

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ О.К. Дідик

“ _____ ” 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за ступенем вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

**«Розробка блоку дотримання тривалості освітлення
рослин в овочевих теплицях»**

**«Development of a block for observing the duration of
plant lighting in vegetable greenhouses»**

Виконав студент IV курсу групи АК-21-3ск
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

_____ П.В. СОловей

« _____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

доц, канд. техн. наук

_____ Д.В. Трушаков

« _____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

« _____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Характеристика об'єкта та технологічного процесу.....	6
1.1 Характеристика тепличного комплексу.....	6
1.2 Технічні норми, засоби і режими використання ФАР при вирощуванні овочів.....	7
1.3 Технологічне забезпечення інтенсивної світлокультури.....	9
1.4 Моделювання фотофізіологічних процесів.....	15
1.5 Постановка задачі дослідження і проектування.....	16
2 Вплив температури повітря, поливу та рівня ФАР на врожайність.....	18
2.1 Значення температури повітря в моделі штучного опромінення.....	18
2.2 Вплив взаємодії ФАР і поливу на врожайність культур.....	22
3 Розробка автоматичної системи досвічування рослин.....	27
3.1 Аналіз шляхів автоматизації процесу досвічування.....	27
3.2 Розробка структурної схеми керування освітленням.....	28
3.3 Розробка функціональної схеми керування освітленням.....	29
4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу.....	33
4.1 Розрахунок опромінювальних установок.....	33
4.1.1 Методика проведення розрахунку.....	33
4.1.2 Вихідні дані.....	36
4.1.3 Розрахунок опромінювача.....	38
4.1.4 Розрахунок кабелів і їх вибір.....	45
4.1.5 Розрахунок апаратів управління та захисту.....	48
4.1.6 Проведення розрахунку струмів короткого замикання.....	50
4.2 Характеристика і схеми включення фотоприймачів.....	52

4.3 Проведення розрахунку елементів блоку контролю освітленості.....	58
4.4 Проведення розрахунку елементів блоку дотримання тривалості освітлення.....	59
4.5 Розрахунок елементів блоку керування освітленням.....	60
4.6 Розрахунок елементів блоку керування секціями навантаження.....	61
4.7 Проведення розрахунку блоку живлення.....	62
4.8 Розрахунок параметрів семісторного ключа.....	63
5 Розробка заходів монтажу та експлуатації системи.....	64
Висновки.....	68
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	70
Список літератури.....	71

ВСТУП

Для підтримання здоров'я людини найважливішим є збалансоване харчування. З їжею організм отримує майже всі необхідні для нормального функціонування і розвитку речовини: білки, вуглеводи, більшість вітамінів та мікроелементи. Овочі є одним із основних джерел вітамінів, необхідних людині. Інститут харчування АН України рекомендує середньорічне споживання овочів (без урахування картоплі) на одну людину в обсязі 126 кг. Дуже важливо, щоб споживання овочів було рівномірним протягом усього року.

Однак кліматичні умови нашої країни такі, що до першого вересня з відкритого ґрунту збирають лише 10-11% усіх овочів, включаючи 30% огірків та 20% томатів. У вересні-жовтні надходить 70% огірків та 60% томатів.

Для забезпечення населення овочами протягом року необхідно активно використовувати можливості вирощування їх у захищеному ґрунті.

Для забезпечення збалансованого харчування протягом усього року в умовах захищеного ґрунту необхідно вирощувати приблизно 25% від загальної кількості овочів. Крім того, захищений ґрунт має забезпечувати розсадою овочевих культур для вирощування у відкритому ґрунті.

Електрична енергія широко використовується в тепличному господарстві для обігріву ґрунту та повітря. Однак ця галузь виробництва овочів є неможливою без застосування електроенергії для освітлення та опромінення.

Забезпечуючи рослини штучним освітленням та опроміненням, можна вирощувати високоякісні врожаї овочевих культур, які часто перевершують за якістю ті, що отримані у відкритому ґрунті. Тому нині завдання використання закритого ґрунту полягає не лише у забезпеченні достатньої кількості овочів взимку, а й у підвищенні їхньої якості.

Застосування електричної енергії у технологічних процесах в значній мірі спрощує конструкції та схеми автоматизованих систем не лише для контролю, а й для керування режимами за заданими програмами.

Під час вирощування рослин у захищеному ґрунті можна контролювати майже всі параметри мікроклімату для оптимального їхнього розвитку. Особливу важливість в цьому процесі мають такі фактори, як створення оптимальних умов і режимів освітлення з регулюванням дози фотосинтетично активної радіації (ФАР), а також забезпечення рослин вологою та поживними речовинами.

Проте варто зауважити, що ще є чимало невивчених або недостатньо досліджених відносин і режимів, які мають визначальне значення для створення оптимальних умов для вирощування рослин.

Об'єктом дослідження є процес культивування овочів у теплицях типу ангару.

Предметом дослідження є комп'ютеризована система керування освітленням у теплицях типу ангару під час вирощування овочів.

Метою даної бакалаврської роботи є розробка системи дотримання тривалості освітлення рослин в овочевих теплицях, а також пов'язаних з ними процесів.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ТА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Характеристика тепличного комплексу

Для культивування овочевих культур і розсади у тепличному господарстві використовуються блочні споруди, зібрані з металевих профілів. Деякі з них мають скляне покриття, а інші – плівкове.

Розміри теплиці складають: довжина - 11000 і ширина - 6400. Для забезпечення нормальної роботи теплиць обов'язково проводиться щорічно комплекс підготовчих технологічних операцій. Наприклад, після завершення циклу вирощування овочів проводиться дезінфекція приміщень і стерилізація ґрунту. Розсадне приміщення дезінфікується шляхом спалювання сірчаних шашок. Щодо овочевих відділень, коридорів і рослинних залишків після закінчення вегетаційного періоду, їх дезінфікують сумішшю формаліну, кельтана і карбофосу.

Для стерилізації ґрунту в теплицях використовується пар. Цей процес включає збирання рослинних залишків та розріхлювання ґрунту на глибину орного шару, після чого площу кожної ланки покривають термостійкою плівкою. За допомогою резинових шлангів пар під тиском 0.5-1.0 атмосфери подається через паророзподільчі труби під плівку. Пропарювання ґрунту триває 10-12 годин при температурі 100°C. Після закінчення процесу плівка залишається на місці до повного охолодження, а потім переміщується на інше місце.

Для видалення шкідливих солей проводиться промивка ґрунту водою з періодичним використанням дощувальної установки.

Для внесення в ґрунт підкормочних розчинів мінеральних добрив застосовуються установки крапельного поливу. Концентрація підкормочних розчинів має становити 0,02-0,2% і підтримується автоматично.

Приготування розчинів отрутохімкатів та обприскування рослин здійснюється за допомогою спеціальних установок з розпилювальними форсунками.

Для підвищення врожайності овочевих культур здійснюється підживлення рослин шляхом збільшення концентрації CO_2 в повітрі до 0,3 %.

Щоб запобігти перегріванню ґрунту у весняно-літній період, покрівлю теплиць покривають крейдяним розчином.

Для забезпечення необхідних умов тепла в теплицях використовують шатровий і підґрунтовий методи обігріву.

Основні операції з обробітку ґрунту та догляду за рослинами механізовані та автоматизовані.

1.2 Технічні норми, засоби і режими використання ФАР при вирощуванні овочів

Завдання штучного опромінення в теплиці полягає в заміні або доповненні природного освітлення в осінньо-зимовий період та створенні необхідних умов для росту і розвитку рослин.

У зимовий період енергія штучного освітлення не завжди достатня для нормального розвитку рослин, проте вона забезпечує значну частину необхідного опромінення. Згідно з умовами природного освітлення, територія нашої країни знаходиться у світловій зоні, де експозиція природного ФАР становить 185 – 313 Вт×год/м. Ці дані виміряні для ФАР у діапазоні 380 – 710 нм. У цьому діапазоні для природного випромінювання з достатньою точністю можна використовувати співвідношення $1 \text{ Вт} = 0,5 \text{ фт}$. Тоді коефіцієнт фітовіддачі становить $K_{\text{фт}} = 0,5 \text{ фт/Вт}$, що використовується для розрахунку фотосинтезуючої експозиції природного опромінення. Рекомендована тривалість денного опромінення залежить від культури, що вирощується, і становить 12...16 годин.

Рослини є складними об'ємними об'єктами, опроміненість яких можна визначати лише знавши їхню індикатрису опроміненості.

Під час вирощування розсади, геометричною моделлю окремої рослини може бути напівсферичний приймач випромінювання (рис. 1.1). При густому розташуванні рослин (ценозі) внаслідок взаємного затінення рослин, індикатриса

опроміненості стає схожою на косинусну, яка є характеристикою плоского горизонтального приймача випромінювання. Це дозволяє оцінювати опроміненість рослин в ценозі з достатньою точністю за значенням горизонтальної опроміненості.

В "Нормах" наведені приблизні дози опромінення для різних культур. Наприклад, для розсади овочів мінімальне значення становить 300...400 Вт.год./м, а оптимальне, що відповідає найвищому ККД фотосинтезу, складає 560 Вт. год./м.

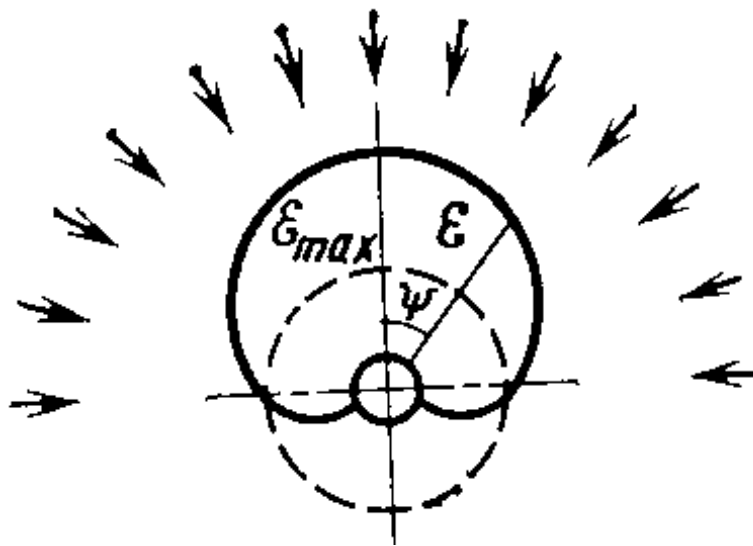


Рисунок 1.1 – Геометрична модель окремої рослини

Для нормального розвитку та формування рослин, які культивуються в штучних умовах, рівень опроміненості умовно виражається у одиницях світлової системи і повинен становити не менше 6...8 тис. лк. Встановлено, що одним із ключових факторів, що впливає на якість рослинної продукції, є сонячне випромінювання та його ультрафіолетова складова.

Аналіз наукових досліджень щодо впливу ультрафіолетового випромінювання (УФВ) на рослини та його доступу до них у теплицях підтвердив, що це потужний стимулятор росту, розвитку та формування врожаю рослин, а також підвищує якість овочевої продукції (включаючи вміст цукрів, вітамінів і т. д.). Ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі менше 295 нм має негативний вплив на рослини, тоді як в діапазоні 295...320 нм –

позитивний. Проте останнє не досягає рослин у теплиці через повне поглинання склом або покриттям пластиковою плівкою, яке пропускає лише 320...400 нм, що становить 57 % сонячного випромінювання. Для штучного опромінювання рослин в теплицях необхідно два діапазони УФВ: для розсади – 295...400 нм, який становить 4..5 % від загальної потужності, та 295...320 нм для дорослих рослин.

Рівномірність штучного опромінення рослин, яка оцінюється за співвідношенням $E = \frac{E_{\text{мін}}}{E_{\text{ср}}}$, рекомендується підтримувати на рівні не нижче 0,7.

При одночасному використанні штучного та природного опромінення рівномірність значно підвищується.

Для розрахунку середньої опроміненості застосовують метод коефіцієнта використання світлового потоку, використовуючи відповідну формулу для електричного освітлення, де світловий потік лампи представлений як добуток її потужності та фотосинтезуючої віддачі.

1.3 Технологічне забезпечення інтенсивної світлокультури

Для реалізації різних технологій, що застосовуються в умовах захищеного ґрунту, створено багато різноманітних типів опромінювачів і джерел опромінювання. При цьому завжди ставиться мета розробити найефективніші джерела випромінювання та досягти максимальної економії електроенергії, вартість якої з часом зростає.

Крім того, опромінювальні установки повинні забезпечувати:

- мінімальне випромінювання теплової енергії, оскільки систематичне перегрівання рослин порушує їхній нормальний обмін речовин, приводить до передчасного цвітіння та плодоношення, а також знижує врожайність;
- мінімальне затінення природного випромінювання;
- відсутність перешкод для догляду за рослинами та забезпечення рівномірного освітлення;
- максимальне сприяння основним технологічним процесам;

- забезпечення повного спектру видимого випромінювання з червоним, синім і фіолетовим кольорами, а також частину ближнього ультрафіолетового та інфрачервоного випромінювання в межах 295...1000 нм.

У практичній світлокультурі переважно використовують газорозрядні лампи, а лампи розжарювання застосовуються рідко.

Основні переваги ламп розжарювання включають простоту конструкції та обслуговування, а також низьку вартість. Основні недоліки полягають у надмірному випромінюванні інфрачервоної радіації, низькій світловій віддачі та низькому коефіцієнті корисної дії.

Застосування дзеркальних ламп розжарювання не має значних переваг порівняно з використанням звичайних ламп розжарювання.

Кращі результати вирощування рослин можна досягти за допомогою люмінесцентних ламп. Спектральний склад ламп денного та білого світла наближений до природного денного розсіяного світла. Конструкція цих ламп забезпечує більш рівномірний розподіл світлового потоку по площі теплиці і мінімальне виділення тепла, що не перегріває рослини. Основними недоліками люмінесцентних ламп є їх досить невелика потужність, що вимагає використання більшої кількості ламп для забезпечення необхідного рівня опроміненості рослин. Для запуску таких ламп використовуються спеціальні пускорегулюючі апарати, що значно підвищують вартість та складність монтажу і обслуговування, що в свою чергу збільшує необхідну потужність трансформатора на підстанції тепличного господарства.

За світлотехнічними характеристиками лампи типу ДРЛ наближені до люмінесцентних ламп, але вони мають нерівномірний розподіл світлового потоку по освітлювальній площині та не містять зони ближнього ультрафіолету. Для вдосконалення цих показників розроблена фітонцидна лампа ДРЛФ-400, що ґрунтується на лампі ДРЛ, але має дифузний відбиваючий шар у верхній частині колби, що покращує розподіл світла. Використання термостійкого скла у конструкції таких ламп дозволяє проводити крапельний полив без їх вимикання. Лампи ДРЛ та ДРЛФ мають значну потужність, тому на їх основі розроблено

спеціальний опромінювач ОТ-400, що має переваги перед опромінювачами з люмінесцентними лампами. Ці опромінювачі комплектуються індуктивними та ємнісними опорами для компенсації реактивних потужностей.

Опромінювачі живляться від мережі з частотою 50 Гц та напругою 220 В. Вага опромінювача з пристосуваннями становить 8 кг, а при номінальній потужності 400 Вт їх світловий потік досягає 13500 – 16000 лм. Застосування таких опромінювачів у теплицях не призводить до затемнення і не перешкоджає проведенню різноманітних агротехнічних заходів.

Лампи, які живляться від мережі з промисловою частотою струму, мають специфічні особливості через газовий розряд у лампах. Це призводить до необхідності використання громіздкого пускорегулюючого апарату, вартість якого становить 2–3 рази більше, ніж вартість самої лампи. Підвищений реактивний характер ламп для збільшення коефіцієнта потужності потребує включення компенсуючих пристосувань, що збільшує вартість обладнання ще більше. Такі прилади мають значні втрати потужності в пуско-регулюючих апаратах та компенсуючих пристроях (10...20 %), і це може призвести до пульсації світлового потоку та стробоскопічного ефекту, що в свою чергу може негативно позначитися на продуктивності обслуговуючого персоналу.

Перехід на використання струму підвищеної частоти відкриває широкі можливості для вдосконалення опромінюючого устаткування. Цей перехід суттєво покращує техніко-експлуатаційні характеристики: термін експлуатації ламп збільшується на більш як 25 %, втрати світлового потоку зменшуються в 1,5–2 рази, а їх потужність зростає на 10–17 %. Габаритні розміри устаткування зменшуються в 2–3 рази, а маса в 15–20 разів, при цьому втрати потужності зменшуються в 3–4 рази. Крім того, з'являється можливість замінити індуктивний баластний опір на ємнісний.

Перетворювач частоти дозволяє лампам функціонувати стабільно в широкому діапазоні потужностей навантаження – від 0,1 до 1,1 від їх номінальної потужності. Схема приладу включає можливість стабілізації потужності ламп навіть при значних коливаннях напруги мережі живлення – до 30 %.

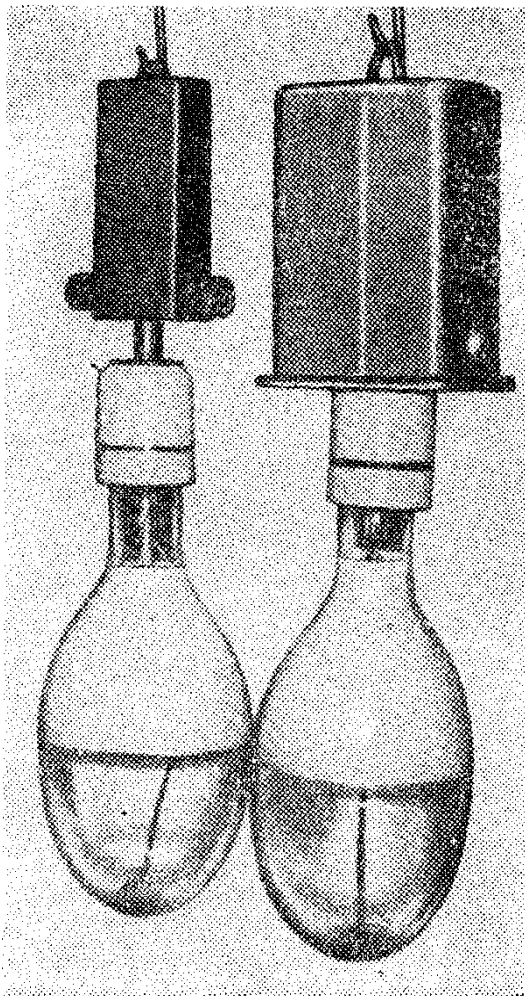


Рисунок 1.2 – Тепличні опромінювачі з лампами ДРЛФ-400 (справа - серійний ОТ-400, зліва - дослідний зразок на 1000 Гц)

Використання такого комплексу обладнання дозволяє, у порівнянні з традиційними серійними опромінювачами ОТ-400 такої ж потужності, зменшити масу баластного опору більше ніж у 20 разів, а всю систему – в 3 рази. Також збільшується строк служби ламп на 40 % і ККД на 8 %. На рис. 1.2 показані тепличні опромінювачі ОТ-400 з лампами ДРЛФ і ДРІ-400. Це обладнання пройшло виробничі випробування і вже використовується в багатьох господарствах.

Для подальшого вдосконалення систем освітлення рослин у теплицях були випробувані установки змінного освітлення УПО-1000 потужністю 3,2 кВт. Вони складаються з двох консолей, кожна з яких оснащена чотирма опромінювачами з лампами ДРЛФ-400. Під час роботи ці опромінювачі обертаються в горизонтальній площині завдяки тязі двох вентиляторів, розташованих на кінцях консолей. Це значно ускладнило конструкцію опромінювальної установки, але забезпечило змінну в часі освітленість рослин. Лампи живляться від джерела підвищеної частоти (1000 Гц). Аналіз біометричних показників розсади огірків показав, що якість її при використанні такої установки з питомою потужністю освітлення 60 Вт/м не поступається якості розсади, вирощеної під стаціонарними опромінювачами з питомою потужністю 200 Вт/м.

Техніко-економічні розрахунки демонструють, що опромінювачі підвищеної частоти забезпечують значний економічний ефект у порівнянні з серійними моделями.

Металогалогенні та натрієві лампи високого тиску стають все більш поширеними в наш час. Вони мають значну світлову віддачу, удвічі вищу за лампи ДРЛ, компактні розміри випромінювального тіла при високій світності та незначне зниження світлового потоку, що робить їх перспективними. Численні біологічні досліді підтверджують їх переваги для вирощування рослин у теплицях.

На рис. 1.3 показана електрична схема підключення натрієвої лампи високого тиску до мережі живлення з напівпровідниковим перетворювачем частоти на 1000 В. Використання струму такої частоти для ламп ДНаТ-400

дозволяє збільшити світловий потік на 8 %, підвищити коефіцієнт потужності ламп до 0,96, продовжити їхній строк служби та зменшити масу ПРА більше ніж в 10 разів.

Використання установок у складі комплектів світлотехнічного обладнання для вирощування розсади та дорослих культур дозволяє знизити витрати електроенергії та питому потужність опромінювальних установок у 2-2,5 рази, скоротити кількість опромінювачів у 10-15 разів, зменшити масу пускорегулюючих апаратів та навантаження на конструктивні елементи теплиць у 10-15 разів. При цьому витрати на кабельну продукцію скорочуються у 3-3,5 рази, поліпшується догляд за рослинами та обробіток ґрунту, знижуються світловтрати та

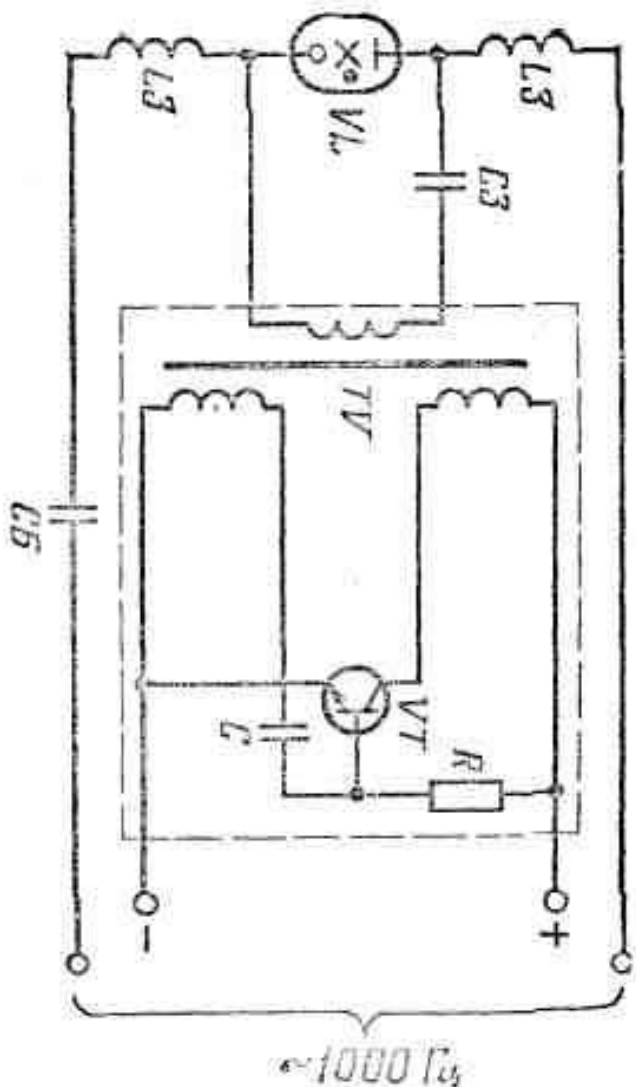


Рисунок 1.3 – Схема включення натрієвої лампи високого тиску

втрати тепла на 8...12 %, а природна освітленість збільшується на 20-25 %. Також зменшуються терміни дозрівання салатів на 15-17 днів, вирощування розсади – на 10-11 днів, збільшується вихід розсади з одного квадратного метра до 60 штук, зменшується площа розсадних відділень у 1,5-2 рази, підвищується врожайність ранніх культур на 3-5 %. Крім того, повністю ліквідується потреба в демонтажі та повторному монтажі опромінювачів, знижуються експлуатаційні витрати на обслуговування світлотехнічного обладнання у 1,5-2 рази.

У процесі вирощування рослин у парниках потрібно змінювати світловий потік і тривалість денного освітлення за заданою програмою. Є два способи регулювання світлового потоку розрядних ламп, що працюють на змінному струмі: амплітудний і фазовий.

Амплітудний метод регулювання світлового потоку розрядних ламп дозволяє здійснювати регулювання в досить обмеженому діапазоні. Це обумовлено тим, що при зниженні амплітуди напруги живлення нижче рівня запалювання розрядної лампи, вона перестає працювати.

Фазовий метод регулювання світлового потоку позбавлений цього недоліку. Він дозволяє підтримувати стабільну роботу розрядної лампи навіть при зниженні напруги живлення до 0,5 від номінальної.

У фазовому методі проводиться швидке перемикання навантаження блоку опромінювальних установок протягом напівперіоду синусоїди напруги мережі, що має значний вплив на зміну характеру струму в мережі. Щоб уникнути цього явища, необхідно живити опромінювальні установки через власний силовий трансформатор за допомогою 3-фазної мережі з ізольованою нейтраллю.

Як було відзначено раніше, головна мета опромінювальної установки полягає у передачі заданої кількості променевої енергії приймачу. Для цього розрахунок повної енергії випромінювання є необхідним. Однак цей розрахунок досить складний, і тому у більшості випадків його спрощують шляхом заміни повної енергії, що падає на рослину, на її поверхневу щільність, або дозу опромінення. Для кожної опромінювальної установки доза опромінення

визначається як "нормована доза" або "норма опромінення", яка може бути виражена в ефективних величинах, наприклад, Дж/м.

В опромінювальних установках вихідним параметром для розрахунків є опроміненість, яку або встановлюють, або визначають з дози. Ця опроміненість від обраних джерел випромінювання може бути розрахована за допомогою різних світлотехнічних методів з різним ступенем точності. Однак при використанні цих методів необхідно враховувати зміни активних коефіцієнтів відбиття, пропускання та поглинання, які зумовлені арматурою світильника, довкіллям і поверхнею приймача при зміні складу спектра джерела випромінювання.

Зміна ККД світильника залежно від зміни спектра випромінювання враховується за допомогою спеціального коефіцієнта. Склад спектра випромінювання також істотно впливає на коефіцієнт запасу. Початкові потоки ламп при довгохвильових випромінюваннях змінюються незначно. Ультрафіолетове випромінювання швидко знижує коефіцієнт пропускання скла, а навіть невелика кількість пилу сильно поглинає УФ-випромінювання. Це має відображення на коефіцієнтах запасу.

З урахуванням усіх вищезгаданих корекцій для визначення потрібної опроміненості застосовуються три відомі в світлотехніці методи розрахунку: точковий метод, метод коефіцієнта використання світлового потоку і метод використання питомої потужності з використанням довідкових таблиць, що складені для розрахунку освітлення.

1.4 Моделювання фотофізіологічних процесів

Технологія вирощування овочевих культур має за мету забезпечення високої якості як розсади, так і готової продукції, при цьому знижуючи їхню собівартість, зокрема, за рахунок економії електроенергії та раціонального використання її потужності. Під час вирощування розсади важливо акцентувати увагу на прискоренні початкового розвитку рослин за рахунок формування

потужної кореневої системи та листового покриття, а також на відкладенні репродуктивних органів у відповідності з інтенсивністю вегетативного розвитку.

Для вирощування розсади огірків та томатів потрібна освітленість у межах 9...10 тис.лк, в той час як для дорослих рослин вона має становити не менше 5 тис.лк. Процес підготовки розсади до умов, у яких рослини будуть рости після висадки, передбачає поступове зменшення освітленості від 9 тис. до 2,5 тис.лк для томатів та від 5 тис. до 2,5 тис.лк для огірків.

Багато рослин, які вирощуються на півночі, не демонструють хорошого розвитку в південних районах країни. Ці рослини, відомі як рослини довгого світлового дня, потребують тривалого періоду світла для належного росту і розвитку. На півночі, світловий день влітку значно триваліший, ніж на півдні, тому більша тривалість світлового періоду в добу, більше 8...10, сповільнює розвиток рослин, їх цвітіння та плодоношення. На відміну від цього, рослини короткого світлового дня затримуються у рості при недостатній тривалості темного періоду доби, менше 10 годин. Цю особливість рослин широко використовують для прискорення або затримання їх цвітіння, особливо у випадку квітів. Для створення таких умов освітленість може бути невеликою і не перевищувати декількох сотень люкс.

1.5 Постановка задачі дослідження і проектування

Отже, для отримання ранніх урожаїв овочів у захисних умовах ґрунту під час періодів з коротким або недостатнім світловим періодом, необхідно використовувати системи технологічного освітлення для досвічування рослин. Проте, існуючі системи і їх управління на сучасному етапі розвитку національного господарства не завжди відповідають вимогам агробіологічного розвитку рослин. Розробка та впровадження нових, більш ефективних систем і джерел опромінення часто залишаються без відповідних систем управління процесом опромінення, які б враховували інші параметри мікроклімату теплиць та оранжерей. Дуже часто при вирощуванні рослин у закритому ґрунті не

враховують необхідну опроміненість залежно від віку рослини. Часто прийнята система освітлення базується на фіксованих нормах освітленості, які встановлюються перед проектуванням системи та залишаються незмінними протягом всього терміну її експлуатації. Зміна освітленості можлива лише через перерозташування світильників щодо відстані між ними, їх висоти та кількості. Однак такий метод регулювання освітленості виявляється складним технологічним етапом, що не завжди гарантує постійну однорідність освітленості поверхні рослин. Отже, потрібно розробляти системи освітлення, які забезпечують необхідну освітленість при сталому розташуванні світильників для різних видів рослин та на різних етапах їх розвитку.

Аналіз розвитку методів вдосконалення елементів та систем оптичного опромінення рослин у теплицях показує, що цей процес прогресує у трьох основних напрямках: вдосконалення спектрального складу джерел оптичного випромінювання, дослідження впливу зміни частоти струму джерел освітлення на рослини та аналіз впливу режиму опромінення на якість овочевої продукції у теплицях, які максимально наближені до природних умов розвитку рослин.

Наша думка полягає в тому, що дослідження взаємодії трьох основних параметрів росту рослин у теплицях - режимів і інтенсивності опромінення, температурного режиму в теплицях та системи крапельного поливу, яка найбільш точно відтворює природні умови росту рослин, не отримує достатньо уваги.

Отже, серед завдань для дослідження та розробки освітлення, яке враховує ці фактори, можна виділити такі:

- вивчення взаємодії між температурою повітря в теплицях та рівнем фізіологічно активної радіації;
- дослідження впливу ФАР та крапельного поливу на врожайність;
- керування ультрафіолетовим опроміненням рослин у теплиці та контроль інтенсивності ФАР;
- автоматизація процесів створення умов та режимів досвічування рослин у теплицях.

2 ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ, ПОЛИВУ ТА РІВНЯ ФАР НА ВРОЖАЙНІСТЬ

2.1 Значення температури повітря в моделі штучного опромінення

Одним із ключових факторів, що впливають на врожайність рослин, є температура повітря та ґрунту. Овочеві культури потребують різних температурних умов у різні періоди їхнього зростання. Молоді рослини, з слабкою кореневою системою, вимагають меншої температури та більшої опроміненості, оскільки підвищення температури збільшує інтенсивність дихання. Важливою є також диференціація нічних температур, що сприяє збільшенню врожайності. Для нормального розвитку рослин різниця між нічною та денною температурою повинна бути у межах 3-5 градусів для огірків та 3-8 градусів для томатів.

Також важливо правильно контролювати температуру ґрунту. Підвищення температури ґрунту може сприяти зростанню томатів, що може мати як позитивний, так і негативний ефект. Підігрівання ґрунту при вирощуванні ранніх культур може призвести до збільшення зростання рослин при недостатньому освітленні, що спричиняє дисбаланс між величиною стебла рослини і її квітками. У такому випадку рослина може розвинути сильну підземну частину - кореневу систему, а також ранні плоди, але загальний врожай може зменшитись.

Підвищена сонячна радіація може призвести до перевищення оптимальної температури, що в свою чергу спричиняє втрату життєздатності пилку рослин, пошкодження плодів і листя опіками, а також зміну їхнього кольору.

Дослідження взаємодії мікроклімату в теплиці та інтенсивності фізіологічно активної радіації проводилося як у теоретичному, так і у практичному аспектах. Для прогнозування та розрахунків найбільш оптимального співвідношення між ними, зазвичай враховують результати експериментальних та виробничих досліджень у параметрах теоретичних функціональних залежностей.

Останні дослідження щодо штучного опромінення рослин, проведені у минулі роки, надали достатньо експериментальних даних для аналізу взаємозв'язку між температурою та швидкістю фотосинтезу [1]. За результатами цього аналізу можна вважати, що цей зв'язок проявляє екстремальність, а його оптимум зростає зі збільшенням опроміненості до насичуючих значень. Апроксимація таких досліджень показує, що залежність оптимальної температури від опроміненості має трьохчленну функціональну залежність, хоча вона і лінійна [2].

Для практичного застосування така лінійна залежність є відносно складною та вимагає багато зусиль. Отже, подальший аналіз взаємозв'язку між температурою повітря та інтенсивністю штучного опромінення в межах до насичуючих значень опроміненості можна використати як показникову апроксимаційну функцію.

На рис. 2.1 зображено залежність швидкості фотосинтезу в початковому періоді розвитку рослин огірків (1) від температури повітря та фітоопроміненості (E), яка була визначена Свентіцьким І.І. [3]. На рис. 2.2 показані точки максимальних значень та графік апроксимуючої функції.

Можна записати, враховуючи, що зв'язок швидкості фотосинтезу (1) з опроміненістю є показниковим

$$dM/dt = C \cdot E^a, \quad (2.1)$$

де dM – елементарна фітомаса, утворена за певний проміжок часу;

E – рівень опромінення;

C – коефіцієнт пропорційності;

a – показник ступеня.

Після здійснення інтегрування виразу (2.1) отримаємо формулу для загальної фітомаси, яка накопичується

$$M = C \cdot E \cdot at. \quad (2.2)$$

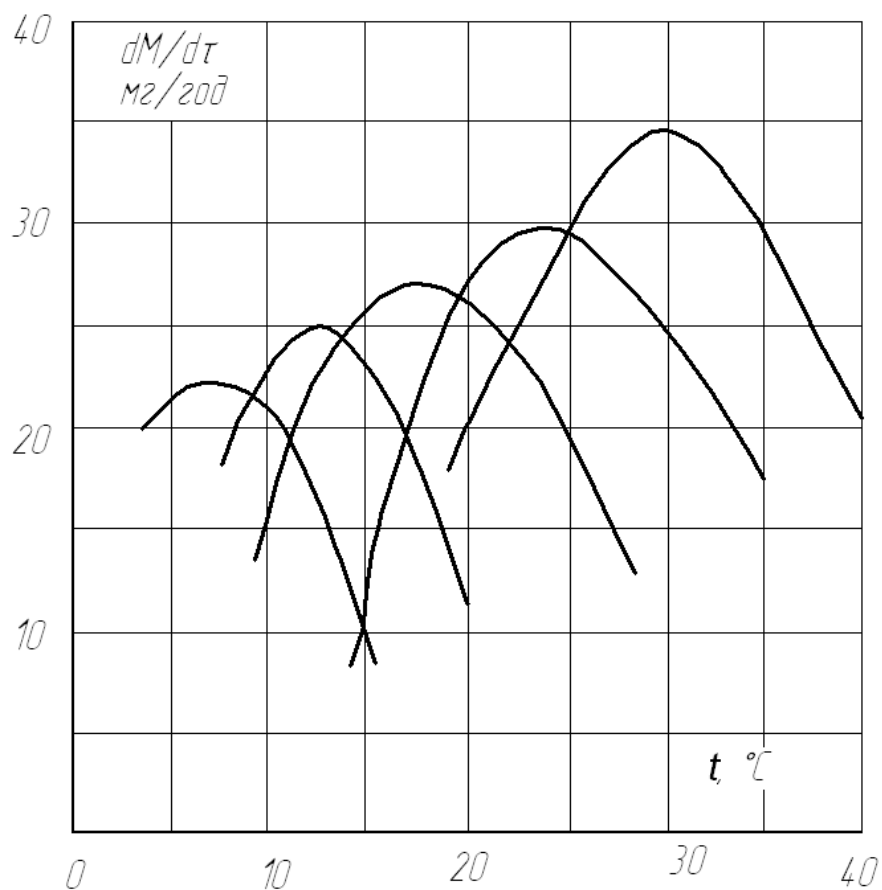


Рисунок 2.1 – Залежність швидкості фотосинтеза від температури повітря і фітоопроміненості E :
 1 – 4 $\text{фг}/\text{м}^2$; 2 – 8 $\text{фг}/\text{м}^2$; 3 – 12 $\text{фг}/\text{м}^2$; 4 – 18 $\text{фг}/\text{м}^2$; 5 – 25 $\text{фг}/\text{м}^2$

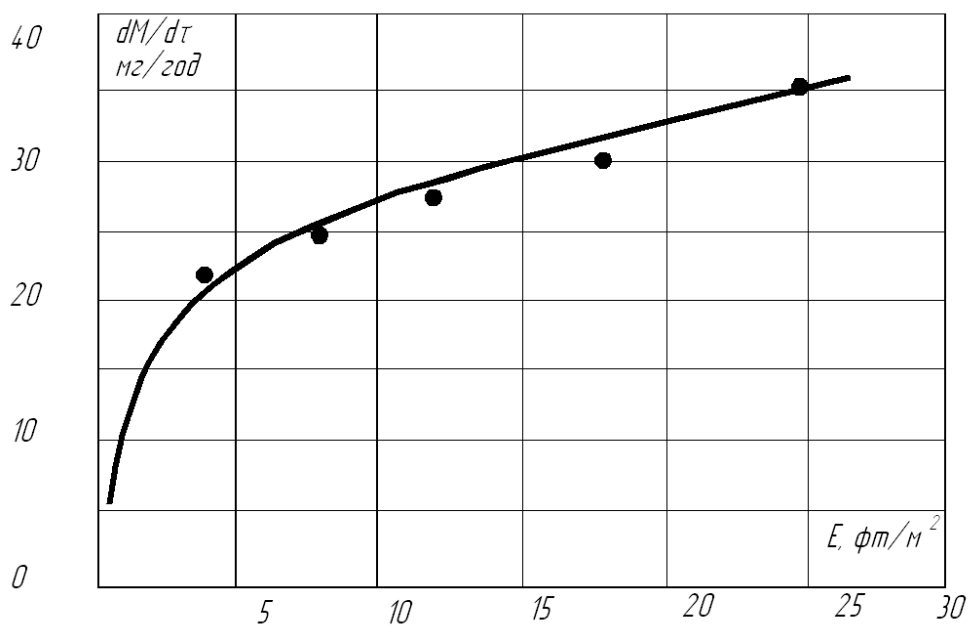


Рисунок 2.2 – Апроксимація ступеневої функції залежності швидкості фотосинтезу від опроміненості

У цьому випадку відсутність показника ступеня при t означає, що для всіх сценаріїв при однаковому часі вирощування і оптимальній температурі M залежить лише від опроміненості E

$$M = A \cdot E \cdot a, \quad (2.3)$$

де $A = CT$ – коефіцієнт пропорційності.

В літературі [4] розглянуто методику визначення показника ступеня «а» шляхом логарифмування зміни фітомаси (або швидкості фотосинтезу) та опроміненості на основі результатів експериментальних досліджень розвитку рослин. У табл. 2.1 наведені результати розрахунків показника ступеня «а» на основі експериментальних даних. Середнє значення $a_{cp} = 0,276$ може бути використане для обчислень та побудови апроксимуючої функції (1), яка представлена на рис .2.2 при $C = 14,396$ та швидкості фотосинтезу 35 мг/год.

Згідно з висновками, запропонованими у розглянутій літературі, оптимізація температури враховуючи зміни у ФАР має значний енергетичний ефект. Наприклад, при зниженні опроміненості на 50%, затрати енергії вдається зменшити на 47,3%, а термін вирощування лише збільшується на 5,5%. Це означає лише додаткові два дні у порівнянні з процесом вирощування розсади.

Таблиця 2.1 – Результати розрахунків показника ступеня «а»

dM/dt , мг/ч	35; 30	30; 27,5	27,5; 25	25; 22
E , фт/м ²	25; 18	18; 12	12; 8	8; 4
a	0,469	0,2145	0,235	0,184
a_{cp}	0,276			

Таблиця 2.2 – Розрахунок апроксимуючої функції

E , фт/м ² (експеримент)	25	18	12	8	4
dM/dt , мг/ч (експеримент)	35,0	30,0	27,5	25,0	22,0
dM/dt , мг/ч (расчет)	35,0	31,96	28,58	25,55	21,10
Погрешность расчета, %	0,0	+6,55	+3,93	+2,22	-4,06

Отже, запропонована математична модель енергетики опромінення рослин на початковому етапі вирощування вказує на те, що зниження штучної

опроміненості, або потужності опромінювальних установок, не лише є доцільним, а й енергетично вигідним при оптимізації температури в зоні вирощування рослин.

2.2 Вплив взаємодії ФАР і поливу на врожайність культур

Для досягнення оптимального розвитку рослин в теплицях регулюють більшість параметрів мікроклімату та фізіологічно активного опромінення (ФАО). Особливо важливими факторами є доза ФАР, а також забезпечення рослин вологою та необхідними поживними речовинами.

Для розкриття можливостей оптимізації, розглянемо процес нарощування зеленої маси рослини у залежності від різних факторів. Широко відомо, що біологічні об'єкти зазвичай розвиваються за типовою "S"-подібною кривою, яку в біології відомо як крива Сакса. Академік В.П. Горячкін називав таку криву інтегральною, оскільки її форма схожа на інтеграл, а за суттю вона може бути отримана шляхом інтегрування основної залежності.

За допомогою кривої Сакса можна розрахувати максимально можливий врожай, враховуючи основні фактори, що обмежують його: правильне розташування основного листового апарату у просторі та створення для нього найбільш сприятливих умов для фотосинтезу; підтримання оптимальної вологості та рівня поживних речовин у ґрунті; швидкості наростання біомаси та інших факторів.

Цей метод дозволяє визначити не лише щоденні, але й загальні потреби рослин на протязі всього вегетаційного періоду — води, поживних речовин, вуглекислого газу, дози ФАР і т.д., щоб досягти необхідної біомаси і досягнути запланованого врожаю.

У сільському господарстві застосовують терміни потенційний, біологічний і стандартний врожаї. Під потенційним врожаєм (ПВ) мають на увазі той, який теоретично можна отримати при достатній кількості вологи, тепла, дози УФ та ФАР, а також інших факторів.

Потенціальний врожай (кг/м²):

$$Y_{\text{ПВ}} = \eta_{\text{ФАР}} K_{\text{М}} \frac{\sum Q_{\text{ФАР}}}{q}, \quad (2.4)$$

де $\eta_{\text{ФАР}}$ означає ККД фотосинтетично активної радіації для певної культури при оптимальних умовах опромінення;

$K_{\text{М}}$ представляє собою коефіцієнт, який відображає ефективність виробництва врожаю або частку основної продукції у загальній біомасі;

$\sum Q_{\text{ФАР}}$ – це загальна кількість ФАР, отримана рослиною протягом вегетаційного періоду, виражена в кДж/м²;

q – це енергетична врожайність, що визначається як кількість тепла, що виділяється під час спалювання 1 кілограма абсолютно сухої біомаси. Цей показник зазвичай залежить від вмісту білків у біомасі: чим вищий вміст білків, тим вищий показник енергетичної врожайності, кДж/кг.

Теоретичний максимальний ККД фотосинтезу становить лише 6-8%. На практиці цей показник значно нижчий, оскільки неможливо забезпечити рослинам ідеальне поєднання всіх агрономічних умов (вологості, температури, освітлення тощо). Тому фактичний ККД ФАР менший і розраховується за формулою

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{Y_{\text{В}} q}{\sum Q_{\text{ФАР}}}, \quad (2.5)$$

де $Y_{\text{В}}$ – біологічний урожай,

$$Y_{\text{В}} = \frac{Q_{\text{А}}}{q}, \quad (2.6)$$

де $Q_{\text{А}}$ – фактично накопичена доза ФАР, кДж/м²;

q – енергетична врожайність, кДж/кг.

Отже

$$\eta_{\text{ФАР}} = \frac{Q_{\text{А}}}{\sum Q_{\text{ФАР}}} \quad (2.7)$$

Коефіцієнт господарської ефективності врожаю:

$$K_{\text{М}} = \frac{Y_{\text{Т}}}{\sum a}, \quad (2.8)$$

де Ч_T – частка товарної продукції у загальній біомасі (вважається рівною 1);

$\sum a$ – сума часток основної та побічної продукції.

Зазвичай K_M вважають рівним 0,387 для біомаси зі стандартною вологостістю 14 % [4].

Загальна кількість ФАР (кДж/см²) протягом вегетаційного періоду визначається за допомогою емпіричної формули

$$\sum Q_{\text{ФАР}} = 0,42 \sum S + 0,58 \sum D, \quad (2.9)$$

де $\sum S$ – сумарне значення прямої радіації;

$\sum D$ – сумарне значення розсіяної радіації

Враховуючи всі вищезазначені фактори, потенційний врожай складе

$$Y_{\text{ПУ}} = \eta_{\text{ФАР}} K_M \frac{\sum Q_{\text{ФАР}}}{q} = \frac{\text{Ч}_T Q_A}{q \sum a} \quad (2.10)$$

Отже, потенційний врожай відноситься прямо пропорційно до фактично накопиченої рослинами дози ФАР.

Стандартний врожай біомаси (при нормальній вологості) складатиме

$$Y_{\text{СТ}} = \frac{Y_B}{1 - W_{\text{СТ}}}, \quad (2.11)$$

де $W_{\text{СТ}}$ – відносна нормативна вологість.

При вологості, що відрізняється від стандартної, формула (2.11) відображає фактичний врожай

$$Y = \frac{Y_B}{1 - W_{\text{СТ}}} \quad (2.12)$$

Враховуючи формули (2.6), (2.7) і (2.12), після послідовності операцій отримаємо зв'язок між вологості ґрунту та дозою ФАР, яку фактично накопичила рослина

$$W = 1 - \frac{\eta_{\text{ФАР}} \sum Q_{\text{ФАР}}}{q Y_{\text{СТ}}} = 1 - \frac{\eta_{\text{ФАР}}}{q Y_{\text{СТ}}} \sum Q_{\text{ФАР}}. \quad (2.13)$$

Припустимо, що ККД ФАР, Y і $Y_{\text{СТ}}$ залишаються незмінними.

Отже, головна мета проведених досліджень полягає у встановленні зв'язку між інтенсивністю крапельного поливу (W) і $\sum Q_{\text{ФАР}}$ для ефективної автоматизації цього процесу.

Отже, відносна вологість зворотно залежить від сумарної ФАР, тоді як потенційний врожай (2.10) пропорційний сумарній ФАР. Це означає, що підвищення врожайності можливе при постійній вологості через збільшення дози ФАР, а при постійному рівні опроміненості - шляхом збільшення відносної вологості. Такий підхід розширює можливості впливу на врожайність за рахунок двох параметрів.

Експерименти, які відбувалися в тепличному комплексі агролабораторії в період з 2010 по 2011 роки, а також у 2012 році з вирощування огірків, показали помітний вплив збільшення дози ФАР (D_1/D_2) на приріст зеленої маси рослин, особливо в перших днях їхнього росту. Експерименти проводилися на спеціально відведених ділянках, де змінювалися параметри відносної вологості у межах 10...20 % і потужність опромінення ФАР від 5 до 8 клк.

На графіках рис. 2.3 представлено результати одного з варіантів експерименту, де показана залежність приросту зеленої маси рослин огірків протягом 15 днів при стандартній вологості (14%) і двох різних дозах ФАР: $D_1 = 8$ клк і $D_2 = 6$ клк.

Внаслідок проведених досліджень стає очевидним, що підвищення врожайності та зменшення витрат електроенергії можливе шляхом оптимізації

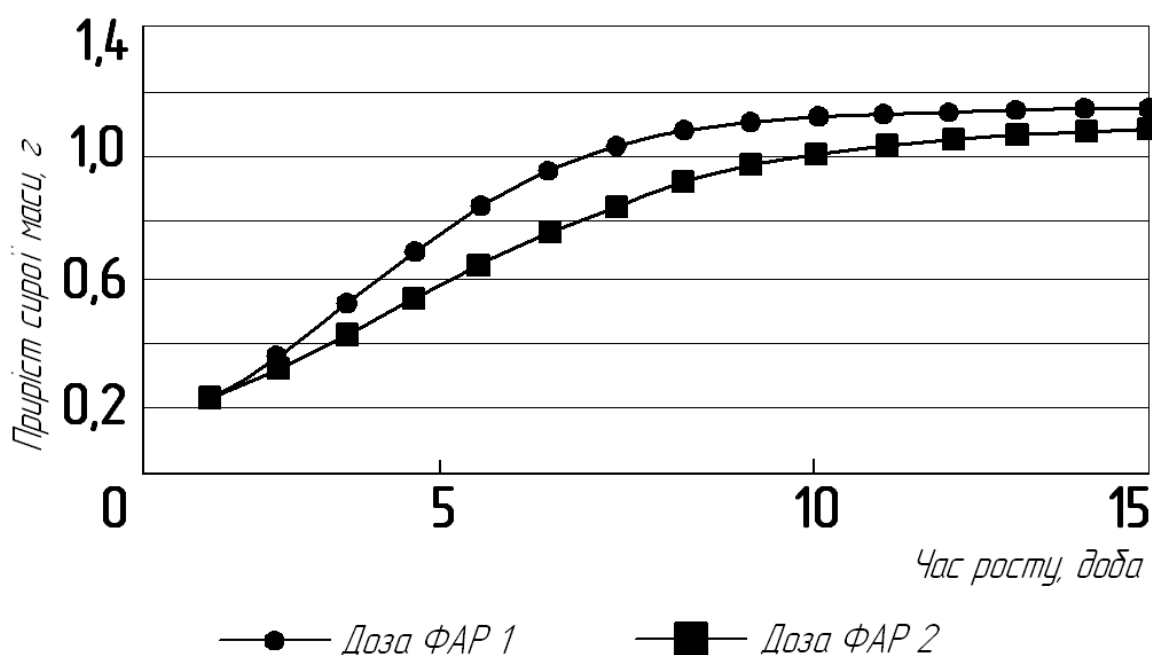


Рисунок 2.3 – Приріст зеленої маси в залежності від дози опромінення

параметрів температури повітря, крапельного поливу та інтенсивності опромінення ФАР.

Для впровадження програми корекції поливу розроблена схема блоку корекції УФО, в якій фоторезистор використовується за схемою, зображеною на рис. 2.4.

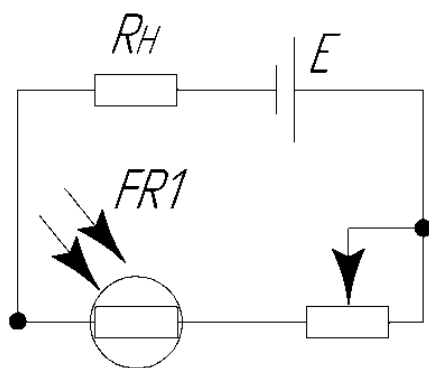


Рисунок 2.4 – Схема включення фоторезистора

Фоторезистор *FR1* типу СФ2-12 (чутливість в діапазоні 400-800 нм) використовується у блоку витримки часу. Це забезпечує включення блоку управління (БУ) лише після того, як блок витримки часу (БВЧ) затримав повне розгортання джерел еритемного та видимого випромінювання (ДВ). Світловий потік (Φ_c), що потрапляє на фоторезистор *FR1*, активує таймер з витримкою часу у 10 хвилин.

Фоторезистор *FR1* використовується у блоку корекції дози ФАР (БКД) і включений у ланку зворотного зв'язку (ЗЗ) генератора імпульсів. Це зроблено для того, щоб уникнути впливу зменшення світлового потоку. Згаданий фоторезистор дозволяє лічильникам у БКД визначати кількість імпульсів.

При пониженні світлового потоку опір *FR1* збільшується, що призводить до зниження частоти імпульсів, генерованих генератором. Це призводить до збільшення часу опромінення рослин до досягнення необхідної їм дози ФАР. Ця доза задається трирозрядним лічильником у блоку завдання дози опромінення (БЗ), який встановлює потрібний коефіцієнт перерахунку і відповідно час рахунку імпульсів. Автоматичне управління крапельним поливом (КП) відбувається одночасно з активацією джерел еритемного випромінювання (ДЕВ) за допомогою загального магнітного пускача (МП).

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДОСВІЧУВАННЯ РОСЛИН

3.1 Аналіз шляхів автоматизації процесу досвічування

Об'єктом автоматичного керування є технологічний процес освітлення рослин у теплицях, що повинен забезпечити рослини необхідною оптичною радіацією для фотосинтезу у періоди, коли сонячного опромінення недостатньо як за інтенсивністю, так і за тривалістю світлового дня. Встановлено, що для нормального фотосинтезу рослинам потрібне світло в видимому діапазоні спектра (380–720 нм) та ультрафіолетове випромінювання у межах 295–320 нм. Варто відзначити, що випромінювання з довжиною хвилі менше 295 нм негативно впливає на рослини.

УФ випромінювання в цьому діапазоні майже не проникає до теплиці через повне поглинання склом або плівкою покриття. Для імітації природного опромінення рослин в теплицях потрібні два види ультрафіолетового випромінювання: для розсади – від 295 до 400 нм і для плодоносячих рослин – від 295 до 320 нм.

Найкраще використовувати лампи ДРNaT і ДРИ–400 разом з еритемними люмінесцентними лампами ЛЕ-30 для освітлення рослин у вказаних двох діапазонах оптичного випромінювання (380–720 та 295–320 нм). Ці лампи мають потрібний спектр випромінювання в ультрафіолетовій області та надійність на протязі до 10 тисяч годин служби.

Для виміру фактично накопиченої рослинами дози оптичного випромінювання використовують оптичні чутливі елементи: фотодіод ФД 7К для видимого діапазону та фоторезистор ФСК–2 для ультрафіолетового.

Принципи та режими роботи ртутних ламп, розглянуті у розділі 1 щодо керування процесом опромінення рослин, налаштовують ФАР в залежності від основних параметрів мікроклімату в теплиці, таких як температура повітря, вологість ґрунту та сонячне освітлення. Вони не передбачають динамічного керування, оскільки напруга живлення знижується за допомогою стандартних

методів. Використання високочастотних генераторів струму для регулювання ФАР у тепличному господарстві не є можливим через їх високу вартість. Тому було вирішено використовувати метод фазового регулювання напруги для розробки системи керування ФАР. Цей метод дозволяє підтримувати стабільну роботу розрядної лампи при напрузі живлення до 0,5 В, тому найбільш сприятливим варіантом є використання принципів позиційного керування.

3.2 Розробка структурної схеми керування освітленням

Перед тим як регулювати світловий потік для досвічування, потрібна інформація про ступінь опромінення рослин. Цю інформацію отримують за допомогою фотоелектричних чутливих елементів. Електричну енергію, отриману від цих елементів, порівнюють з інформацією про опроміненість рослин від природного освітлення, щоб оцінити рівень освітленості та опромінення в теплиці. У такий спосіб встановлюють, коли рівень опромінення нижче потрібного та коли рівень освітленості значно перевищує необхідну норму. Хоча перевищення рівня освітленості для рослин не є негативним, економічно неефективно витрачати електричну енергію. Тому важливо точно відповідати рівню освітленості, який вимагає агротехніка. Для досягнення цього в процес керування досвічуванням включають блок контролю освітленості, який формує сигнали для управління. За цією інформацією проводиться налаштування напруги, що надходить до освітлювальних систем. Цю функцію виконує блок керування освітленістю. Він, опираючись на вхідні дані про рівень освітленості, коригує напругу мережі живлення таким чином, щоб усунути перевищення або недостатню інтенсивність освітлення, зменшуючи або збільшуючи світловий потік освітлювальних установок.

В автоматизованій системі досвічування рослин необхідно мати блок, який відповідно вмикає та вимикає освітлювальні пристрої у визначений час доби. Цю роль виконує блок керування тривалістю освітлювального періоду.

Важливо відзначити, що загальна потужність освітлювальних систем є значною, і одночасне їх включення до мережі живлення неприпустиме. Це може

призвести до різкого зростання струму в мережі, що може негативно вплинути на інших споживачів електроенергії, які в цей час підключені до цієї мережі. Тому в структуру системи автоматичного освітлення слід включити блок, який при отриманні сигналу для підключення до мережі - навантаження, активує підключення окремими сегментами.

На основі аналізу потрібних компонентів для автоматичного освітлення рослин у теплицях складена структурна схема системи, яка показана на рис. 3.1.

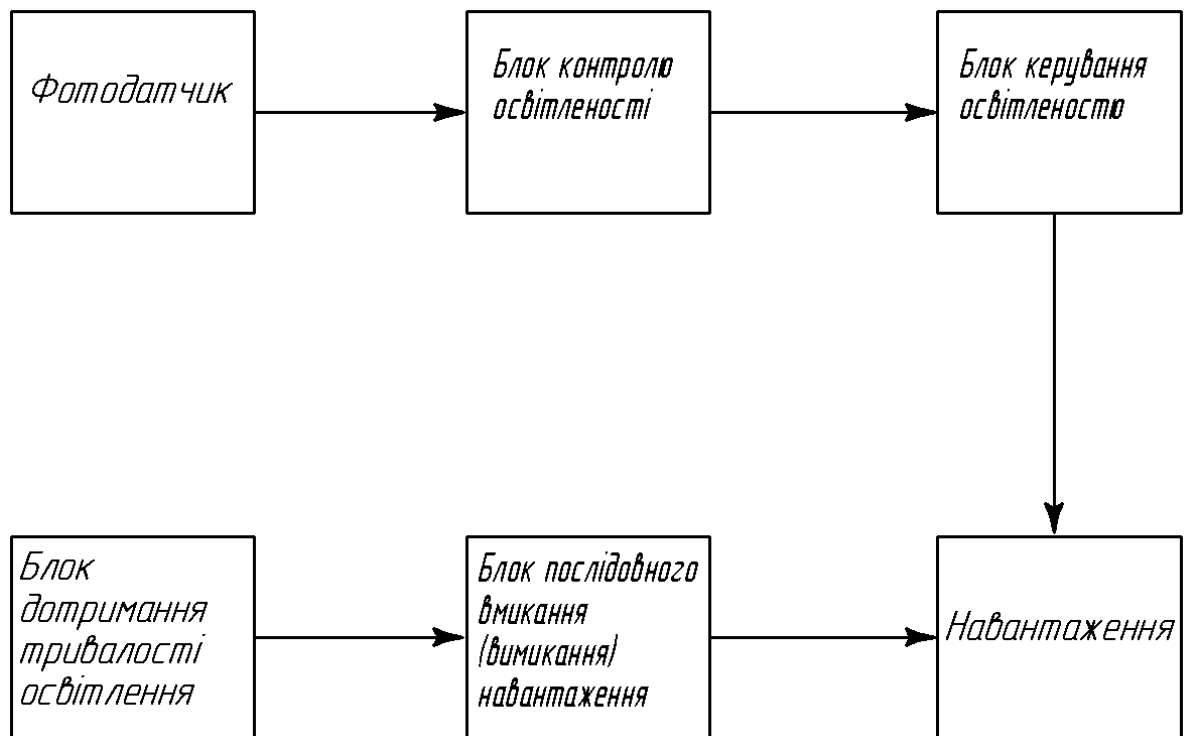


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи автоматичного
досвічування рослин

3.3 Розробка функціональної схеми керування освітленням

Для забезпечення необхідної точності вимірювання освітленості та для подальшої зручності обробки отриманих даних всі сигнали, що передаються елементами системи, повинні бути перетворені у цифровий двійковий код. Таким чином, вся система автоматичного управління досвічуванням рослин повинна бути представлена за допомогою цифрових елементів.

Функціональна схема системи автоматичного досвічування рослин зображена на листах теоретичного креслення. Робота системи організована таким чином: фотодатчик, який виступає як основний перетворювач, перетворює світлову енергію на електричну енергію, пропорційну напрузі на його вході. Значення цієї напруги, за допомогою аналого-цифрового перетворювача, конвертується у цифровий код у двійковій системі числення. При цьому отримане двійкове число відповідає рівню освітленості, вимірюваному датчиком в місці його розташування. Значення освітленості, виражене у формі двійкового коду, передається до схеми порівняння кодів, де порівнюється зі значенням коду, встановленого користувачем за допомогою пульта керування. Цей код встановлює необхідний рівень освітленості згідно з встановленими стандартами. Користувач може встановити бажаний рівень освітленості через пульт керування, де за допомогою дешифратора та світлодіодного індикатора код завдання перетворюється у десяткове число. Це число точно вказує, який рівень освітленості потрібно забезпечити у конкретний момент або на певному етапі розвитку рослин.

Система порівняння кодів генерує три сигнали: " $X > Y$ ", " $X = Y$ ", " $X < Y$ ", де " Y " визначає код завдання необхідної освітленості, а " X " відображає код поточного рівня освітленості рослин. Сигнали " $X > Y$ " та " $X < Y$ " використовуються для управління реверсивним лічильником. Коли сигнал " $X > Y$ " вказує на те, що поточний рівень освітленості вище, ніж заданий, реверсивний лічильник, який має тактовий вхід, що підключений через формувач прямокутних імпульсів до мережі з напівперіодом синусоїди напруги мережі, збільшує своє значення. Це значення вказує, наскільки пізніше треба включити навантаження освітлювальними приладами після проходження синусоїди напруги через нуль. Для цього код з реверсивного лічильника передається до зворотного лічильника, і коли напруга мережі проходить через нуль, формувач прямокутних імпульсів генерує позитивний сигнал "1", що повертає його в початковий стан. У той самий час активується генератор тактових імпульсів, які подаються на від'ємний вхід зворотного лічильника. З кожним тактовим імпульсом значення зворотного лічильника зменшується на одиницю. Коли значення лічильника досягне

нуля, з нього через гальванічну розв'язку надходить імпульс, який відкриває семістор на певний час напівперіоду змінної напруги мережі. Іншими словами, чим вище значення на виходах реверсивного лічильника, тим пізніше вмикається навантаження, і тим меншим стає світловий потік освітлювальних приладів.

Збільшення значення реверсивного лічильника триватиме до того моменту, коли обидва коди на схемі порівняння стануть рівними, тобто коли поточна освітленість дорівнюватиме заданій освітленості. У такий спосіб сигнал " $X > Y$ " припиняє існувати, і реверсивний лічильник перестає збільшувати своє значення, видаючи постійний код на зворотний лічильник до тих пір, поки не надійде сигнал " $X > Y$ " знову або " $X < Y$ ".

При сигналі " $X < Y$ ", що вказує на те, що поточний рівень освітленості нижче за заданий, дія цього сигналу відрізняється від дії сигналу " $X > Y$ ". У цьому випадку реверсивний лічильник поступово зменшує своє значення з кожним напівперіодом, що прискорює перерахунок коду зворотнього лічильника. Це означає, що семісторний ключ активується раніше, і він залишається відкритим протягом більшої частини напівперіоду синусоїди напруги. Це збільшує світловий потік, що випромінюється освітлювальними приладами на рослини. Ця дія триватиме до тих пір, поки заданий рівень освітленості " Y " не стане рівним поточному рівню освітленості " X " знову.

Система автоматичного досвічування рослин може функціонувати у двох режимах: 1) продовження світлового дня; 2) цілодобове освітлення.

У першому етапі запуск блоку для контролю тривалості освітлення відбувається у той момент, коли код, що відповідає заданому рівню освітленості, дорівнює початковому коду рівня освітленості. Це стає можливим лише у випадку, коли спочатку код поточного рівня освітленості менше за код заданого рівня. Таким чином, відбувається підвищення природного освітлення рослин – "схід сонця". Після цього активується мультивібратор, який генерує прямокутні імпульси, що подаються на дільник частоти, а потім на лічильник імпульсів.

Вимірювання часу відбувається наступним чином: спочатку оператор на пульті керування встановлює тривалість освітлення, і світлодіодний індикатор

відображає встановлений час у годинах. Далі задана тривалість освітлення в двійковому коді передається до схеми порівняння кодів. Коли значення лічильника збігається з кодом заданої тривалості освітленості, сигнал надсилається до блоку послідовного вмикання (вимикання) навантаження. Відтак, секції з освітлювальними приладами починають по черзі вимикатися (вмикатися) з інтервалом в 2-3 хвилини. Це можливо завдяки запуску або зупинці сигналу, що активує мультивібратор. Він генерує імпульси з періодом 2-3 хвилини, які потрапляють на тактовий вхід лічильника. З кожним імпульсом лічильник збільшує свої показання на одиницю. Ці значення лічильника подаються на вхід двійкового унітарного дешифратора, який у свою чергу активує вмикання (вимикання) кожної секції освітлювальних приладів по черзі з інтервалом 2-3 хвилини.

У режимі "подовженого світлового дня" відбувається поступове збільшення штучного освітлення у відповідь на зменшення природного світла. Це робиться з метою підтримки загального рівня освітленості на заданому рівні.

У режимі штучного світлового дня освітленість рослин значно вища, навіть у ті дні, коли є достатньо природного світла. Освітлювальні прилади активуються одразу після розпочатку сходження сонця. Це зроблено з метою збереження електроенергії, гарантуючи, що освітлення рослин відбувається в основному протягом світлого часу доби.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Розрахунок опромінювальних установок

4.1.1 Методика проведення розрахунку

В процесі проектування систем опромінення для рослинництва зараз застосовується досить простий, але не дуже ефективний підхід. Він базується на стандартах щільності електричної потужності випромінювання в ватах на квадратний метр опромінюваної поверхні [5]. Суттєві недоліки цього методу пояснюються тим, що стандарт щільності електричної потужності джерел випромінювання, який використовується як єдиний критерій, не може самостійно визначити ефективність впливу опромінювальної установки на рослини. Це зумовлено наступними факторами:

- спектральний склад випромінювання використовуваних джерел;
- ефективна віддача джерел;
- відстань між джерелами випромінювання та рослинами;
- конструктивне виконання опромінювальної установки.

При обчисленні опромінювальних систем для теплиці потрібно враховувати наступні аспекти.

1. Значна різниця між кривими відносної спектральної чутливості рослин та людського зору перешкоджає використанню загальноприйнятих світлових мір та їх одиниць вимірювання. В цьому випадку ефективним параметром є фітопотік, який вимірюється у фітах (фт). Один фіт відповідає одному вату випромінювання з довжиною хвилі 680 нм [1].

2. Система ефективних величин для приймачів оптичного випромінювання, таких як зелені рослини, наразі не має загальновизнаного стандарту.

3. Різниця у спектральних характеристиках використовуваних джерел випромінювання перешкоджає оцінці ефективності за каталожними даними. Для визначення ефективності потрібен спеціальний аналіз їх спектрів.

Рівень опромінення, необхідний для нормального розвитку та формування рослин у штучних умовах, якщо виразити його у світлових одиницях, повинен бути не менше 6...8 тис. лк [1]. Це значно перевищує стандартні рівні освітленості в звичайних освітлювальних системах, на десятки і навіть більше разів.

Для досягнення таких високих рівнів опромінення потрібна значна питома встановлена потужність джерел випромінювання, що може сягати 400 Вт/м^2 і більше. Ці значення встановленої потужності надзвичайно високі і перевищують стандартні показники для освітлювальних систем. Крім того, необхідно враховувати специфічні вимоги до опромінювальних установок та їх конструктивні особливості. Це свідчить про те, що наявні довідкові матеріали, методи розрахунку та конструювання освітлювальних систем не можуть бути застосовані безпосередньо для проектування тепличних опромінювальних установок.

Під час проектування опромінювальних установок, що використовують точкові або стандартні джерела випромінювання з однаковим розподілом потоку, практично складно досягти рівномірного опромінення по всій поверхні. Проте можливо створити установки з заданим мінімальним рівнем опромінення при певній ступеню нерівномірності.

Розміщення опромінювачів визначається специфікою просторового розподілу потоку випромінювання та головними розмірами опромінюваної площі.

Висота, на якій знаходяться підвішені опромінювачі над рослинами, визначається вибором типу джерела випромінювання з метою забезпечення необхідного рівня опромінення для рослин і уникнення їх перегріву. Зазвичай, для стаціонарних установок із точковими джерелами опромінювання, ця висота перевищує 0,5 метра [5].

Розрахунки доцільно проводити, виходячи з мінімально допустимого рівня опромінення. При цьому важливо не приймати значення коефіцієнта мінімального опромінення (позначеного як z у формулі 4.1) менше 0,8.

$$z = \frac{E_{\phi \min}}{E_{\phi \max}} \geq 0,8, \quad (4.1)$$

де z - це коефіцієнт мінімальної опромінення, вимірюваний у одиницях;

$E_{\phi \min}$ - представляє собою мінімальний рівень фітоопроміненості, вимірюваний у футах на квадратний метр;

$E_{\phi \max}$ - позначає максимальний рівень фітоопроміненості, також вимірюваний у футах на квадратний метр.

Фітоопроміненість в горизонтальній площині в певній точці визначається за допомогою формули (4.2). Загальне опромінення в цій точці розраховується як сума впливу опромінювачів, що знаходяться поблизу [5].

$$E_{\phi} = \frac{I_{\alpha} \cdot \cos^3 \alpha \cdot k_{\phi}}{h^2}, \quad (4.2)$$

де E_{ϕ} - представляє горизонтальну фітоопроміненість, вимірювану в футах на квадратний метр;

I_{α} - вказує на силу світла, що випромінюється опромінювачем у напрямку до обчислюваної точки, в канделях;

α - кут між вертикальною лінією, проведеною з опромінювача до точки обчислення, і лінією, яка з'єднує опромінювач і точку обчислення, в градусах;

k_{ϕ} - це коефіцієнт перетворення світлового потоку джерела в фітопотік, вимірюваний в футах на люмен;

h - це висота підвішування опромінювача, в метрах.

За допомогою кривої просторового розподілу потоку випромінювання певного типу опромінювача формується крива розподілу опромінення, що він створює, у вигляді функції відстані r при постійній висоті підвішування h . Цією кривою розраховують фітоопроміненість у характерних точках на площі, де може бути найменше опромінення. Максимальну відстань L між опромінювачами обирають так, щоб у характерних точках було виконано умову (4.1).

4.1.2 Вихідні дані

У тепличному комплексі, що перебуває під дослідженням та використовується для вирощування розсади огірка та томатів, функціонує п'ять розсадних теплиць, кожна з яких має площу 1000 м². Для освітлення розсади використовуються опромінювачі типу ОТ-400 з лампами ДРЛФ-400.

Проводиться порівняльний аналіз опромінювальних систем з метою визначення найбільш економічного рішення щодо заміни застарілих опромінювачів ВІД-400. Прямий варіант заміни ламп ДРЛФ-400 на більш енергоефективні лампи ДНаЗ-350 в опромінювачах типу ОТ-400 не розглядається через фізичний знос останніх.

У табл. 4.1 і 4.2 подано параметри опромінювачів та джерел оптичного випромінювання, які були обрані для проведення порівняльного аналізу.

Стандартний рівень опромінення для розсади огірка та томата визначено як $E_{min} = 8 \text{ фт/м}^2$ [3].

Таблиця 4.1 - Характеристики порівнюваних опромінювачів

Найменування	ЖСП 64-400-001Т	ЖСП 64-400-001Р	ЖСП 64-600-001Т	ЖСП 64-600-001Р
Тип лампи	ДНаТ 400	ДНаЗ 400	ДНаТ 600	ДНаЗ 600
Тип цоколя	Е40	Е40	Е40	Е40
Номінальна потужність, Вт	400	400	600	600
Номінальна напруга мережі, В	180-254/50-60Гц	180-254/50-60Гц	180-254/50-60Гц	180-254/50-60Гц
cosφ	0,96	0,96	0,96	0,96
Робочий струм (при напрузі 220В), А	2,48	2,48	3,62	3,62
Імпульсний струм, при включенні, А	70	70	70	70
Тривалість імпульсного струму при включенні, мс.	0,5	0,5	2	2
Тип ПРА	ЭПРА	ЭПРА	ЭПРА	ЭПРА
Маса (без лампи), кг	2,2	2,1	2,6	2,5
Ступінь захисту відсіку ПРА	IP65	IP65	IP65	IP65
Тип КСС	Л	Ш	Л	Ш
Ціна, грн	590	550	720	673

Таблиця 4.2 - Характеристики джерел випромінювання

Параметр	Тип джерела ОБ,			
	ДНаЗ-S-400 Reflux	ДНаТ-400	ДНаЗ-600 Reflux	OSRAM NAV PLANTASTAR 600
P, Вт	400	400	600	600
U на лампі, В	100	120	110	120
струм лампи**, А при 220 В	4,6	4,6	6,0	6,0
Срок служби, ч	15000	15000	15000	16000
Цоколь	EX40	E40	EX40	E40
$\bar{S}_{отн1}$ %	8	9	8	9
$\bar{S}_{отн2}$ %	63	64	65	56
$\bar{S}_{отн3}$ %	29	27	27	35
Φ_v , клм	53	50	81	82
Φ_e , Вт ФАР	105	113	180	212
Φ_ϕ , фт	62	62	99	126
η_e , %	26	28	30	35
η_ϕ , %	14	15,5	16,5	21
Ціна, грн.	167	100	275	295

Примітка: Φ_v - світловий потік; $S_{отн i}$ - усереднена відносна енергія випромінювання; Φ_e - променистий потік; Φ_ϕ - фітопоток потік; цоколь EX - спеціальний обертовий.

На рисунку 4.1 представлений план теплиці.

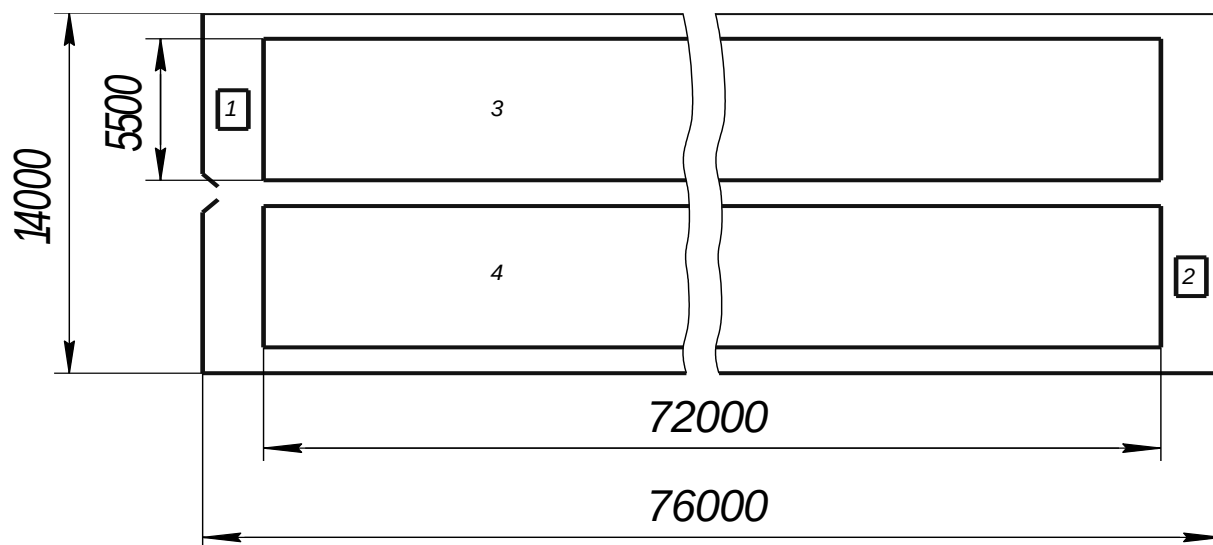


Рисунок 4.1 - План теплиці: 1, 2 - калорифер; 3, 4 - грядка.

4.1.3 Розрахунок опромінювача

Висоту підвісу для світильника ЖСП 64-400-001Р приймаємо рівною 1,45 метра. Для створення графіка залежності фітоопроміненості від відстані r використовуємо криву розподілу сили світла (КСС) лампи ДНаЗ-S-400 Reflux, яка представлена на рисунку 4.2.

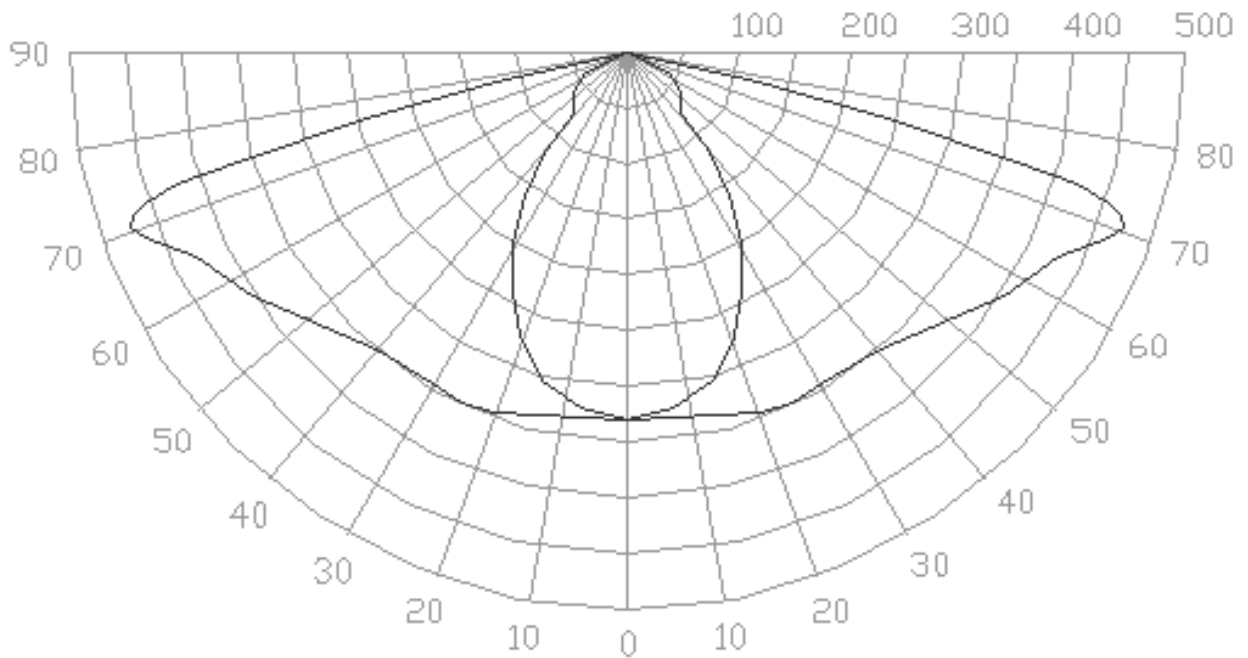


Рисунок 4.2 - КСС лампи ДНаЗ-S-400 Reflux (кд/1000Лм)

Для цього спочатку послідовно встановлюємо значення відстані r від центру опромінювача до точки на площині, що опромінюється. Кут α (рис. 4.3) між віссю опромінювача та напрямком до точки визначаємо відповідно до формули:

$$\alpha = \arctg(r / h), \quad (4.3)$$

де α - кут між прямою, опущеною з точки розташування опромінювача, і лінією, що з'єднує цю точку з розрахунковою точкою, вимірюваний в градусах;

r - відстань від точкової проекції лампи на площину, яку опромінює, до контрольної точки, виміряна в метрах;

h - висота підвісу опромінювача над площиною, вимірювана в метрах.

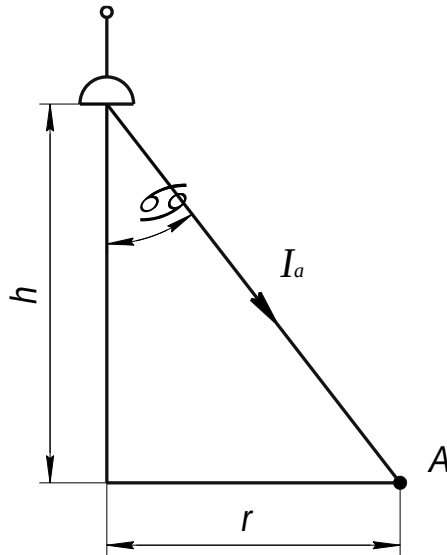


Рисунок 4.3 - До розрахунку опромінення в контрольній точці

Шляхом визначення кута α на кривій світлорозподілу лампи ДНаЗ супер/Reflux S 400-2 отримуємо силу світла I_{oe} у відносних одиницях. Для переведення сили світла з відносних одиниць в іменовані одиниці застосовуємо формулу [5]:

$$I = \frac{I_{oe} \cdot \Phi_l}{1000}, \quad (4.4)$$

де I - сила світла, вимірювана в канделах;

I_{oe} - сила світла, виражена у відносних одиницях;

Φ_l - світловий потік лампи, вимірюваний у люменах.

Коефіцієнт перетворення світлового потоку джерела випромінювання у фітопотік визначається за допомогою формули [5]:

$$\kappa_\phi = \frac{\Phi_\phi}{\Phi_v}, \quad (4.5)$$

де κ_ϕ - це коефіцієнт перетворення світлового потоку джерела випромінювання у фітопотік, вимірюваний у футах на люмен;

Φ_ϕ - фотосинтетичний потік, вимірюваний у футах;

Φ_v - світловий потік, вимірюваний у люменах.

Після цього розраховуємо опромінення в потрібній точці за допомогою формули (4.2).

Отримані під час розрахунків результати представляємо у табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати розрахунків

г, м	h, м	α , грд	I_{oe}	κ_ϕ	I, кд	E_ϕ , фт/м ²
0	1,45	0	330	0,00117	17490	9,73
0,1	1,45	3,9	328	0,00117	17384	9,61
0,2	1,45	7,9	327	0,00117	17331	9,38
0,3	1,45	11,7	330	0,00117	17490	9,14
0,4	1,45	15,4	335	0,00117	17755	8,85
0,5	1,45	19,0	345	0,00117	18285	8,60
0,6	1,45	22,5	348	0,00117	18444	8,10
0,7	1,45	25,8	350	0,00117	18550	7,54
0,8	1,45	28,9	346	0,00117	18338	6,85
0,9	1,45	31,8	347	0,00117	18391	6,28
1	1,45	34,6	350	0,00117	18550	5,76
1,1	1,45	37,2	352	0,00117	18656	5,25
1,2	1,45	39,6	354	0,00117	18762	4,77
1,3	1,45	41,9	360	0,00117	19080	4,38
1,4	1,45	44,0	365	0,00117	19345	4,01
1,5	1,45	46,0	370	0,00117	19610	3,66
1,6	1,45	47,8	375	0,00117	19875	3,35
1,7	1,45	49,5	378	0,00117	20034	3,05
1,8	1,45	51,1	380	0,00117	20140	2,77
1,9	1,45	52,7	385	0,00117	20405	2,54
2	1,45	54,1	392	0,00117	20776	2,34
2,1	1,45	55,4	400	0,00117	21200	2,16
2,2	1,45	56,6	405	0,00117	21465	1,99
2,3	1,45	57,8	420	0,00117	22260	1,88

На основі даних, наведених у таблиці 4.3, побудуємо графік залежності E_ϕ від відстані r , який представлений на рис.4.4.

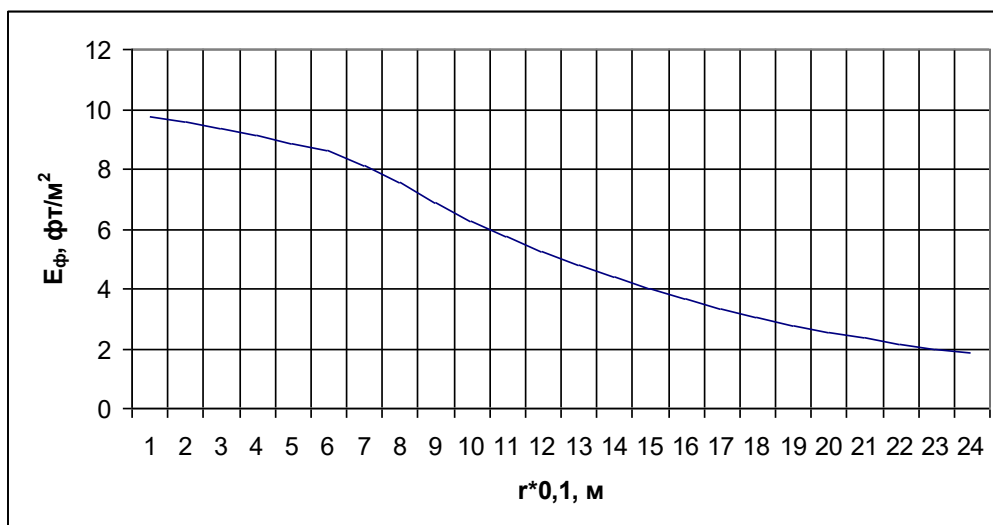


Рисунок 4.4 - Графік розподілу опромінення опромінювача ЖСП 64-400-001Р з лампою ДНаЗ-S-400 Reflux

Приблизно розміщуємо опромінювачі на рядці відповідно до вершин квадратів, як показано на рис. 4.5, так щоб сторони квадратів були рівними, тобто $L1 = L2$ і $L3 = L4$.

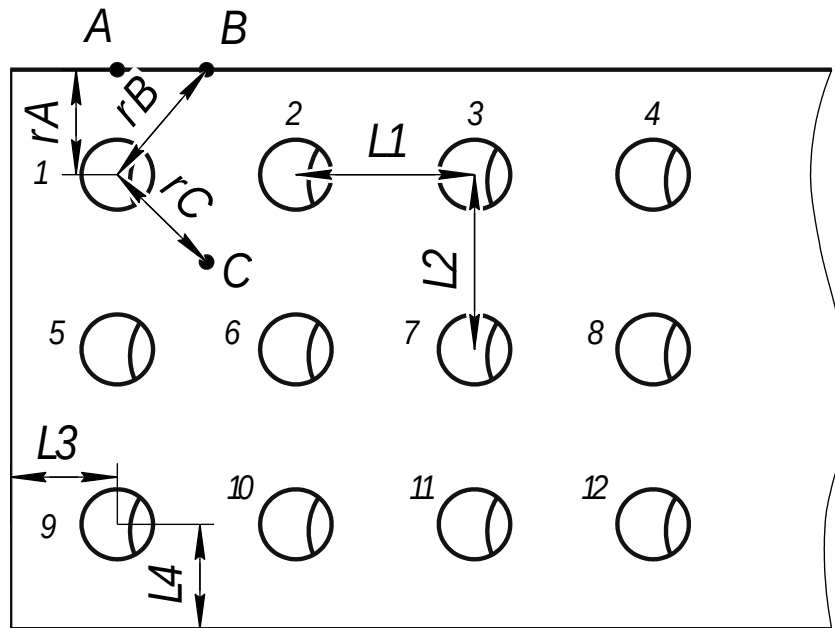


Рисунок 4.5 - Розташування опромінювачів на плані теплиці

На плані відмічаємо кілька точок A , B і C , в яких може бути мінімальне опромінення. Щоб забезпечити в цих точках виконання умови (4.1), необхідно визначити максимально допустимі відстані на плані від опромінювача 1 (рисунок 4.5) до точок A , B , C (r_A , r_B , r_C). Для цього за допомогою кривої $E_\phi = f(r)$ (рис. 4.4) визначаємо $r_A = 0,66$ м, при якому $E_\phi = 8$ фт/м², припускаючи, що опромінення в точці A походить від найближчого джерела.

Опромінення в точці B , головним чином, формується двома найближчими джерелами 1 і 2. Таким чином, за допомогою того ж графіка опромінення від однієї лампи при значенні $E_{min}/2 = 4$ фт/м² визначається $r_B = 1,45$ м.

Опромінення в точці C формується чотирма лампами 1, 2, 5, 6. Таким чином, з графіка опромінення від однієї лампи при значенні $E_{min}/4 = 2$ фт/м² визначається $r_C = 2,25$ м.

На основі отриманих трьох значень приймаємо: відстань від ламп до краю рядки $L3 = 0,66$ м; відстань між лампами $L1$ визначається за допомогою теореми Піфагора:

$$L_B = 2\sqrt{r_B^2 - r_A^2}, \quad (4.6)$$

$$L_C = \sqrt{2}r_C, \quad (4.7)$$

$$L_B = 2,6 \text{ м}; L_C = 3,2 \text{ м}.$$

Обираємо менше з двох отриманих значень L як максимально допустиму відстань між опромінювачами, коли вони розташовані по вершинах квадратів, тобто $L1 = 2,6 \text{ м}$.

Додатково визначаємо відстані r_A , r_B і r_C

$$r_A = 0,66 \text{ м}; r_B = \sqrt{(L1/2)^2 + r_A^2} = 1,46 \text{ м}; r_C = \sqrt{2} \cdot (L1/2) = 1,84 \text{ м}$$

Для визначення коефіцієнта мінімального опромінення на грядці потрібно вказати точки з можливими найвищими і найнижчими значеннями опромінення. Точки з найнижчими значеннями опромінення приймаємо ті ж (A , B і C). Точки з можливими найвищими значеннями опромінення - це точки, що безпосередньо знаходяться під лампами.

Визначаємо загальне опромінення в точках A , B і C з графіка залежності E_ϕ від відстані r (рис. 4.4).

$$E_{\phi \max} = 9,73 \text{ фТ/м}^2;$$

$$E_{\phi A} = 7,94 \text{ фТ/м}^2;$$

$$E_{\phi B} = 8,1 \text{ фТ/м}^2;$$

$$E_{\phi C} = 9,6 \text{ фТ/м}^2$$

Використовуємо формулу (4.1) для розрахунку коефіцієнта мінімального опромінення

$$z = \frac{E_{\phi A}}{E_{\phi \max}} = \frac{7,94}{9,73} = 0,82 > 0,8$$

Умова виконується, що підтверджує правильність розрахунків. Таким чином, кінцево розташовуємо опромінювачі на плані теплиці: 5 рядів, в кожному по 27 опромінювачів.

Решта систем опромінення розраховуються так само. Графіки розподілу сили світла та графіки розподілу опромінення подані у додатках 1 - 5. Результати розрахунків всіх опромінювачів заносимо у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 - Порівняльні показники опромінювальних установок

Параметр	Тип опромінювача				
	ОТ-400	ЖСП 64-400- 001P	ЖСП 64-400- 001T	ЖСП 64-600- 001P	ЖСП 64-600- 001T
	Тип лампи				
	ДРЛФ- 400	ДНаЗ- S-400 Reflux	ДНаТ- 400	ДНаЗ- 600 Reflux	OSRAM NAV PLANTASTAR 600
Висота підвісу, м	0,9	1,45	1,3	1,5	1,8
Відстань між опромінювачами, м	1,6	2,6	2,4	3,9	3,3
Кількість рядів, шт	8	5	5	4	4
Потужність лампи, Вт	400	400	400	600	600
Кількість опромінювачів на 1000 м ² теплиці при опроміненні 8 фт/м ² , шт	288	135	150	72	84
cosφ	0,55	0,96	0,96	0,96	0,96
Встановлена потужність, кВт	115,2	54	60	43,2	50,4
Тривалість роботи опромінювачів, ч/год	500	500	500	500	500
Витрата електроенергії з урахуванням втрат у ПРА, кВт*ч/год, у % до опромінювача типу ОТ-400	63360 100	28620 45,2	31800 50,2	22896 36,1	26712 42,2
Термін служби лампи, год	7000	15000	15000	15000	16000
ККД опромінювального приладу, %	90	95	82	95	82

Проаналізувавши табл. 4.4, можна зробити наступні висновки:

1. Зі збільшенням потужності джерел оптичного випромінювання спостерігається зменшення кількості світлових точок, а також збільшення встановленої потужності приладів.
2. Підвищення потужності опромінювальних установок призводить до зростання висоти підвісу опромінювачів.
3. Додаткове підвищення потужності опромінювачів не є доцільним, оскільки конструкція теплиць ангарного типу не дозволяє розмістити крайні ряди вище 2 метрів.

За розрахунками, найкращим вибором для розсадної теплиці є опромінювач типу ЖСП 64-600-001Р з лампою ДНаЗ-600 Reflux. Отже, остаточно вирішили використати цей варіант і розмістили опромінювачі на плані теплиці, як це показано на рис. 4.6. Генеральний вигляд опромінювача ЖСП 64-600-001Р представлений на рис. 4.7.

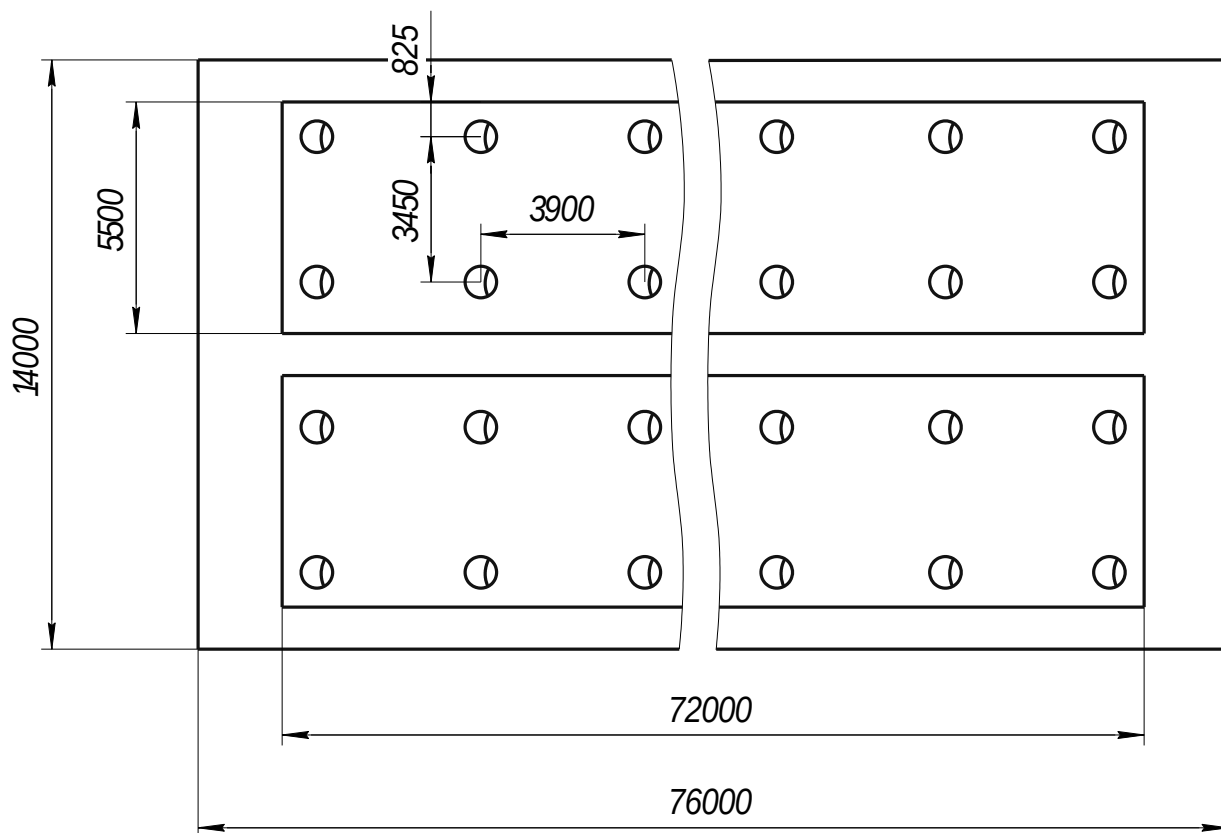


Рисунок 4.6 - Розміщення опромінювачів ЖСП 64-600-001Р
на плані теплиці

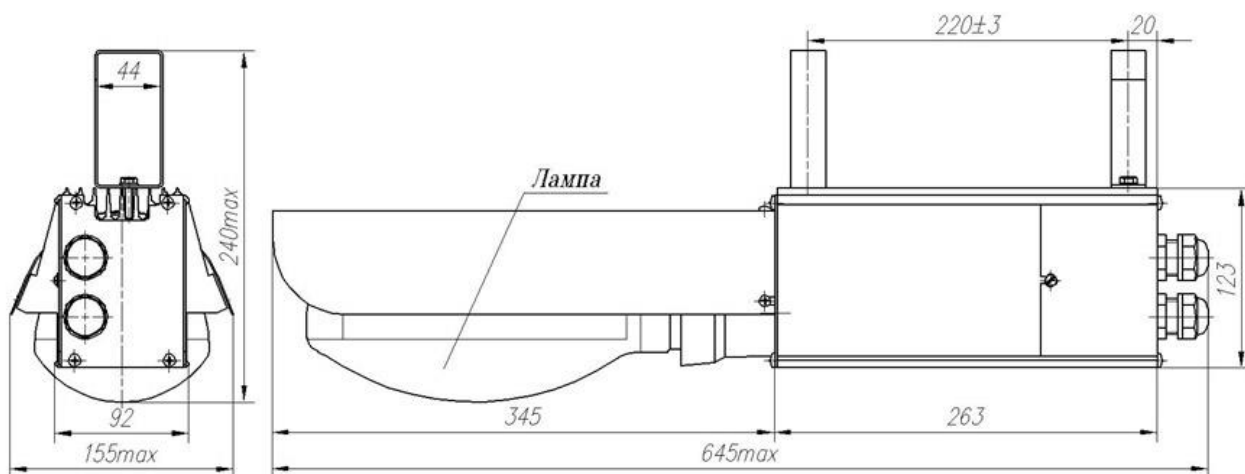


Рисунок 4.7 - Опромінювач ЖСП 64-600-001Р

4.1.4 Розрахунок кабелів і їх вибір

Розподіляємо всі опромінювачі на 6 однофазних груп рівномірно по фазах, що означає, що в кожній групі буде по 12 опромінювачів (рис. 4.8). Кожна з цих груп живиться від групового розподільчого щита за допомогою кабелю ВВГ, який прокладений в лотку.

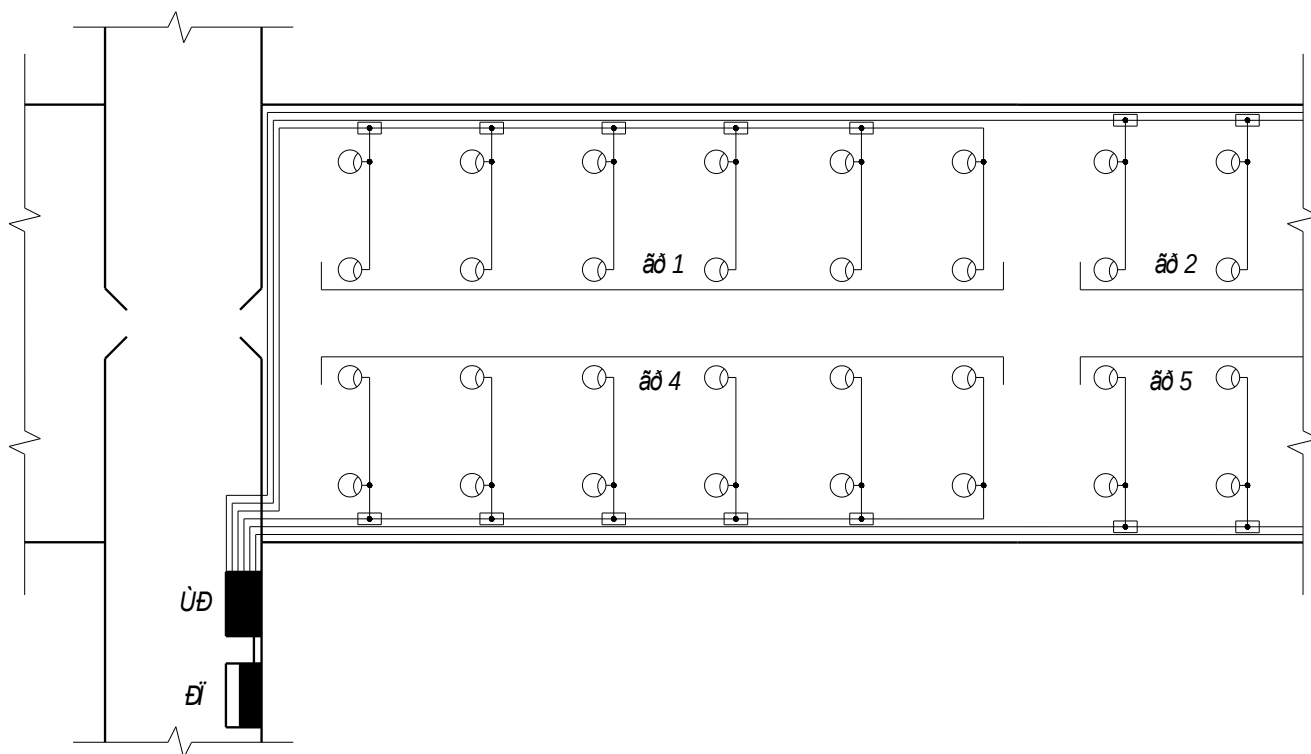


Рисунок 4.8 - План мережі електродосвечівання

Обираємо перетин жили відповідно до розрахункового струму навантаження.

Для мережі, що працює в груповому режимі, розрахунковий струм навантаження встановлюється відповідно до формули [9]:

$$I = \frac{K_n P}{U_\phi \cos \varphi}, \quad (4.8)$$

де I представляє розрахунковий струм навантаження мережі у амперах;

$K_n = 1,06$ - це коефіцієнт, що враховує втрати потужності в ПРА, виражений відносними одиницями;

P - це активна потужність навантаження у ватах;

U_ϕ - фазна напруга мережі у вольтах;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності навантаження.

$$I_{ep} = \frac{1,06 \cdot 12 \cdot 600}{220 \cdot 0,96} = 36,1 \text{ A}$$

Обираємо кабель ВВГ з трьома жилами і перетином 6 кв.мм, придатним для роботи з розрахунковим струмом не більше 42 А, як вказано у довіднику [15].

Розраховуємо втрату напруги на найвіддаленішому світильнику, яка має бути не більше 2,5%, згідно з [15]. За інформацією з енергослужби тепличного комплексу, втрата напруги від ТП до ввідно-розподільчого пристрою (ВРП) складає 0,5%. Таким чином, загальна втрата напруги становить 2%.

Величина втрати напруги обчислюється відповідно до формули [9]:

$$\Delta U = \frac{M}{C_s}, \quad (4.9)$$

де, M - момент навантаження, вимірюваний у кіловат-метрах;

C - коефіцієнт, який враховує характеристики системи мережі, тип струму та матеріал провідника;

s - поперечний переріз провідника, вимірюваний у міліметрах квадратних.

Розраховуємо момент навантаження у найвіддаленішій точці мережі, як показано на рис. 4.9.

Момент навантаження розраховується згідно з формулою [9]:

$$M = PL, \quad (4.10)$$

де, P - потужність сегмента мережі в кіловатах;

L - довжина сегмента мережі в метрах.

$$M = 6PL_4 + 5PL_8 + 4PL_8 + 3PL_8 + 2PL_8 + PL_8 =$$

$$= P(6L_4 + 15L_8) = 515,9 \text{ кВт} \cdot \text{м}$$

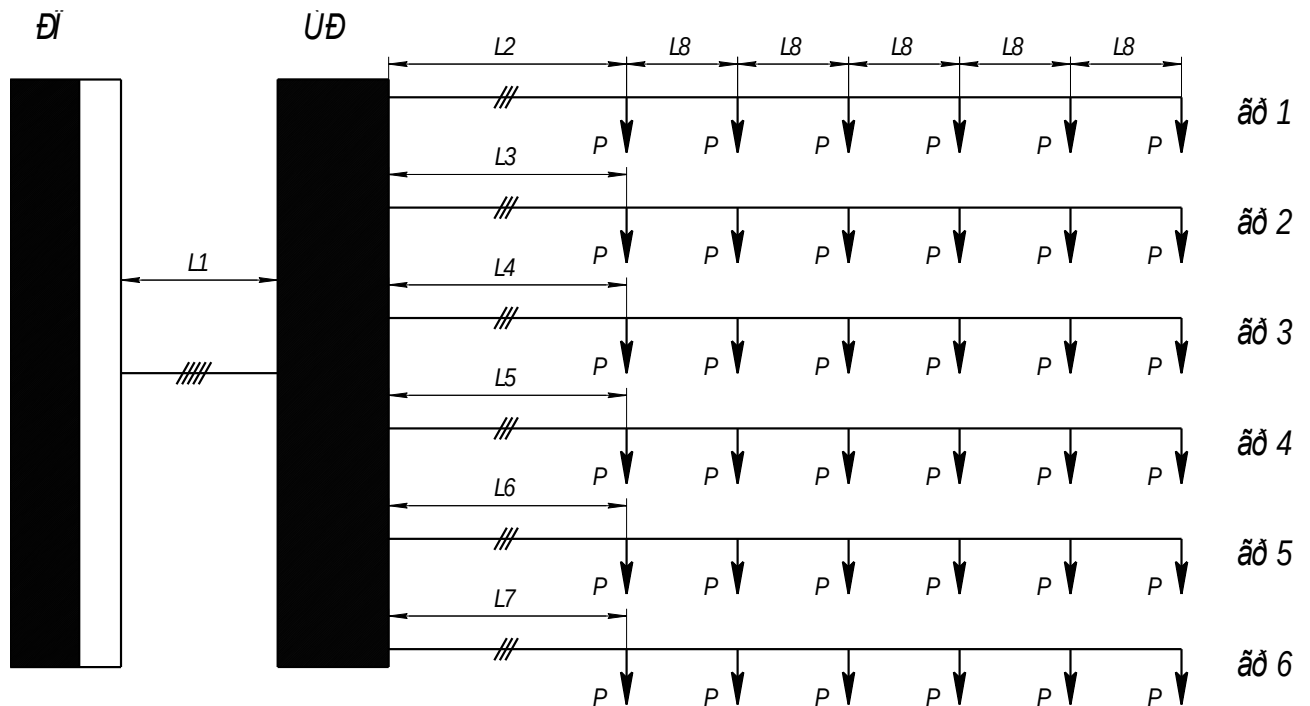


Рисунок 4.9 - Розподільна мережа розсадої теплиці

Таблиця 4.5 - До розрахунку моментів навантаження мережі

P, кВт	Участок сети							
	L1, м	L2, м	L3, м	L4, м	L5, м	L6, м	L7, м	L8, м
1,2	10,0	19,0	38,5	61,9	5,0	24,5	47,9	3,9

Розраховуємо втрату напруги у найвіддаленішій точці мережі за допомогою формули (4.9)

$$\Delta U_{ep} = \frac{515,9}{72 \cdot 6} = 1,2\%$$

Обчислюємо струм навантаження на ділянці $L1$ за допомогою формули [9]:

$$I = \frac{K_n P}{\sqrt{3} U_n \cos \varphi}, \quad (4.11)$$

де I - відображає розрахунковий струм навантаження мережі у амперах;

$K_n = 1,06$ - це коефіцієнт, який враховує втрати потужності в ПРА, виражений у

відносних одиницях; P - активна потужність навантаження у ватах; $U_{\text{л}}$ - лінійна напруга мережі у вольтах; $\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності навантаження.

$$I = \frac{1,06 \cdot 72 \cdot 600}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,96} = 72,5 \text{ A}$$

Обираємо кабель ВВГ з чотирма жилами і перетином 25 кв.мм, придатним для роботи з розрахунковим струмом не більше 85 А, як вказано у довіднику [15].

Розраховуємо втрату напруги на ділянці $L1$ згідно з формулою (4.9)

$$\Delta U_{L1} = \frac{72,5 \cdot 10}{72 \cdot 25} = 0,4\%$$

Проводимо розрахунок струму навантаження для ділянки з груповою мережею, яка живить опромінювачі, за допомогою формули (4.8)

$$I_{\text{обл}} = \frac{1,06 \cdot 2 \cdot 600}{220 \cdot 0,96} = 6 \text{ A}$$

Обираємо кабель ПВС з трьома жилами і перетином 1,5 кв.мм, придатним для роботи з розрахунковим струмом не більше 19 А, як вказано у довіднику [15].

Обчислюємо втрату напруги на ділянці з груповою мережею, яка живить опромінювачі, використовуючи формулу (4.9)

$$\Delta U_{\text{обл}} = \frac{1,2 \cdot 1,83 + 0,6 \cdot 3,45}{12 \cdot 1,5} = 0,2\%$$

Сумарна втрата напруги від ТП до найвіддаленішого опромінювача

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{обц}} &= \Delta U_{\text{ТП-ВРУ}} + \Delta U_{\text{ВРУ-ОЩ}} + \Delta U_{\text{ОЩ-гр.сеть}} + \Delta U_{\text{обл}} = \\ &= 0,5 + 0,4 + 1,2 + 0,2 = 2,3\% \end{aligned}$$

- що відповідає вимогам ПУЕ, тому вибір перетину проводів є правильним.

4.1.5 Розрахунок апаратів управління та захисту

Кожну групу опромінювачів обладнаємо однополюсними автоматичними вимикачами. Для захисту освітлювальних мереж рекомендується використовувати автоматичні вимикачі з комбінованим розчеплювачем. Вибір таких автоматичних вимикачів для захисту освітлювальних мереж з газорозрядними лампами високого тиску здійснюється відповідно до умов, зазначених у [7]:

$$I_{нтр} \geq 1,3 I_p , \quad (4.12)$$

де $I_{нтр}$ - це номінальний струм, при якому спрацьовує тепловий розчеплювач автоматичного вимикача;

I_p - це струм, який фактично працює в електроустановці.

Для мережі з груповим входом, мінімальний струм, який потрібно ввести, дорівнює не менше ніж 46,9 А, якщо кількість входів є хоча б 1,3 рази більше за 36,1.

Обираємо автоматичні вимикачі ВА47-100 для групових ліній з такими характеристиками: $I_{нтр} = 50\text{А}$, $I_{нэр} = 7$ (це кратність електромагнітного розчеплювача). Обрані автоматичні вимикачі мають бути встановлені у розподільному щиті ПР11-3045-54У1, з розміщенням 6 однополюсних автоматичних вимикачів, без вступного [16].

Мінімальний струм для автоматичного вимикача на вводі становить не менше 94,3 А, якщо кількість входів є хоча б 1,3 рази більше за 72,5.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА47-100 з трьома полюсами, де $I_{нтр} = 100\text{А}$, а $I_{нэр} = 7$ (що є кратністю електромагнітного розчеплювача). Цей обраний автоматичний вимикач буде встановлено в розподільному пристрої (РП).

Проводимо перевірку обраного кабелю для групової мережі згідно з умовою [7]:

$$I_{доп} \geq I_{нтр} , \quad (4.13)$$

У груповій мережі, де $42 < 50$, умова не виконується. Тому вирішуємо використати жилу кабелю для групової мережі, яка має один щабель вище за ВВГ 3×10 , оскільки її струмопровідність $I_{доп}$ становить 55 А, згідно з [15].

Проводимо перевірку обраного кабелю для ділянки мережі від РП до ЩР згідно з умовою (4.13)

Оскільки значення 85 менше за 100, виконання умови неможливе, тому обираємо перетин жил кабелю для ділянки мережі РП-ЩР - ВВГ 5×35 з максимальним допустимим струмом, рівним 108 А [15].

4.1.6 Проведення розрахунку струмів короткого замикання

Для оцінки чутливості апаратів захисту проведемо розрахунок струмів короткого замикання в точках К1 і К2 (рис. 4.10).

Для розрахунку струму однофазного короткого замикання використовується формула [9]:

$$I_K^{(1)} = \frac{U_\phi}{\frac{z_T^{(1)}}{3} + z_\Pi}, \quad (4.14)$$

де $I_K^{(1)}$ - представляє собою струм однофазного короткого замикання в амперах;
 U_ϕ - фазна напруга мережі в вольтах; $z_T^{(1)}$ - повний опір трансформатора при однофазному короткому замиканні в омах; z_Π - повний опір петлі фаза-нуль лінії до найбільш віддаленої точки мережі в омах.

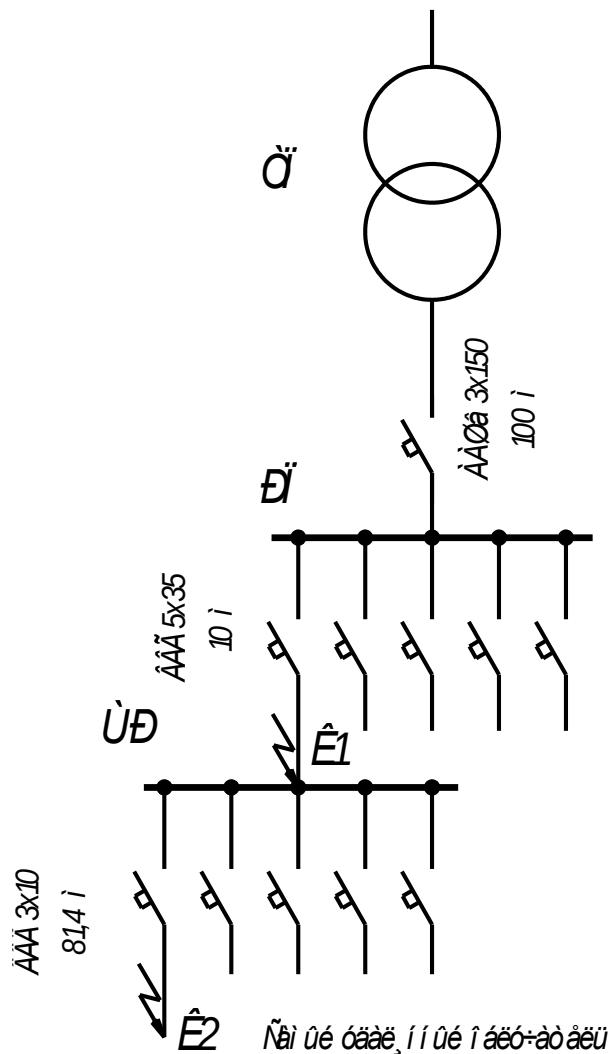


Рисунок 4.10 - Розрахунок струмів короткого замикання

Опір петлі фаза-нуль обчислюється шляхом геометричного сумування активного опору r та індуктивного опору x за допомогою формули [9]:

$$Z_{\Pi} = \sum l \cdot \sqrt{r_0^2 + x_0^2}, \quad (4.15)$$

де Z_{Π} - представляє собою повний опір петлі фаза-нуль в омах; l - довжина лінії в кілометрах; r_0 - активний опір лінії в омах на кілометр; x_0 - індуктивний опір лінії в омах на кілометр.

Визначаємо опір петлі фаза-нуль до контрольних точок К1 і К2, використовуючи формулу (4.15) та інформацію з табл. 4.6.

$$Z_{\Pi K1} = 0,1 \sqrt{0,22^2 + 0,07^2} + 0,01 \sqrt{0,57^2 + 0,075^2} = 0,029 \text{ Ом}$$

$$Z_{\Pi K2} = 0,029 + 0,081 \sqrt{2^2 + 0,08^2} = 0,191 \text{ Ом}$$

Проводимо розрахунок струму однофазного короткого замикання в контрольних точках К1 і К2, використовуючи формулу (4.14)

$$I_{K1}^{(1)} = \frac{220}{\frac{0,13}{3} + 0,029} = 3041,5 \text{ А}; \quad I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{0,13}{3} + 0,191} = 938,8 \text{ А}$$

Таблиця 4.6 - Дані для розрахунку струму короткого замикання

Ділянка мережі	l , м	Марка кабеля	r_0 , Ом/км	x_0 , Ом/км	$S_{тр}$, кВА	Схема з'єднання тр-ра	$Z_T^{(1)}$, Ом
ТП-РП	100	ААШВ 3×150	0,22	0,07	630	Y/Y ₀	0,13
РП-ЩР	10	ВВГ 5×35	0,57	0,075			
ЩР-К2	81	ВВГ 3×10	2,00	0,08			

Випробування коефіцієнта чутливості відсічення під час короткого замикання проводиться згідно з умовою [7]:

$$K_q^{(1)} = \frac{I_K^{(1)}}{I_{c.o}} = \frac{I_K^{(1)}}{I_n \cdot I_{нзр}} \geq 1,25 - 1,4, \quad (4.16)$$

де $K_q^{(1)}$ - представляє собою коефіцієнт чутливості, виражений в одиницях; $I_K^{(1)}$ - визначає струм однофазного короткого замикання, в амперах; $I_{c.o}$ - означає струм

спрацювання відсічки, в амперах; I_n - відображає струм уставки автоматичного вимикача, в амперах; $I_{нзр}$ - позначає кратність електромагнітного розчеплювача.

Здійснюємо обчислення коефіцієнта чутливості для точок K1 і K2 відповідно до виразу (4.16)

$$K_{чK1}^{(1)} = \frac{3041,5}{100 \cdot 7} = 4,34 > 1,4; \quad K_{чK2}^{(1)} = \frac{938,8}{50 \cdot 7} = 2,68 > 1,4$$

Захист виявляє достатню чутливість.

4.2 Характеристика і схеми включення фотоприймачів

Вимірювання різних фізичних параметрів без контакту часто можливе лише за допомогою оптичних сенсорів. Перетворення оптичних сигналів в електричні реалізується через використання чутливих елементів випромінювання, що базуються на різних фізичних принципах. Для цього найчастіше використовують фоторезистори та фотодіоди. Фоторезистори, які є напівпровідниковими пристроями, змінюють свій електричний опір під впливом світла шляхом утворення електронно-діркових пар. Вільні носії заряду, що утворюються внаслідок цього, спричиняють раптове зниження електричного опору. На діаграмі на рис. 4.11. показана залежність опору такого датчика від різних рівнів освітленості.

Максимальна спектральна чутливість фоторезисторів спостерігається в зеленій області спектра, що призводить до їх частого використання для вимірювання освітленості. Однак, їхня чутливість до близького ультрафіолету досить невелика, хоча цей спектральний діапазон також важливий для росту рослин. Тому з цієї точки зору фотодіод є більш універсальним варіантом.

Під впливом світла на кремнієві фотодіоди виникає напруга, яка змінюється залежно від інтенсивності освітлення. Цей ефект, що викликає напругу, називається внутрішнім фотоефектом. Такий режим роботи фотодіода відомий як гальванічний. У практиці вимірювання опромінення частіше використовують режим роботи фотодіода з додатковим джерелом живлення (рис. 4.12), при якому його характеристики відрізняються високою стабільністю струму від освітленості навіть при коливаннях напруги (рис. 4.13, а, б).

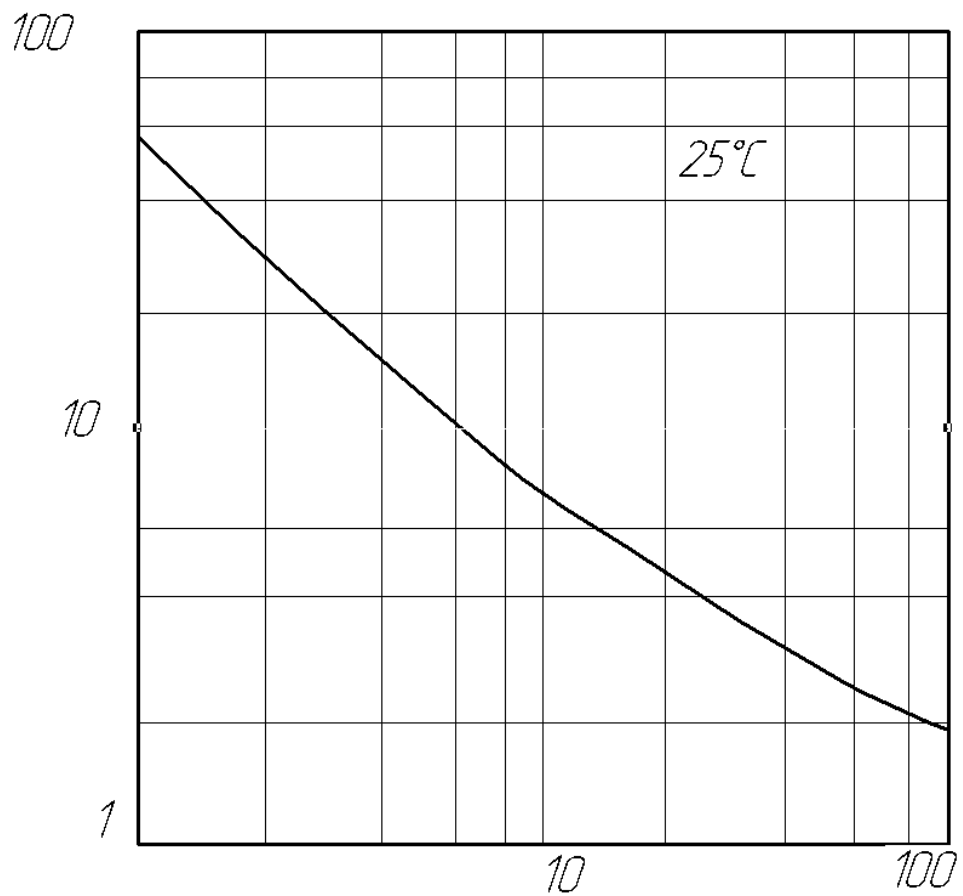


Рисунок 4.11 – Характеристика чутливості фоторезистора до освітленості

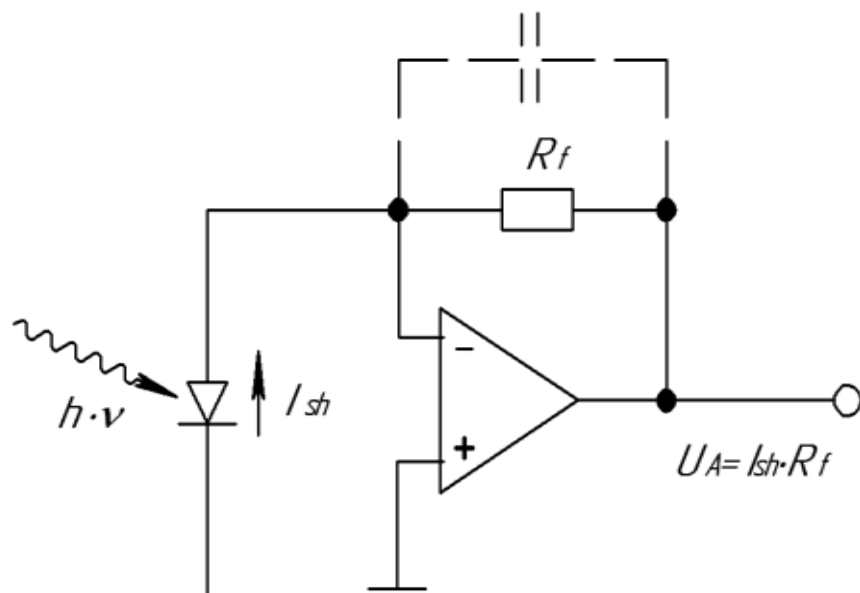


Рисунок 4.12 – Схема включення фотодіода

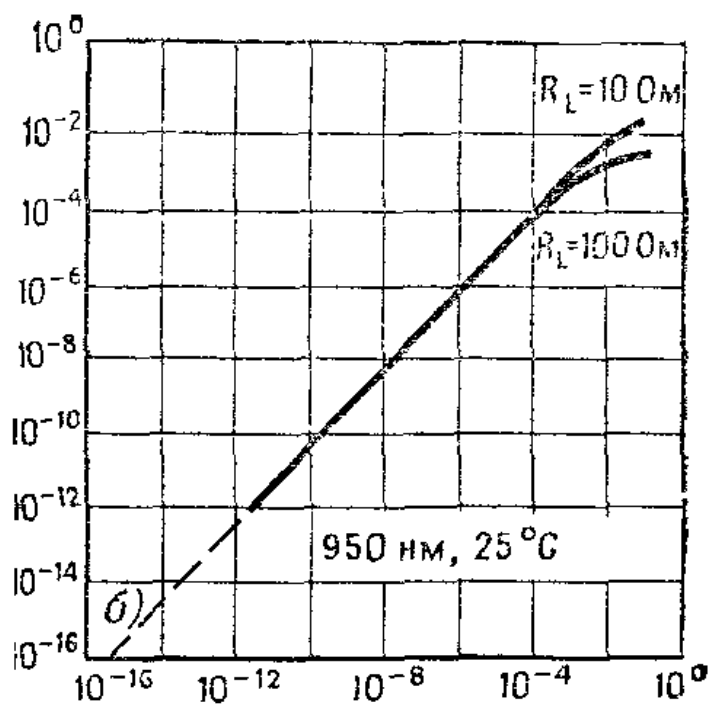


Рисунок 4.13 – Залежність струму фотодіода від енергії випромінювання

У майбутній проектованій системі будемо використовувати фотодіод типу ФД-7К. Характеристика цього фотодіода подана в табл. 4.7.

Шляхом зміни опору навантаження можна регулювати навантажувальну характеристику фотодіода. Для використання фотодіода у вимірній схемі важливо забезпечити взаємну сумісність вихідної характеристики фотодіода з входом АЦП, який представлений мікросхемою К1113 ПВ 1, характеристики якої наведені в табл. 4.8.

Таблиця 4.7 – Характеристика фотодіода ФД-7К.

Показники	Величина
Спектральна чутливість, мкм	0,4 – 1,2
Інтегральна чутливість, мА/лм	0,47
Тепловий струм, мкА	5
Постійна часу, с	5×10^6
Площа чутливого елементу, мм ²	5
Напруга живлення, В	20

Таблиця 4.8 – Характеристика АЦП К 1113 ПВ 1.

Показники	Величина
Кількість розрядів, N	10
Час перетворення $t_{\text{перетв}}$, мкс.	30
Напруга живлення, $U_{\text{жив}}$, В	$5 \pm 5\%$
Опорна напруга, $U_{\text{оп}}$, В	± 10
Максимальна вхідна напруга, $U_{\text{вх}}$, В	10,24
Рівні «0» та «1» $\frac{U_{\text{вх}}^1}{U_{\text{вх}}^0}$	2,4/0,4

Тепер створимо табл. 4.9, де буде вказана відповідність між кодами інформаційних розрядів 2, 3, 4 та напругою на вході АЦП, а також відповідними значеннями освітленості фотодіода.

Таблиця 4.9 – Відповідності кодів напруги та освітленості

Розряди і коди.			АЦП	Освітленість,
2	3	4	$U_{\text{вх}}$, В	клк
0	0	1	0,32	1
0	1	0	0,64	2
0	1	1	0,96	3
1	0	0	1,28	4
1	0	1	1,6	5
1	1	0	1,92	6
1	1	1	2,24	7

На основі інформації з табл. 4.9 створюємо графік навантаження фотодіода (рис. 4.14) при напрузі живлення $U_{\text{жив}} = 5$ В.

За допомогою графіка навантаження фотодіода визначаємо оптимальний опір для навантаження фотодіода:

$$R_{\text{н}} = \frac{U_{\text{жив}}}{I_{\text{м}}} = \frac{5}{3,68 \cdot 10^{-3}} = 1359 \text{ Ом.} \quad (4.17)$$

Припускаємо, що опір R_H дорівнює 1,3 кОм та послідовно до нього підключаємо змінний резистор $R_{ЗМ}$ з опором 100 Ом. Проводимо перевірку вибраних опорів щодо їхньої потужності:

$$P_H = I_M^2 \cdot R_H = (3,68 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1300 = 0,018 \text{ Вт.} \quad (4.18)$$

$$P_{ЗМ} = I_M^2 \cdot R_{ЗМ} = (3,68 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 100 = 0,001 \text{ Вт.} \quad (4.19)$$

Використовуємо стандартні опори з маркуванням МЛТ-0,125 і параметрами 1,3 кОм для першого та СПЗ-38 з опором 100 Ом для другого.

На рис. 4.15 показано, як змінюється напруга на навантажувальному опорі в залежності від рівня освітленості чутливого елемента - фотодіода.

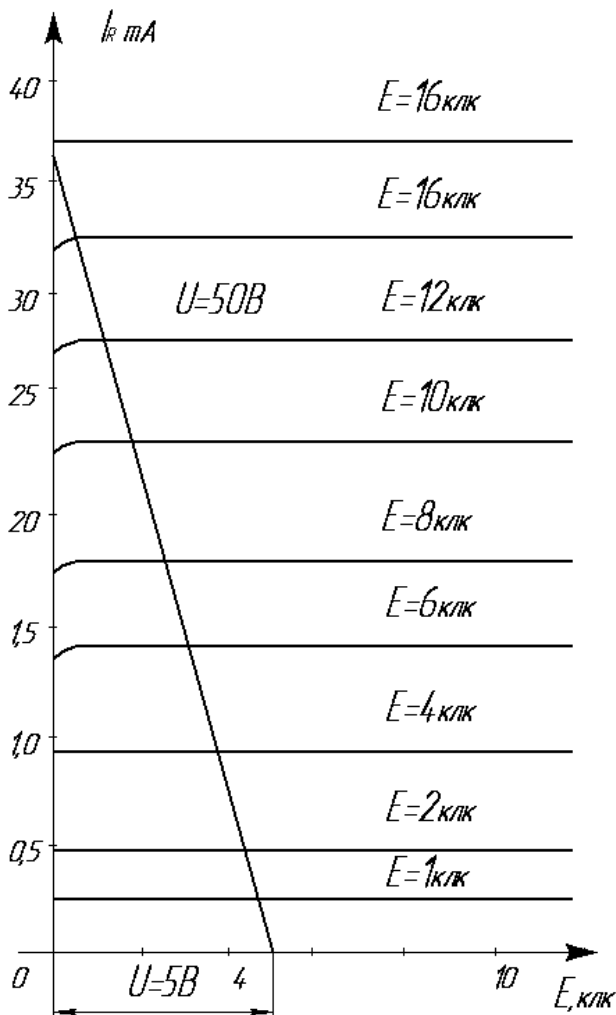


Рисунок 4.14 – Навантажувальна діаграма фотодіода

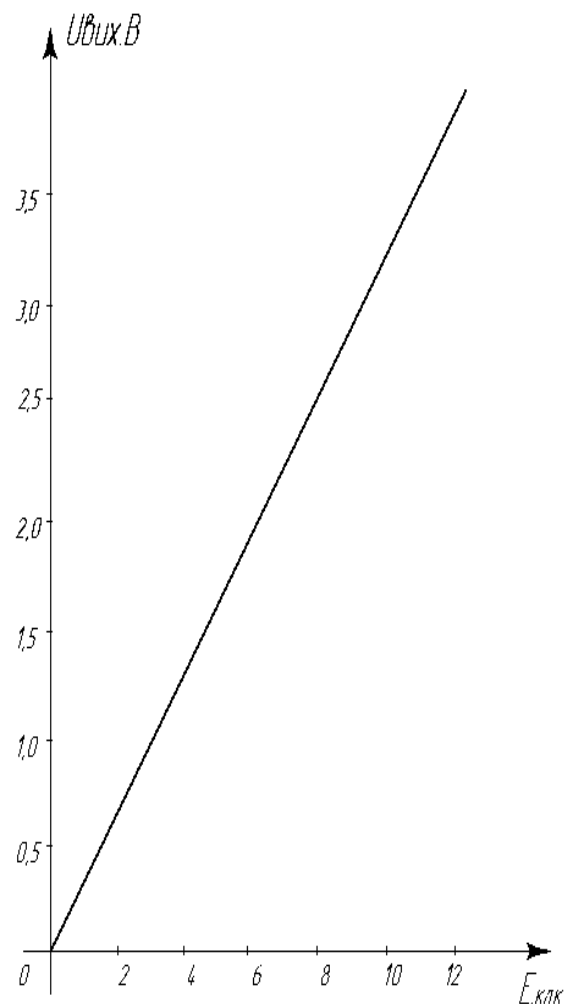


Рисунок 4.15 – Залежність напруги на навантажувальному опорі від освітленості фотодіода

У режимі "Штучний день" для визначення початку світанку використовується відповідний фотодіод. Характеристика його навантаження наведена на рис. 4.16.

Давайте розрахуємо оптимальний опір навантаження для цього фотодіода:

$$R_H = \frac{U_{\text{жив}}}{I_M} = \frac{5}{10 \cdot 10^{-6}} = 5 \cdot 10^5 \text{ Ом.} \quad (4.20)$$

Приймаємо, що використовується сталій опір МЛТ-0,125 з опором 470 кОм, до якого послідовно підключений змінний опір СПЗ-38 з опором 68 кОм. Характеристика цього з'єднання наведена на рис. 4.17.

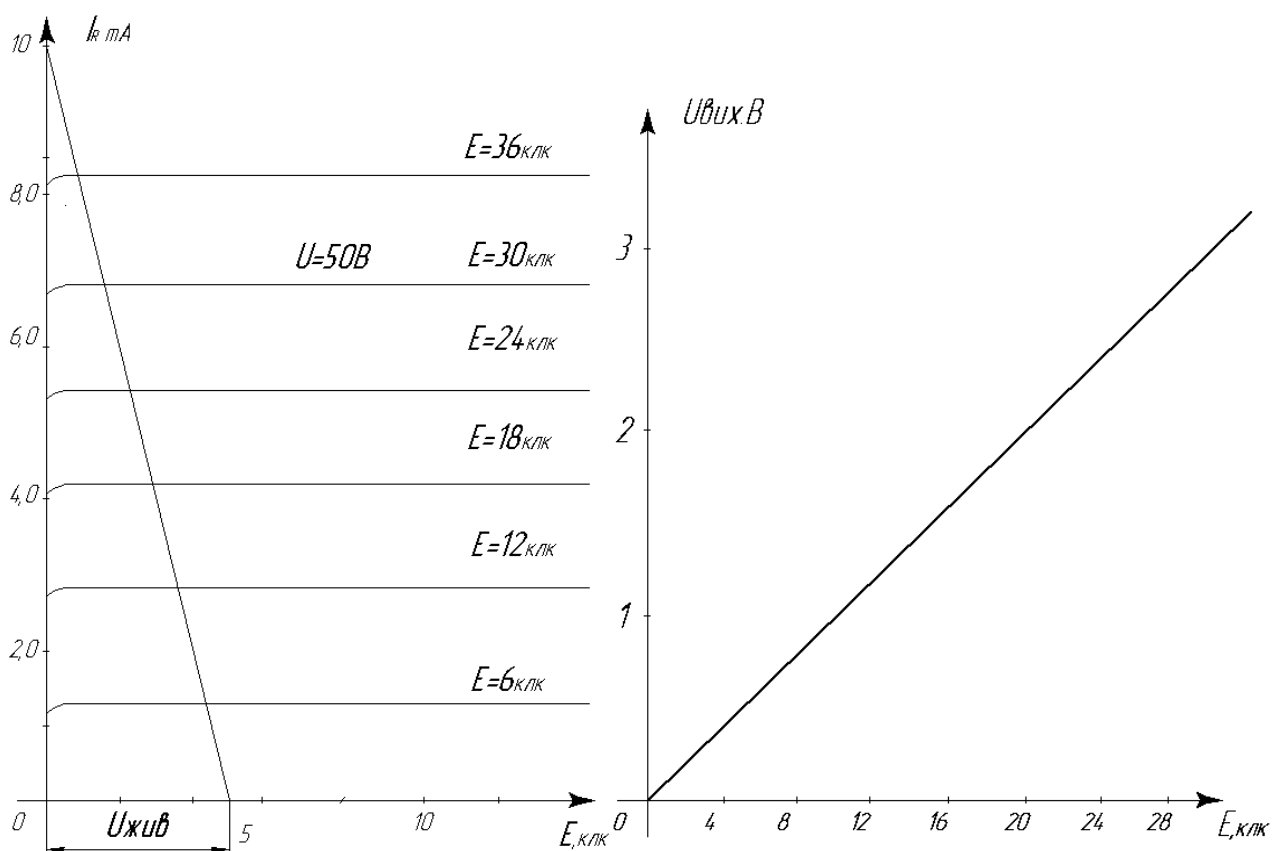


Рисунок 4.16 – Навантажувальна діаграма фотодіода в режимі «Штучний день»

Рисунок 4.17 – Залежність напруги на навантажувальному опорі від освітленості фотодіода в режимі «Штучний день»

4.3 Проведення розрахунку елементів блоку контролю освітленості

Робота системи контролю освітленості залежить від параметрів часових і струмових ланок світлодіодного індикатора. Для забезпечення її правильної функціонування ми визначимо опір часового ланцюгу, що складається з опорів $R1$ та $R2$, а також ємності $C1$.

Для цього враховуємо, що швидкість зміни знаків на світлодіодному індикаторі НС1 становить 1 секунду. Таким чином, при ємності $C1$ рівній 50 мікрофарадам, проводимо розрахунки

$$R1 = \frac{T}{1,4C1} = \frac{1}{1,4 \cdot 50 \cdot 10^{-6}} = 14285 \text{ Ом.} \quad (4.21)$$

Використовуємо опір $R1$ та $R2$ типу МЛТ–0,125 з опором 15 кОм та ємність $C1$ типу К50–6, що становить 50 мкФ при напрузі 6,3В.

Потім визначаємо опір струмообмежуючих резисторів $R8 - R14$ та $R16$ і $R18$. Напруга на світлодіодному індикаторі становить 4 В, при струмі $I_{\text{пр}} = 22\text{мА}$. Для забезпечення нормальної роботи індикатора на опорі має бути падіння напруги $U_{\text{пад}} = 1\text{В}$.

Тоді $R(8 - 14)$

$$R = \frac{U_{\text{пад}}}{I_{\text{пр}}} = \frac{1}{22 \cdot 10^{-3}} = 45,45 \text{ Ом.} \quad (4.22)$$

Визначаємо опір цих резисторів рівним 47 Ом для МЛТ–0,125.

Якщо опір $R15$ з'єднує чотири катоди світлодіодного індикатора, то його опір повинен бути чотири рази меншим, ніж $R8$, тобто 11,36 Ом.

Припускаємо, що опір його складає 12 Ом для резистора МЛТ–0,125.

Якщо опір $R17$ з'єднує два катоди світлодіодного індикатора, то його опір буде половиною від опору $R8$, тобто 22,7 Ом.

Приймаємо, що опір резистора МЛТ–0,125 складає 24 Ом.

4.4 Проведення розрахунку елементів блоку дотримання тривалості освітлення

На кресленні зображено електричну схему блоку для регулювання тривалості освітлення. Параметри його часозадаючого ланцюга, такі як $R1$, $R2$, $C1$, відповідають відповідному часозадаючому ланцюгу блока контролю освітленості. Таким чином, ми приймаємо, що для $R1$ і $R2$ використовуються резистори МЛТ–0,125 з опором 15 кОм, а для $C1$ - конденсатор К50–6 з ємністю 50 мкФ та напругою 6,3 В.

Опір струмообмежуючих резисторів відповідає опору резисторів $R8 - R14$ в блоку контролю освітленості. Тобто, припускаємо, що опори $R14 - R27$ складають 47 Ом і використовують резистори типу МЛТ–0,125.

Визначимо параметри часозадаючого ланцюга $R11$, $R12$, $C1$ для інтегрального таймера $DA3$. Період повторення імпульсів обчислимо з умови, що на виході розділювача частоти з коефіцієнтом 64 імпульси повинні з'являтися щогодини, тобто кожні 3600 секунд. Таким чином, на розділювач частоти $DD7$ повинні надходити імпульси з періодом

$$T_M = T/64 = 3600/64 = 56,25 \text{ с.} \quad (4.23)$$

Таким чином, час між появою імпульсів у мультивібратора на інтегральному таймері становитиме $T_M = 56,25 \text{ с.}$

Приймаємо, що ємність $C3$ становить 50 мкФ, тип К50–6, з номіналом 100 мкФ на 6,3 В.

Приймаємо, що резистор $R11$ має тип СПЗ–38 з опором 470 кОм, резистор $R12$ - тип МЛТ–0,125 з опором 390 кОм, а електролітичний конденсатор $C3$ - тип К50–6 з ємністю 100 мкФ і напругою 6,3 В.

Визначимо значення опорів $R9$ та $R10$ для операційного підсилювача типу $DA4$, модифікації 140 УД 7. На основі вихідної характеристики фотодіода $BL2$ знаходимо напругу на опорах $R7$, $R8$ при освітленості $E = 10 \text{ лк.}$ (рис.4.17.),

що дорівнює $U_{RBL2} = 1,167\text{В}$. Приймаємо поріг спрацювання електронного ключа $DA2$ як $U_{\text{сп}} = 3,5\text{В}$. З цього визначаємо коефіцієнт підсилення по напрузі за допомогою формули НЗЗ

$$K_{\text{н.зз}} = U_{\text{вих}} / U_{\text{вх}} = 3,5 / 1,167 \approx 3. \quad (4.24)$$

Водночас

$$K_{\text{н.зз}} = R10 + R9. \quad (4.25)$$

Звідки визначаємо, що

$$\frac{R9}{R10} = K_{\text{н.зз}} - 1 = 3 - 1 = 2. \quad (4.26)$$

Вважаємо, що опір $R10$ має тип МЛТ-0,125 і значення 100кОм , в такому випадку

$$R9 = 2R10 = 200\text{ кОм}$$

Припускаємо, що опір $R9$ має тип МЛТ-0,125 і значення 200 кОм .

4.5 Розрахунок елементів блоку керування освітленням

При регулюванні фази напруги, її амплітуда залишається постійною, що забезпечує стабільну роботу газорозрядної лампи. Газорозрядні лампи високого тиску з додатковими підпалюючими електродами можуть працювати з семісторними регуляторами напруги без потреби в додаткових змінах у їх схемах живлення.

Для затримки керуючого імпульсу семісторами відносно початку напівперіоду синусоїдальної напруги мережі використовується схема, що складається з двох паралельно з'єднаних реверсивних лічильників. Це означає, що максимальний час затримки становить 256 тактовим імпульсам.

Припустимо, що 256 тактових імпульсів відповідають половині періоду коливань напруги промислової частоти. У цьому випадку, час між послідовними тактовими імпульсами буде складати:

$$t_{T_1} = \frac{1}{256 \cdot 2 \cdot f}. \quad (4.27)$$

де f – частота, що характеризує напругу мережі живлення в промисловому використанні.

$$t_{T_1} = \frac{1}{256 \cdot 2 \cdot 50} = 39 \text{ мкс.}$$

Маючи інформацію про час між послідовними тактовими імпульсами, можемо визначити параметри часозадаючого ланцюгу, такі як $R10$, $R11$, $C1$.

Припускаємо, що ємність $C1$ дорівнює 0,01 мкФ. Тоді

$$R10 = R11 = \frac{t_{T_1}}{1,4C1} = \frac{39 \cdot 10^{-6}}{1,4 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6}} = 2786 \text{ Ом.}$$

Припускаємо, що опір $R11$ має тип МЛТ-0,125 і значення 2,7 кОм, а опір $R10$ - типу СПЗ-38 зі значенням 3,3 кОм.

Для надійної роботи елементів $DD13$, $DD14$ необхідно затримати сигнал, що подається на вхід C . Затримка у 1 мкс повністю задовольняє нормальний режим роботи. Тоді, припускаючи, що резистори $R12$ та $R14$ мають тип МЛТ-0,125 зі значенням 300 Ом, ємність буде

$$C = \frac{t_z}{0,7R} = \frac{10^{-6}}{0,7 \cdot 300} = 4,76 \cdot 10^{-9} \text{ Ф.} \quad (4.28)$$

Припускаємо, що ємності $C3 - C5$ мають тип КМ 5 Н 30 зі значенням 4,7 мФ.

4.6 Розрахунок елементів блоку керування секціями навантаження

Між моментами вмикання сусідніх секцій з опромінювальними установками необхідно забезпечити інтервал часу від 2 до 3 хвилин. Припускаємо, що $t_1 = 2,5$ хвилини, що дорівнює 150 секундам. Тепер, знаходячи параметри часозадаючого ланцюгу для електролітичної ємності $C1$ типу К 50-6 зі значенням 500 мкФ при напрузі 6,3 В, отримуємо

$$R1 = R2 = \frac{t_B}{1,4C1} = \frac{150}{1,4 \cdot 500 \cdot 10^{-6}} = 214286 \text{ Ом.}$$

Припускаємо, що опори $R1$ та $R2$ мають тип МЛТ-0,125 зі значенням 200 кОм.

4.7 Проведення розрахунку блоку живлення

Для забезпечення роботи елементів автоматики потрібні джерела живлення: одне з напругою $+5\text{ В}$ та інше з двополярною напругою $\pm 15\text{ В}$.

Розрахуємо середню потужність, необхідну для блока живлення. У принциповій схемі є 64 мікросхеми та 4 світлодіодні індикатори. Припустимо, що середні значення струму, що споживаються мікросхемами, становить $I_{i.m} = 20\text{ мА}$, а світлодіодними індикаторами - $I_{i.c} = 154\text{ мА}$. Таким чином, середнє значення струму буде

$$I_{cp} = I_{i.m} \cdot N_{i.m} + I_{i.c} \cdot N_{i.c} = 20 \cdot 64 + 154 \cdot 4 = 1896\text{ мА}. \quad (4.29)$$

Враховуючи коефіцієнт запасу $K = 1,2$ отримаємо

$$I_{\phi o} = K I_{cp} = 1,2 \cdot 1896 = 2275\text{ мА}.$$

Обираємо трансформатор ТПП 279–72–0,72/0,42, який має 4 вторинні обмотки з напругою 5 В та струмом $1,2\text{ А}$ кожна. Після цього з'єднуємо дві обмотки паралельно.

Для діодного мосту вибираємо 4 діоди типу КД 202 А, які мають максимальну оборотну напругу $U_{обр.max} = 50\text{ В}$ та максимальний вихідний струм $I_{випр.max} = 3\text{ А}$.

Для стабілізатора напруги використовуємо мікросхему К142 ЕН 5 А, яка призначена для роботи зі струмом до 3 А . Для забезпечення її стабільної роботи встановлюємо її на радіаторі з площею розсіювання не менше 350 см^2 .

Обираємо конденсатори типу К 500–6 з робочою напругою $4000 \times 10\text{ В}$ як фільтри.

Для двонапрявленого джерела ми використовуємо дві обмотки трансформатора ТПП 2899 з напругою 20 В на кожній. Для випрямлення використовується діодний міст КЦ 402 А, а ємність конденсатора $C2$ складає $500\text{ мкФ} \times 50\text{ В}$ типу К50–6. Для стабілізації напруги на виході застосовується параметричний стабілізатор на двох стабілітронах типу КС 215 Ж.

Визначимо величину балансного опору за допомогою формули

$$R_6 = \frac{U_{вх.min} U_{ст.}}{I_{ст.min} + I_M} = \frac{40-30}{(0,5+2,8)10^{-3}} = 30300 \text{ Ом.} \quad (4.30)$$

Вважаємо, що опір складає 3 кОм і має тип МЛТ–0,5.

4.8 Розрахунок параметрів семісторного ключа

Один семісторний ключ керує 36 лампами. Номінальний струм лампи ДНаЗ супер/Reflux S 400-2 становить 3,3 А. Таким чином, номінальний струм, який проходить через один семістор, дорівнює:

$$I_{\text{сн}} = I_{\text{лн}} \times n = 3,3 \times 36 = 119 \text{ А.} \quad (4.31)$$

При запуску лампи її пусковий струм становить $I_{\text{пуск}} = 5,5 \text{ А}$. Таким чином, семістор повинен витримувати струм, який дорівнює:

$$I_{\text{доп}} = K \cdot n \cdot I_{\text{пуск}}. \quad (4.32)$$

де K - коефіцієнт запасу, приймаємо $K = 1,1$; n - кількість споживачів електричної енергії; $I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм.

$$I_{\text{доп}} = 1,1 \times 36 \times 5,5 = 217,8 \text{ А.}$$

Використовуємо семістор типу ТС171–250 для ключа. Характеристики цього семістора наведено у табл. 4.10.

Таблиця 4.10 – Характеристика семістора ТС171–250

Показник		Значення
1	Повторна імпульсна напруга в закритому стані В	200 - 1200
2	Максимально допустимий діючий струм у відчиненому стані, А	250
3	Відчиняючий струм керування I_k , А не більше	0,4
4	Відчиняюча напруга керування U_k , В не більше	5
5	Ймовірність безвідмовної роботи за 25 000 годин	0,97

Для забезпечення гальванічної ізоляції використовується імпульсний трансформатор типу МІТ–4. Паралельно з первинною обмоткою трансформатора включається опір для обмеження струму через його обмотку. Значення цього опору:

$$R = U/I = 5/0,1 = 50 \text{ Ом} \quad (4.33)$$

Припускаємо, що опір має тип МЛТ–0,5 і його значення становить 51 Ом.

5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ СИСТЕМИ

Сучасні методи виробництва монтажних робіт характеризуються широким застосуванням матеріалів та засобів автоматизації і механізації, а також впровадженням принципів наукової організації праці. Повнозбірний монтаж виконується у дві стадії.

У першу стадію входять організаційно-підготовчі заходи, які здійснюються під час впровадження основних та дрібних монтажних робіт.

Організаційно-підготовча частина включає в себе весь спектр заходів, пов'язаних із підготовкою до проведення монтажних робіт та наукової організації праці та робітників. Це включає в себе ознайомлення з проектною документацією, розробку виробничих проектів для монтажно-заготівельної ділянки, організацію складального та інструментального обладнання, вирішення технічних питань з замовником і іншими зацікавленими сторонами, а також забезпечення безпечних умов для проведення монтажних робіт.

Друга стадія передбачає виконання монтажно-складальних робіт безпосередньо на монтажній площадці. Це означає зведення, збірку та установку відповідно до проектних положень розмірних та складних вузлів і блоків.

Пуско-налагоджувальні роботи відокремлені від монтажних і проводяться в теплицях за допомогою спеціалізованої служби пуско-налагоджування.

Керівник робіт несе відповідальність за вчасне введення обладнання в експлуатацію та забезпечує досягнення запланованої продуктивності для кожного працівника, сприяючи підвищенню ефективності монтажних процесів.

Перед початком робіт з пуско-налагодження вивчається увесь проектно-технічний пакет документації для обладнання, яке потребує налаштування. Перевіряється готовність до початку робіт, розподіляються завдання між спеціалістами з налагодження.

Всі недоліки та неточності, виявлені під час аналізу проектно-технічної документації, повинні бути виправлені шляхом внесення відповідних змін.

Основними завданнями служби КВПіА є забезпечення надійної та правильної роботи контрольно-вимірювальної техніки та інших засобів інформації, а також впровадження новітніх науково-технічних досягнень у галузі автоматизації контролю, регулювання та управління в теплиці. Проектом передбачається створення служби КВПіА.

Служба КВПіА має забезпечити:

- регулярне технічне обслуговування, запланований та запобіжний ремонт, і налагодження технічних засобів і автоматизованих систем;
- періодичну перевірку контрольно-вимірювальних приладів;
- Участь у монтажі, налагодженні та випробуванні введених у дію систем автоматизації;
- аналіз досвіду та результатів використання технічних засобів і автоматизованих систем, а також розробку та впровадження планів реконструкції існуючих систем для їх поліпшення;
- складання річних та квартальних заявок на технічні засоби автоматизації, запасні частини, лабораторне обладнання та матеріали;
- прийом технічних засобів, які надходять у теплицю, складання відповідних актів та рекомендацій для їх відновлення;
- проведення навчання персоналу з правильних методів експлуатації систем автоматизації.

На теплиці служба КВПіА має бути розділена на дві групи (рис. 5.1): група з експлуатаційних завдань та група з ремонтно-повірочних обов'язків.

Група експлуатаційної служби КВПіА відповідає за проведення профілактичного обслуговування технічних засобів і систем автоматизації безпосередньо на місці у теплиці, а також бере участь у планових та запобіжних ремонтах.

Група ремонтно-повірочних робіт здійснює демонтаж та транспортування всіх технічних засобів, які потребують ремонту в стаціонарних умовах. Вона також відповідає за перевезення налагоджених технічних засобів, їх монтаж, налагодження та проведення випробувальної експлуатації.

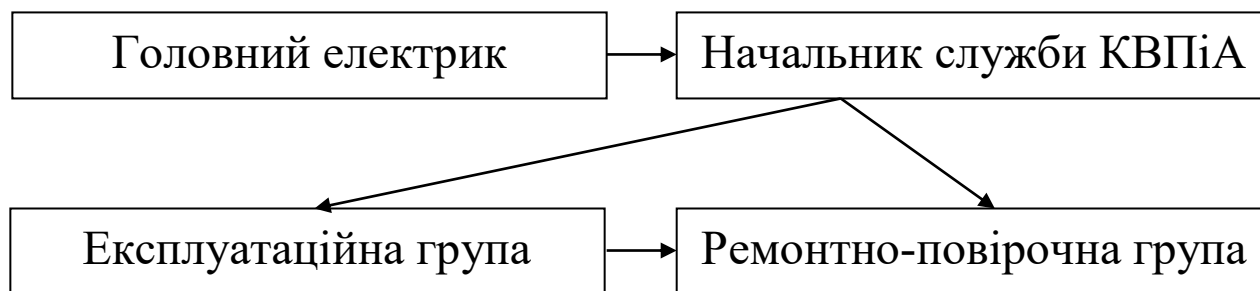


Рисунок 5.1 – Структурна схема служби КВПіА теплиці

У розпорядженні начальника служби КВПіА є таблиця, яка містить перелік приладів і засобів автоматики, що є в господарстві, разом із зазначенням періодичності їх обслуговування та норм часу для проведення щоденного технічного обслуговування (ЩТО), поточних і капітальних ремонтів, а також перевірки. У таблиці також вказані розряди робіт і розрахунки затрат праці для виконання всіх видів технічного обслуговування. Норми часу для ЩТО подані в людино-хвилинах, а для інших видів технічного обслуговування – в людино-годинах.

У таблиці використовуються такі позначення:

П – періодичність проведення робіт;

НЧ – норми часу;

ЗПр – затрати праці;

РР – розряд робіт.

Затрати праці розраховуються шляхом множення кількості приладів N одного типу на норму часу НЧ для обслуговування одного приладу та на кількість обслуговувань на рік K :

$ЗПр = N \times НЧ \times K$, виражене в людино-годинах або людино-хвилинах.

Кількість персоналу, необхідного для технічного обслуговування:

$$A = \frac{4592,3 \times 1,1 \times 1}{1840} = 2,745 \text{ люд}$$

Визначаємо кількість робітників у групі технічного обслуговування служби КВПіА як рівну 2.

$$A = \frac{3\text{Пр} * K_3 * K}{\Phi_d} = 1,519 \text{ люд}$$

Визначаємо кількість робітників у ремонтній групі як рівну 3. Постійна чисельність працівників служб становить:

$$A = \frac{\sum 3\text{Пр} * 1,1}{\Phi_n},$$

де Φ_n представляє собою номінальний фонд часу (2070 годин на рік), а $\sum 3\text{Пр}$ вказує на загальні затрати праці протягом року на всі види.

$$A_{\text{хв}} = \left(\frac{484,01 * 315}{60} + 4592,3 \right) * \frac{1,1}{2070} = 3,78 \text{ люд}$$

На підставі наведених даних про розряди робіт, вважаємо, що кваліфікація робітників служби КВПіА така:

1 особа III розряду, 1 особа IV розряду, 2 особи V розряду та 1 особа VI розряду.

Рекомендується наступна організаційна структура служби:

Враховуючи, що інженерно-технічні робітники становлять від 10% до 20% від загальної чисельності працівників, в управлінні КВПіА відповідає за наступне: група ремонту і повірки, включаючи техніка-наладчика і слюсаря-наладчика по КВПіА; кількість робочих, що працюють з комплектною ОБМ-1 по КВПіА і загальні витрати по всій теплиці:

$$n = \frac{3\text{П}_{\text{робн}}}{3\text{П}_{\text{зач}}}$$

$$3\text{П}_{\text{робн}} = 159 \text{ люд/хв} - 1680,8 \text{ люд/год.}$$

$$\text{Щодо технічного обслуговування } \eta_{\text{то}} = \frac{159}{484,01} * 100\% = 32,8\%$$

$$\text{Щодо ремонту та повірки } \eta_{\text{тр}} = \frac{1680,8}{4592,5} * 100\% = 36,6\%$$

Отже, для обслуговування ділянки, яка реконструюється, потрібно 32,8% витрат праці від групи технічного обслуговування та 36,6% від групи ремонту.

ВИСНОВКИ

В Україні виробництво рослинної продукції відбувається в умовах помірно-континентального клімату, що призводить до сезонності в цій галузі. З цього випливає, що близько 25% овочевої продукції, необхідної для забезпечення збалансованого харчування населення, потрібно вирощувати в умовах закритого ґрунту. Для забезпечення рентабельності цього процесу необхідно постійно удосконалювати технології виробництва та використовувати найефективніші технічні засоби і системи управління. Таким чином, тема бакалаврської роботи у цьому напрямку є актуальною та необхідною.

В результаті проведеної роботи, яка включала дослідження впливу фізіологічно активного випромінювання та параметрів мікроклімату в теплицях, а також удосконалення технічних систем для створення оптимальних умов освітлення для досягнення високої врожайності рослин, важливо відзначити наступне:

1. Теоретичні розрахунки та результати експерименту показали, що швидкість фотосинтезу рослин значно залежить від температури повітря та фітоопроміненості, і може бути описана як степенева функція. Дослідження виявили, що при опроміненостях до 7-8 фВт/м² ця швидкість різко зростає, а потім практично лінійно збільшується з певним коефіцієнтом взаємодії, що дорівнює 0,27 -0,25 від Е. Це вказує на можливість зниження споживання електричної енергії для освітлення шляхом оптимізації температури повітря.

2. Врахування встановленої взаємозв'язку між інтенсивністю крапельного поливу (вологість ґрунту) та дозою опромінення дозволяє збільшити приріст зеленої маси рослин за умови зменшення дози опромінення.

3. Використання металогалоїдних ламп у встановках для досвічування рослин при підвищеній частоті струму призводить до збільшення їх світлової віддачі. Крім того, використання еритемних ламп разом з освітлювальними лампами розширює діапазон фізіологічно активної радіації.

4. У системі контролю за інтенсивністю світлового потоку ламп використовується економний метод фазового регулювання напруги. Цей метод забезпечує стабільну роботу газорозрядних ламп навіть при зниженні напруги на них до половини від напруги живлення.

5. Враховуючи інтенсивність природного освітлення, розроблений блок контролю освітлення рослин допомагає значно скоротити витрати електроенергії на штучне освітлення.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

САК – система автоматичного керування;
САР – система автоматичного регулювання;
КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ФАР – фотосинтетично активна радіація;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
УФВ – ультрафіолетове випромінювання;
УФО – ультрафіолетове опромінювання;
ПРА – пускорегулююча апаратура;
ОВ – оптичне випромінювання;
ПВ – потенціальний врожай;
ФАО – фізіологічно активне опромінювання;
БУ – блок управління;
БВЧ – блок витримки часу;
БКД – блок корегування дози;
ДВ – джерело випромінювання;
БЗ – блок завдання;
КП – крапельний полив;
МП – магнітний пускач;
ДЕВ – джерело еритемного випромінювання;
ДНАОП – державні нормативні акти про охорону праці;
САННіП – санітарні норми і права;
БНіП – будівельні норми і правила;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок.

Список літератури

1. Васюта, В. М. Интенсификация выращивания посадочного материала плодовых культур в теплицах [Текст] / В. М. Васюта. – К. : Наукова думка, 1986. – 101 с.
2. Гіль, Л. С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту [Текст] : підручник. Ч.1 : Закритий ґрунт / Л. С. Гіль, А. І. Пашковський, Л. Т. Суліма. – Вінниця : Нова Книга, 2008. – 368 с.
3. Овочівництво і баштанництво: навч. посіб. / під ред. В. І. Шемавнєва. – Днепропетровск : ДДАУ, 2001. – 392 с.
4. Гармонія овочевої краси та користі /З.Д. Сич, І.М. Сич. - К.: Арістей, 2005 - 190 с.
5. Довідник овочівника / О.Ю. Барабаш, П.С. Семенчук - 2-ге вид., доповн. і переробл. - Львів: Каменяр, 1985. - 208 с.
6. Немтинов В.И. Пути снижения энергозатрат при производстве товарных овощей и рассады в защищенном грунте / В.И.Немтинов. - Симферополь: Таврия, 2004. -103 с.
7. Іваненко П.П., Приліпка О.В. Закритий ґрунт. – К.: Урожай, 2001. – 358 с.
8. Приліпка О.В. Тепличне овочівництво. – К.: Урожай, 2002. – 255 с.
9. Шишко Г. Г. Теплицы и тепличные хозяйства. / Г. Г. Шишко и др. – К.: Урожай, 1993. – 422 с.
10. Слепцов Ю. В. Гідропоніка / Ю. В. Слепцов – К.: Урожай, 2006. – 78 с.
11. Савченко І.Ф. та ін. Механізація робіт закритого ґрунту. – К.: Урожай, 1980. – 88 с.
12. Зеркалов Д. В. Энергозбереження в Україні. [Електронний ресурс] Монографія. – К.: Основа, 2012. – 582 с.
13. Єрабаш О. Ю. Овочівництво: Підручник.— К. : Вища шк., 1994. 374 с.
14. Барабаш О. Ю., Сич З. Д., Носко В. Л. Догляд за овочевими культурами. К.: Нововведення, 2008. 122 с.

15. Довідник овочівника Степу України / Г.І. Латюк, Л.М. Попова, П.С. Тихонов, Б.С. Ангел, С.П. Максимов, Л.М. Сапожникова, Ю.Є. Ключковський. Одеса: ВМВ, 2010. 470 с.
16. Поджаренко В.О., Кучерук В.Ю., Севастьянов В.М. Основи мікропроцесорної техніки. Навчальний посібник. - Вінниця: ВНТУ, 2006. - 226 с.
17. Чумаченко І.В., Кошовий М.Д., Лопатин В.В. Мікроконтролерні прилади: структура і використання: Навчальний посібник. – Харків: Нац. аерокосмічний ун-т «ХАІ», 2001. –277с.
18. Програмування мікроконтролерів AVR : [навчальний посібник] / С. М. Цирульник, О. Д. Азаров, Л. В. Крупельницький, Т. І. Трояновська. – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 111 с.
20. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. – Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.