

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

“ ____ ” _____ 2025 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**«Дослідження та модернізація системи керування
освітленням в теплицях»**

**«Research and modernization of lighting control systems
in greenhouses»**

Виконав здобувач вищої освіти

II курсу, групи АК-24 М

спеціальності 174 «Автоматизація,
комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

_____ С.В. Мартиненко

« ____ » _____ 2025 р.

Керівник роботи

доц, канд.техн.наук

_____ О.М. Сербул

« ____ » _____ 2025 р.

Рецензент

доц. каф. ЕТС та ЕМ, к.т.н

_____ 2025 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 4 |
| 1 Характеристика об'єкта автоматизації, технологічного процесу і устаткування..... | 6 |
| 1.1 Загальна характеристика тепличного комплексу..... | 6 |
| 1.2 Технічні засоби та технологічні норми і режими використання ФАР при вирощуванні овочевих культур..... | 7 |
| 1.3 Характеристика технологічного забезпечення інтенсивної світлокультури..... | 9 |
| 1.4 Моделювання та розрахунок фотофізіологічних процесів..... | 16 |
| 1.5 Висновки та постановка задачі дослідження і проектування..... | 18 |
| 2 Дослідження впливу температури повітря, крапельного поливу та рівня ФАР на врожайність..... | 20 |
| 2.1 Вплив температури повітря в моделі штучного опромінення рослин..... | 20 |
| 2.2 Дослідження впливу взаємодії ФАР і крапельного поливу на врожайність..... | 24 |
| 3 Розробка автоматичної системи та пристроїв для досвічування рослин..... | 29 |
| 3.1 Аналіз шляхів автоматизації процесу досвічування рослин..... | 29 |
| 3.2 Розробка структурної схеми системи керування досвічуванням рослин..... | 30 |
| 3.3 Розробка функціональної схеми системи автоматичного досвічування рослин..... | 31 |
| 4 Розрахунки та експериментальні матеріали, що підтверджують працездатність виробу..... | 35 |
| 4.1 Розрахунок опромінювальних установок..... | 35 |
| 4.1.1 Методика розрахунку опромінювальних установок..... | 35 |

| | |
|---|----|
| 4.1.2 Вихідні дані для розрахунку..... | 37 |
| 4.1.3 Розрахунок опромінювача ЖСП 64-400-001Р з лампою ДНаЗ-S-400 Reflux..... | 39 |
| 4.1.4 Розрахунок і вибір кабелів..... | 47 |
| 4.1.5 Розрахунок і вибір апаратів управління та захисту..... | 50 |
| 4.1.6 Розрахунок струмів короткого замикання..... | 51 |
| 4.2 Характеристика елементів схеми включення фотоприймачів..... | 54 |
| 4.3 Розрахунок елементів блоку контролю освітленості..... | 60 |
| 4.4 Розрахунок елементів блоку дотримання тривалості освітлення..... | 61 |
| 4.5 Розрахунок елементів блоку керування освітленням..... | 62 |
| 4.6 Розрахунок елементів блоку вмикання (вимикання) секцій навантаження..... | 63 |
| 4.7 Розрахунок блоку живлення..... | 63 |
| 4.8 Розрахунок параметрів семісторного ключа..... | 64 |
| 4.9 Розрахунок надійності систем автоматичного досвічування рослин..... | 65 |
| 5 Розробка заходів забезпечення нормальних умов монтажу та експлуатації автоматичних систем..... | 68 |
| Висновки..... | 72 |
| Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів..... | 74 |
| Список літератури..... | 75 |
| Додатки..... | 77 |

ВСТУП

Для збереження здоров'я людини надзвичайно важливе збалансоване харчування. Разом з їжею організм отримує майже всі необхідні для нормального функціонування та розвитку речовини — білки, вуглеводи, більшість вітамінів і мікроелементи. Одним із головних джерел вітамінів є овочі. За даними Інституту харчування АН України, середньорічна рекомендована норма споживання овочів на одну людину, без урахування картоплі, становить 126 кг. Важливо, щоб споживання овочевих культур було рівномірним протягом усього року.

Кліматичні умови нашої країни такі, що з відкритого ґрунту до початку вересня надходить лише 10–11% усіх овочів, серед яких 30% припадає на огірки та 20% на томати. У вересні–жовтні надходить близько 70% огірків і 60% томатів.

Щоб забезпечити населення овочами протягом усього року, необхідно широко використовувати можливості вирощування культур у захищеному ґрунті.

Щоб забезпечити збалансоване харчування протягом року, в умовах захищеного ґрунту слід вирощувати близько 25% усіх овочів. Крім того, завданням теплиць є забезпечення розсадою вирощування овочів у відкритому ґрунті.

Електрична енергія широко застосовується в тепличному господарстві для обігрівання ґрунту та повітря, а без її використання для освітлення та додаткового опромінення вирощування овочів у закритому ґрунті взагалі неможливе.

Створюючи оптимальні умови для рослин за допомогою штучного освітлення та опромінення, можна отримувати повноцінні врожаї овочевих культур, які за якістю навіть перевищують ті, що вирощуються у відкритому ґрунті. Тому нині завдання тепличного вирощування полягає не лише у забезпеченні достатньої кількості овочів у зимовий період, а й у підвищенні їхньої якості.

Застосування електричної енергії в технологічних процесах значно спрощує конструкції та схеми автоматизованих систем не лише для контролю, а й для керування режимами відповідно до заданих програм.

У теплицях можна регулювати майже всі параметри мікроклімату, забезпечуючи оптимальні умови для росту рослин. Особливе значення при цьому мають створення правильного освітлення з регульованою дозою фотосинтетично активної радіації (ФАР) та забезпечення рослин необхідною вологою й поживними речовинами.

Проте варто зауважити, що у цих питаннях існують досить багато невивчених або недостатньо досліджених залежностей і режимів, які можуть і повинні забезпечувати оптимальні умови для вирощування рослин.

Об'єктом дослідження є процес вирощування овочів в теплицях ангарного типу.

Предмет дослідження – комп'ютеризована система керування освітленням в теплицях ангарного типу при вирощуванні овочів.

Метою даної магістерської роботи є проведення відповідних досліджень та створення автоматизованої системи управління і дозування технологічного освітлення та опромінення разом із супутніми процесами.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ І УСТАТКУВАННЯ

1.1 Загальна характеристика тепличного комплексу

У тепличному господарстві для вирощування овочевих культур і розсади використовують блочні конструкції з металевих профілів, частково покриті склом, а частково плівкою.

Розміри теплиці становлять: довжина – 11 000 мм, ширина – 6 400 мм. Для забезпечення нормальної роботи теплиць щороку проводиться комплекс підготовчих технологічних операцій. Після завершення циклу вирощування овочів приміщення дезінфікують, а ґрунт стерилізують. Розсадні відділення дезінфікуються шляхом спалювання сірчаних шашок. Овочеві відділення, коридори та рослинні залишки після закінчення вегетаційного періоду обробляють сумішшю формаліну, кельтана і карбофосу.

Стерилізація ґрунту в теплицях проводиться парою. Для цього збирають рослинні рештки ґрунт розрихлюють на глибину орного шару, а площу кожної ланки покривають термостійкою плівкою. Резиновими шлангами пара під тиском 0,5 – 1,0 атмосфери подається через паророзподільчі труби під плівку. Пропарювання ґрунту проводиться на протязі 10 – 12 годин при температурі 100°C. Плівка залишається на місці до повного охолодження, після чого переноситься на інше місце.

Для видалення шкідливих солей проводиться видалення солей шляхом промивки ґрунту водою та періодичним включенням дощувальної установки.

Для внесення в ґрунт підкормочних розчинів мінеральних добрив використовуються установки крапельного поливу. Концентрація підкормочних розчинів повинна складати 0,02 – 0,2 % і автоматично підтримується автоматично.

Приготування розчинів отрутохімікатів та обприскування рослин відбувається на спеціальних установках з розпилювальними форсунками.

Для підвищення врожайності овочевих культур проводиться підкормка рослин вуглекислою з добавками CO_2 в повітрі до 0,3 %.

Для запобігання перегрівання ґрунту у весняно-літній період проводиться покриття покрівлі теплиць крейдяним розчином

Для забезпечення необхідних умов обігрівання теплиць використовують шатровий та підґрунтовий спосіб обігрівання.

Основні операції по обробітку ґрунту та догляду за рослинами механізовані і автоматизовані.

1.2 Технічні засоби та технологічні норми і режими використання ФАР при вирощуванні овочевих культур

Задача штучного опромінення в теплиці - це заміна чи доповнення природного випромінювання в осінньо-зимовий період та забезпечення необхідних умов росту і розвитку рослин.

В зимовий період енергія штучного випромінювання не завжди достатня для нормального розвитку рослин. Однак вона складає значну частину того опромінення, яке необхідне рослинам. У відповідність до умов природного опромінення в теплицях територія нашої країни займає світлову зону, в якій експозиція природного ФАР складає 185 – 313 Вт×год/м. Ця експозиція заміряна для фотосинтетичного активного випромінювання в діапазоні 380 – 710 нм. В області ФАР для природного випромінювання з достатньою точністю можна прийняти співвідношення $1 \text{ Вт} = 0,5 \text{ фт}$. Тоді коефіцієнт фітовіддачі буде $K_{\text{фт}} = 0,5 \text{ фт/Вт}$, який використовують при необхідності розрахувати фотосинтезуючу експозицію природного опромінення. Рекомендована протяжність денного опромінення залежить від культури, що вирощується і складає 12...16 год.

Рослини – складний об’ємний об’єкт, опроміненість якого можна оцінювати, тільки знаючи індикатрису її опроміненості.

В період вирощування розсади геометричною моделлю окремої рослини може бути напівсферичний приймач випромінювання (рис. 1.1). Та при досить

щільному розташуванні рослин (ценозі) через взаємне затінення рослин індикатриса опроміненості стає близькою до косинусної, яка характерна для плоского горизонтального приймача випромінювання. Це дозволяє опроміненість рослин в ценозі оцінювати з достатньою точністю значенням горизонтальної опроміненості.

Орієнтовні дози опромінення для різних культур приведені в «Нормах». Так для розсади овочів їх мінімальне значення складає 300...400 Вт.год./м², а оптимальне, що відповідає максимальному ККД фотосинтезу, 560 Вт. год./м².

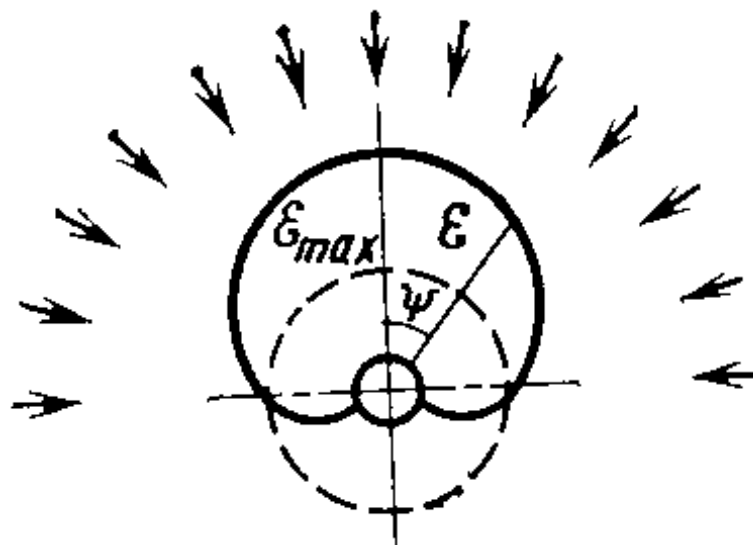


Рисунок 1.1 – Геометрична модель окремої рослини

Рівень опроміненості, що необхідний для нормального розвитку і формування рослин, які вирощуються в штучних умовах, якщо її умовно виразити в одиницях світлової системи величин, повинен складати не менше 6...8 тис. лк. Встановлено, що одним із головних факторів впливу на якість рослинної продукції створює сонячне випромінювання і його складова в ультрафіолетовому діапазоні.

Аналіз досліджень по сприятливій дії енергії ультрафіолетового випромінювання (УФВ) на рослини, особливостей його доступу до рослин в теплицях підтвердив, що це сильнодіючий фактор росту, розвитку рослин, формування врожаю і підвищення якості овочевої продукції (вміст цукрів, вітамінів і ін.); випромінювання з довжиною хвилі менше 295 нм на рослини діє негативно, а в діапазоні 295...320 нм – позитивно. Але це останнє в теплицю не

доходить, так як повністю затримується склом, або покриттям пластиковою плівкою, яке пропускає лише 320...400 нм, на які приходить 57 % сонячного випромінювання. Для штучного опромінювання рослин в теплицях необхідно два діапазони УФВ: для розсади – 295...400 нм, що складає 4..5 % від загальної потужності і 295...320 нм для дорослих рослин.

Рівномірність штучного опромінювання рослин, що оцінюється величиною $E = \frac{E_{\text{мін}}}{E_{\text{ср}}}$, рекомендується приймати не нижче 0,7. При сумісному штучному та природному опромінюванні рівномірність взагалі підвищується.

Для розрахунку середньої опромінюваності користуються методом коефіцієнта використання світлового потоку, скориставшись відповідною формулою для електричного освітлення, якщо потік лампи представити як добуток її потужності і фотосинтезуючої віддачі.

1.3 Характеристика технологічного забезпечення інтенсивної світлокультури

Для реалізації різних технологій, що використовуються в умовах захищеного ґрунту створено досить багато різноманітних типів опромінювачів і джерел опромінювання. При цьому завжди ставиться задача створити найбільш ефективні джерела випромінювання і досягти максимальної економії електричної енергії, яка з часом стає все більш дорогою.

Крім цього, опромінювальні установки повинні забезпечувати:

- не випромінювати великої кількості теплової енергії, так як систематичне перегрівання рослин порушує нормальний обмін речовин і приводить до передчасного цвітіння та плодоношення і зниження врожаю;
- по можливості найменше затінити від природного випромінювання;
- не створювати перешкоди для догляду за рослинами; забезпечувати рівномірне освітлення рослин;

- в максимальній мірі сприяти проходженню основних технологічних процесів;
- забезпечувати весь спектр видимого випромінювання з червоним, синім і фіолетовим кольорами, а також частину ближнього ультрафіолету та інфрачервоного випромінювання в межах 295...1000 нм.

Опромінювальні установки повинні мати невелику масу та конструкції, що дозволяють швидко і легко проводити регулювання, заміну ламп та забезпечувати технічне обслуговування.

В практичній світлокультурі переважно використовують газорозрядні лампи і зрідка лампи розжарювання.

Основі переваги ламп розжарювання – простота конструкції та обслуговування і мала вартість. Основні недоліки – надмірна величина в спектрі інфрачервоної радіації, мала світлова віддача та низький коефіцієнт корисної дії.

Використання дзеркальних ламп розжарювання не має суттєвих переваг від використання звичайних ламп розжарювання.

Кращі результати при вирощуванні рослин дають люмінесцентні лампи. Спектральний склад ламп денного та білого світла наближається до складу денного розсіяного світла. Конструктивні форми цих ламп дають більш рівномірний розподіл світлового потоку по площі теплиці і зовсім мало виділяють тепла і не перегрівають рослини. Основними недоліками люмінесцентних ламп являються досить мала потужність, що призводить до значного збільшення їх кількості для забезпечення необхідної опроміненості рослин. Для вмикання люмінесцентних ламп використовуються спеціальні пускорегулюючі апарати, які значно збільшують вартість і затрати на їх монтаж та обслуговування, що в свою чергу підвищує встановлену потужність трансформатора на підстанції тепличного господарства.

За світлотехнічними показниками лампи типу ДРЛ наближаються до люмінесцентних ламп. Основним їх недоліком є нерівномірний розподіл світлового потоку по освітлювальній площині та відсутність в спектрі зони ближнього ультрафіолету. Тому для поліпшення цих параметрів була розроблена

на базі лампи ДРЛ фітонцидна лампа ДРЛФ-400, яка має у верхній частині колби дифузний відбиваючий шар, що значно поліпшує світловий розподіл. Використання в конструкціях таких ламп термостійкого скла забезпечує проведення крапельного поливу без їх вимикання. Лампи ДРЛ та ДРЛФ мають значно більшу потужність, тому на їх основі був створений спеціальний опромінювач ОТ-400, який має значні переваги перед опромінювачами з люмінесцентними лампами. Опромінювачі комплектуються індуктивними та ємнісними опорами для компенсації реактивних потужностей.

Живлення опромінювачів здійснюється від мережі із частотою 50 Гц та номінальною напругою 220 В. Вага опромінювача в комплекті з пристосуваннями складає 8 кг, а світловий потік при номінальній потужності 400 Вт досягає 13500 – 16000 лм. При використанні таких опромінювачів в теплицях не виникає затемнення і вони не заважають проведенню різноманітних агротехнічних заходів.

Серійні випромінювачі, що використовують мережу промислової частоти струму, через особливості газового розряду в лампах мають громіздкий пускорегулюючий апарат вартість якого в 2–3 рази більша вартості самої лампи. Їх значний реактивний характер для підвищення коефіцієнта потужності вимагає включення компенсуючих пристосувань, що ще більше збільшує вартість всього устаткування. Вони мають значні втрати потужності в ПРА та компенсуючих пристосуваннях (10...20 %), а пульсація світлового потоку і виникаючий при цьому стробоскопічний ефект знижують продуктивну роботу обслуговуючого персоналу.

Великі можливості опромінюючого устаткування закладені в переході на використання струму підвищеної частоти. При цьому значно поліпшуються техніко – експлуатаційні показники: більш як на 25 % підвищується строк служби ламп, зменшення світлового потоку знижується в 1,5–2 рази, а їх потужність збільшується на 10–17 %. Габарити устаткування зменшуються в 2–3 рази, а маса – в 15–20 разів, втрати потужності зменшуються в 3–4 рази. До того ж з'являється можливість замість індуктивного використовувати ємнісний баластний опір.

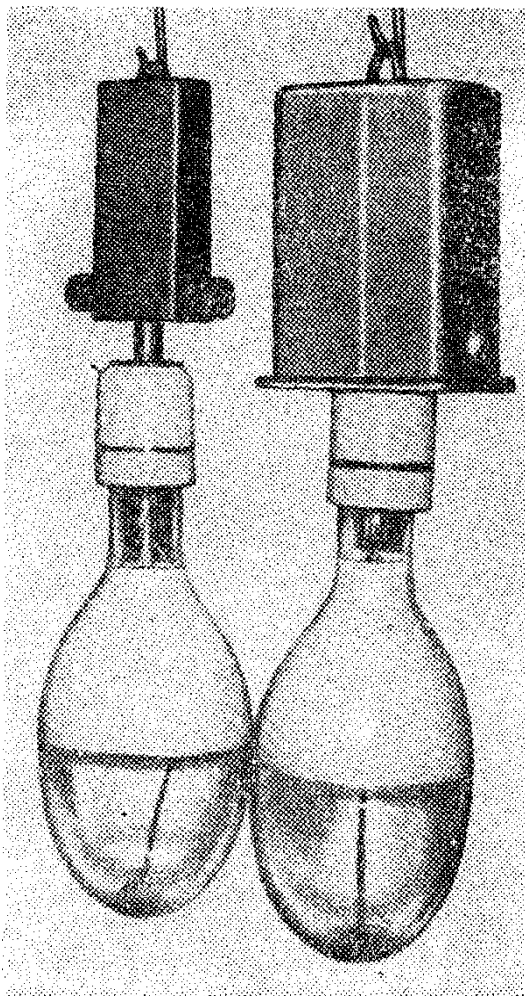


Рисунок 1.2 – Тепличні опромінювачі з лампами ДРЛФ-400 (справа - серійний ОТ-400, зліва - дослідний зразок на 1000 Гц)

Перетворювач частоти забезпечує нормальну роботу ламп в широкому діапазоні потужностей навантаження - від 0,1 до 1,1 номінального. В його схемі реалізована можливість стабілізації потужності ламп при глибоких коливаннях напруги мережі живлення - до 30 %.

Використання такого комплексу устаткування дозволяє в порівнянні з традиційними серійними опромінювачами ОТ-400 такої ж потужності знизити масу баластного опору більше ніж у 20 разів, а всієї системи – в 3 рази, збільшити строк служби ламп на 40 %, ККД – на 8 %.. На рис. 1.2 показані тепличні опромінювачі ОТ-400 з лампами ДРЛФ і ДРІ-400. Таке устаткування пройшло виробничі випробування і уже використовується в багатьох господарствах.

З метою подальшого вдосконалення систем опромінення рослин в теплицях були випробувані установки змінного опромінення УПО-1000 потужністю 3,2 кВт. Вони складаються із двох консолей, на кожній з яких закріплені по 4 опромінювачі з лампами ДРЛФ-400, які в процесі роботи обертаються в горизонтальній площині за рахунок сили тяги двох вентиляторів, які розташовані на кінцях консолей. Це значно усладнило конструкцію опромінювальної установки, але забезпечило змінну в часі опроміненість рослин. Лампи живляться від джерела підвищеної частоти (1000 Гц). Аналіз біометричних показників розсади огірків показав, що якість її від дії такої установки при питомій потужності досвічування 60 Вт/м не поступається перед розсадою, яка вирощена під стаціонарними опромінювачами з питомою потужністю 200 Вт/м.

Техніко-економічні розрахунки показують, що опромінювачі підвищеної частоти в порівнянні із серійними дають значний економічний ефект.

Все більше розповсюдження в наш час починають отримувати металогалогенні і натрієві лампи високого тиску. Значна світлова віддача, вдвоє більша ніж у ламп ДРЛ, малі розміри тіла випромінювання при високій світності, невелике зниження світлового потоку роблять їх перспективними. Проведені численні біологічні досліді показують їх перевагу про вирощуванні рослин в теплицях.

На рис. 1.3 приведена електрична схема включення натрієвої лампи високого тиску в мережу живлення з напівпровідниковим перетворювачем частоти на 1000 В. Використання струму такої частоти для ламп ДНаТ-400 дає

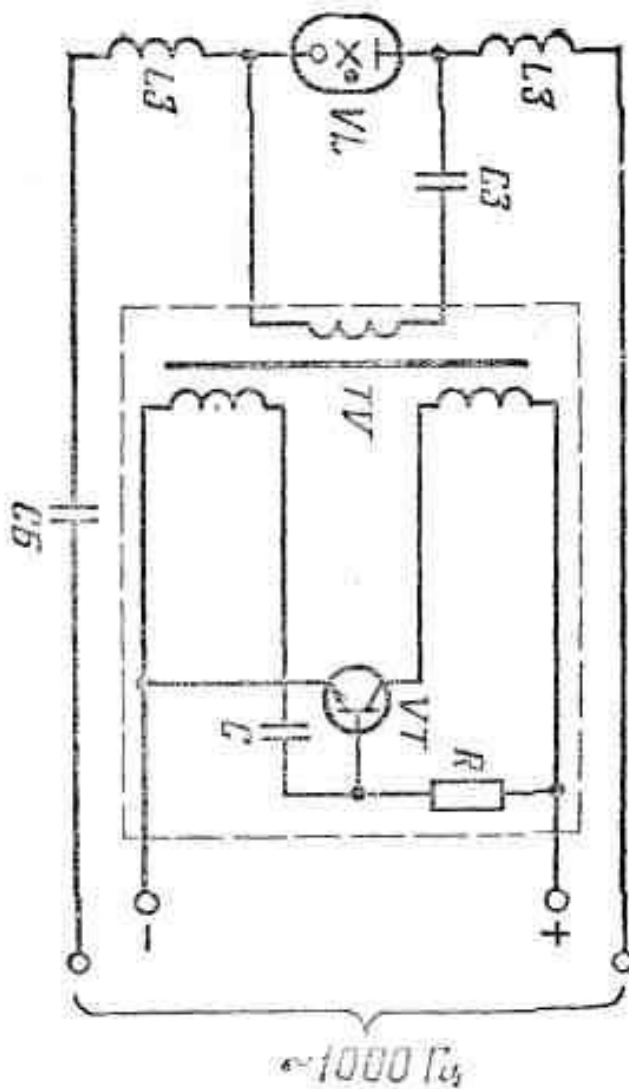


Рисунок 1.3 – Схема включення натрієвої лампи високого тиску

можливість збільшити світловий потік на 8 %, підвищити коефіцієнт потужності ламп до 0,96 і строк служби, знизити масу ПРА більше ніж в 10 разів.

В серійному виробництві з'явилися високоефективні опромінювальні установки комплектного постачання УОРТ-1-6000 і УОРТУ-2-3000-1 з лампами ДМЧ-6000 і ДМЧ-3000. Ці установки входять в склад уніфікованого світлотехнічного устаткування КСОРТ-ЖУЄ-УОРТ-САРОРТ. Джерелами випромінювання в цих установках являються трьохфазні металогалоїдні лампи типу ККД, фізіологічно активна радіація яких досягає 25 % від загального потоку випромінювання.

Використання установок в складі комплектів світлотехнічного устаткування

при вирощуванні розсади і дорослої культури дозволяє знизити витрати електроенергії та питомої потужності опромінювальних установок в 2–2,5 рази, скоротити число опромінювачів в 10–15 раз, зменшити масу пускорегулюючих апаратів, знизити навантаження на конструктивні елементи теплиць в 10–15 раз. При цьому в 3–3,5 рази скорочуються витрати кабельної продукції, поліпшується догляд за рослинами і обробіток ґрунту, світловтрати знижуються, втрати теплоти - на 8...12 %, природна опроміненість збільшується на 20–25 %. З'являється можливість скоротити терміни дозрівання салатів на 15–17 днів, вирощування розсади – 10–11 днів, збільшити вихід розсади з одного метра квадратного до 60 шт., зменшити площу розсадних відділень в 1,5–2 рази, збільшити врожаї ранніх культур на 3–5 %, а також повністю ліквідувати демонтаж та повторний монтаж опромінювачів, знизити експлуатаційні витрати на обслуговування світлотехнічного обладнання в 1,5–2 рази.

В процесі вирощування рослин в парниках необхідно змінювати по заданій програмі світловий потік і часову денну норму опромінювання. Існує два способи регулювання світлового потоку розрядних ламп, які працюють на змінному струмі: амплітудний і фазовий.

Амплітудний спосіб регулювання світлового потоку розрядних ламп дозволяє виконувати регулювання в досить вузькому діапазоні. Це пов'язано з тим, що при зменшенні амплітуди напруги живлення нижче напруги запалення розрядної лампи, вона перестає працювати.

Цього недоліку не має фазовий спосіб регулювання світлового потоку. Він дозволяє зберігати стійку роботу розрядної лампи при зменшенні напруги живлення до 0,5 від номінальної.

Фазовий спосіб передбачає швидку комутацію навантаження блоку опромінювальних установок на протязі напівперіоду синусоїди напруги мережі живлення, що сильно впливає на характер зміни струму в мережі. Для усунення цього явища необхідно опромінювальні установки живити від власного силового трансформатора за допомогою 3-х фазної мережі з ізольованою нейтраллю.

Як зазначалося раніше, основним завданням опромінювальної установки є передача заданої кількості променевої енергії до приймача. Для точних розрахунків необхідно знати величину повної енергії випромінювання. Однак розрахунок повної енергії є досить складним, тому зазвичай його спрощують, замінюючи повну енергію, що падає на рослину, її поверхневою щільністю, тобто дозою опромінення. Для кожної опромінювальної установки доза визначається як «нормована доза» або «норма опромінення», яка може бути виражена в ефективних одиницях Дж/м².

В опромінювальних установках вихідним параметром для розрахунку є опроміненість, яка або встановлюється, або визначається на основі дози. Опроміненість від обраних джерел випромінювання можна розрахувати з різним ступенем точності за допомогою звичайних світлотехнічних методів. Проте при використанні цих методів слід враховувати зміну активних коефіцієнтів відбиття, пропускання та поглинання світильникової арматури, навколишнього середовища та поверхні приймача при зміні спектрального складу джерела випромінювання.

Зміна ККД світильника при зміні спектра випромінювання враховується за допомогою спеціального коефіцієнта. Спектральний склад випромінювання також істотно впливає на коефіцієнт запасу. При довгохвильовому випромінюванні початкові потоки ламп змінюються незначно, тоді як в ультрафіолетовій зоні коефіцієнт пропускання скла швидко знижується, а навіть невелика кількість пилу значно поглинає УФ-випромінювання, що безпосередньо впливає на значення коефіцієнтів запасу.

З урахуванням усіх цих корекцій для визначення необхідної опроміненості застосовуються три загальновідомі методи світлотехнічного розрахунку: точковий метод, метод коефіцієнта використання світлового потоку та метод питомої потужності з використанням довідкових таблиць, призначених для розрахунку освітлення.

1.4 Моделювання та розрахунок фотофізіологічних процесів

В біологічних фотоприймачах поглинута енергія ОВ від фоторецептора (пігменту) – селективного приймаючого елемента структури – передається по електронно-транспортним каналам у «вузли», де проходить її перетворення в інформаційні сигнали, або вона акумулюється, входячи енергетичною базою в склад складних органічних з'єднань. Ефективність фотопроцесу залежить від пропускної можливості електронно-транспортних каналів, яка, в свою чергу, - функція забезпечення їх сировиною (для рослин це вуглекислий газ, мінеральне живлення, вода і тепло). Пропускна здібність каналів обмежена. Із збільшенням їх завантаження обмеження особливо відчутне (рис. 1.4).

Продукти фотопроцесу, так як і інші види енергії яку споживає організм, інгібують (гальмують) цей процес, тобто в природі завжди присутній зворотній зв'язок. Тому всякий біопроект можна розділити на мікро – (від долей секунд до хвилин) і макроритми (години і доби).

Одна з найбільш популярних гіпотез мікроклімату – поглинання квантів випромінювання та повернення пігменту на попередній рівень з «темновим» часом.

По Ейнштейну при поглинанні фотонів кожній фотохімічній реакції відповідає свій «ефективний» квант випромінювання і, здавалось би, сусідні по

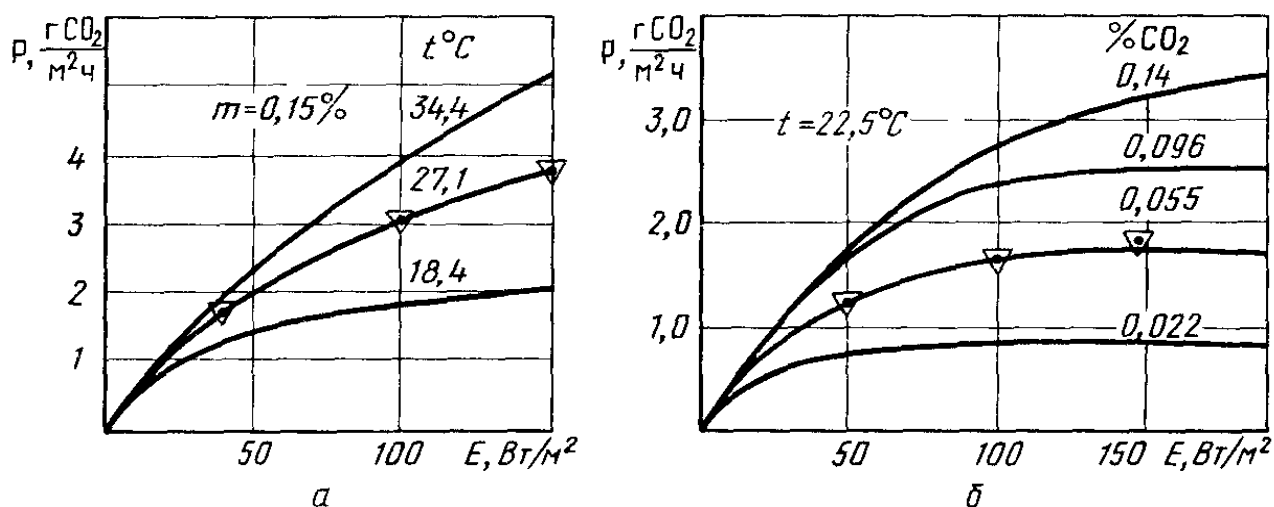


Рисунок 1.4 – Залежність поглинання CO₂ листям огірків від опроміненості:

a – при різній температурі; b – при різній концентрації CO₂ в повітрі

енергії кванти не повинні викликати фотоефект. Пояснити, чому фотони менших енергій, ніж ефективний квант, викликають фотоефект (мається на увазі одиничний фотоакт) можливо, якщо цей процес розглядати як резонансне явище.

Широка полоса чутливості зеленого листа рослини дозволяє рослині вибирати із сонячного спектру більший процент енергії, ніж інформаційний орган – око тварини або людини.

У зимовий період, коли сонце не дає достатнього по інтенсивності та тривалості опромінення, в скляних і плівкових теплицях та оранжереях природне освітлення замінюють штучним. Кращі результати досягаються в тому випадку, коли джерела опромінення, підібраних по інтенсивності та спектральному складу, найбільш повно задовольняють рослину.

Кількість і якість світла визначає не тільки врожай і період його дозрівання, а й інші важливі процеси в рослинах – створення хлорофілу, синтезу ферментів, вітамінів, органогезу, переходу від однієї фази розвитку до іншої.

При оптимальній освітленості (20 – 30 клк) підвищується до максимуму фотосинтетична активність рослини. Недостатнє або надмірне освітлення різко знижує накопичення органічних речовин в рослинах.

При дотриманні потрібного світлового та температурного режимів терміни вирощування розсади в зимові місяці зменшуються в двічі і розсаду томатів отримують за 30...35 днів замість 60, огірків – за 15...18 днів замість 30...35 і таке інше.

Розсаду томатів починають опромінювати зразу, як тільки з'являються сходи. Тривалість освітлення 8...10 годин за добу, а загальна довжина світлового дня повинна бути не менше 15...16 годин. Для розсади огірків необхідна тривалість світлового періоду повинна дорівнювати 12...14 годин. Для подальшого розвитку рослин тривалість періоду штучного освітлення також поступово зменшується до 12 годин (огірки) і до 14 годин (томати). По відношенню до продовження світлового дня овочеві культури розділяють на три групи: подовженого світлового дня, короткого світлового дня та нейтральні. Особливо необхідно мати на увазі, що прямі сонячні промені понижають якість овочевої продукції.

Технологія вирощування овочевих культур повинна забезпечувати високу якість як розсади, так і кінцевої продукції, водночас знижуючи їх собівартість, зокрема за рахунок економії електроенергії та ефективного використання її потужності. При вирощуванні розсади ключовим завданням є прискорення початкового росту рослин через формування розвиненої кореневої системи та листового покриву, а також закладання репродуктивних органів відповідно до інтенсивності вегетативного розвитку.

Для вирощування розсади огірків та томатів необхідна освітленість 9...10 тис.лк, а для дорослих рослин освітленість повинна бути не менше 5 тис.лк. Підготовка розсади до умов, в яких рослини будуть рости після висадки, потребує поступового зменшення освітленості з 9 тис. до 2,5 тис.лк для томатів та з 5 тис. до 2,5 тис.лк для огірків.

Значна кількість рослин, що культивуються на півночі, погано розвиваються в південних районах країни. Це так звані, рослини довгого світлового дня. На півночі світловий день влітку значно триваліший ніж на півдні, і тому тривалість темного періоду в добу більше ніж 8...10 годин затримує розвиток рослин, їх цвітіння та плодоношення. І, навпаки, рослини короткого світлового дня затримуються в розвитку при недостатній тривалості темного періоду доби менше 10 годин. Цю властивість рослин широко використовують для прискорення або затримання їх цвітіння, особливо квітів. Для створення таких умов освітленість може не перевищувати декількох сотень люкс.

1.5 Висновки та постановка задачі дослідження і проектування

Отже, для отримання ранніх врожаїв овочів у захищеному ґрунті в періоди з коротким або недостатнім світловим днем необхідно використовувати системи технологічного досвічування рослин. Проте сучасні системи освітлення та їхнє керування не завжди відповідають вимогам агробіологічного розвитку рослин. Часто при впровадженні нових, більш ефективних джерел світла та опромінювальних систем у виробництво відсутні відповідні системи управління процесом освітлення з урахуванням інших параметрів мікроклімату теплиць та оранжерей.

При вирощуванні рослин у закритому ґрунті нерідко не враховується необхідна опроміненість залежно від віку рослин. Зазвичай системи освітлення проектуються на основі фіксованих норм освітленості, які залишаються незмінними протягом усього терміну експлуатації. Зміни освітленості можливо досягти лише шляхом фізичного переміщення світильників по висоті, відстані або їх кількості, що є технологічно складним і не гарантує рівномірного освітлення поверхні рослин. Таким чином, виникає необхідність у створенні систем освітлення, які забезпечують потрібну освітленість при постійному розташуванні світильників для різних культур і на різних етапах їх розвитку.

Аналіз розвитку шляхів і методів вдосконалення елементів і систем оптичного опромінення рослин в теплицях показує, що цей процес розвивався в трьох напрямках: пошук і вдосконалення найбільш оптимальних по спектральному складу джерел оптичного випромінювання; дослідження ефективності впливу зміни частоти струму джерел освітлення на рослини і дослідження впливу режиму опромінення на якість овочевої продукції теплиць, які найбільш близько імітують природні умови розвитку рослин.

На наш погляд мало уваги приділяється дослідженню взаємного впливу трьох основних параметрів розвитку рослинної флори в теплицях – режимів та інтенсивності опромінення рослин у взаємодії з температурним режимом в теплицях та системою крапельного поливу, який найбільш близько відтворює природні умови розвитку рослин.

Тому до задач дослідження і розробки освітлення з урахуванням цих факторів необхідно віднести наступне:

- дослідження взаємного впливу температури повітря в теплицях та рівня фізіологічно активної радіації;
- дослідження взаємодії ФАР і крапельного поливу на врожайність;
- управління ультрафіолетовим опроміненням рослин в теплиці та контроль інтенсивності ФАР;
- автоматизація процесів створення умов і режимів досвічування рослин в теплицях.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРИ ПОВІТРЯ, КРАПЕЛЬНОГО ПОЛИВУ ТА РІВНЯ ФАР НА ВРОЖАЙНІСТЬ

2.1 Вплив температури повітря в моделі штучного опромінення рослин

Одним із ключових факторів, що впливають на урожайність рослин, є температура повітря та ґрунту. Різні стадії росту овочевих культур потребують різних температурних умов для оптимального розвитку. Через слабку кореневу систему молоді рослини потребують нижчої температури та більшої інтенсивності освітлення, оскільки підвищення температури збільшує інтенсивність дихання. Велике значення для підвищення врожайності має також регулювання нічних температур. Для нормального розвитку рослин різниця між нічними та денними температурами повинна становити не більше 3–5 °С для огірків та 3–8 °С для томатів.

Також надзвичайно важливо правильно підтримувати температуру ґрунту. Підвищення температури ґрунту стимулює ріст томатів, що може мати як позитивні, так і негативні наслідки. При вирощуванні ранніх культур у разі недостатньої освітленості підвищена температура ґрунту прискорює ріст рослин, порушуючи баланс між величиною стебла та розвитком квіток. В результаті формується сильна коренева система та ранній розвиток плодів, проте загальна врожайність знижується.

Підвищена сонячна радіація підвищує температуру вище оптимального рівня, що може спричиняти втрату життєздатності пилку, опіки плодів і листя, а також зміну їх кольору.

Взаємний вплив мікроклімату теплиці та інтенсивності фізіологічно активної радіації досліджувався як експериментально, так і теоретично. Для прогнозування та визначення оптимального співвідношення цих параметрів у теоретичних моделях зазвичай враховують дані експериментальних і виробничих досліджень.

Останні дослідження штучного опромінення рослин надали достатньо експериментальних даних для вивчення температурної залежності швидкості фотосинтезу [1]. Аналіз цих даних показав, що залежність має екстремальний характер, а її оптимальна температура підвищується зі збільшенням інтенсивності опромінення до насичуючих значень. Апроксимація експериментальних результатів свідчить, що залежність оптимальної температури від опроміненості має лінійну, але тричленну функціональну форму [2].

Для практичного застосування така лінійна залежність виявляється досить складною та трудомісткою. Подальший аналіз взаємозв'язку між температурою повітря та інтенсивністю штучного опромінення в межах насичуючих значень опроміненості можна апроксимувати також за допомогою показникової функції.

На рис. 2.1 показано залежність швидкості фотосинтезу у початковий період розвитку рослин огірків (1) від температури повітря та фітоопроміненості (E), отриману Свентіцьким І.І. [3], а на рис. 2.2 наведено точки максимальних значень та графік апроксимуючої функції.

Припустивши, що залежність швидкості фотосинтезу (1) від опроміненості носить показниковий характер, її можна записати у вигляді

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

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

E – опроміненість;

C – коефіцієнт пропорційності;

a – показник ступеню.

Інтегруючи вираз (2.1), отримуємо формулу для розрахунку накопиченої фітомаси.

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

Відсутність степеневого показника при t свідчить про те, що в цьому випадку при однаковому часі вирощування та оптимальній температурі M визначається виключно опроміненістю E

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

де $A = C \cdot t$ – коефіцієнт пропорційності.

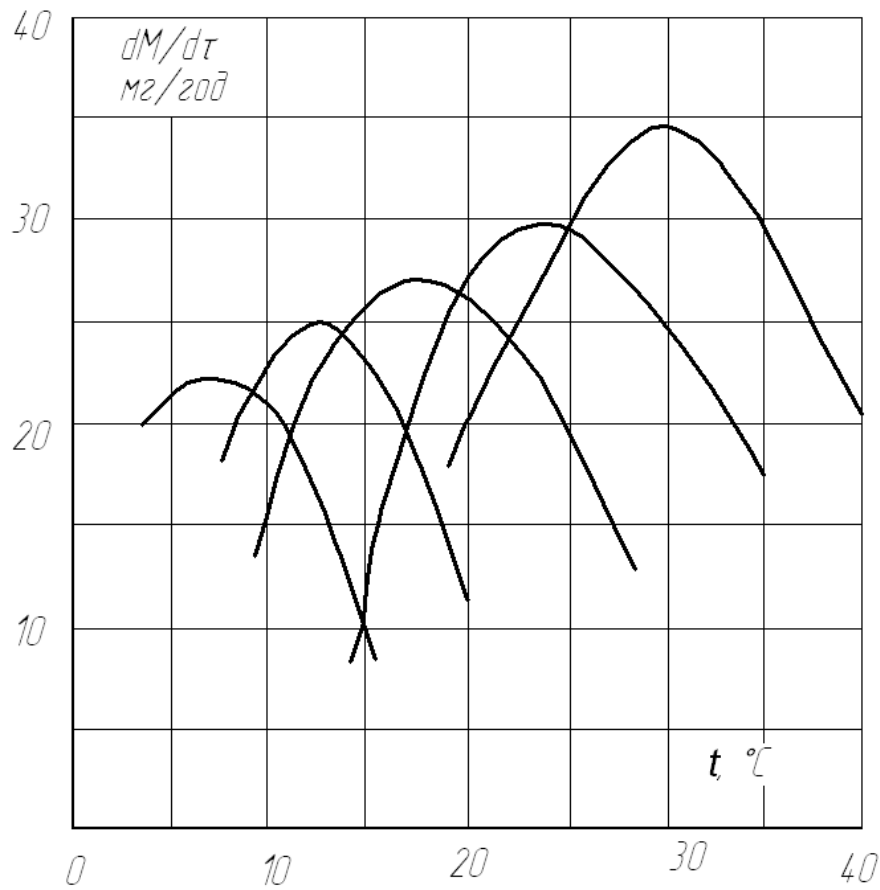


Рисунок 2.1 – Залежність швидкості фотосинтеза від температури повітря і фітоопроміненості E :
 1 – 4 фт/м²; 2 – 8 фт/м²; 3 – 12 фт/м²; 4 – 18 фт/м²; 5 – 25 фт/м²

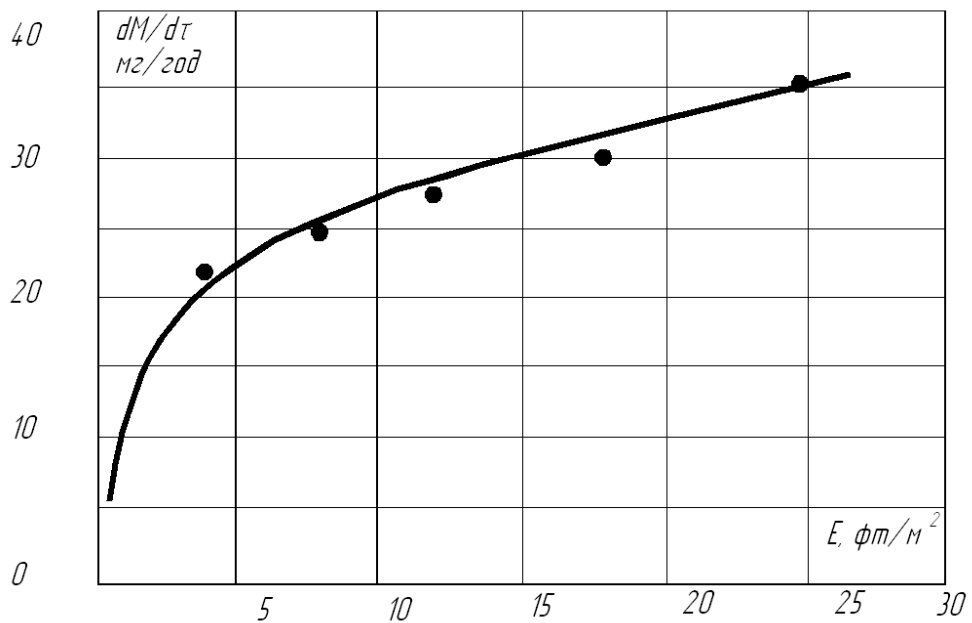


Рисунок 2.2 – Апроксимація ступеневої функції залежності швидкості фотосинтезу від опроміненості

Методика визначення показника ступеня «а» за допомогою логарифмування змін фітомаси (або швидкості фотосинтезу) залежно від опроміненості на основі експериментальних досліджень розвитку рослин описана в літературі [4]. Результати розрахунку показника ступеня «а» за експериментальними даними наведені в табл. 2.1. Середнє значення $a_{cp.} = 0,276$ може бути використане для розрахунків та побудови апроксимуючої функції (1), що представлена на рис. 2.2 при $C = 14,396$ та швидкості фотосинтезу 35 мг/год.

Як зазначається в аналізованій літературі, оптимізація температури з урахуванням зміни ФАР забезпечує значний енергетичний ефект. Зокрема, при зменшенні опроміненості на 50 % енергоспоживання скорочується на 47,3 %, тоді як тривалість вирощування збільшується лише на 5,5 %. Для розсади це означає всього два додаткові дні росту.

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 росту показує, що зменшення штучної освітленості, тобто потужності опромінювальних установок, є не лише допустимим, а й енергетично ефективним за умови оптимізації температури в зоні вирощування рослин.

2.2 Дослідження впливу взаємодії ФАР і крапельного поливу на врожайність

Для забезпечення оптимального розвитку рослин у теплицях регулюють більшість параметрів мікроклімату та фізіологічно активного опромінення (ФАО). Особливе значення при цьому мають доза ФАР та забезпечення рослин вологою й поживними речовинами.

Щоб з'ясувати шляхи їх оптимізації, розглянемо процес нарощування зеленої маси рослин залежно від цих факторів. Вважається, що всі біологічні об'єкти розвиваються за «S»-подібною кривою, відомою в біології як крива Сакса. Академік В.П. Горячкін називав її інтегральною, оскільки її форма нагадує інтеграл і, по суті, може бути отримана шляхом інтегрування основної залежності.

По кривій Сакса можна розраховувати максимально можливий врожай з урахуванням основних обмежуючих показників: розміщення в просторі основного листового апарату і створення для нього оптимальних умов для фотосинтезу; підтримання оптимальних значень вологості і кількості речовин живлення в ґрунті; швидкості приросту біомаси та інше.

Такий підхід дозволяє визначити не тільки щоденну, але і на увесь сезон вирощування рослин необхідну кількість води, елементів живлення, вуглекислоти, дози ФАР і ін. для формування біомаси і отримання запрограмованого врожаю.

В агрономічній практиці використовують поняття потенціального, біологічного і стандартного врожаїв. Під потенціальним врожаєм (ПВ) визначають такий, який теоретично можна отримати при достатній кількості вологи, тепла, дози УФ і ФАР та 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 $\eta_{\text{ФАР}}$ – ККД фотосинтетично активної радіації для заданої культури при найкращих умовах опромінення;

K_M – коефіцієнт господарської ефективності врожаю або доля основної продукції в загальній біомасі;

$\sum Q_{\text{ФАР}}$ – сумарна доза ФАР за період вегетації, кДж/м²;

q – енергетична врожайність, тобто кількість теплоти, що виділяється при спалюванні 1 кг абсолютно сухої біомаси (чим вищий вміст білків в ній, тим вищий цей показник), кДж/кг.

Теоретичний ККД фотосинтезу (максимальний) досягає всього 6...8 %. В дійсності він набагато менший в зв'язку з тим, що для рослин неможливо створити оптимальне сполучення усіх агрономічних параметрів (вологи, температури, освітленості і ін.). Тому фактичний ККД ФАР менше, і визначається він за формулою

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

де Y_B – біологічний урожай,

$$Y_B = \frac{Q_A}{q}, \quad (2.6)$$

де Q_A – фактично акумульована доза ФАР, кДж/м²;

q – енергетична врожайність, кДж/кг.

Таким чином

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

Коефіцієнт господарської ефективності врожаю:

$$K_M = \frac{Ч_T}{\sum a}, \quad (2.8)$$

де $Ч_T$ – доля товарної продукції в загальній біомасі (приймають рівною 1);

$\sum a$ – сума частин основної і побічної продукції.

Звичайно K_M приймають рівним 0,387 для біомаси при стандартній вологості 14 % [4].

Сумарна доза ФАР (кДж/см²) за період вегетації визначають по емпіричній формулі

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

де $\sum S$ – сума значень прямої радіації;

$\sum D$ – сума значень розсіяної радіації

З урахуванням всього вище приведеного потенційний врожай буде

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

Таким чином, потенційний врожай прямо пропорційний фактично отриманій і акумульованій рослинами дозі ФАР.

Стандартний врожай біомаси (при стандартній вологості) буде

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

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

При нестандартній вологості залежність (2.11) показує фактичний врожай

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

З урахуванням формул (2.6), (2.7), (2.12) після ряду перетворень отримаємо залежність вологості ґрунту від дози ФАР, фактично акумульованої рослиною

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

Будемо вважати, що ККД ФАР, Y і $Y_{\text{СТ}}$ залишаються постійними.

Тоді основна задача проведених досліджень – встановити зв'язок між інтенсивністю крапельного поливу (W) і $\sum Q_{\text{ФАР}}$ для ефективної автоматизації цього процесу вирішена.

Таким чином, відносна вологість має зворотну залежність від сумарної ФАР, а потенційний врожай (2.10) прямо пропорційний сумарній ФАР. Тоді підвищувати врожайність стає можливим при постійній вологості збільшенням дози ФАР, а при постійній опроміненості – збільшенням відносної вологості. Це відкриває більш широкі можливості впливу на врожайність завдяки дії двох параметрів.

Досліди, що були проведені в тепличному комбінаті агролабораторією в 2010 – 2011 роках і в 2012 за участю автора магістерської роботи при вирощуванні огірків показали відчутний вплив підвищення дози ФАР (Д1/Д2) на прибавку зеленої маси рослин і особливо в початкові дні їх вирощування. Досліди

проводилися на спеціально відведених ділянках де змінювалися параметри відносної вологості в межах 10...20 % і потужність опромінення ФАР від 5 до 8 клк.

Одна із реалізацій дослідження показана на графіках рис. 2.3., на яких приведена залежність інтенсивності приросту зеленої маси рослин огірків при стандартній вологості (14 %) і двох дозах ФАР впродовж 15 днів: Д1 = 160 мкмоль·м⁻²·с⁻¹ і Д2 = 120 мкмоль·м⁻²·с⁻¹.

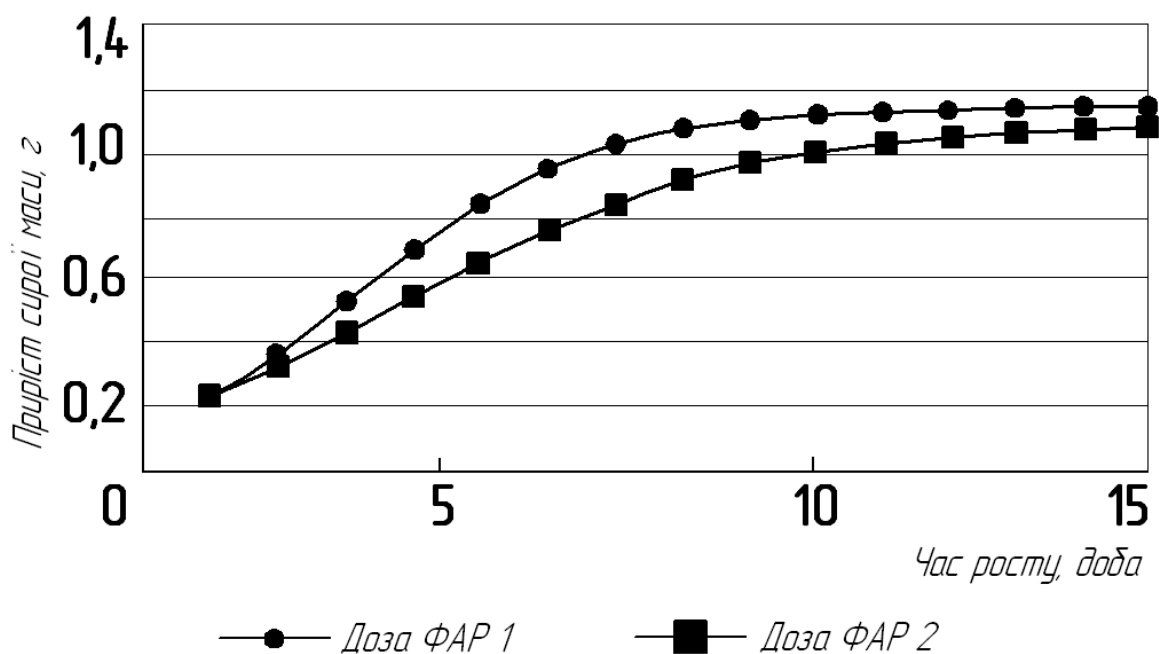


Рисунок 2.3 – Приріст зеленої маси в залежності від дози опромінення

З проведених досліджень випливає, що підвищення врожайності та економія електричної енергії можливі за рахунок оптимального регулювання температури повітря, режиму крапельного поливу та інтенсивності опромінення ФАР.

Для реалізації корегуючої програми керування поливом розроблено схема блоку корекції УФО, в якій фоторезистор включений по схемі рис. 2.4.

Фоторезистор *FRI* типу СФ2-12 (діапазон чутливості 400...800 нм) використовується в блоці витримки часу. Це потрібно для того, щоб блок управління (БУ) включався тільки після затримки в блоці витримки часу (БВЧ) повного запалювання джерел еритемного та видимого випромінювання (ДВ). Тому світловий потік (Φ_c), який попадає на фоторезистор *FRI*, включає таймер з витримкою часу в 10 хв.

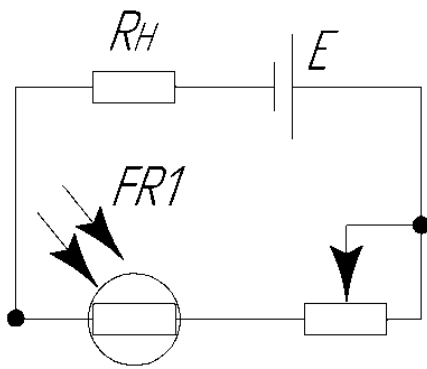


Рисунок 2.4 – Схема включення фоторезистора

Фоторезистор $FR1$ використовується в блоці корегування дози (БКД) ФАР і для того щоб виключити вплив зменшення світлового потоку він включений в ланку зворотного зв'язку (ЗЗ) генератора імпульсів, які підраховуються лічильниками в БКД.

При зменшенні світлового потоку збільшується опір $FR1$, що викликає зниження частоти послідовності імпульсів генератора. Тому час опромінення розсади збільшується до отримання

рослинами необхідної дози ФАР, яка задається трирозрядним лічильником в блоці завдання (БЗ) дози опромінення, який встановлює необхідний коефіцієнт перерахунку, і відповідно час рахунку імпульсів. Автоматичне керування крапельним поливом (КП) відбувається одночасно з включенням джерел еритемного випромінювання (ДЕВ) загальним магнітним пускачем (МП).

3 РОЗРОБКА АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ ТА ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ДОСВІЧУВАННЯ РОСЛИН

3.1 Аналіз шляхів автоматизації процесу досвічування рослин

Об'єктом автоматичного керування є технологічний процес досвічування рослин у теплицях, який має забезпечувати їх необхідною оптичною радіацією для фотосинтезу в періоди недостатнього сонячного освітлення як за інтенсивністю, так і за тривалістю світлового дня. Встановлено, що для нормального фотосинтезу рослинам потрібне випромінювання в видимому спектрі (380–720 нм) та в ультрафіолетовому діапазоні (295–320 нм), тоді як випромінювання з довжиною хвилі менше 295 нм має шкідливий вплив.

Цей діапазон УФ випромінювання в теплицю практично не надходить, так як повністю затримується склом або плівкою покриття. Для штучного опромінення рослин в теплицях необхідні два спектри УФО: для розсади – 295...400 нм і плодоносячих рослин – 295...320 нм.

Для реалізації процесу досвічування у відмічених двох діапазонах оптичного випромінювання (380–720 та 295–320 нм) найбільш доцільно використовувати лампи ДРНаТ і ДРИ–400 та еритемні люмінесцентні лампи ЛЕ-30, які мають необхідний спектр випромінювання в області ультрафіолету і нормальний строк служби до 10 тис. годин.

Фактично акумульовану рослинами дозу оптичного опромінення вимірюють за допомогою оптичних чутливих елементів: фотодіодом ФД 7К для видимого і фоторезистором ФСК–2 для ультрафіолетового.

Принципи та режими роботи ртутних ламп, розглянуті в розділі 1 для керування процесом опромінення рослин, забезпечують регулювання ФАР залежно від ключових параметрів мікроклімату теплиці – температури повітря, вологості ґрунту та рівня сонячного освітлення. Однак вони не дозволяють здійснювати динамічне регулювання через зниження напруги живлення стандартними методами. Використання височастотних генераторів струму для

регулювання ФАР у тепличних господарствах економічно не вигідне через їхню високу вартість. Тому для розробки системи керування ФАР було обрано метод фазового регулювання напруги, що забезпечує стабільну роботу розрядної лампи при напрузі до 50 % номінальної. Як найбільш ефективний підхід було вирішено застосовувати принципи позиційного керування.

3.2 Розробка структурної схеми системи керування досвічуванням рослин

Перед керуванням світловим потоком для досвічування рослин необхідно мати інформацію про рівень їх опромінення. Ці дані отримують за допомогою фотоелектричних сенсорів, які перетворюють світлове випромінювання на електричний сигнал. Отриману інформацію порівнюють з даними про опромінення рослин від природного освітлення, щоб визначити, чи достатній рівень освітленості в теплиці. Важливо встановити моменти, коли освітленість нижче необхідного рівня, а також коли вона значно перевищує оптимальну дозу. Хоча перевищення освітленості не шкодить рослинам, воно призводить до економічних втрат через зайві витрати електроенергії.

Тому критично дотримуватися рівня освітленості, рекомендованого агротехнікою для вирощування рослин. Для цього в систему керування досвічуванням вводиться блок контролю освітленості, який формує сигнали управління. На основі цих сигналів блок керування освітленістю регулює напругу живлення освітлювальних установок, підвищуючи або знижуючи світловий потік, щоб усунути недостачу або надлишок освітлення та підтримувати оптимальний рівень.

В системі автоматичного досвічування рослин необхідний блок, який би вмикав і вимикав освітлювальні установки у відповідний час доби. Таку функцію виконує блок керування тривалістю освітлювальної доби.

Слід зазначити, що загальна потужність освітлювальних установок є досить високою і одночасне їх вмикання до мережі живлення не допустиме, так як це приводить до великого підвищення струму в мережі що негативно впливає на споживачів електричної енергії, які в цей час підключені до живлення. Тому в

структуру системи автоматичного досвічування слід ввести блок, який після сигналу підключення до мережі – навантаження підключав би окремими секціями.

На основі проведеного аналізу визначення необхідних блоків структури автоматичного досвічування рослин в теплицях складена структурна схема системи досвічування рослин, яка приведена на рис. 3.1.

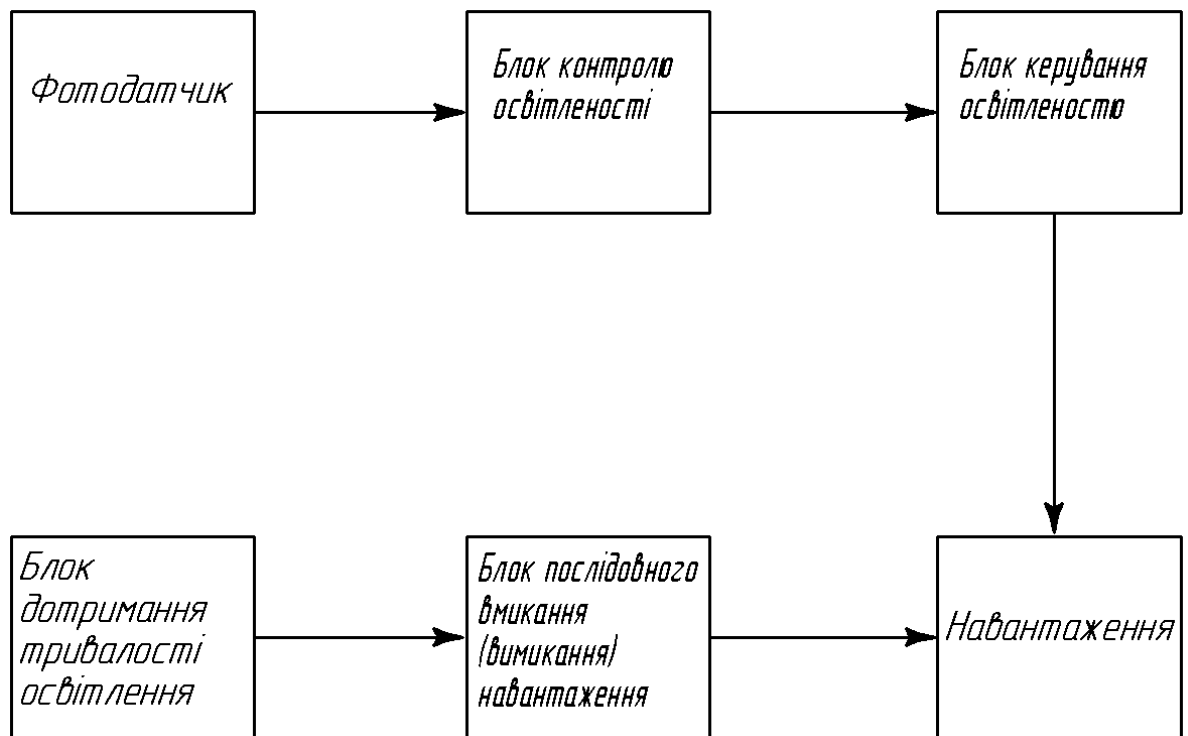


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи автоматичного досвічування рослин

3.3 Розробка функціональної схеми системи автоматичного досвічування рослин

Щоб забезпечити необхідну точність вимірювання освітленості та спростити обробку отриманих даних, усі сигнали від елементів системи слід перетворювати в цифровий двійковий код. Відповідно, вся система автоматичного керування досвічуванням рослин повинна бути побудована на основі цифрових компонентів.

Функціональна схема системи автоматичного досвічування рослин наведена на сторінках теоретичного креслення. Принцип її роботи наступний. Фотодатчик, який є первинним перетворювачем, перетворює світлову енергію на електричну, величина якої пропорційна напрузі на вході датчика. Ця напруга через аналого-цифровий перетворювач переводиться у двійковий цифровий код. Значення цього двійкового коду прямо пропорційне рівню освітленості у точці встановлення датчика. Далі код освітленості подається на схему порівняння, де він зіставляється з кодом-задатчиком, що відповідає нормативно встановленому рівню освітленості. Заданий рівень освітленості встановлюється через пульт керування, де за допомогою дешифратора та світлодіодного індикатора код-завдання перетворюється у десяткове число, яке показує, який рівень освітленості потрібно підтримувати у певний момент або протягом конкретного періоду розвитку рослин.

Система порівняння кодів видає три сигнали: $X > Y$, $X = Y$, $X < Y$, де умовно прийнято Y – код завдання необхідної освітленості, X код рівня поточної освітленості рослин. Сигнали $X > Y$ та $X < Y$ керують реверсивним лічильником. Тобто, коли сигнал $X > Y$ то поточний рівень освітленості вище ніж заданий і тоді реверсивний лічильник, тактовий вхід якого підключений через формувач прямокутних імпульсів до мережі з напівперіодом синусоїди напруги мережі збільшує своє значення. Це значення показує наскільки пізніше треба включити навантаження освітлювальними приладами після проходження синусоїди напруги через нуль. Це відбувається наступним чином, код з реверсивного лічильника подається до зворотного лічильника і при переході напруги мережі через нуль формувач прямокутних імпульсів виробляє позитивний сигнал «1», яким повертає його в первісний стан. Одночасно з цим вмикається генератор тактових імпульсів, які поступають на від'ємний вхід зворотного лічильника. З кожним тактовим імпульсом значення зворотного лічильника зменшується на одиницю. Коли показання лічильника буде дорівнювати нулю, з цього лічильника через гальванічну розв'язку буде надходити імпульс, який відкриває семістор на залишившийся час напівперіоду змінної напруги мережі. Тобто, чим більше

значення на виходах реверсивного лічильника, тим пізніше вмикається навантаження і тим меншим стає світловий потік освітлювальних приладів.

Збільшення значення реверсивного лічильника буде відбуватися до тих пір, поки на схемі порівняння кодів обидва коди не будуть рівними, тобто поточна освітленість дорівнює заданій освітленості. При цьому зникає сигнал $X > Y$, і реверсивний лічильник припиняє збільшувати своє значення і весь час буде видавати постійний код на зворотній лічильник доки не прийде знову сигнал $X > Y$, або $X < Y$.

Принцип дії при сигналі $X < Y$ – поточна освітленість менша заданої зворотній ніж дія сигналу $X > Y$, тобто реверсивний лічильник з кожним напівперіодом зменшує своє значення і тоді зворотній лічильник скоріше робить перерахунок коду реверсивного лічильника, а отже раніше вмикається семісторний ключ і він все більшу частину напівперіоду синусоїди напруги залишається відкритим. Це спричиняє збільшення світлового потоку, що надходить від освітлювальних приладів до рослин. Процес триватиме доти, поки поточний рівень освітленості X не зрівняється із заданим рівнем Y .

Система автоматичного досвічування рослин може працювати в двох режимах: 1 - подовження світлового дня; 2 - добовий день.

На першому етапі запуск блоку підтримки тривалості освітлення відбувається тоді, коли код заданого рівня освітленості стає рівним коду початкового рівня освітленості, і лише у випадку, якщо спочатку код поточного рівня освітленості менший за код завдання. У такій ситуації відбувається збільшення освітленості рослин за рахунок природного світла – «схід сонця». Після цього активується мультівібратор, який формує прямокутні імпульси, що надалі передаються на дільник частоти, а з нього – на лічильник імпульсів.

Вимірювання часу відбувається наступним чином. На пульті керування встановлюють тривалість освітлення, і світлодіодний індикатор показує встановлений час в годинах. Потім задана тривалість освітлення в двійковому коді надходить до схеми порівняння кодів. Як тільки значення показання лічильника співпадає із значенням коду заданої тривалості освітленості, то сигнал подається до

блоку послідовного вмикання (вимикання) навантаження і секції з освітлювальними приладами починають одна за другою з інтервалом в 2-3 хвилини вимикатися (вмикатися). Це відбувається завдяки тому, що сигнал пуску або зупинки запускає мультивібратор, який виробляє імпульси з періодом 2-3 хвилини. Ці імпульси потрапляють на тактовий вхід лічильника, який починає збільшувати свої показання з кожним імпульсом на одиницю. Значення показань лічильника подається на вхід двійкового унітарного дешифратора, який подає сигнал на вмикання (вимикання) на кожну секцію освітлювальних приладів по черзі з інтервалом 2-3 хвилини.

Особливістю режиму «подовжений світловий день» є те, що при зменшенні природного освітлення поступово збільшується рівень штучної освітленості таким чином, що сумарна освітленість буде дорівнювати заданій.

Режим штучного світлового дня відрізняється тим від попереднього режиму, що він забезпечує підвищену освітленість рослин, рівень якої більший навіть в сонячний день. Вмикання освітлювальних приладів відбувається як тільки починається схід сонця. Це зроблено в цілях збільшення економії електричної енергії тобто, щоб весь час світлої половини доби припадав на час досвічування рослин.

4 РОЗРАХУНКИ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Розрахунок опромінювальних установок

4.1.1 Методика розрахунку опромінювальних установок

У сучасній практиці проектування опромінювальних установок у рослинництві застосовується досить простий, але не зовсім точний метод, який базується на нормативних значеннях питомої електричної потужності джерел випромінювання в ватах на квадратний метр опромінюваної поверхні [5]. Основні похибки цього підходу пояснюються тим, що норматив питомої потужності джерел, який використовується як єдиний критерій, не може повністю відобразити ефективність впливу опромінювальної установки на рослини. Це пов'язано з тим, що при однаковій питомій потужності ефективність установки визначається низкою інших факторів:

- спектрального складу випромінювання використовуваних джерел;
- відстані між джерелами випромінювання і рослинами;
- ефективної віддачі джерел;
- конструктивного виконання опромінювальних установок.

При проектуванні тепличних опромінювальних установок слід брати до уваги наступні положення.

1. Суттєва різниця між кривими відносної спектральної чутливості рослин і людського ока унеможливорює використання в розрахунках традиційних світлових величин та одиниць вимірювання. Ефективним параметром є фітопотік, який вимірюється у фітах (фт). Один фіт відповідає 1 Вт випромінювання з довжиною хвилі 680 нм [1].

2. Існуюча система ефективних величин для таких приймачів оптичного випромінювання, як зелені рослини, ще не стала загальноприйнятою.

3. Суттєва різниця спектральних характеристик застосовуваних джерел випромінювання не дає змоги оцінити їх ефективність лише за каталожними даними; необхідно провести спеціальний аналіз їх спектральних параметрів.

Рівень опромінення, необхідний для нормального росту та формування рослин у штучних умовах, при умовному вираженні у одиницях світлової системи має становити не менше 6–8 тис. лк [1]. Це у десятки і більше разів перевищує нормативні значення освітленості, характерні для звичайних освітлювальних установок.

Для забезпечення таких високих рівнів опромінення необхідна значна питома встановлена потужність джерел випромінювання — 400 Вт/м² і більше. Такі потужності не застосовуються в стандартних освітлювальних установках. До цього слід додати специфічні вимоги до опромінювальних систем та їх конструктивні особливості, що показує: існуючі довідкові матеріали, методики розрахунку та конструкції освітлювальних установок непридатні для проектування тепличних опромінювальних систем.

При проектуванні опромінювальних установок із точковими джерелами та стандартними симетричними опромінювачами практично складно досягти рівномірного розподілу опромінення по всій поверхні. Водночас можливо створювати установки з заданим мінімальним рівнем опромінення та визначеним ступенем нерівномірності.

Розташування опромінювачів визначається характером просторового розподілу їхнього світлового потоку та основними розмірами опромінюваної площі.

Висота підвісу h опромінювачів над рослинами визначається типом джерела випромінювання і підбирається так, щоб забезпечити необхідний рівень опромінення, водночас не перегріваючи рослини (для стаціонарних установок із точковими випромінювачами зазвичай $h > 0,5$ м) [5].

Розрахунок рекомендується проводити за мінімальним рівнем опромінення, при цьому коефіцієнт мінімальної опромінення z (4.1) не слід встановлювати менше 0,8.

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

де z - коефіцієнт мінімальної опромінення, відн. од.;

$E_{\phi \max}$ - максимальна фітоопроміненість, фт/м²;

$E_{\phi \min}$ - мінімальна фітоопроміненість, фт/м².

Горизонтальна фітоопроміненість в точці від одного опромінювача визначається за формулою (4.2), загальне опромінення точки дорівнює сумі опромінення від усіх близькорозташованих джерел [5].

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

де E_{ϕ} - горизонтальна фітоопроміненість, фт/м²;

α - кут між перпендикуляром, опущеним із точки знаходження опромінювача, і лінією, що з'єднує розрахункову точку з опромінювачем, грд.;

I_{α} - сила світла опромінювача в напрямку до розрахункової точки, кд;

h - розрахункова висота підвісу опромінювача, м;

k_{ϕ} - коефіцієнт переведення світлового потоку джерела в фітопоток, фт/Лм.

Використовуючи криву просторового розподілу потоку випромінювання обраного типу опромінювача, будують криву розподілу створюваного ним опромінення як функцію відстані r при сталій висоті h . За цією кривою визначають фітоопроміненість у характерних точках ділянки, де опромінення може бути мінімальним. Максимальна відстань L між опромінювачами підбирається так, щоб у цих точках виконувалася умова (4.1).

4.1.2 Вихідні дані для розрахунку

У досліджуваному тепличному комбінаті для вирощування розсади огірка та томата використовується п'ять розсадних теплиць площею 1000 м² кожна. Для опромінення розсади використовуються опромінювачі типу ОТ-400 з лампами ДРЛФ-400.

Порівняльний розрахунок опромінювальних установок проводиться з метою виявлення найбільш економічного варіанта заміни морально застарілих опромінювачів ВІД-400. Варіант прямої заміни ламп ДРЛФ-400 на

енергоєфективні лампи ДНаЗ-350 в опромінювач типу ОТ-400 не розглядається по причині фізичного зносу останніх.

Характеристики, обраних для порівняльного розрахунку, опромінювачів і джерел оптичного випромінювання наведені у табл. 4.1 і 4.2.

Нормоване опромінення для розсади огірка та томата $E_{min} = 8 \text{ фт/м}^2$ [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 | E40 | E40 | E40 | E40 |
| Номинальна потужність, Вт | 400 | 400 | 600 | 600 |
| Номинальна 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 ОВ, | | | |
|----------------------------|----------------------|----------|--------------------|--------------------------------|
| | ДНаЗ-S-400 Reflux | ДНаТ-400 | ДНаЗ-600 Reflux | OSRAM NAV PLANTASTAR 600 |
| Р, 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}_{opt1} % | 8 | 9 | 8 | 9 |
| \bar{S}_{opt2} % | 63 | 64 | 65 | 56 |

| | | | | |
|---------------------------|-----|------|------|-----|
| $\bar{S}_{\text{омн}i}$ % | 29 | 27 | 27 | 35 |
| Φ_v , КЛМ | 53 | 50 | 81 | 82 |
| Φ_e , Вт ФАР | 105 | 113 | 180 | 212 |
| Φ_ϕ , фг | 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: $S_{\text{омн}i}$ - усереднена відносна енергія випромінювання; Φ_v - світловий потік; Φ_e - променистий потік; Φ_ϕ - фітопоток потік; цоколь ЕХ - спеціальний обертовий.

На рисунку 4.1 представлений план теплиці.

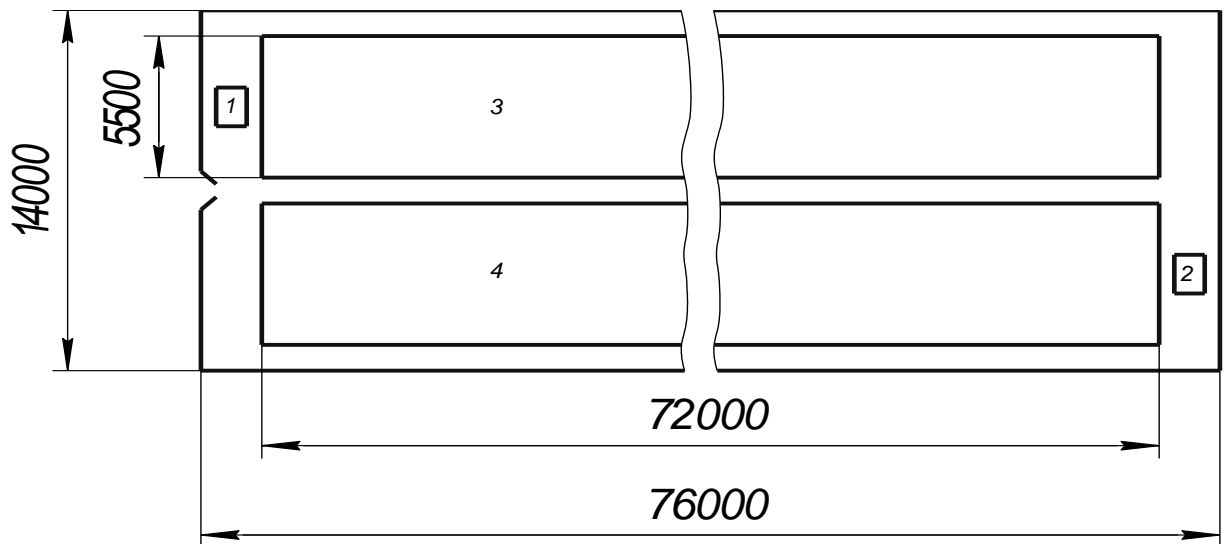


Рисунок 4.1 - План теплиці: 1, 2 - калорифер; 3, 4 - грядка.

4.1.3 Розрахунок опромінювача ЖСП 64-400-001Р з лампою ДНаЗ-S-400 Reflux

Для світильника ЖСП 64-400-001Р приймаємо висоту підвісу $h = 1,45$ м. Для побудови залежності фітоопроміненості від відстані r використовуємо криву розподілу сили світла (КСС) лампи ДНаЗ-S-400 Reflux (рисунок 4.2).

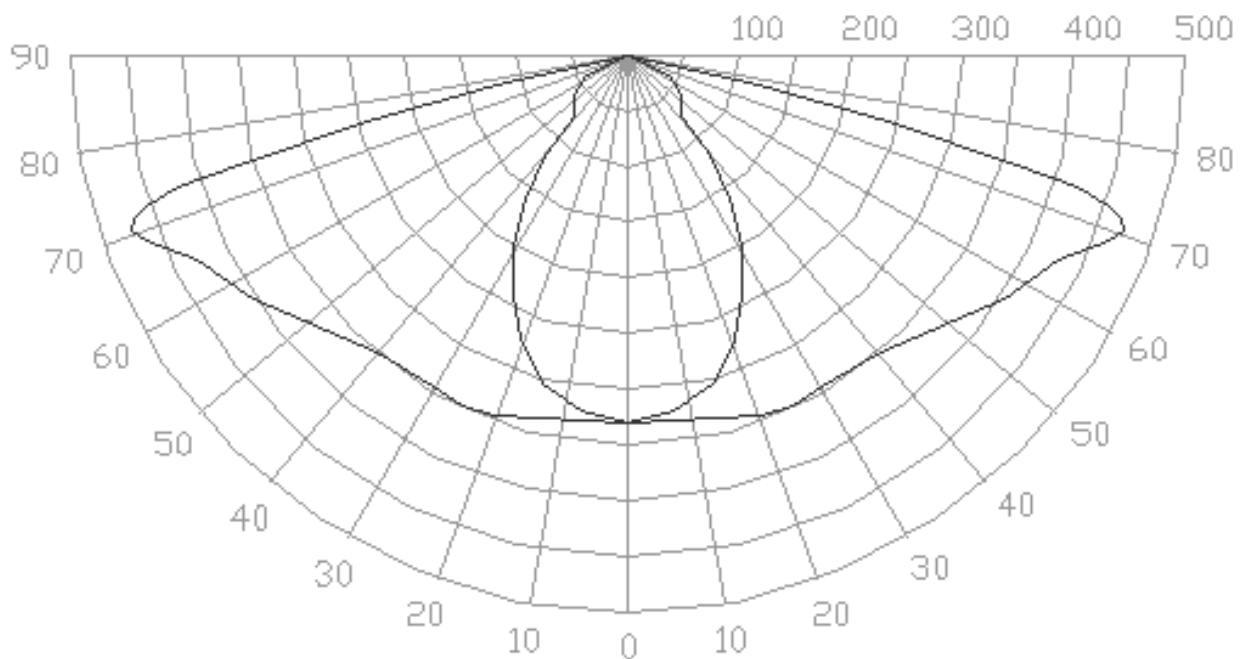


Рисунок 4.2 - КСС лампи ДНаЗ-S-400 Reflux (кд/1000Лм)

Для цього послідовно задаємося значеннями відстані r по радіусу від проекції лампи на опромінювану площину. Кут α (рис. 4.3) між віссю опромінювача і напрямком на точку визначаємо за формулою:

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

де α - кут між перпендикуляром, опущеним із точки знаходження опромінювача, і лінією, що з'єднує розрахункову точку з опромінювачем, грд.;

r - відстань від проекції лампи на опромінювану площину до контрольної точки, м;

h - розрахункова висота підвісу опромінювача, м.

По куту α з кривої світлорозподілу лампи ДНаЗ супер/Reflux S 400-2 знаходимо силу світла I_{oe} у відносних одиницях. Силу світла у відносних одиницях перераховуємо в іменовані одиниці за формулою [5]:

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

де I - сила світла, Кд;

Φ_l - світловий потік лампи, Лм;

I_{oe} - сила світла, відн. од.

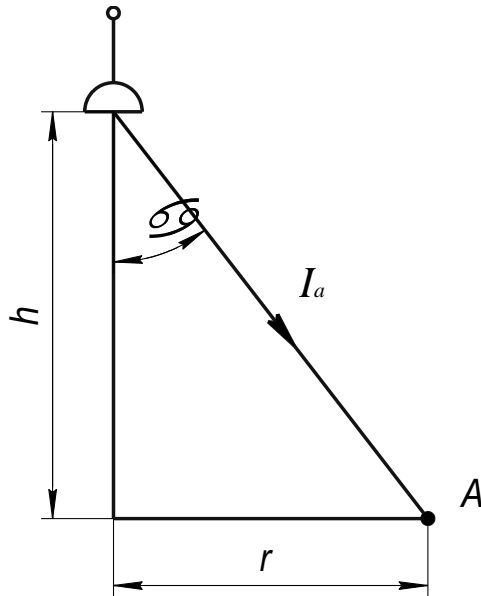


Рисунок 4.3 - До розрахунку опромінення в контрольній точці

Коефіцієнт перекладу світлового потоку джерела випромінювання в фітопоток здійснюється за формулою [5]:

$$k_{\phi} = \frac{\Phi_{\phi}}{\Phi_{\nu}}, \quad (4.5)$$

де k_{ϕ} - коефіцієнт переведення світлового потоку джерела в фітопоток, фт/Лм;

Φ_{ν} - світловий потік, Лм;

Φ_{ϕ} - фотосінтезний потік, фт.

Потім обчислюємо опромінення в шуканій точці за формулою (4.2).

Результати розрахунків зводимо в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати розрахунків

| r, м | h, м | α, грд | I_{oe} | k_{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 |

За даними таблиці 4.3 будемо залежність $E_{\phi} = f(r)$ (рис. 4.4).

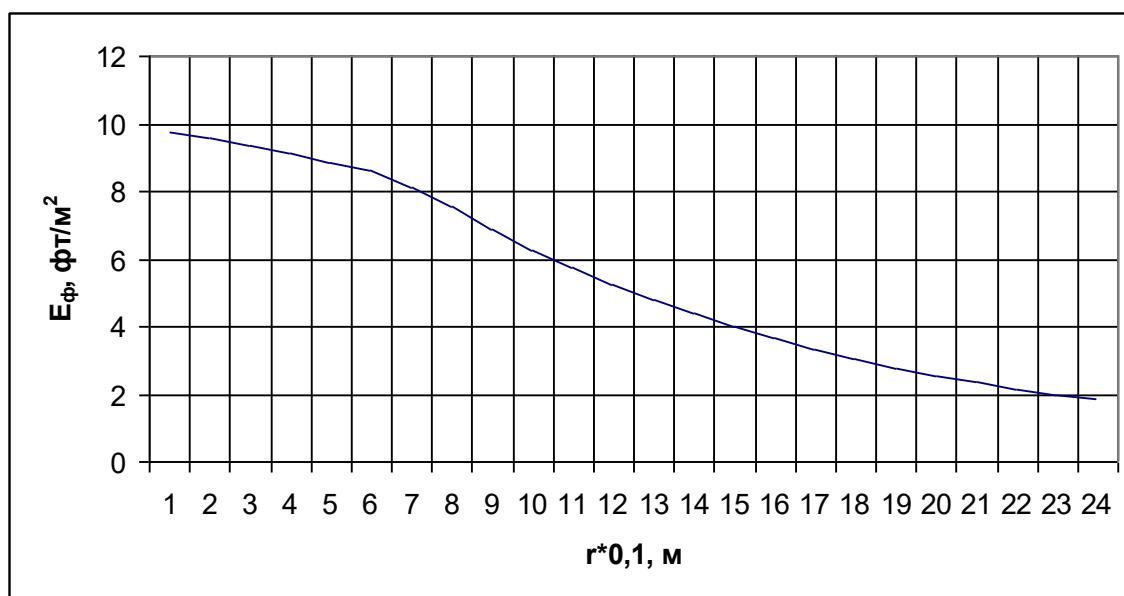


Рисунок 4.4 - Графік розподілу опромінення опромінювача ЖСП 64-400-001Р з лампою ДНаЗ-S-400 Reflux

На плані грядки орієнтовно розміщуємо опромінювачі по вершинах квадратів (рис. 4.5), так що $L1 = L2$, $L3 = L4$.

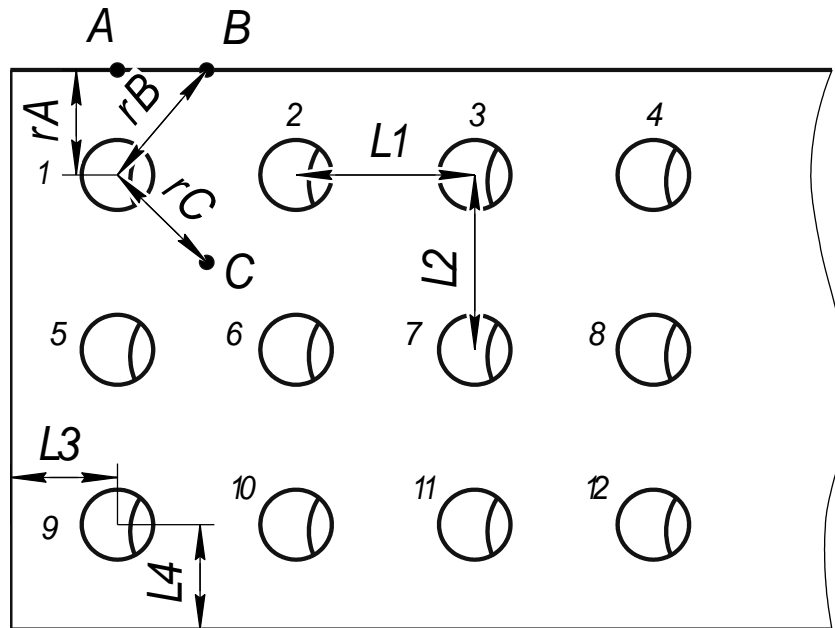


Рисунок 4.5 - Розташування опромінювачів на плані теплиці

На плані позначаються кілька точок A , B і C , де опромінення може виявитися мінімальним. Щоб у цих точках дотримувалася умова (4.1), слід визначити максимально допустимі відстані від опромінювача 1 на плані. (рис. 4.5) до точок A , B , C (r_A , r_B , r_C). З цією метою по кривій $E_\phi = f(r)$ (рис. 4.4) знаходимо $r_A = 0,66$ м при якому $E_\phi = 8$ фт/м², вважаючи що опромінення в точці A створюється найближчим джерелом.

Опромінення в точці B створюється в основному двома найближчими джерелами 1 і 2. Тому з того ж графіка по опромінення від однієї лампи $E_{min}/2 = 4$ фт/м² визначаємо $r_B = 1,45$ м.

Опромінення в точці C створюється чотирма лампами 1, 2, 5, 6. Тому з графіка по опромінення від однієї лампи $E_{min}/4 = 2$ фт/м² знаходимо $r_C = 2,25$ м.

За отриманими трьома значенням приймаємо: відстань від ламп до краю грядки $L3 = 0,66$ м; відстань між лампами $L1$ визначається по теоремі Піфагора:

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

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

$$L_B = 2,6 \text{ м}$$

$$L_C = 3,2 \text{ м}$$

Мале з двох розрахованих значень L приймається як максимально допустима відстань між опромінювачами при їх розташуванні у вершинах квадратів $Ll = 2,6 \text{ м}$.

Уточнюємо відстані r_A , r_B і r_C

$$r_A = 0,66 \text{ м}$$

$$r_B = \sqrt{(Ll/2)^2 + r_A^2} = 1,46 \text{ м}$$

$$r_C = \sqrt{2} \cdot (Ll/2) = 1,84 \text{ м}$$

Щоб визначити коефіцієнт мінімального опромінення на плані грядки, слід позначити точки з потенційно найбільшим і найменшим опроміненням. Точки з мінімальним опроміненням залишаються тими ж (A , B і C), а точки з можливим максимальним опроміненням розташовують безпосередньо під лампами.

З графіка $E_\phi = f(r)$ (рис. 4.4) знаходимо сумарні опромінення в точках A , B і C

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

$$E_{\phi A} = 7,94 \text{ фТ/м}^2;$$

$$E_{\phi B} = 8,1 \text{ фТ/м}^2;$$

$$E_{\phi C} = 9,6 \text{ фТ/м}^2$$

За формулою (4.1) визначаємо коефіцієнт мінімального опромінення

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

Умова виконана, отже, розрахунок правильний. Остаточо розміщуємо опромінювачі на плані теплиці: 5 рядів по 27 одиниць. Решта опромінювальних установок розраховуються аналогічним чином. Криві розподілу світлової потужності та графіки опромінення наведені в додатках 1–5. Результати розрахунків усіх опромінювачів узагальнено в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 - Порівняльні показники опромінювальних установок

| Параметр | Тип опромінювача | | | | |
|---|------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|--------------------------------|
| | OT-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 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 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 OT-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 |

Аналізуючи табл. 4.4 можна зробити наступні висновки:

1. З підвищенням потужності джерел світлового випромінювання зменшується як кількість світлових точок, так і сумарна встановлена потужність приладів.

2. З підвищенням потужності опромінювальних установок зростає і висота їхнього підвісу.

3. Подальше підвищення потужності опромінювачів не доцільне, оскільки конструкція ангарних теплиц не дозволяє підняти крайні ряди вище 2 метрів.

З розрахунку випливає, що оптимальним варіантом для розсадної теплиці є опромінювач типу ЖСП 64-600-001Р з лампою ДНаЗ-600 Reflux. Тому остаточно приймаємо даний варіант і розміщуємо опромінювачі на плані теплиці, як це показано на рис. 4.6. На рис. 4.7 представлений загальний вигляд опромінювача ЖСП 64-600-001Р.

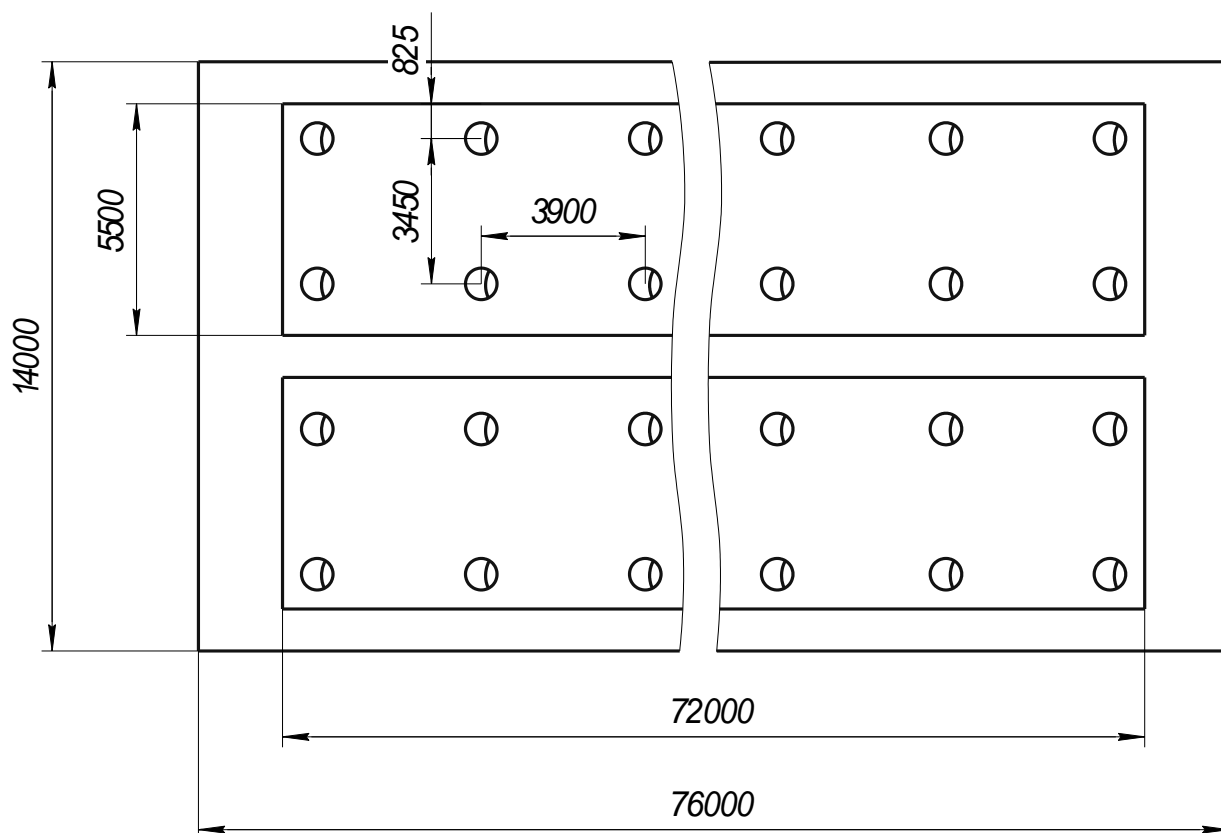


Рисунок 4.6 - Розміщення опромінювачів ЖСП 64-600-001Р
на плані теплиці

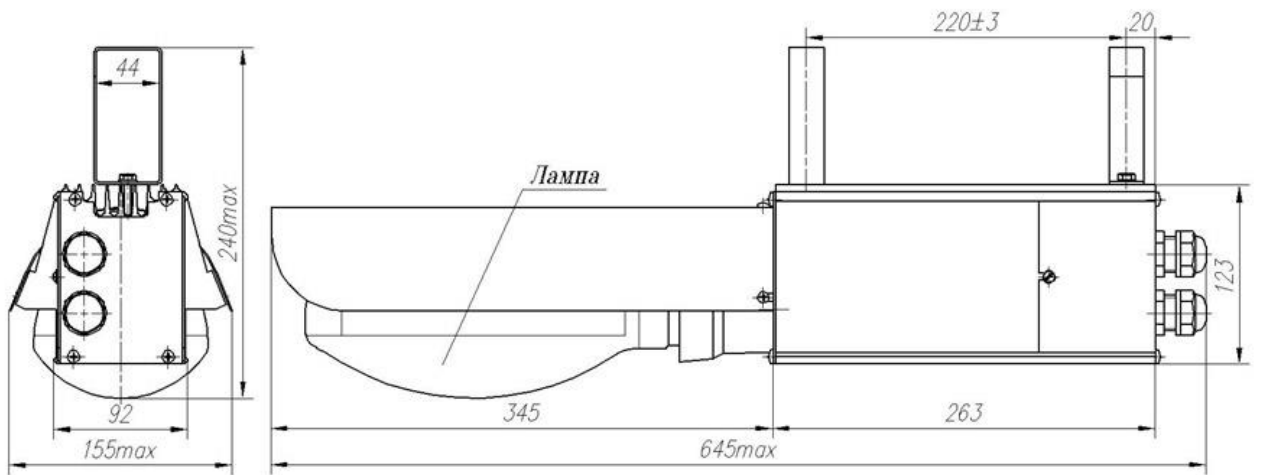


Рисунок 4.7 - Опромінювач ЖСП 64-600-001Р

4.1.4 Розрахунок і вибір кабелів

Всі опромінювачі розподіляємо на 6 однофазних груп рівномірно по фазах - по 12 опромінювачів в кожній групі (рис. 4.8). Кожна група живиться від групового розподільчого щита кабелем ВВГ прокладеним в лотку.

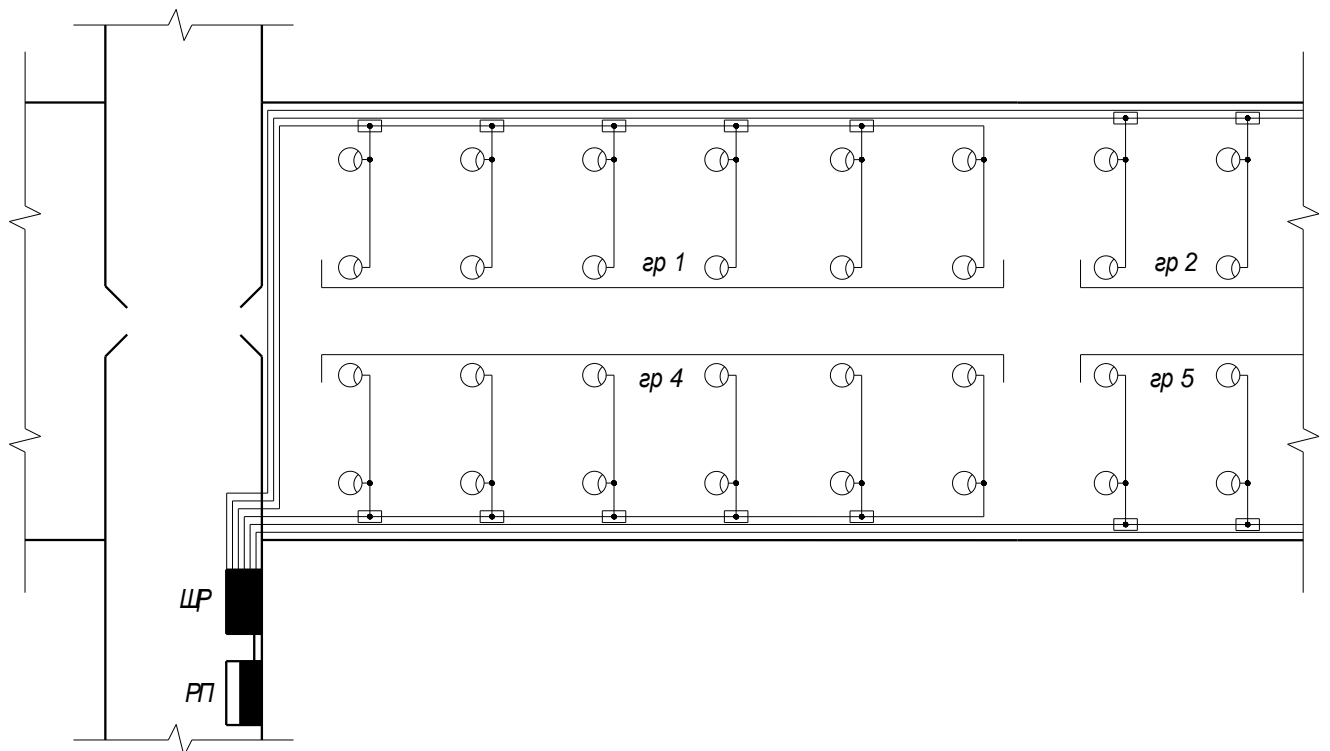


Рисунок 4.8 - План мережі електродосвечівання

Перетин жили вибираємо виходячи з розрахункового струму навантаження.

Для групової мережі розрахунковий струм навантаження визначається за формулою [9]:

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

де I - розрахунковий струм навантаження мережі, А;

P - активна потужність навантаження, Вт;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності навантаження;

$K_n = 1,06$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в ПРА, відн. од.;

U_ϕ - фазна напруга мережі, В.

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

За довідником вибираємо кабель ВВГ 3×6 $I_{дон} = 42$ А [15].

Визначаємо втрату напруги на самому віддаленому світильнику, яка повинна становити $\Delta U \leq 2,5\%$ [15]. За даними служби енергетика тепличного комбінату втрата напруги від ТП до ввідно-розподільчого пристрою (ВРП) становить $\Delta U = 0,5\%$. Таким чином, наявна величина втрати напруги становить 2%.

Втрата напруги визначається за формулою [9]:

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

де, M - момент навантаження кВт*м;

s - переріз проводу, мм²;

C - коефіцієнт, що враховує систему мережі, рід струму і матеріал провідника.

Визначаємо момент навантаження в самій віддаленій точці мережі (рис. 4.9).

Момент навантаження визначається за формулою [9]:

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

де, P - потужність ділянки мережі, кВт;

L - довжина ділянки, м.

$$\begin{aligned} M &= 6PL_4 + 5PL_8 + 4PL_8 + 3PL_8 + 2PL_8 + PL_8 = \\ &= P(6L_4 + 15L_8) = 515,9 \text{ кВт} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

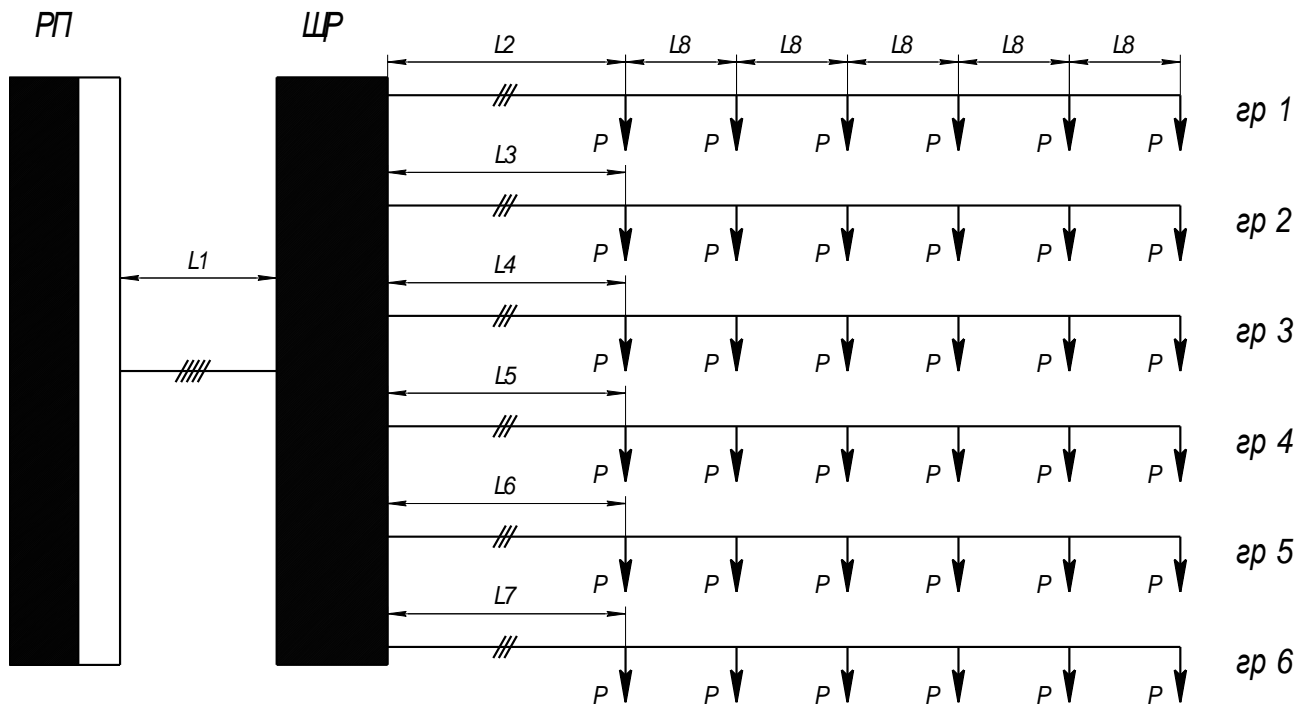


Рисунок 4.9 - Розподільна мережа розсадої теплиці

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 |

Визначаємо втрату напруги в самій віддаленій точці мережі за формулою (4.9)

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

Визначаємо струм навантаження на ділянці L1 за формулою [9]:

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

де I - розрахунковий струм навантаження мережі, А;

P - активна потужність навантаження, Вт;

$K_n = 1,06$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в ПРА, відн. од.;

U_n - лінійна напруга мережі, В;

$\cos \varphi$ - коефіцієнт потужності навантаження.

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

По довіднику вибираємо кабель ВВГ 4×25 $I_{дон} = 85$ А [15].

Визначаємо втрату напруги ділянці L1 за формулою (4.9)

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

Розраховуємо струм навантаження на ділянці групова мережа - опромінювач за формулою (4.8)

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

За довідником вибираємо кабель ПВС $3 \times 1,5$ $I_{доп} = 19 \text{ A}$ [15].

Визначаємо втрату напруги на ділянці групова мережа - опромінювач за формулою (4.9)

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

Загальна втрата напруги від ТП до віддаленого опромінювача

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

- що задовольняє вимогам ПУЕ отже, перетин проводів вибрано вірно.

4.1.5 Розрахунок і вибір апаратів управління та захисту

Кожну групу опромінювачів підключають через однополюсний автоматичний вимикач. Для захисту освітлювальних мереж рекомендується використовувати автомати з комбінованим розчеплювачем. Підбір автоматичних вимикачів для мереж із газорозрядними лампами високого тиску проводиться відповідно до умови [7]:

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

де $I_{нтр}$ - номінальний струм уставки теплового розчеплювача автоматичного вимикача;

I_p - робочий струм електроустановки.

Для групової мережі $I_{нтр} \geq 1,3 * 36,1 = 46,9 \text{ A}$.

Для групових ліній вибираємо автоматичні вимикачі ВА47 - 100 1р $I_{нтр} = 50\text{A}$, $I_{нэр} = 7$ - кратність електромагнітного розчеплювача. Вибрані автоматичні вимикачі встановлюємо в розподільний щит ПР11-3045-54У1 - 6 однополюсних автоматичних вимикачів, без вступного [16].

Автоматичний вимикач на вводі $I_{нтр} \geq 1,3 * 72,5 = 94,3 \text{ A}$.

Вибираємо автоматичний вимикач ВА47 - 100 Зр $I_{нтр} = 100\text{А}$, $I_{нэр} = 7$ - кратність електромагнітного розчеплювача. В РП встановлюємо обраний автоматичний вимикач.

Перевіряємо обраний кабель для групової мережі по умові [7]:

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

Для групової мережі $42 < 50$ - умова не виконується, тому приймаємо перетин жили кабелю для групової мережі на один щабель вище ВВГ 3×10 $I_{дон} = 55 \text{ А}$ [15].

Перевіряємо обраний кабель для ділянки мережі РП-ЩР за умовою (4.13)

$85 < 100$ - умова не виконується, тому приймаємо перетин жили кабелю для ділянки мережі РП-ЩР - ВВГ 5×35 $I_{дон} = 108 \text{ А}$ [15].

4.1.6 Розрахунок струмів короткого замикання

Щоб перевірити чутливість захисних пристроїв, виконаємо розрахунок струмів короткого замикання в точках К1 і К2 (рис. 4.10).

Струм однофазного короткого замикання визначається за формулою [9]:

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

де $I_K^{(1)}$ - струм однофазного короткого замикання, А;

$z_T^{(1)}$ - повний опір трансформатора при однофазному к.з., Ом;

U_ϕ - фазна напруга мережі, В;

z_{II} - повний опір петлі фаза-нуль лінії до найбільш віддаленої точки мережі, Ом.

Опір петлі «фаза-нуль» визначається як геометрична сума активного r та індуктивного x опорів за формулою [9]:

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

де Z_{II} - повний опір петлі фаза-нуль, Ом;

r_0 - активний опір лінії, Ом/км;

l - довжина лінії, км;

x_0 - індуктивний опір лінії, Ом/км.

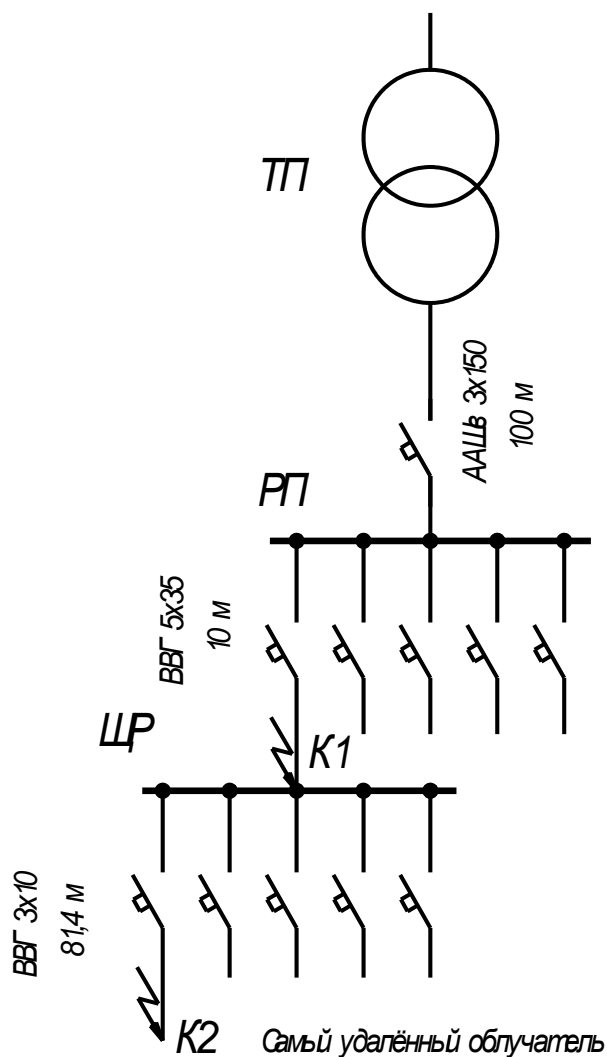


Рисунок 4.10 - Розрахунок струмів короткого замикання

Визначаємо опір петлі «фаза-нуль» до контрольних точок К1 і К2 за формулою (4.15), використовуючи значення з табл. 4.6.

$$Z_{ПК1} = 0,1\sqrt{0,22^2 + 0,07^2} + 0,01\sqrt{0,57^2 + 0,075^2} = 0,029 \text{ Ом}$$

$$Z_{ПК2} = 0,029 + 0,081\sqrt{2^2 + 0,08^2} = 0,191 \text{ Ом}$$

Визначаємо струм однофазного короткого замикання в контрольних точках К1 і К2 за формулою (4.14)

$$I_{К1}^{(1)} = \frac{220}{\frac{0,13}{3} + 0,029} = 3041,5 \text{ А}$$

$$I_{K2}^{(1)} = \frac{220}{\frac{0,13}{3} + 0,191} = 938,8 \text{ A}$$

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 | | | |

Коефіцієнт чутливості спрацювання відсічення при короткому замиканні визначається за умовою [7]:

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

де $K_{\text{ч}}^{(1)}$ - коефіцієнт чутливості, відн. од.;

$I_{c.o}$ - струм спрацювання відсічки, А;

$I_{нзр}$ - кратність електромагнітного розчеплювача;

$I_K^{(1)}$ - струм однофазного короткого замикання, А;

I_n - струм уставки автоматичного вимикача, А.

Розраховуємо коефіцієнт чутливості для точок К1 і К2 за формулою (4.16)

$$K_{\text{ч}K1}^{(1)} = \frac{3041,5}{100 \cdot 7} = 4,34 > 1,4$$

$$K_{\text{ч}K2}^{(1)} = \frac{938,8}{50 \cdot 7} = 2,68 > 1,4$$

Чутливість захисту достатня.

4.2 Характеристика елементів схеми включення фотоприймачів

Безконтактне вимірювання багатьох фізичних величин часто можливе лише за допомогою оптичних датчиків. Перетворення оптичного сигналу в електричний здійснюється чутливими елементами, які використовують різні фізичні ефекти. Для вимірювання оптичного випромінювання найчастіше застосовують фоторезистори та фотодіоди.

Фоторезистори, що є напівпровідниковими приладами, змінюють свій електричний опір під дією світла завдяки утворенню електронно-діркових пар. Виниклі вільні носії заряду призводять до різкого зниження опору. На рис. 4.11 показана залежність опору такого датчика від різного рівня освітленості.

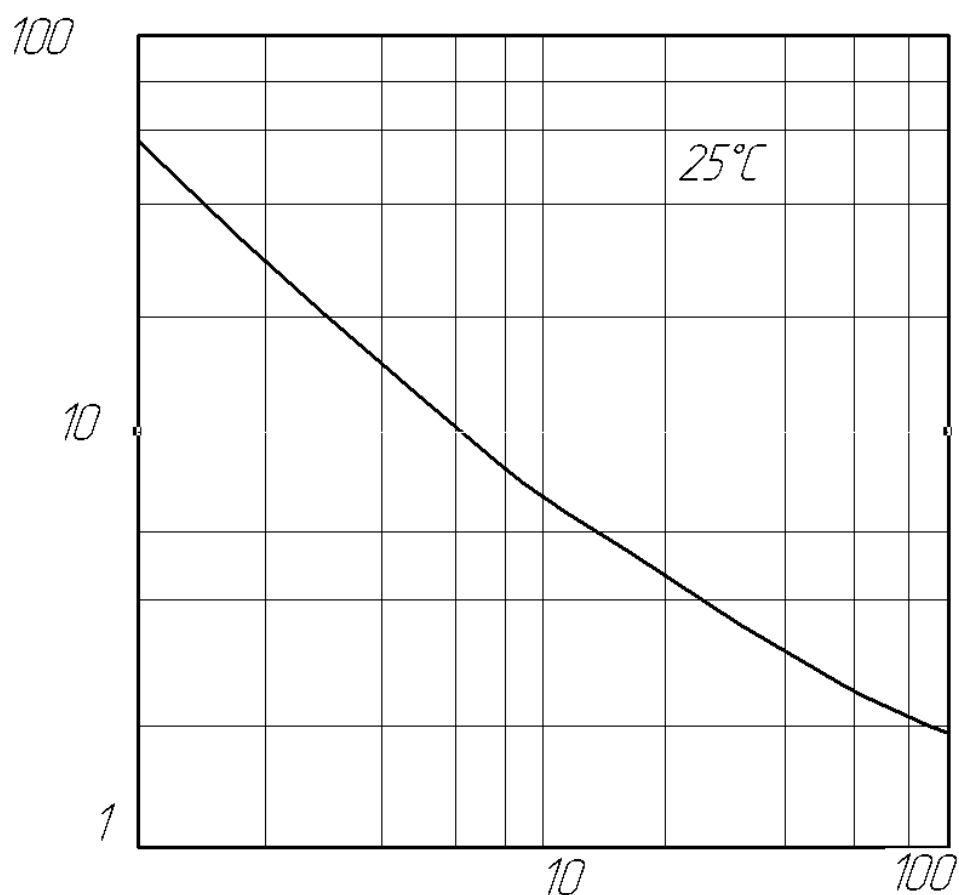


Рисунок 4.11 – Характеристика чутливості фоторезистора до освітленості

Максимум спектральної чутливості фоторезисторів припадає на зелену частину спектра, тому їх часто застосовують для вимірювання освітленості. Проте

їх чутливість у діапазоні ближнього ультрафіолету, який також важливий для розвитку рослин, досить низька. У цьому плані більш універсальним є фотодіод.

При опроміненні кремнієвих фотодіодів виникає напруга, пропорційна інтенсивності світла, що обумовлено явищем внутрішнього фотоелектричного ефекту. Такий режим роботи фотодіода називають гальванічним. У практичних вимірюваннях опромінення частіше використовують фотодіоди з додатковим джерелом живлення (рис. 4.12), що забезпечує високу стабільність залежності струму від освітленості навіть при коливаннях напруги (рис. 4.13, а, б).

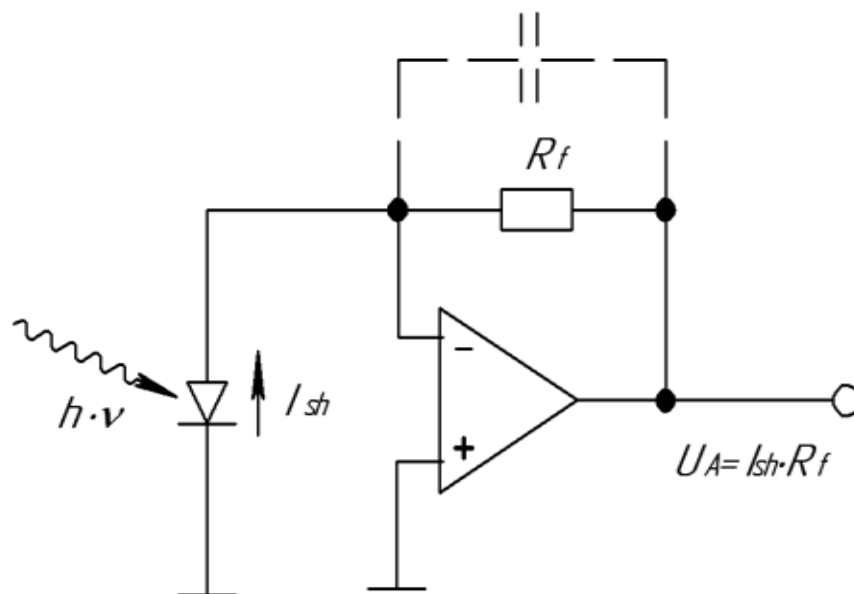


Рисунок 4.12 – Схема включення фотодіода

В системі, що проектується будемо використовувати фотодіод типу ФД-7К. Його характеристика приведена в табл. 4.7.

Регулюючи опір навантаження, можна змінювати навантажувальну характеристику фотодіода. Для застосування фотодіода у вимірвальній схемі необхідно узгодити його вихідну характеристику з входом АЦП – мікросхемою К1113 ПВ1, параметри 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 |

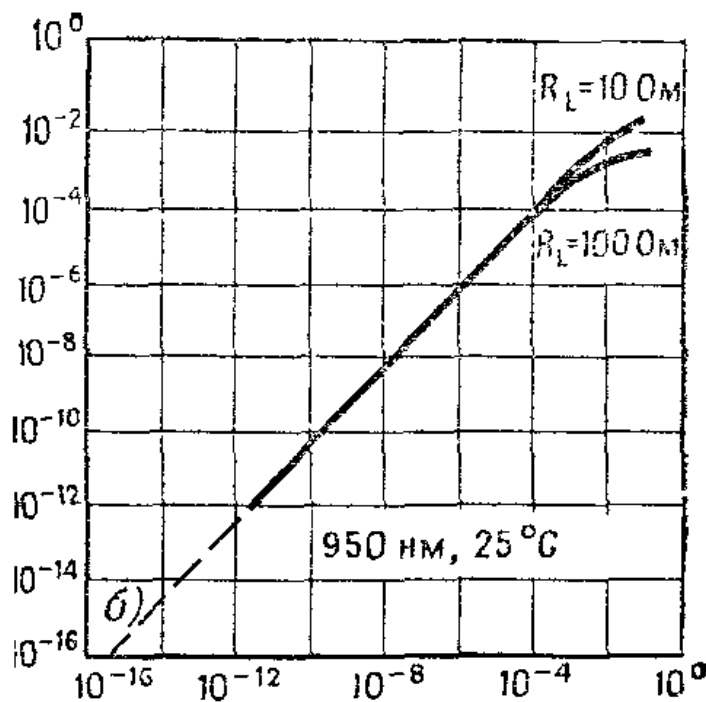


Рисунок 4.13 – Залежність струму фотодіода від енергії випромінювання

| | |
|---|-----------------|
| Постійна часу, с | 5×10^6 |
| Площа чутливого елемента, 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» $U_{\text{вих}}^1 / U_{\text{вих}}^0$ | 2,4/0,4 |

Тепер складемо табл. 4.9 відповідностей кодів інформаційних розрядів 2, 3, 4 з напругою на вході АЦП та необхідними при цьому освітленостями 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 |

По результатам даних табл. 4.9 будемо навантажувальну діаграму фотодіода (рис. 4.14) при напрузі живлення $U_{\text{жив}} = 5$ В.

По навантажувальній діаграмі фотодіода визначаємо необхідний опір навантаження фотодіода:

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

Приймаємо $R_H = 1,3 \text{ кОм}$ і послідовно з ним вмикаємо змінний резистор $R_{\text{ЗМ}} = 100 \text{ Ом}$. Перевіряємо вибрані опори по потужності:

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

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

Приймаємо марку і параметри стандартного опору МЛТ–0,125 1,3 кОм та СПЗ–38 100 Ом.

На рис. 4.15 приведена залежність напруги на навантажувальному опорі від освітленості чутливого елемента – фотодіода.

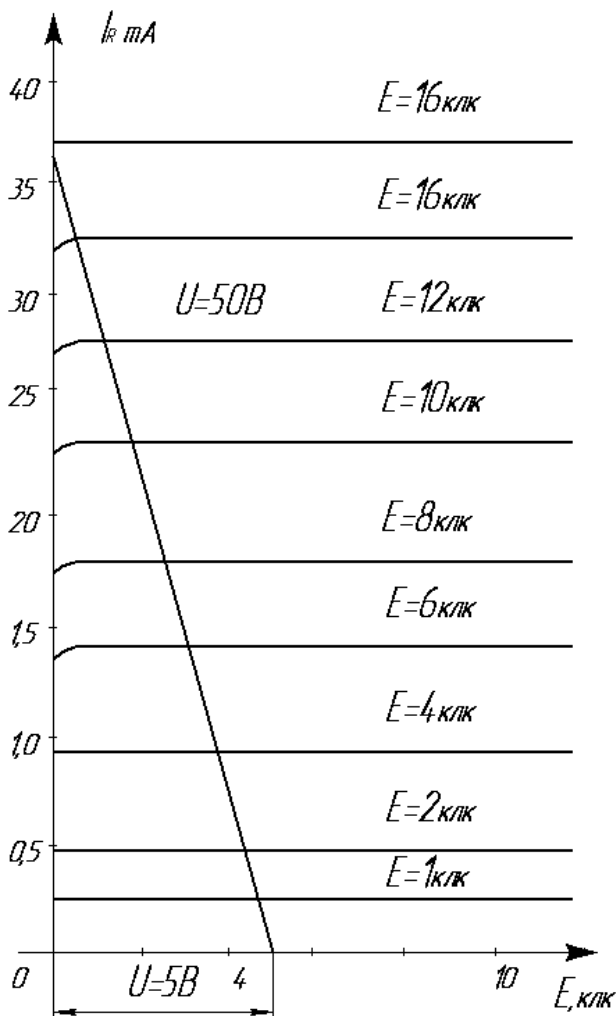


Рисунок 4.14 – Навантажувальна діаграма фотодіода

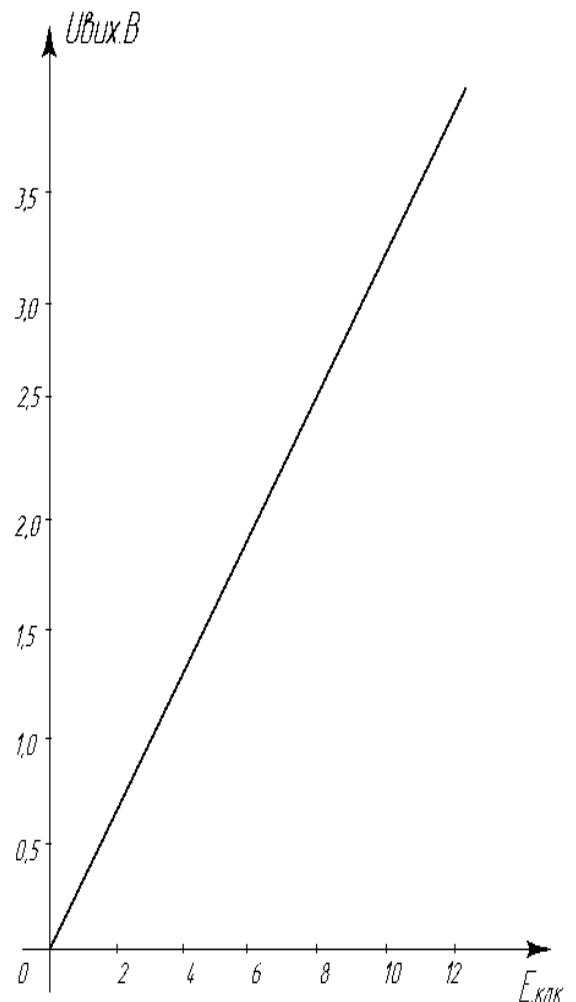


Рисунок 4.15 – Залежність напруги на навантажувальному опорі від освітленості фотодіода

В режимі «Штучний день» як датчик початку світанку використовується відповідний фотодіод. Його навантажувальна характеристика приведена на рис. 4.16.

Зробимо розрахунок навантажувального опору для нього:

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

Приймаємо постійний опір МЛТ-0,125 на 470 кОм та послідовно з ним підключений змінний опір СПЗ – 38 на 68 кОм. Його вихідна характеристика приведена на рис. 4.17.

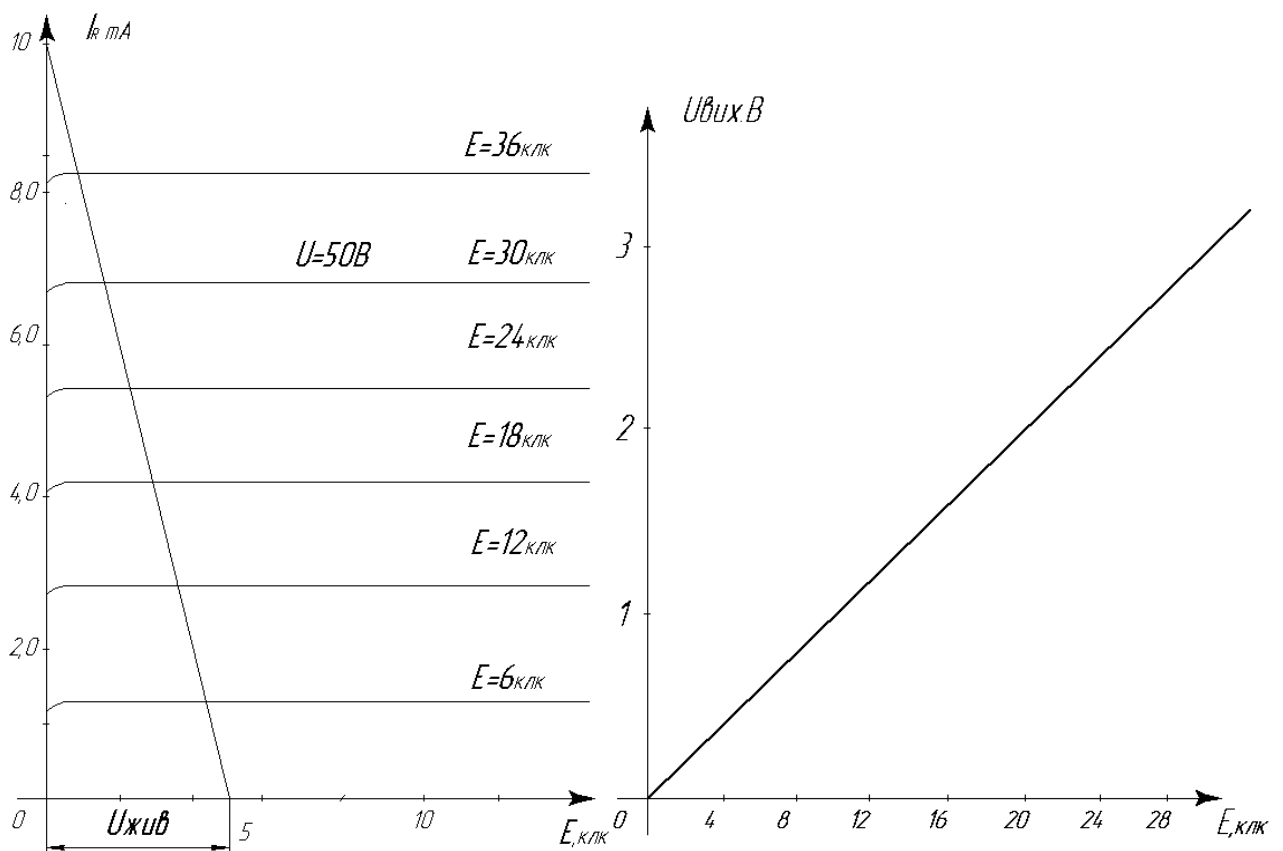


Рисунок 4.16 – Навантажувальна діаграма фотодіода в режимі «Штучний день»

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

4.3 Розрахунок елементів блоку контролю освітленості

Функціонування блоку контролю освітленості залежить від параметрів часозадавальних і струмообмежувальних елементів світлодіодного індикатора. Щоб забезпечити його нормальну роботу, визначимо опір часозадавального ланцюга, який складається з резисторів $R1$ та $R2$ та ємності $C1$.

Для цього приймаємо швидкість зміни знаків на світлодіодному індикаторі $HC1$ 1 с. Тоді для ємності $C1$ рівній 50 мкФ, розраховуємо

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

Приймаємо $R1$ та $R2$ МЛТ-0,125 з опором 15 кОм і $C1$ К50-6 ємністю 50 мкФ \times 6,3В.

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

Тоді $R(8 - 14)$

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

Приймаємо величину цих опорів марки МЛТ-0,125 в 47 Ом.

Опір $R15$ з'єднує чотири катоди світлодіодного індикатора і тоді його опір повинен бути меншим в 4 рази від $R8$, тобто 11,36 Ом.

Приймаємо його опір МЛТ-0,125 12 Ом.

Опір $R17$ об'єднує два катоди світлодіодного індикатора і відповідно його опір буде складати половину від опорів $R8$, тобто 22,7 Ом.

Приймаємо опір МЛТ-0,125 24 Ом.

4.4 Розрахунок елементів блоку дотримання тривалості освітлення

Електрична схема блоку дотримання тривалості освітлення зображена на кресленні. Параметри його часозадаючого ланцюга $R1$, $R2$, $C1$ аналогічні відповідному часозадаючому ланцюгу блока контролю освітленості. Тобто приймаємо $R1$ та $R2$ МЛТ-0,125 15 кОм, $C1$ К50-6 50 мкФ \times 6,3 В.

Опір струмообмежуючих резисторів аналогічний опору резисторів $R8 - R14$ блока контролю освітленості. Тобто приймаємо $R14 - R27$ МЛТ-0,125 47 Ом.

Визначимо параметри часозадаючого ланцюгу $R11$, $R12$, $C1$ інтегрального таймера $DA3$. Період повторення імпульсів визначимо із умови, що на виході розділювача частоти з коефіцієнтом 64 повинні з'являтися імпульси через кожен годину роботи, або кожні 3600 секунд. Тобто на розділювач частоти $DD7$ повинні надходити імпульси з періодом

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

Отже період повторення імпульсів мультивібратора на інтегральному таймері буде дорівнювати $T_M = 56,25$ с.

Приймаємо ємність $C3$ рівною 50 мкФ типу К50-6 100 мкФ \times 6,3 В.

Приймаємо тип резистора $R11$ СПЗ-38 опором 470 кОм, $R12$ – типу МЛТ-0,125 390 кОм, електролітичну ємність $C3$ типу К50-6 на 100 мкФ \times 6,3 В.

Визначимо величину опорів $R9$, $R10$ операційного підсилювача $DA4$ типу 140 УД 7. По вихідній характеристиці фотодіода $BL2$ знаходимо напругу на опорах $R7$, $R8$ при освітленості $E = 10$ лк. (рис.4.17.) $U_{RBL2} = 1,167$ В. Поріг спрацювання електронного ключа $DA2$ приймаємо $U_{\text{сп}} = 3,5$ В. Звідки знаходимо коефіцієнт підсилення по напрузі з НЗЗ

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

В той же час

$$K_{и.зз} = R10 + R9. \quad (4.25)$$

Звідки знаходимо, що

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

Приймаємо $R10$ типу МЛТ-0,125 100кОм і тоді

$$R9 = 2R10 = 200 \text{ кОм}$$

Приймаємо $R9$ типу МЛТ-0,125 200 кОм.

4.5 Розрахунок елементів блоку керування освітленням

При фазовому регулюванні амплітуда напруги залишається сталою, що забезпечує стабільну роботу газорозрядної лампи. Газорозрядні лампи високого тиску з допоміжними підпалювальними електродами можуть працювати із семісторними регуляторами напруги без необхідності внесення змін у їх схему живлення.

Затримка керуючого імпульсу семістора відносно початку напівперіоду синусоїдальної напруги забезпечується двома паралельно з'єднаними реверсивними лічильниками, що дозволяє досягти максимального часу затримки в 256 тактових імпульсів.

При цьому приймаємо, що 256 тактових імпульсів відповідає половині періоду напруги промислової частоти, тоді час проходження одного тактового імпульсу визначається наступним чином:

$$t_{T1} = \frac{1}{256 \cdot 2 \cdot f}. \quad (4.27)$$

де f – промислова частота напруги мережі живлення.

$$t_{T1} = \frac{1}{256 \cdot 2 \cdot 50} = 39 \text{ мкс.}$$

Знаючи час слідування тактових імпульсів, визначимо параметри часозадаючого ланцюгу $R10, R11, C1$.

Приймаємо ємність $C1$ рівною 0,01 мкФ. Тоді

$$R10 = R11 = \frac{t_{T1}}{1,4C1} = \frac{39 \cdot 10^{-6}}{1,4 \cdot 0,01 \cdot 10^{-6}} = 2786 \text{ Ом.}$$

Приймаємо $R11$ типу МЛТ-0,125 2,7 кОм, $R10$ типу СПЗ-38 3,3 кОм.

Для надійного спрацювання елементів $DD13$, $DD14$, сигнал який надходить на вхід C необхідно затримати. Затримка в 1 мкс повністю задовольняє нормальний режим роботи. Тоді приймаємо резистори $R12$, $R14$ типу МЛТ-0,125 300 Ом і ємність тоді буде дорівнювати

$$C = \frac{t_3}{0,7R} = \frac{10^{-6}}{0,7 \cdot 300} = 4,76 \cdot 10^{-9} \Phi. \quad (4.28)$$

Приймаємо ємність $C3 - C5$ типу КМ 5 Н 30 4,7 мФ.

4.6 Розрахунок елементів блоку вмикання (вимикання) секцій навантаження

Між моментами вмикання сусідніх секцій з опромінювальними установками (навантаження) необхідно витримати час 2 – 3 хв. Приймаємо $t_l = 2,5$ хв = 150 с. Знаходимо параметри часозадаючого ланцюгу $R1$, $R2$, $C1$, при електролітичній ємності $C1$ типу К 50-6 500 мкФ \times 6,3 В. Тоді

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

Приймаємо $R1$ та $R2$ типу МЛТ-0,125 200 кОм.

4.7 Розрахунок блоку живлення

Для забезпечення роботи елементів автоматики необхідно джерело живлення + 5 В, та джерело двополярної напруги ± 15 В.

Визначимо середню потужність необхідну для блока живлення. Вся принципова схема складається із 64 мікросхем, та 4 світлодіодних індикаторів. Приймаємо величину середнього струму, що споживають мікросхеми $I_{iM} = 20$ мА, світлодіодними індикаторами $I_{CC} = 154$ мА, тобто середнє значення струму буде дорівнювати

$$I_{\text{ср}} = I_{\text{i.м}} \cdot N_{\text{i.м}} \cdot I_{\text{i.с}} \cdot N_{\text{i.с}} = 20 \cdot 64 + 154 \cdot 4 = 1896 \text{ мА.} \quad (4.29)$$

З урахуванням коефіцієнта запасу $K = 1,2$ отримаємо

$$I_{\text{фо}} = KI_{\text{ср}} = 1,2 \cdot 1896 = 2275 \text{ мА.}$$

Вибираємо трансформатор ТПП 279–72–0,72/0,42, який має 4 вторинних обмотки на 5 В і струм кожної 1,2 А. З'єднуємо дві обмотки паралельно.

Для діодного мосту вибираємо 4 діоди типу КД 202 А. для яких напруга $U_{\text{обр.мах}} = 50\text{В}$, $I_{\text{випр.мах}} = 3\text{А}$.

В якості стабілізатора напруги використовуємо мікросхему К142 ЕН 5 А, яка розрахована на струм до 3 А. Для її стабільної роботи встановлюємо на радіаторі з площею розсіювання не менше 350 см^2 .

В якості фільтрів вибираємо конденсатори К 500–6 на $4000 \times 10 \text{ В}$.

Для двополярного джерела використовуємо дві обмотки трансформатора ТПП 2899 на 20 В кожна. Випрямляч – діодний міст КЦ 402 А, ємність конденсатора С2 типу К50–6 $500 \text{ мкФ} \times 50\text{В}$. Для стабілізації напруги на виході використаємо параметричний стабілізатор на двох стабілітронах типу КС 215 Ж.

Величину балансного опору знайдемо по формулі

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

Приймаємо опір типу МЛТ–0,5 3 кОм.

4.8 Розрахунок параметрів семісторного ключа

На один семісторний ключ припадає 36 ламп. Номінальний струм лампи ДНаЗ супер/Reflux S 400-2 складає 3,3 А. Тоді номінальний струм, який проходить через один семістор дорівнює:

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

При вмиканні лампи її пусковий струм дорівнює $I_{\text{пуск}} = 5,5\text{А}$. Отже семістор повинен витримувати струм:

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

де K - коефіцієнт запасу, $K = 1,1$;

n - кількість споживачів електричної енергії;

$I_{\text{пуск}}$ – пусковий струм.

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

Для ключа приймаємо семістор типу ТС171–250. Його характеристики приведені 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 гальванічної розв'язки застосовуємо імпульсний трансформатор типу МИТ–4. Послідовно із первинною обмоткою трансформатора вмикаємо опір для обмеження струму через його обмотку. Значення цього опору:

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

Приймаємо опір тип МЛТ–0,5 51 Ом.

4.9 Розрахунок надійності систем автоматичного досвічування рослин

Надійність належить до основних критеріїв, що визначають ефективність функціонування будь-якої виробничої системи за певних умов експлуатації. Основною характеристикою надійності окремого елемента є інтенсивність його відмов після закінчення періоду приробітку. При цьому інтенсивність відмов приймається сталою величиною та обчислюється за відповідною формулою:

$$\lambda = 1/T_{cp}, \quad (4.34)$$

де T_{cp} - середній час безвідмовної роботи.

Маючи відомі значення інтенсивності відмов для кожного елемента системи, можна визначити ймовірність безвідмовного функціонування всього пристрою:

$$P(t) = e^{-\lambda t}. \quad (4.35)$$

Для визначення безвідмовної роботи автоматичної системи досвічування рослин та побудови графіка надійності використаємо параметри елементів, що характеризують їх надійність (інтенсивність відмови), наведені у довідковій літературі, і зведемо їх у табл. 4.11.

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t} = \exp(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t). \quad (4.36)$$

Таблиця 4.1 – Характеристика елементів системи

| № | Елемент системи | Кільк | Іnten-сть. ел. 1/год | Іnten-сть їх суми 1/год |
|----|-----------------------------|-------|-----------------------|-------------------------|
| 1 | Світлодіодний індикатор | 4 | $0,45 \times 10^{-6}$ | $1,8 \times 10^{-6}$ |
| 2 | Діод кремнієвий | 33 | 0,3 | 9,9 |
| 3 | Семістор | 42 | 1,2 | 50,4 |
| 4 | Постійний резистор | 106 | 0,03 | 3,18 |
| 5 | Змінний опір | 7 | 1,2 | 8,4 |
| 6 | Конденсатор керамічний | 9 | 0,03 | 0,27 |
| 7 | Конденсатор електролітичний | 6 | 0,5 | 6 |
| 8 | Мікросхема | 4 | 0,2 | 12,8 |
| 9 | Трансформатор живл | 4 | 3,5 | 14 |
| 10 | Імпульсний трансформатор | 4 | 1,5 | 21 |
| 11 | Запобіжник | 1 | 0,5 | 0,5 |
| 12 | Перемикачі малогабаритн | 7 | 0,25 | 1,75 |
| 13 | Розніми | 5 | 0,3 | 19,5 |
| 14 | Плата | 9 | 0,1 | 1,9 |
| 15 | Пайка | 589 | 0,004 | 6,356 |
| | Всього | | | 157,756 |

Для побудови графіка залежності надійності всієї системи від часу її роботи використаємо формулу (4.36), підставивши значення сумарної інтенсивності відмов системи, що дорівнює 157,756 1/год. Результати розрахунку надійності в часі наведено в таблиці 4.12.

Таблиця 4.12 – Розрахунок надійності в часі

| | | | | | | | | |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| t, год | 10 | 100 | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 |
| P (t) | 0,998 | 0,984 | 0,854 | 0,729 | 0,532 | 0,388 | 0,283 | 0,207 |

За результатами розрахунків, що приведені в табл. 4.8, будемо графік безвідмовної роботи системи автоматичного досвічування рослин в часі (рис. 4.18).

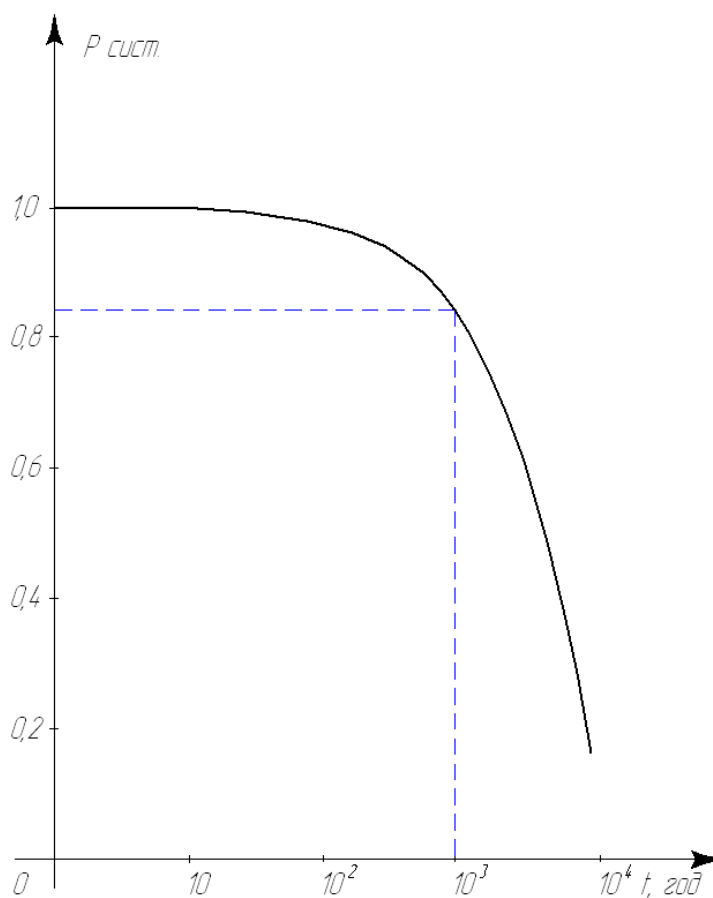


Рисунок 4.18 – Графік безвідмовної роботи системи автоматичного досвічування рослин в часі

5 РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НОРМАЛЬНИХ УМОВ МОНТАЖУ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ АВТОМАТИЧНИХ СИСТЕМ

Сучасні способи виконання монтажних робіт відзначаються високим рівнем застосування матеріалів, а також широким використанням засобів автоматизації й механізації інструментів та впровадженням науково обґрунтованої організації праці. Повнозбірний монтаж здійснюється у два етапи.

Перший етап охоплює організаційно-підготовчі заходи, що проводяться під час виконання основних і дрібномонтажних робіт.

Організаційно-підготовчий етап охоплює повний комплекс заходів, спрямованих на підготовку виробництва монтажних робіт, упровадження наукової організації праці та забезпечення належних умов роботи персоналу. До нього належать опрацювання проєктної документації, розроблення проєктів виконання робіт на монтажно-заготівельній ділянці, організація складального й інструментального господарства, узгодження виробничо-технічних питань із замовником і суміжними технологічними організаціями, а також розроблення заходів із забезпечення безпечних умов виконання монтажних робіт.

На другій стадії виконуються монтажно-складальні роботи безпосередньо на монтажній площадці. Ці роботи зводяться до площадки, зборці та встановленню в проєктних положеннях, збільшених і комплексних вузлів і блоків.

Пуско-налагоджувальні роботи виділяються з монтажних і виконуються в теплицях спеціалізованою пуско-налагоджувальною службою.

Керівник робіт несе повну відповідальність і термін вводу в експлуатацію обладнання і забезпечує досягнення установленної виробки на кожного працюючого, підвищення продуктивності монтажних робіт.

Перед початком пуско-налагоджувальних робіт детально опрацьовується вся проєктно-технічна документація обладнання, що підлягає налагодженню, перевіряється готовність об'єкта до виконання робіт та здійснюється розподіл завдань між налагоджувальниками.

Усі виявлені під час аналізу документації неточності й недоліки проєкту підлягають усуненню шляхом внесення відповідних коригувань.

Служба КВПіА теплиці, її задачі та організація:

Головними завданнями цієї служби є забезпечення стабільної та коректної роботи контрольно-вимірювальних приладів і інших засобів інформаційного забезпечення, а також упровадження у виробничий процес сучасних досягнень науки й техніки в сфері автоматизації контролю, регулювання та керування в теплиці. У зв'язку з цим проєктом передбачено створення служби КВПіА.

Служба КВПіА повинна забезпечити:

- профілактичне обслуговування, планово-попереджувальний ремонт і налагоджування технічних засобів і систем автоматизації;
- участь в монтажу, налагоджуванні та пробної експлуатації знову впроваджених систем автоматизації;
- перевірку контрольно-вимірювальних приладів;
- складання річних і кварталних заяв на технічні засоби автоматизації, запасні частини, лабораторне обладнання та матеріали;
- узагальнення досвіду та аналіз результатів експлуатації технічних засобів і систем автоматизації, а також розробка і запровадження в життя планів реконструкції діючих систем для їх вдосконалення;
- навчання обслуговуючого персоналу вірним заходам експлуатації систем автоматизації;
- прийом технічних засобів, які надходять в теплицю, відновлення відповідних актів та рекомендацій.

Служба КВПіА на теплиці повинна складатись з двох груп (рис. 5.1): експлуатаційної та ремонтно-повірочної.

Експлуатаційна група служби КВПіА призначена для виконання профілактичного обслуговування технічних засобів і систем автоматизації безпосередньо в теплиці, а також для участі в планово-попереджувальних ремонтних роботах.

Ремонтно-повірочна група відповідає за демонтаж і транспортування технічних засобів, які потребують ремонту в стаціонарних умовах. До її функцій належать доставка відрегульованого обладнання, його монтаж, налагодження та проведення пробної експлуатації.

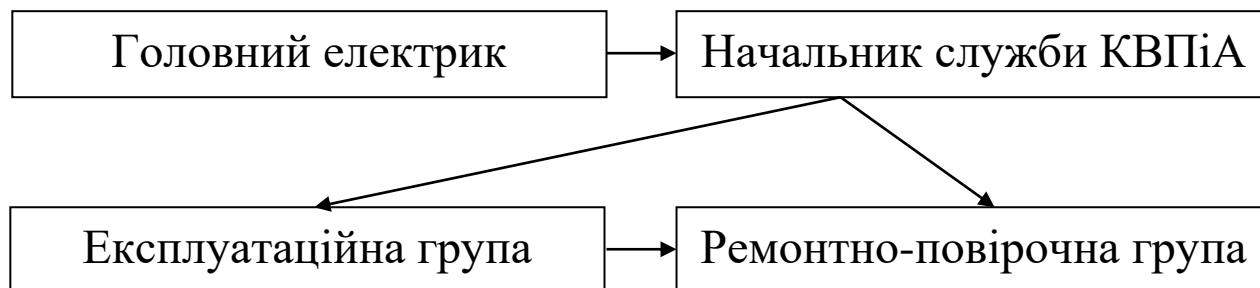


Рисунок 5.1 – Структурна схема служби КВПіА теплиці

В розпорядженні начальника служби КВПіА є таблиця, в якій наведений перелік приладів та засобів автоматики, наявних в господарстві за вказівкою періодичності їх обслуговування та норм часу на проведення щоденного технічного обслуговування (ЩТО) поточного та капітального ремонтів, перевірки. Тут же наведені їх розряди робіт, а також визначення затрати праці на проведення всіх видів технічного обслуговування. Норми часу ЩТО дані в людино/хвилину, а для решти видів технічного обслуговування в люд/год.

В таблиці прийняті наступні позначення:

П – періодичність проведення робіт;

ЗПр – затрати праці;

НЧ – норми часу;

РР – розряд робіт.

Затрати праці визначаються на добуток кількості приладів N одного типу на норму часу НЧ, на обслуговування одного приладу і на кількість обслуговувань на рік K,

$$ЗПр = N \times НЧ \times K, \text{ люд/год або люд/хв.}$$

Чисельність персоналу для технічного обслуговування:

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

Приймаємо кількість робітників в групі технічного обслуговування служби КВПіА рівну 2.

$$A = \frac{3\text{Пр} \cdot \text{КЗ} \cdot \text{К}}{\Phi_{\text{д}}} = 1,519 \text{ люд}$$

Приймаємо кількість робітників в групу ремонту рівну 3. А постійна чисельність робітників служб:

$$A = \frac{\sum 3\text{Пр} \cdot 1,1}{\Phi_{\text{н}}},$$

де $\Phi_{\text{н}}$ – номінальний фонд часу (за рік $\Phi_{\text{н}}=2070$ год), $\sum 3\text{Пр}$ – сума затрат праці на всі види на рік.

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

Виходячи з наведення даних по розрядах робіт, приймаємо слідуочу кваліфікацію робітників служб КВПіА:

III розряд – 1 чол; IV розряд – 1 чол; V розряд – 2 чол; VI розряд – 1 чол.

Рекомендується така структура служби:

Інженерно-технічні робітники складають 10-20% від загальної чисельності робітників. Виходячи з цього службу КВПіА очолює: група ремонту і повірки – техніка-наладчика і слюсаря-наладчика по КВПіА; кількість робочих по КВПіА комплектна ОБМ-1 і загальних витрат по всій теплиці:

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

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

$$\text{По технічному обслуговуванню } \eta_{\text{то}} = \frac{159}{484,01} \cdot 100\% = 32,8\%$$

$$\text{По ремонту та повірці } \eta_{\text{тр}} = \frac{1680,8}{4592,5} \cdot 100\% = 36,6\%$$

Таким чином, на обслуговування ділянки, яка реконструюється необхідно 32,8% витрат праці групи технічного обслуговування та 36,6% групи ремонту.

ВИСНОВКИ

Вирощування рослинної продукції в Україні здійснюється за умов помірно-континентального клімату, що зумовлює виражену сезонність виробництва. У зв'язку з цим для забезпечення населення повноцінним і збалансованим харчуванням близько 25% овочевої продукції має вироблятися в умовах закритого ґрунту. Підвищення рентабельності такого виробництва потребує постійного вдосконалення технологічних процесів, а також застосування сучасних ефективних технічних засобів і систем управління. Саме тому обрана тема магістерської роботи є актуальною та практично значущою.

У результаті виконаної роботи з вивчення ефективності взаємодії фізіологічно активного випромінювання з параметрами мікроклімату в теплицях, а також удосконалення технічних систем формування оптимальних умов досвічування з метою забезпечення високої врожайності рослин, доцільно зазначити таке:

1. Теоретичними та експериментальними дослідженнями встановлено, що інтенсивність фотосинтезу рослин значною мірою визначається температурою повітря та рівнем фітоопроміненості й описується степеневою залежністю. Згідно з цією залежністю, при значеннях опроміненості до 7–8 фт/м² спостерігається різке зростання швидкості фотосинтезу, після чого вона підвищується майже лінійно з коефіцієнтом взаємодії 0,27–0,25 від Е. Це створює передумови для зниження споживання електроенергії на освітлення шляхом оптимального регулювання температури повітря.

2. Урахування встановленої залежності між інтенсивністю крапельного поливу (вологістю ґрунту) та дозою опромінення дає змогу забезпечити більший приріст зеленої маси рослин за умови використання меншої дози світлового опромінення.

3. Застосування в установках досвічування рослин металогалогенних ламп за підвищеної частоти струму підвищує їхню світлову віддачу, а використання

еритемних ламп разом з освітлювальними істотно розширює спектр фізіологічно активного випромінювання.

4. У системі керування рівнем світлового потоку ламп застосовано відносно недорогий метод фазового регулювання напруги, який забезпечує стабільну роботу газорозрядних ламп навіть за умови зниження напруги на них до 0,5 від номінальної напруги живлення.

5. Завдяки впровадженню розробленого блока контролю освітленості рослин, який враховує рівень природного опромінення, суттєво скорочуються надлишкові витрати електричної енергії на додаткове освітлення.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

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

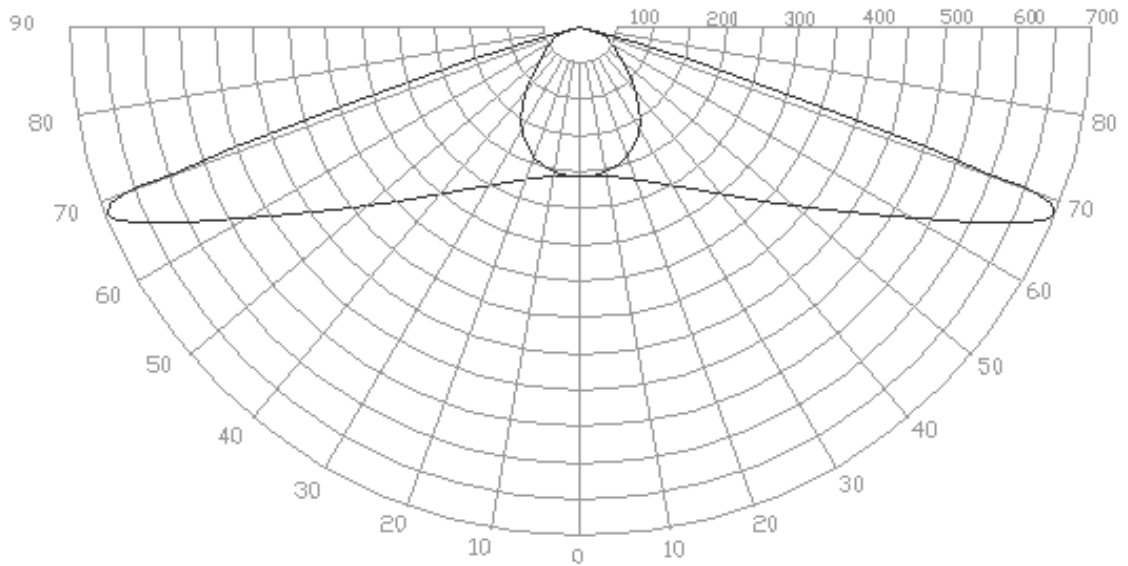
Список літератури

1. Назаренко Л.А., Можаровська Т.В., Чернець В.С. Світлотехнічні розрахунки Навчальний посібник. – Харків: Харківський національний університет міського господарства (ХНУМГ) ім. О. М. Бекетова, 2017. – 142 с.
2. Белякова І.В. Монтаж та експлуатація світлотехнічних установок Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2017. — 117 с.
3. Баранов Л.А., Захаров В.А. Светотехника и электротехнология. – М.: КолосС, 2006. – 344 с.
4. Говоров П.П., Велит І.А. Джерела світла для вирощування овочів в умовах закритого ґрунту Навчальний посібник для студентів спеціальності «Світлотехніка та джерела світла». — Тернопіль: Джура, 2011. — 156 с.
5. Рожков П.П., Рожкова С.Е. Надійність електромагнітних та електромеханічних систем Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 91 с.
6. Козлов В.Д., С.В. Єнчев. Електричні апарати. Вимірювальні, контролювальні та захисні апарати Посібник – К.: НАУ, 2007 – 72 с.
7. Кушлик Р.В., Кушлик Р.Р. Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. Частина 3. Проектування електричного освітлення Методичні рекомендації. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 55с.
8. Суворова К.І. Промислове освітлення Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2019. — 82 с.
9. Барабаш О.Ю. Овочівництво Підручник. — Київ: Вища школа, 1994. — 374 с.
10. Волянський Р.С. Системи вимірювання, обліку та керування енерговикористанням Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2016. — 120 с.
11. Руденко В.С., Ромашко В.Я., Трифонюк В.В. – Промислова електроніка.–К.: Либідь, 1993. – 432 с.

12. Юрчук Л.Ю. Проектування електронних вузлів на друкованих платах Навчальний посібник. – К.: НТУУ КПІ, 2011. – 130 с.
13. Ніколаєнко А.М. Технічні засоби автоматизації Запоріжжя: ЗДІА, 2013. — 322 с.
14. Щербаков В.И., Грездов Г.И. Электронные схемы на операционных усилителях. – К.: Техника, 1983.-213 с.
15. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації. Частина 1. Вимірювальні пристрої Видавництво: Харків: ХІІ, 2001. - 470 с.
16. Ніколаєнко А.М. Міняйло Н.О. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації Навчальний посібник. — Запоріжжя: ЗДІА, 2011. — 444 с.
17. Гончаренко Б.М., Осадчий С.І., Віхрова Л.Г., Каліч В.М., Дідик О.К. Автоматизація виробничих процесів Кіровоград: Лисенко В.Ф., 2016. — 352 с.
18. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. – Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.
19. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. Підручник. – Вид. 3-є, перероб і доп. / В. Ц. Жидецький. – Львів: УАД, 2006. – 336 с.
20. Практикум з охорони праці. / [Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М., Туряб Л. В., Лико Х. І.]. – Львів: Афіша, 2000. – 352 с.
21. Босов Є. П. Охорона праці при проектуванні систем автоматизації виробництва: Навчальний посібник. / Є. П. Босов, Р. В. Жесан, В. М. Каліч. – Кіровоград: КНТУ, 2007. – 112 с.
22. Конституція України. – К.: Вид-во Паливода А. В., 2019. – 76 с.
23. Закон України «Про охорону праці» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12>.

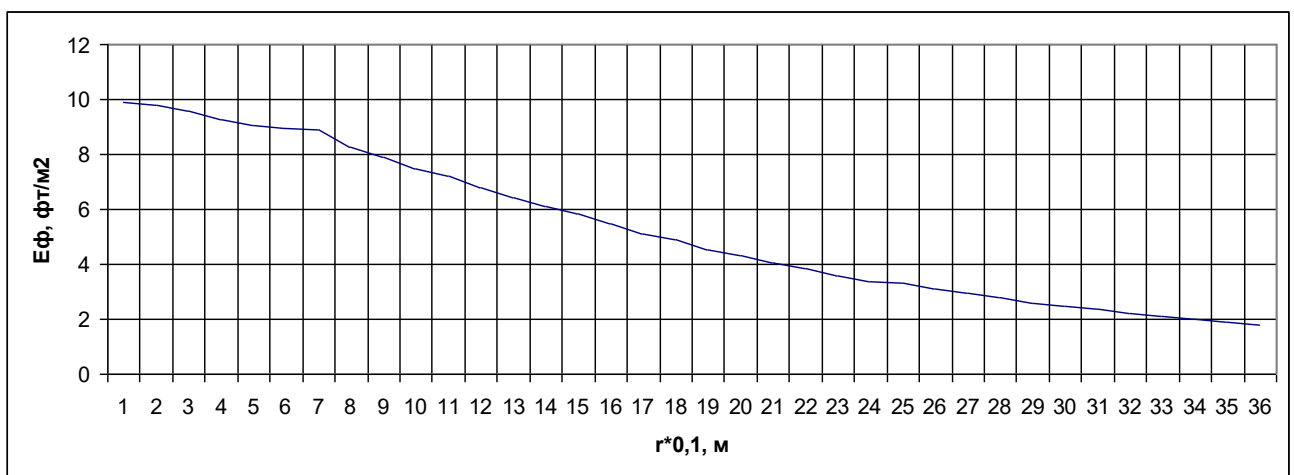
Додатки

Додаток 1

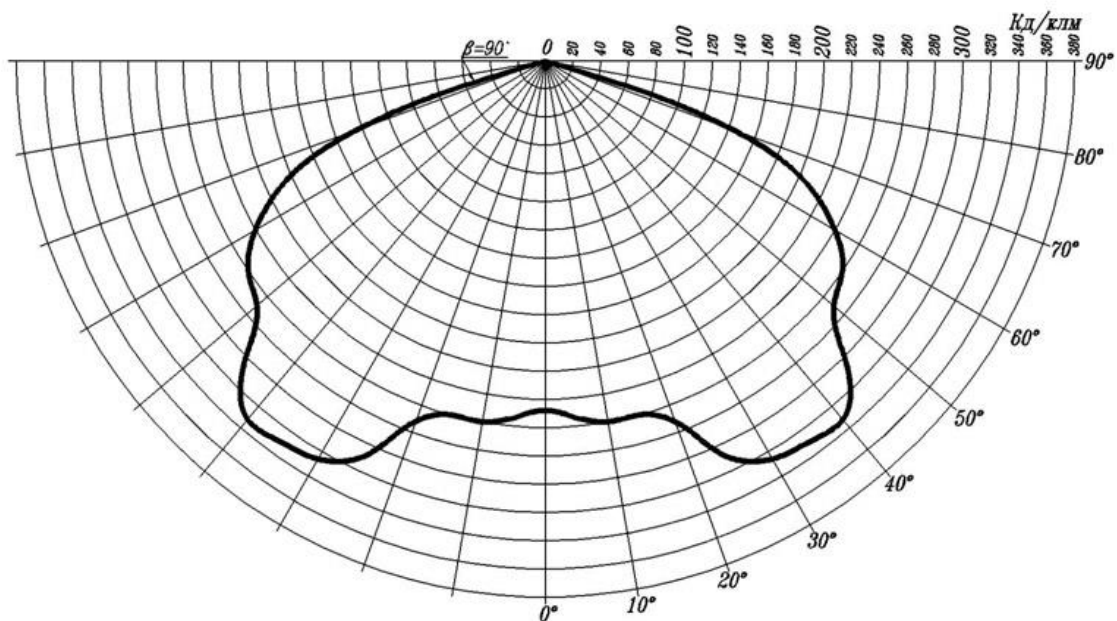


КСС лампи ДНаЗ-600 Reflux

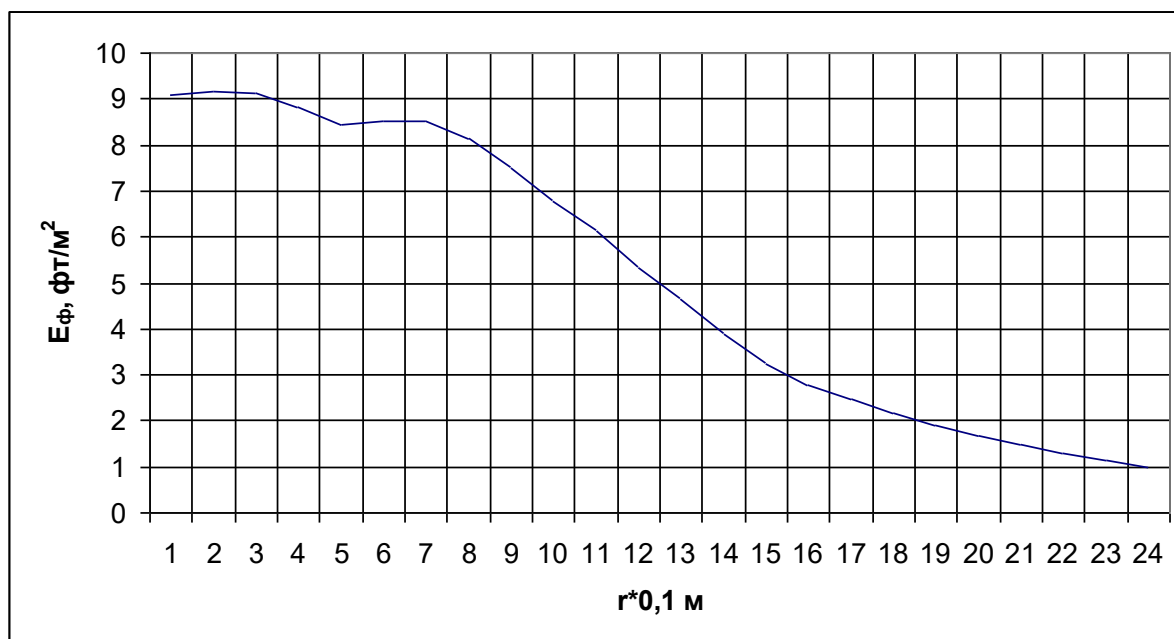
Додаток 2



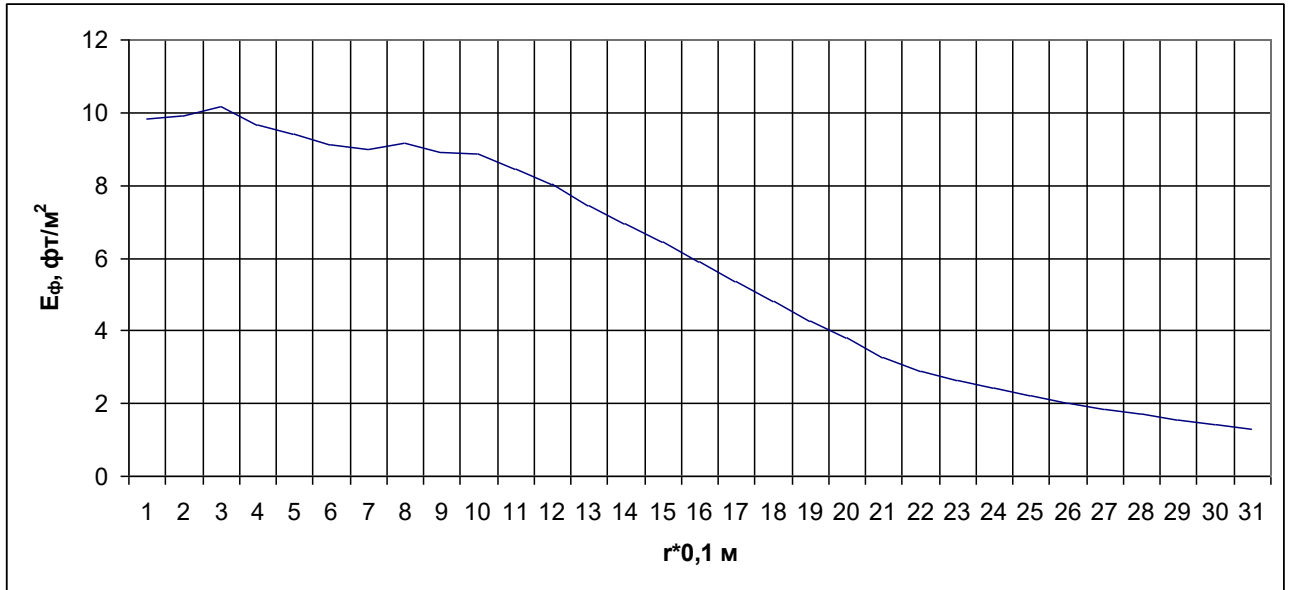
Графік розподілу опромінювання опромінювача ЖСП 64-600-001Р
з лампою ДНаЗ-600 Reflux



КСС опромінювачів ЖСП 64-400-001Т та ЖСП 64-600-001Т



Графік розподілу опромінювання опромінювача ЖСП 64-400-001Т
з лампою ДНаТ-400



Графік розподілу опромінювання опромінювача ЖСП 64-600-001Т
з лампою OSRAM NAV PLANTASTAR-600

ОХОРОНА ПРАЦІ

Д.6.1 Законодавчі та нормативні акти України з питань охорони праці

Правовою основою законодавства щодо охорони праці є Конституція України, Закони України «Про охорону праці», «Про охорону здоров'я», «Про пожежну безпеку», «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», а також Кодекс законів про працю України (КЗпП) [19, 21].

В ст. 43 Конституції України записано: «Кожен має право на працю, що включає можливість заробляти собі на життя працею, яку він вільно обирає, або на яку вільно погоджується», «Кожен має право на належні, безпечні і здорові умови праці, на заробітну плату, не нижчу від визначеної законом», «Використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах забороняється» [20].

Кожен, хто працює, має право на відпочинок (ст. 45 Конституції України). Це право забезпечується наданням днів щотижневого відпочинку, а також оплачуваної щорічної відпустки, встановленням скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час [19].

У тексті ст. 46 Конституції України вказано на те, що громадяни мають право на соціальний захист, яке включає право на забезпечення їх у разі повної, часткової або тимчасової втрати працездатності, втрати годувальника, безробіття з незалежних від них обставин, а також у старості та в інших випадках, передбачених законом [20].

Основоположним законодавчим документом в галузі охорони праці є закон України «Про охорону праці», дія якого поширюється на всі підприємства, установи та організації незалежно від форм власності та видів їх діяльності, на

всіх громадян, які працюють, а також залучені до праці на цих підприємствах [20, 21]. Верховна Рада України прийняла Закон України «Про охорону праці» 14 жовтня 1992 року. Пізніше він був переглянутий і затверджений Президентом України в новій редакції 21 листопада 2002 року. Цей закон визначає основні положення щодо реалізації конституційного права громадян на охорону життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, регулює, за участю відповідних державних органів, відносини між власником підприємства, установи, організації, або уповноваженим ним органом, і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні [20].

Специфічною особливістю закону України «Про охорону праці» є високий рівень прав та гарантій робітникам [20, 21]. Їм надано право відмовитися від роботи у випадку існування на виробництві загрози для їхнього здоров'я і життя. Розширені права робітників у соціальних гарантіях відшкодування збитків у випадку пошкодження їх здоров'я на виробництві. Передбачена система фінансування охорони праці, формування системи страхування від нещасних випадків та професійних захворювань, посилена централізація планування. З позиції законодавчої регламентації прав і гарантій робітникам у сфері охорони праці та їх забезпечення Закон України «Про охорону праці» і нормативно-правові документи щодо його реалізації мають високу оцінку експертів Міжнародної організації праці [19].

В законі України «Про охорону праці» задекларовані основні принципи державної політики в галузі охорони праці [20]:

- пріоритет життя та здоров'я працівників по відношенню до результатів виробничої діяльності підприємства;
- повна відповідальність роботодавця за створення безпечних і нешкідливих умов праці;
- обов'язковий соціальний захист працівників, повне відшкодування шкоди особам, які потерпіли від нещасних випадків на виробництві і професійних захворювань;

– використання економічних методів управління охороною праці, проведення політики пільгового оподаткування, що сприяє створенню безпечних і нешкідливих умов праці;

– комплексне розв’язання завдань охорони праці на основі національних програм з цих питань та з урахуванням інших напрямків економічної та соціальної політики, досягнень в галузі науки і техніки та охорони навколишнього середовища;

– встановлення єдиних нормативів з охорони праці для всіх підприємств, незалежно від форм власності і видів їх діяльності;

– здійснення навчання населення, професійної підготовки і підвищення кваліфікації працівників з охорони праці;

– співробітництво і проведення консультацій між роботодавцями та профспілками (представниками трудових колективів) при прийнятті рішень з охорони праці;

– міжнародне співробітництво в галузі охорони праці, використання світового досвіду організації роботи щодо покращення умов і підвищення безпеки праці.

До позитивних моментів Закону України «Про охорону праці» безперечно належить закріплення за державою функції управління охороною праці. У колишньому СРСР ця функція була покладена на громадські організації в особі профспілок.

Закон України «Про охорону здоров’я», від 3 лютого 1993 року, регулює відносини у сфері охорони здоров’я і висвітлює питання щодо організації, управління процесами охорони здоров’я, створення безпечних умов життя, забезпечення медичного обслуговування необхідною організаційною базою та ліками, загальних умов медичного втручання, охорони материнства та дитинства, регулювання виконання медичної експертизи [20, 21]. Закон також регламентує медичну й фармацевтичну діяльність, професійні права та обов’язки медичних і фармацевтичних працівників.

Закон України «Про пожежну безпеку», прийнятий 17 грудня 1993 року, визначає загальні правові, економічні та соціальні основи забезпечення пожежної безпеки на території України, регулює відносини державних органів, юридичних і фізичних осіб у цій галузі, незалежно від виду їх діяльності та форм власності.

Забезпечення пожежної безпеки підприємств, установ та організацій покладається на їх власників і уповноважених ними осіб, якщо інше не передбачено відповідними договором [20, 21].

Закон України «Про використання ядерної енергії та радіаційну безпеку», від 8 лютого 1995 року, є основоположним у ядерному законодавстві України. Він встановлює пріоритет безпеки людини та навколишнього природного середовища, права і обов'язки громадян у сфері використання ядерної енергії, регулює діяльність, пов'язану з використанням ядерних установок та джерел іонізуючого випромінювання, встановлює також правові основи міжнародних зобов'язань України щодо використання ядерної енергії.

В системі законодавства щодо гігієни праці ключове місце займає Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», від 17 грудня 1993 року [21]. Він передбачає розробку і здійснення адміністрацією підприємств санітарних та протиепідемічних заходів; здійснення, в необхідних випадках, лабораторного контролю за дотриманням вимог санітарних норм стосовно рівнів шкідливих факторів виробничого середовища; формування органів та установ державної санепідеміологічної служби при надзвичайній події та ситуаціях, що становлять небезпеку для здоров'я населення; відшкодування, в установленому порядку, працівникам громадянам збитків, яких завдано їх здоров'ю в результаті порушення санітарного законодавства.

Закон України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», що набув чинності з 1 січня 2001 року, відповідно до Конституції України та Основ законодавства України про загальнообов'язкове державне соціальне страхування, визначає правову основу, економічний механізм та організаційну структуру загальнообов'язкового державного соціального страхування громадян від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які призвели до втрати працездатності або загибелі застрахованих на виробництві [20, 21].

Одним із головних юридичних актів, що забезпечує чітке виконання службових обов'язків працівниками, є КЗпП України. Він трактує вимоги до

трудової діяльності громадян в Україні і регулює трудові відносини всіх працівників, сприяючи зростанню продуктивності праці і поліпшенню її якості.

В КЗпП зазначені наступні положення [20]: забороняється залучати до надурочних робіт вагітних жінок і жінок, які мають дітей віком до трьох років (ст. 176), а також осіб молодших 18 років (ст. 192); забороняється застосовувати праці жінок на важких роботах і роботах із шкідливими або небезпечними умовами праці, а також на підземних роботах (ст. 174). В ст. 153 КЗпП зазначено про обов'язковість створення безпечних та нешкідливих умов праці. Кодекс спрямований на охорону трудових прав працюючих.

Підвалинами нормативних документів в галузі охорони праці виступають Нормативно-правові акти з охорони праці (НПАОП), які до 2003 року носили назву Державні нормативні акти про охорону праці (ДНАОП), – це правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання. Законодавством передбачено, що залежно від сфери дії НПАОП можуть бути міжгалузевими і галузевими [20, 21].

Міжгалузевий НПАОП – це нормативно-правовий акт загального користування, дія якого поширюється на всі підприємства, установи, організації народного господарства України, незалежно від їх галузевої (відомчої) належності та форм власності.

Галузевий НПАОП – це нормативно-правовий акт, дія якого поширюється на підприємства, установи, організації, що відносяться до певної галузі, незалежно від форм власності.

Всі НПАОП вносяться до Державного Реєстру. Реєстр ДНАОП, що діють на території України, виданий Держнаглядом охорони праці в 1997 році. З 2003 року ведеться реєстр НПАОП, який постійно поповнюється [22].

Складовою частиною права в галузі гігієни праці є постанови та положення (норми) затверджені Міністерством охорони здоров'я України (наприклад, «Положення про медичний огляд працівників певних категорій», «Перелік важких робіт і робіт з шкідливими і небезпечними умовами праці, на яких забороняється застосування праці неповнолітніх» та ін.), санітарні правила і

норми (СанПіН) стосовно окремих факторів виробничого середовища, певних технологічних процесів і конкретних виробництв та інші нормативні документи.

Правове поле в галузі пожежної безпеки доповнюють постанови Верховної Ради України, укази та розпорядження Президента України, декрети, постанови та розпорядження Кабінету Міністрів України, рішення органів державної виконавчої влади, місцевого та регіонального самоврядування, прийняті у межах їх компенсації. Забезпечуючи пожежну безпеку слід також керуватись Правилами пожежної безпеки.

Також нормативу базу складають Міжнародні стандарти з питань безпеки праці (ГОСТ ССБТ), Державні стандарти України (ДСТУ), Будівельні норми і правила (СНиП), Правила улаштування електроустановок (ПУЕ), Правила технічної експлуатації (ПТЕ) електроустановок споживачів, норми технічного проектування та інші нормативні акти, виходячи із сфери їх дії [20, 21].

Власники підприємств, установ, організацій, або уповноважені ними органи, розробляють, на основі НПАОП, і затверджують власні положення, інструкції або інші нормативні акти з охорони праці, що діють в межах підприємства, установи, організації [22].

Законодавчі та нормативні акти з охорони праці встановлюють високий рівень вимог, щодо умов праці, і гарантують всемірну охорону трудових прав працівників.

В Україні держава виступає гарантом створення безпечних та нешкідливих умов праці для працівників підприємств, установ, організацій усіх форм власності.

Д.6.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів виробництва при монтажі, налагодженні та експлуатації системи керування освітленням в теплицях

На здоров'я людини, її життєдіяльність і життєздатність великий вплив мають небезпечні та шкідливі фактори.

Небезпека – це наслідок такої дії певних факторів на людину, яка при їх

невідповідності фізіологічним характеристикам людини зумовлює феномен самої небезпеки [20, 21].

Шкідливий виробничий фактор – це виробничий фактор, вплив якого може призвести до погіршення стану здоров'я, зниження працездатності працівника [22].

Небезпечний виробничий фактор – це виробничий фактор, дія якого, за певних умов, може привести до травм або іншого раптового погіршення здоров'я працівника [22].

До визначаючих ознак небезпечних і шкідливих факторів відносяться: можливість безпосередньої негативної дії на організм людини; ускладнення нормального функціонування органів людини; можливість порушення нормального стану елементів виробничого процесу, в результаті якого можуть виникнути аварії, вибухи, пожежі, травми.

При монтажі, налагодженні та експлуатації системи керування освітленням в теплицях необхідно виділити такі небезпечні та шкідливі фактори виробництва:

- можливість виникнення пожежі внаслідок короткого замикання в електроприладах через електропровідний пил;
- можливість виникнення пожежі внаслідок порушення правил пожежної безпеки (зокрема, паління в недозволених місцях);
- відсутність або несвоєчасне проведення інструктажу з пожежної безпеки;
- можливість ураження електричним струмом персоналу, пов'язана з:
 - a) порушенням техніки безпеки;
 - b) наявністю відкритих струмопровідних частин електроприладів, які знаходяться під небезпечною для життя напругою;
 - c) виникненням напруги доторкання на металевих конструктивних частинах електрообладнання внаслідок пошкодження ізоляції струмопровідних частин;
 - d) довгий вплив статичного струму;
 - e) відсутність або несвоєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки при роботі з електроустановками;

- можливість одержання травм від рухомих частин технологічного обладнання;
- недотримання графіків профілактичних доглядів протипожежного інвентарю;
- можливість роботи обслуговуючого персоналу без допуску або необхідної кваліфікації;
- можливість одержання отруєнь при необережній роботі персоналу з мінеральними добривами, гербіцидами та іншими хімічними речовинами;
- біологічні небезпечні та шкідливі виробничих фактори, до яких належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні гриби та ін.) і продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини, комахи, тварини);
- негативна дія на працівників психофізіологічні фактори виробництва (розумове перенапруження, перенапруження зорових і слухових аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження), що приводять до зростаючого стомлення і зниження працездатності.

Д.6.3 Заходи з усунення чи зменшенню впливу небезпечних і шкідливих факторів виробництва при монтажі, налагодженні та експлуатації системи керування освітленням в теплицях

Для попередження можливості появи пожежі і для своєчасної її ліквідації, у разі виникнення, слід передбачити:

- встановлення пожежної сигналізації;
- встановлення засобів гасіння пожежі у легкодоступних місцях;
- періодичний інструктаж персоналу з пожежної безпеки, проведення протипожежних тренувань на виробничих об'єктах;
- прибирання приміщень, з метою виключення можливості накопичення струмопровідного і легкозаймистого пилу;
- дотримання графіків профілактичного огляду протипожежного інвентарю.

Для захисту від враження електричним струмом необхідно виконати::

1) організаційні заходи:

– провести інструктаж з техніки безпеки для персоналу, який працює з електричним струмом;

– проводити систематичну перевірку норм і документів по електробезпеці;

– проводити систематичну перевірку технологічного обладнання.

2) технічні заходи та засоби:

– забезпечити захист струмопровідних елементів від випадкового доторкання шляхом встановлення захисних щитків, капотів, загороджень;

– забезпечити розподіл мереж шляхом встановлення силового щита з рубильником та напівавтоматом;

– передбачити систему захисного заземлення;

– використовувати безпечну напругу для живлення обладнання;

– періодично проводити контроль і профілактичні роботи по усуненню пошкодженої ізоляції;

– встановити силовий щит з рубильником в легкодоступному місці;

– для захисту від статичної електрики слід використовувати нейтралізатори і зволожувачі, підлогу покрити антистатичним покриттям.

Для виключення можливості одержання травм від рухомих частин обладнання:

– встановити захисні огорожі, капоти, екрани, водночас з вводом в експлуатацію обладнання;

– застосовувати захисні і запобіжні пристрої, пристрої автоматичного контролю та сигналізації (світлової і звукової), дистанційне керування;

– наносити у місцях небезпеки попереджувальні написи, вивішувати знаки безпеки;

– використовувати засоби індивідуального захисту (діелектричні боти, гумові килимки, рукавички тощо).

Для запобігання можливості одержання теплових опіків:

– провести ретельне планування виробничих приміщень;

- користуватися захисним спецодягом.

Для унеможливлення отримання запаморочення, задухи та отруєнь:

- забезпечити вентилявання, аспірацію і очищення (заміну) повітря;

- провести інструктаж з техніки безпеки при роботі з мінеральними добривами та гербіцидами;

- встановити норми часу перебування працівників безпосередньо в культивацийній споруді;

- використовувати засоби індивідуального захисту.

Для зменшення впливу біологічних чинників використовують:

- специфічну профілактику, яка заснована на створенні штучного імунітету шляхом попереджувальних щеплень;

- бактеріофаги та лікувальні сироватки;

- регулярні заходи з дератизації, дезінсекції, дезінфекції.

Для захисту від психофізіологічних небезпечних і шкідливих впливів на працівника застосовують:

- ергономічну організацію місця роботи;

- раціональне планування робочих змін;

- надання технологічних та гігієнічних перерв;

- створення позитивного морального клімату в трудовому колективі.

Оскільки одним із найважливіших заходів із забезпечення електробезпеки є розробка системи захисного заземлення для електрообладнання, то саме розрахунок такої системи для електрообладнання овочевої теплиці проведемо у наступному підрозділі.

Д.6.4 Розрахунок системи захисного заземлення для електрообладнання овочевої теплиці

Захисне заземлення – це спеціальне електричне з'єднання із землею або її еквівалентом металевих частин устаткування, які можуть знаходитися під

напругою, внаслідок замикання на корпус та по інших причинах (індуктивний вплив сусідніх струмопровідних частин, порушення ізоляції, розряд блискавки тощо) [20, 21].

Еквівалентом землі може бути вода річки або моря, кам'яне вугілля та ін.

Призначення захисного заземлення – усунення небезпеки ураження струмом у випадку доторкання до корпусу електроустановки та інших металевих частин, які випадково опинилися під напругою [20, 21].

Захисне заземлення слід відрізнити від робочого заземлення і заземлення блискавкозахисту.

Робоче заземлення – спеціальне з'єднання із землею окремих місць електричного кола, наприклад, нейтральних точок обмоток генератора, силових або вимірювальних трансформаторів, дугогасних апаратів, реакторів поперечних компенсацій в дальніх лініях електропередач, а також фази при використанні землі в якості фазного або зворотного провідника. Робоче заземлення призначене для забезпечення належної роботи електроустановки в нормальних або аварійних умовах і здійснюється безпосередньо (шляхом з'єднання провідником частини, які потрібно заземлити із землею) або за допомогою спеціальних апаратів (пробивні запобіжники, розрядники, резистори) [20, 21].

Сфера використання захисного заземлення – апаратура з напругою до 1000 В змінного струму – трьохфазні трьохпровідні ланки, ланки з ізолюваною нейтраллю, однофазні, однопровідні ізолювані від землі, а також постійного струму, в мережі більше 1000В змінного та постійного струму з будь-яким режимом нейтралі [20].

Захисне заземлення є найбільш простою і, в той же час, ефективною мірою захисту від ураження струмом, при появі напруги на металевих неструмопровідниках, частинах обладнання.

Метою захисного заземлення є пониження потенціалу на корпусі електрообладнання до безпечної величини [20, 21].

Захисному заземленню підлягає обладнання в приміщеннях з підвищеною небезпекою та особливо небезпечних, а також зовнішніх установках заземлення

являється обов'язковим при номінальній напрузі вище 42 В змінного струму та 110 В постійного струму, в приміщеннях без підвищеної небезпеки та напругою 380В та вище при змінному струмі та 440 В і вище при постійному струмі, вибухонебезпечних приміщеннях заземлення виконується незалежно від величини напруги [23]. Розрізняють заземлювачі природні та штучні.

Метою розрахунку захисного заземлення є визначення кількості електродів заземлювача і заземлювальних провідників, їхніх розмірів та схем, розміщення в ґрунті, при яких опір заземлюючого пристрою розтікання струму або напруга дотику при замиканні фази на заземлені частини електроустановок не перевищують припустимих значень.

Початкові дані:

- об'єкт захисту – електрообладнання овочевої теплиці;
- тип об'єкту захисту – стаціонарний;
- напруга мережі – ~ 380 В;
- тип заземлювального пристрою – вертикальний;
- розміри вертикальних заземлювачів – $l_e = 3$ м, ширина полиці $d = 40$ мм;
- відношення відстані між вертикальними заземлювачами до їх довжини $L_e / l_e = 1$;
- розміри горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки): довжина L_2 – згідно з розрахунками, ширина стрічки $b_c = 0,4$ мм;
- глибина закладання: вертикальних заземлювачів $h_e = 0,7$ м; горизонтальних – $h_2 = 0,7$ м;
- розташування заземлювачів – чотирикутник;
- ґрунт – суглинок, вологість – мала.

Розрахунок проведемо у відповідності до методики, викладеної у [20].

Визначаємо розрахунковий питомий опір ґрунту, з врахуванням кліматичного коефіцієнту Ψ_3 .

$$\rho = \rho_{\text{вим}} * \Psi_3,$$

де $\rho_{\text{вим}}$ – питомий опір ґрунту. Ψ_3 – кліматичний коефіцієнт.

$$\rho = 100 * 1,5 = 150(\text{Ом} * \text{м})$$

За формулою визначаємо опір розтікання струму для одного стержньового заземлювача:

$$R_B = \frac{\rho}{2\pi * 1_B} * \left(\ln \frac{2 * 1_B}{d} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4H + 1_B}{5H - 1_B} \right),$$

$$\text{де } H = \frac{1}{2} * 1_B + h_B = \frac{1}{2} * 3 + 0,7 = 22(\text{м})$$

$$R_B = \frac{150}{2\pi * 3} * \left(\ln \frac{2 * 3}{0,4} + \frac{1}{2} * \ln \frac{4 * 2,2 + 3}{5 * 2,2 - 3} \right) = 23,11(\text{Ом})$$

Визначаємо орієнтовну кількість електродів n_{op} при $\eta_B = 1$ (коефіцієнт, який враховує взаємну дію електродів один на інший).

$$n_{op} = \frac{R_B}{R_{доп} * \eta_B},$$

де $R_{доп} \leq 40\text{м}$ – допустиме значення опору.

$$n_{op} = \frac{23,11}{4} = 5,8\text{шт}$$

Приймаємо кількість заземлювачів $n_{op} = 10\text{шт}$.

При $n = 10$ шт, розташування заземлювачів по контуру, $L_e / l_e = 1$ коефіцієнт використання вертикальних електродів $\eta_B = 0,657$. Тоді еквівалентний опір усіх вертикальних електродів, з'єднаних паралельно:

$$R_{B,e} = \frac{R_B}{n * \eta_B}.$$

$$R_{B,e} = \frac{23,11}{10 * 0,57} = 4,05 \text{ Ом}.$$

Визначаємо опір горизонтальних електродів:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho}{2\pi * 1_{\Gamma}} * \ln \frac{2 * 1_{\Gamma}^2}{b_c * h_B}$$

де $1_{\Gamma} = 1,05 * L_B * n = 1,05 * 3 * 10 = 31,5\text{м}$ – довжина з'єднувальної стрічки. b_c – ширина з'єднувальної стрічки, м.

$$R_{\Gamma} = \frac{150}{2\pi * 31,5} * \ln \frac{2 * 31,5^2}{0,04 * 0,7} = 8,47 \text{ Ом}$$

$\eta_B = 0,34$ – коефіцієнт використання горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки). Тоді еквівалентний опір горизонтального заземлювача

$$R_{г.е} = \frac{R_{г}}{\eta_{г}}$$

$$R_{г.е} = \frac{8,47}{0,34} = 24,7 \text{ Ом}$$

Визначаємо опір штучного заземлювача

$$R_{ш.з.} = \frac{R_{B.е} * R_{г.е}}{R_{B.е} + R_{г.е}}$$

$$R_{ш.з.} = \frac{4,05 * 24,9}{4,05 + 24,9} = 3,48 \text{ Ом.}$$

На рис. 6.1 показано розміщення по контуру заземлювачів системи захисного заземлення для електрообладнання овочевої теплиці.

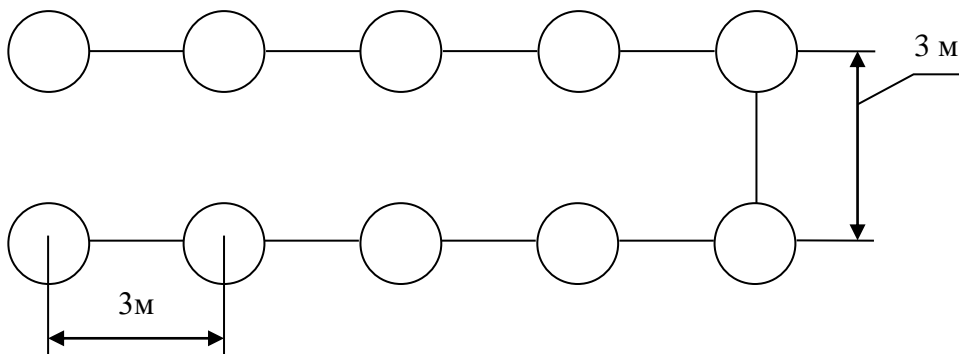


Рисунок Д.6.1 – Розміщення по контуру заземлювачів системи захисного заземлення для електрообладнання овочевої теплиці