високі температури накипні лишайники, рослини пустель.

Чимало організмів витримують великі значення мінусових температур. Наприклад, полярні води, температура яких становить від 0 до -2°C, населені різноманітними представниками рослинного світу. Представники рослинного світу тайги, наприклад, сосна сибірська, витримують зниження температур до -50°C.

Пойкілотермні – це організми, життєдіяльність яких і температура тіла залежать від тепла, яке надходить із навколишнього середовища.

Пойкілотермія (холоднокровність) властива всім мікроорганізмам, рослинам, безхребетним і значній частині хордових. Температура їхнього тіла залежить від середовища. Саме тому екологічна роль тепла в житті названих систематичних груп рослин є першорядною.

Різні види пойкилотермних організмів характеризуються різноманітними пристосуваннями для перенесення значних коливань температури.

Евритермні види здатні переносити такі коливання в значних межах. Багато рослин і лишайників існують у широкому інтервалі температур.

Стенотермні організми існують у вузьких межах коливань температурного фактора й поділяються на теплолюбні (наприклад, орхідеї, кавові дерева) та холодостійкі (наприклад, представники рослинності тундри).

На протязі еволюції живі організми виробили пристосування до різних температурних умов, як до високих, так і до низьких.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ

1. Проаналізовано літературні джерела про імпульсні ОП та їх вплив параметрів оптичного випромінювання на процеси фотосинтезу та морфогенезу рослин. Встановлено, що для підвищення ефективності ОУ для світлокультури рослин актуальним є раціональний вибір вискоефективних джерел випромінювання, розробка технологічних схем опромінення, розробка моделей опромінювальних установок та методики їх світлотехнічного розрахунку.

2. На основі методики оцінки фотосинтезної ефективності та ККД джерел випромінювання обґрунтовано вибір джерел випромінювання для світлокультури рослин.

3. Світлодіоди є перспективними джерелами світла для опромінення рослин.

4. Спроектовано імпульсний опромінювальний пристрій для тепличного господарства.

5. Імпульсне світло має різний вплив, коли частота імпульсів змінюється, але завжди існує ефект імпульсу.

6. Накопичення сухої маси при імпульсному світлі наближається до накопичення сухої маси при безперервному світлі.

7. Якщо для вирощування рослин використовується імпульсний світлодіод, то частота цього імпульсу завжди повинна залишатися вище 1 Гц, щоб підтримувати більш-менш нормальний ріст рослин.

8. Якщо частота імпульсів збільшується від 0,012 Гц до 120 Гц, відношення площі листя зменшується. Відносна швидкість росту ділянки залишається майже однаковою в тому ж діапазоні або навіть незначно збільшується.

9. Теплиця – це складна система, в якій освітлення відіграє важливу роль. Знаючи вимоги овочевих культур до інтенсивності світла можна налаштувати його за допомогою світлодіодних світильників. За допомогою світлодіодного освітлення в теплиці можна штучно збільшити період денного

світла, забезпечивши найбільш стабільний і швидкий ріст рослин, і як результат - оптимальний урожай.

**ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ**

1. Шарупич Т.С., Шарупич В.П., Барков А.А., Киселев А.Н. Технологии финансирования, энергосбережения, выращивания и строительства в защищенном грунте России. Учебник для вузов. — Орел: Изд-во «Труд», 2005 г.- 276 с.
2. Сарычев Г.С. Облучательные светотехнические установки. - М.: Энергоиздат, 1992. — 240 с.
3. Мешков В.В. Основы светотехники: ч. 1. — М.: Энергия, 1979. — 368 с.
4. Справочная книга по светотехнике / Под ред. Ю.Б.Айзенберга. — М.: Энергоатомиздат, 1995. — 528 с.
5. Козинский В.А. Электрическое освещение и облучение. - М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.
6. Мусієнко М.М. Фізіологія рослин: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: Вища школа, 1995. – 503 с.
7. Полевой В.В., Саламатова Т.С. Физиология роста и развития растений. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1991. – 240 с.
8. Вознесенская Е.В. Структура фотосинтетического аппарата// РАН. Физ растений. - 1996. - Т.43, № 3. – С.126-131.
9. Мерзляк М.Н., Гительсон А.А., Погосян С.И. и др. Спектры отражения листьев и плодов при нормальном развитии, старении и стрессе // Физ. растений. - 1997. - Т.44, № 5. - С.707-716.
10. Мерзляк М.Н. Пигменты, оптика листа и состояние растений. // Соросовский Образовательный Журнал. - 1998. - № 4 - С.19-24.
11. Грин Н., Стаут У., Тейлор Д. Влияние света на развитие растений и роль фитохрома. // Биология. - 1990. - Т.2. - С.244-248.
12. Фізіологія сільськогосподарських рослин з основами біохімії/ М.М.Макрушин, Є.М.Макрушина, Н.В.Петерсон, В.С.Цибулько. – К.: Урожай, 1995. – 352 с.

13. Севернев М.М. Энергосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве. - М.: Колос. 1992. – 190 с.
14. Ki-Ho Son, Yu-Min Jeon, and Myung-Min Oh Application of Supplementary White and Pulsed Light-emitting Diodes to Lettuce Grown in a Plant Factory with Artificial Lighting *Hortic. Environ. Biotechnol.* 57(6):560-572. 2016.
15. Effects of pulsed lighting based light-emitting diodes on the growth and photosynthesis of lettuce leaves
16. Effects of Pulsed-Red LD Light on the Growth of a Plant. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/245550682\\_Effects\\_of\\_Pulsed-Red\\_LD\\_Light\\_on\\_the\\_Growth\\_of\\_a\\_Plant](https://www.researchgate.net/publication/245550682_Effects_of_Pulsed-Red_LD_Light_on_the_Growth_of_a_Plant).
17. [https://www.researchgate.net/publication/271229212\\_Effects\\_of\\_Pulsed\\_White\\_LED\\_Light\\_on\\_the\\_Growth\\_of\\_Lettuce](https://www.researchgate.net/publication/271229212_Effects_of_Pulsed_White_LED_Light_on_the_Growth_of_Lettuce) Effects of Pulsed White LED Light on the Growth of Lettuce.
18. Фокин А. А. Применение светодиодных светильников в защищенном грунте / А. А. Фокин // Вестник мичуринского государственного аграрного университета. – 2012. – № 2. – С. 112–115.
19. Овчинников М. М. Количественный спектрофотометрический анализ в ультрафиолетовой, видимой и ближней инфракрасной областях / М. М. Овчинников, Г. Н. Подгорный, И. С. Балаховский // Клиническая лабораторная диагностика. – 2002. – № 2. – С. 6–11.
20. Первичное преобразование световой энергии при фотосинтезе / В. А. Шувалов. – М. : Наука, 1990.
21. Valeigh S. E. The photosynthetic action spectrum of the bean plant. *Plant Physiol* / S. E. Valeigh, O. Biddulph. – № 46. – 1957. – S. 1–5.
22. Патент № 2040828, МПК А01G 9/26, «Установка для облучения растений», опубл. 27.07.1995 г., бюл. № 21.