

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації
виробництва та інженерної екології
Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Постольник Сергій Олександрович

УДК 620.93

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**Підвищення ефективності опромінення мікроклонального
винограду**

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Савченко Л.Г.
к.і.н., доцент

Житомир – 2022

АНОТАЦІЯ

Постольник Сергій Олександрович. Підвищення ефективності опромінення мікроклонального винограду. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

В магістерській роботі на основі аналізу спеціальної вітчизняної та зарубіжної літератури показав, що є широкий асортимент фітоустановок на базі LED, які ефективно використовуються в захищеному ґрунті.

На продуктивність рослин, зокрема, і на фотосинтез насамперед впливає спектральні складові зони, далі температура повітря і ґрунту, вміст CO₂ і т.д. Отже, необхідно розробити фітоопромінювальну установку, випромінювання якої входить в діапазон спектральних складових зони ФАР.

Встановлено, що в експериментах з мікроклональним виноградом де використовувалися світлодіодні стрічкові RGB фітоопромінювальні установки спостерігався позитивний результат. На етапах нарощування коренів і наростання площі листя *in vitro* ефективнішою була фітоопромінювальна фітоустановка з відбиваючими екранами (ФОУ 1_{отрскр}), що дозволяє заощадити електричну енергію до 75% при поліпшенні якості мікроклонального винограду в 2,5 рази. Однак на етапі висадження в ґрунт ефективніше виявилася фітоопромінювальна установка з УФ світлодіодами (ФОУ 2_{уф}), що дозволяє заощадити електричну енергію до 60% при поліпшенні якості мікроклонального винограду в 1,5 рази.

Ключові слова: світло діод, мікроклональний виноград, фотоопромінювальна установка, електрична енергія.

ANNOTATION

Postolnik Serhii Oleksandrovyh. Increasing the Efficiency of Irradiation of Microclonal Grapes. – *Qualification work on the rights of the manuscript.*

Qualification work for a master's degree in the specialty 141 "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - Polissya National University, Zhytomyr, 2021.

In his master's thesis, based on the analysis of special domestic and foreign literature, he showed that there is a wide range of phytoplants based on LEDs, which are effectively used in protected soil.

On plant productivity, in particular. and photosynthesis is primarily affected by the spectral components of the zone, followed by air and soil temperature, CO₂ content, etc. Therefore, it is necessary to develop a phytoprominal installation, the radiation of which will be included in the range of spectral components of the PHAR zone.

It was established that a positive result was observed in experiments with microclonal grapes where LED tape RGB phytoirradiation units were used. At the stages of growing roots and increasing the area of leaves in vitro, the phytoirradiating phytoinstallation with reflective screens was more effective, which allows you to save electrical energy up to 75% while improving the quality of microclonal grapes by 2.5 times. However, at the stage of planting in the soil, the phytoirradiation plant with UV LEDs proved to be more effective, which allows you to save up to 60% of electrical energy while improving the quality of microclonal grapes by 1.5 times.

Key words: light diode, microclonal grapes, photoirradiation plant, electric energy.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ОГЛЯД СВІТЛОДІОДНИХ ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ЗАХИЩЕНОМУ ГРУНТІ.....	8
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРІЧКОВИХ RGB ФІТООПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ ОПРОМІНЕННІ МІКРОКЛОНАЛЬНОГО ВИНОГРАДУ.....	27
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ І ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ.....	44
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	48
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	49

ВСТУП

Актуальність теми. Плоди винограду - цінні продукти харчування, тому що в них містяться органічні сполуки та мінеральні речовини (цукри, кислоти, білки, жири, калій, кальцій, залізо, йод, бром, натрій, каротин, вітаміни В, В2, В6, З, Р, РР). Фрукти можна використовувати у свіжому, а також сушеному, замороженому або переробленому вигляді (соки, компоти, варення, мармелади, повидло, джеми, желе, сиропи та інші продукти). Виноград застосовують у кондитерській, медичній промисловості.

Систематичне вживання винограду сприяє запобіганню та більш успішному лікуванню серцево-судинних, шлунково-кишкових, простудних та інших захворювань.

За даними Інституту харчування Академії медичних наук, річна норма споживання плодів, ягід та винограду на душу населення 100 кг.

Плодово-ягідні культури повинні бути адаптовані до місцевих кліматичних та екологічних умов, давати плоди щороку, а також стабільний прибуток. Без якісної розсади все це може бути неможливим. За останні 15 років садівництво України зазнає нестачі в якісних саджанцях плодово-ягідних культур, що у свою чергу пов'язане з незадовільними екологічними факторами, а також різкими економічними реформами. Крім цього, останнім часом збільшився попит на здоровий посадковий матеріал, що пов'язано з широким поширенням різних захворювань серед посадкового матеріалу. В умовах відкритого ґрунту відсутні ефективні прийоми оздоровлення рослин. Отже, для отримання здорових живців та кущів плодових та ягідних культур у достатній кількості потрібно використовувати високі технології оздоровлення – мікроклональний, тобто вирощування рослин спочатку у пробірках (*in vitro*), а потім у горщиках (*ex vitro*). В даний час мікроклональна технологія вирощування широко застосовується в Європі та Америці.

Отже, для підвищення продуктивності мікроклональних рослин винограду необхідно на основі нових науково-обґрунтованих розробок створити найбільш ефективні за спектром стрічкові світлодіодні фітоустановки з мікропроцесорною системою управління, що дозволяють підвищити швидкість росту рослин при зниженні енерговитрат.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності процесу опромінення мікроклональних рослин винограду стрічковими RGB світлодіодними фітоопромінювальними установками (ФОУ) шляхом наукового обґрунтування та реалізації найбільш ефективного спектрального складу, що дозволяє збільшити швидкість росту мікроклональних рослин на стадіях *in vitro* (у пробірках) та *ex vitro* (у горщиках) при мінімальних енерговитратах.

Завдання дослідження:

- Провести аналіз вітчизняної та зарубіжної літератури щодо застосування світлодіодних фітоопромінювальних установок у захищеному ґрунті;
- Провести лабораторні та виробничі випробування та виконати техніко-економічне обґрунтування застосування стрічкових RGB світлодіодних фітоопромінювальних установок при вирощуванні мікроклональних рослин винограду.

Об'єктом дослідження була система, що складається з мікроклональних рослин винограду, технічних засобів опромінення та технологічних заходів, що дозволяють отримати здоровий посадковий матеріал за мінімальних витрат на електроенергію.

Предметом дослідження було вивчення процесів впливу опромінення стрічковими RGB світлодіодними ФОУ на мікроклональні рослини винограду.

Методи дослідження. У роботі використані методи планування експериментальних досліджень та регресійного аналізу, методи світлотехнічного та електротехнічного розрахунків. Результати досліджень оброблялися із застосуванням програми STATISTIC та MS Excel.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко Л. Г., **Постольник С. О.** Розробка технічних рішень для реалізації стрічкових RGB фітоопромінювальних установок при опроміненні мікроклонального винограду. *Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики*. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 49-51.

2. Савченко Л. Г., **Постольник С. О.** Загальні відомості про мікроклональну технологію. *Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки"* (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 345-347.

3. **Постольник С. О.** Аналіз існуючих світлодіодних опромінювальних установок. *Збірник тез VII Всеукраїнської науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь»* 31 березня 2021 року, м. Житомир. С. 236-237.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність полягає в розробці світлодіодних стрічкових RGB фітоопромінювальних установок для вирощування мікроклонального винограду.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 16 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 50 сторінок комп'ютерного тексту, містить 58 рисунків і 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ОГЛЯД СВІТЛОДІОДНИХ ОПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК, ЯКІ ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ У ЗАХИЩЕНОМУ ГРУНТІ

1.1. Загальні відомості про мікроклональну технологію

Мікроклональна технологія - нова біотехнологія, що займає значне місце в науково-технічному прогресі, яка використовується при вирощуванні рослин. За допомогою цієї технології стає можливим підвищити багато разів морфогенетичний потенціал рослини в інтересах господарської діяльності людини. Мікроклональна технологія вирішує низку практичних проблем, таких як одержання сортових ліній на основі соматклональної мінливості; гаплоїдів та гомозиготних рослин із застосуванням мутагенів та стресових умов; масове розмноження оздоровлених рослин і т. д. Дані проблеми вирішуються завдяки біологічним особливостям клітин рослин *in vitro* і крім цього на їх здібності в результаті поділу та диференціації відтворювати цілу рослину [1-3].

Мікроклональна технологія - це безстатеве вегетативне розмноження, при якому виходять генетично ідентичні форми, що сприяє збереженню генетично однорідного посадкового матеріалу. При використанні даної технології, можливо, розмножувати в короткі терміни види, що важко розмножуються і високоцінні рослини, які є в одному екземплярі, а також стерильні генотипи. Множинність, швидкість і високий коефіцієнт розмноження досягає 1:1000000 і дозволяють у 2-3 рази зменшити терміни відбору та отримання нових рослин у селекційних дослідженнях. Вирощування в штучних контрольованих умовах із меристемних тканин дозволяє досягати елімінації вірусів та інших патогенних мікроорганізмів та отримувати здоровий посадковий матеріал. За допомогою мікроклональної технології розмноження рослин стає можливим уникати періоду спокою рослин і розмножувати рослини в контрольованих умовах

незалежно від пори року, що у свою чергу може забезпечити збільшення продуктивності та підвищення його рентабельності.

Нині є кілька методів мікрокланальної технології. Їх відмінність полягає у стані вихідних клітин та тканин, які використовуються для пророщування мікроклонів. Можуть використовуватися клітини, які знаходяться у стані клітинного поділу, а можуть клітини диференційовані. У першому випадку клітини, що активно діляться, утворюють каллус, проходять первинну диференціацію, йде інтенсивний гісто- і органогенез, формуються ембріоїди, нирки і утворюється мікроклон. У другому випадку починається процес дедиференціації, а потім відбуваються процеси всіх етапів, зазначених у першому випадку [3].

Найбільш важливою вимогою технології є забезпечення повної стерильності та оптимальних умов для клітинного поділу та диференціації вихідної тканини. Потім необхідно добитися утворення якомога більшої кількості мікроклонів (мериклонів) та забезпечити їх укорінення.

Щоб ефективність мікрокланальної технології була максимальною, необхідно дотримуватися оптимальних умов вирощування на всіх етапах даної технології. З цією метою кожної культури розробляється конкретна методика мікрокланального розмноження [3].

Необхідною умовою успішного застосування методу кланального мікророзмноження рослин є дотримання практиками певних правил та прийомів. Насамперед тканини, що використовуються для культивування, повинні бути асептично ізольовані від материнської рослини і поміщені у сприятливі умови, в яких відбувається органогенез. Цьому сприяє хімічний склад середовища, внесення певних концентрацій фітогормонів, оптимальні умови освітлення, температури та вологості [3].

Розрізняють три стадії (рис. 1), регенерації рослин *in vitro*. Перша стадія – введення у стерильну культуру. Друга стадія – вирощування та розмноження рослин у пробірках. Друга стадія своєю чергою ділиться на два етапи: 1 етап –

розмноження методом культури тканин в асептичних умовах (проліферація); 2 етап – укорінення рослин. І третя стадія являє собою адаптацію рослин до нестерильних умов, тобто висаджування рослин у ґрунт [3].

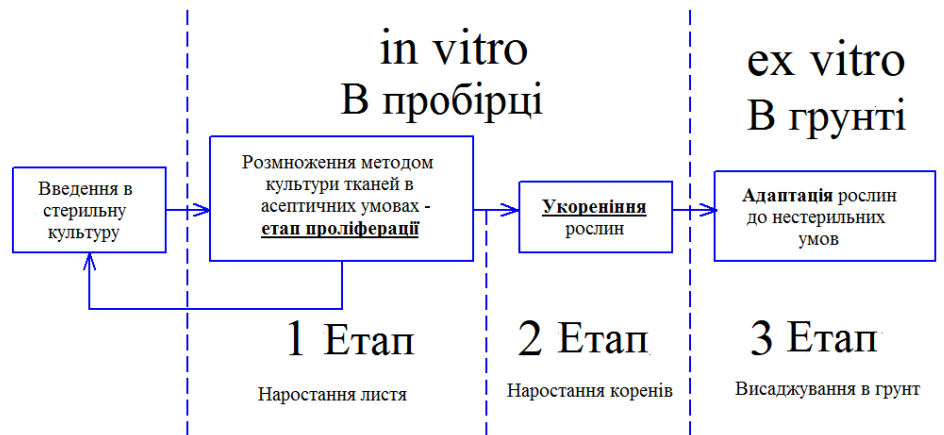


Рис. 1.1. Етапи мікроклонального розмноження [3].

Основною метою при органогенезі є диференціація пагонів. Укорінення їх досягається переносом на середовище без ауксинів або з низькою їх концентрацією [3].

З метою отримання морфогенетичного калюсу однорічних рослин використовують різні органи: стебла, листя, черешки, пелюстки. Для отримання такого калюсу багаторічної рослини використовують меристематичні тканини. Середовище з високим вмістом ауксину та низькою концентрацією цитокініна використовується для індукції калусоутворення. Після отримання стерильної калусної культури її можна підтримувати пересадкою в таке ж середовище і використовувати для індукції органогенезу нове середовище. Органогенний калюс містить меристематично активні групи клітин. При перенесенні тканини на середовище з низькою концентрацією ауксину та вищим вмістом цитокініну ініціюється зростання пагонів [3].

Для великої кількості рослин клональне розмноження проводиться з використанням верхівкових меристем. При культивуванні апікальних меристем та прилеглої частини верхівки стебла відбувається пробудження пазушних бруньок, посилюється пагоноутворення. Одночасно при використанні

первинного експлантату відповідного розміру цим методом можна отримати рослини, вільні від вірусної або бактеріальної інфекції [3-4].

Для клонального мікророзмноження практично придатні всі меристематичні тканини, що характеризуються високою метаболічною активністю. Ці тканини краще за інших приживаються в культурі і зберігають ознаки клону. Вони розміщуються в апексах пагонів, термінальних і латеральних нирках, кінчиках або піхвах листя (або по всій тканині молодого листя), на черешках листя і квіток, лусках цибулин, сплячих нирках пагонів і квітконосів, квіткових нирках та частинах квітки (рис. 2) [3].

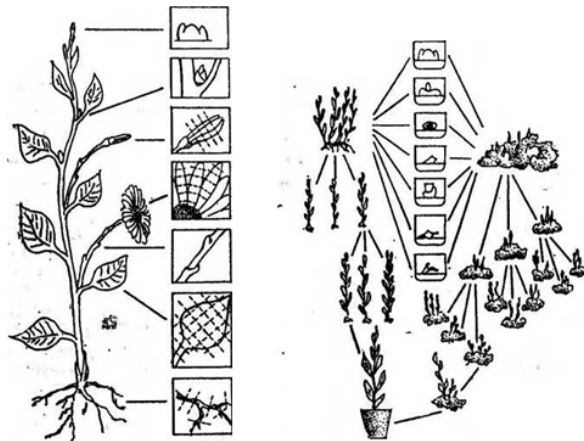


Рис. 1.2. Розташування придатних для мікроклонального розмноження тканин

1.2 Аналіз існуючих світлодіодних опромінювальних установок

В даний час світлотехнічною промисловістю виробляється широкий асортимент ламп і світильників, які використовуються для опромінення рослин у захищеному ґрунті, проте спектр їхнього випромінювання має обмежену область. Варто зазначити, що при вирощуванні рослин спектральний склад випромінювання виражають відповідно до вмісту в ньому хвиль, які безпосередньо виявляють найбільше фізіологічне вплив на рослини.

Світильник VNK-1-95 AGRO [5] 100 Вт призначений для підсвічування розсади та плодоносних рослин в особистому господарстві та промислових

теплицях. У домашніх умовах світильник VNK-1-95 AGRO 100 Вт найбільш ефективний для підсвічування розсади та рослин на підвіконнях, стелажах, а також в акваріумістиці (для стимулювання росту рослин в акваріумах).

Корпус світильника (стандартна модель Арктик Т3) вологонепроникний. Захисне скло кріпиться до корпусу довговічними металевими кліпсами-засувками, що відкриває легкий доступ до поворотних світлодіодним трубкам.



Рис. 1.3 Світильник VNK-1-95 AGRO 100 Вт

Мережевий вхід у світильник герметичний, що, зокрема, виключає потрапляння всередину мух та інших комах. Світло створюється трьома трубками, розташованими вздовж світильника, по 27 світлодіодів у кожному наборі синього, червоного та білого спектрів. Потужність кожного світло діода - 3 Вт. Світлодіоди змонтовані на алюмінієвих радіаторах примусова вентиляція не потрібна. При необхідності можна легко змінювати трубки, варіюючи спектр і потужність світлодіодів для підсвічування різних рослин.

Технічні характеристики:

Потужність – 95 Вт

Напруга живлення – 185-255 В

Габаритні розміри – 125×14,5×11

Клас захисту – IP65

Експлуатація за температури -25...+55 град.

Спектральний склад світла: синій, червоний, білий (440...670 нм).

Конструкція світильника для штучного освітлення рослин APOLLO 6 дозволяє включати його в електричну мережу напругою від 100 до 240 В. Він не потребує спеціальних перехідників, тому його можна використовувати

практично в усьому світі, незалежно від державних стандартів на електромережі: у Європі, США і навіть Україні.

Внутрішній перетворювач живлення для випромінюючих елементів перетворює напругу в 48 В постійного струму, що безпечно не тільки для людини, але і для домашніх тварин.

Світильник має внутрішню систему самодіагностики, що дозволяє швидко і просто знаходити несправності. Для їх усунення чудово пристосовано безклеєве модульне з'єднання елементів. Воно робить швидко та зручну процедури ремонту та очищення виробу. А висока ступінь охолодження забезпечується інноваційною системою вентиляції.



Рис. 1.4. Світильник для штучного освітлення рослин APOLLO 6

Світильник складається з 6 блоків, що поєднують 90 світлодіодів, потужністю по 3 Вт кожен. Джерела випромінювання забезпечені персональними лінзами. Це дозволяє створювати спрямоване випромінювання у заданому діапазоні розсіювання (120°).

Технічні характеристики:

Спектр випромінювання: 470-660 нм;

Габаритні розміри – 383 283 85 мм;

Потужність 210 Вт.

Призначений для роботи в наступних кліматичних умовах: температура від 20 до 40 ° C, вологість від 45 до 95%.

Світлодіодна енергозберігаюча лампа 20Вт LED-M80- 20W/SP/E27/CL ALS55WH [6] для рослин спеціально розроблена для продовження світлового дня, що позитивно впливає на ріст та розвиток рослин.



Рис. 1.5 Енергозберігаюча лампа 20Вт LED-M80-20W/SP/E27/CL ALS55WH

Лампа для рослин має оптимальний спектр світла з низьким енергоспоживанням. На відміну від ламп розжарювання, світло лампи для рослин відповідає специфічним потребам рослин у світлі, забезпечуючи необхідний спектр та рівень освітленості.

Лампа високої потужності для рослин LED-M80-20W/SP/E27/CL ALS55WH [5, 6] може бути використана у світильнику зі стандартним патроном E27.

Дана лампа є альтернативою стандартним лампам розжарювання та лінійним люмінесцентним лампам, які використовуються зазвичай для додаткового освітлення розсади, екзотичних кімнатних рослин та рослин у домашніх теплицях.

Технічні характеристики:

Цоколь E 27;

Тип лампи – світлодіодна лампа;

Потужність 20 Вт;

Спектр випромінювання: 575...650 нм.

Фітосвітильник світлодіодний "Фіто-М 30 К" (потужність 32,5 Вт) рекомендований для встановлення в гроубоксах та акваріумах. У світильниках використовуються потужніші світлодіоди, аналогічні добре зарекомендували себе у фітолампах серії "Фіто-М". Використання оптики підвищує ефективність усієї системи освітлення в теплиці, фокусуючи світловий потік на певній ділянці.



Рис. 1.6. Фітосвітильник світлодіодний "Фіто-М 30 К"

Концентрована (кругова) діаграма спрямованості світильника забезпечує об'ємне опромінення, що сприяє рівномірному поглинанню світла рослинами і призводить до збільшення врожайності. Максимально ефективний для гроубоксів з квадратною або прямокутною основою з розмірами сторін від 1 до 2 метрів. Висота установки від 1 метра над рівнем ґрунту.

Освітлення в гроубоксі дуже специфічне:

- Відсутність зовнішнього освітлення накладає високі вимоги на джерело світла для забезпечення нормального фотосинтезу рослин;
- Мінімальний обсяг гроубокса критичний до перегріву від потужних джерел світла, таких як газорозрядні лампи.

Технічні характеристики:

Напруга живлення 220В;

Потужність 32,5 Вт;

Діапазон випромінювання: 470...640 нм.

1.3 Аналіз існуючих світлодіодних джерел випромінювання

Світлодіод - це напівпровідниковий прилад, що перетворює електричний струм на видиме випромінювання. Загальноприйнята аббревіатура світлодіодів - LED (light-emitting diode), що перекладається як світлодіод. Світлодіод складається з напівпровідникового кристала (чип) на підкладці, корпусів з контактними виводами та оптичної системи. Безпосередньо випромінювання світла походить від цього кристала, а колір видимого випромінювання залежить

від його матеріалу та різних добавок. Як правило, в корпусі світлодіода знаходиться один кристал, але при необхідності підвищення потужності світлодіода або для випромінювання різних кольорів можливе встановлення кількох кристалів [9, 5].

Електролюмінесценція напівпровідникових кристалів карбіду кремнію зеленого кольору була відкрита у 1907 році у лабораторії Марконі англійським вченим Генрі Раунд. Цьому явищу спочатку не надали великого значення. 1923 року радянський учений О.В. Лосев у Нижегородській радіолабораторії, проводив дослідження електролюмінесценції карбіду кремнію SiC. Тривалі дослідження дозволили сформулювати основний принцип електролюмінесценції напівпровідникових матеріалів - інжекційна рекомбінація. У 1927 році Лосев запатентував принцип електролюмінесценції напівпровідників. Винахід було опубліковано в наукових журналах у Росії, Німеччині та Великобританії, але практичного застосування не набуло. У 1955 році Р. Браунштейн з Radio Corporation of America заявив про здатність арсеніду галію (GaAs) у комбінації з іншими напівпровідниками сплавами випускати інфрачервоне випромінювання.

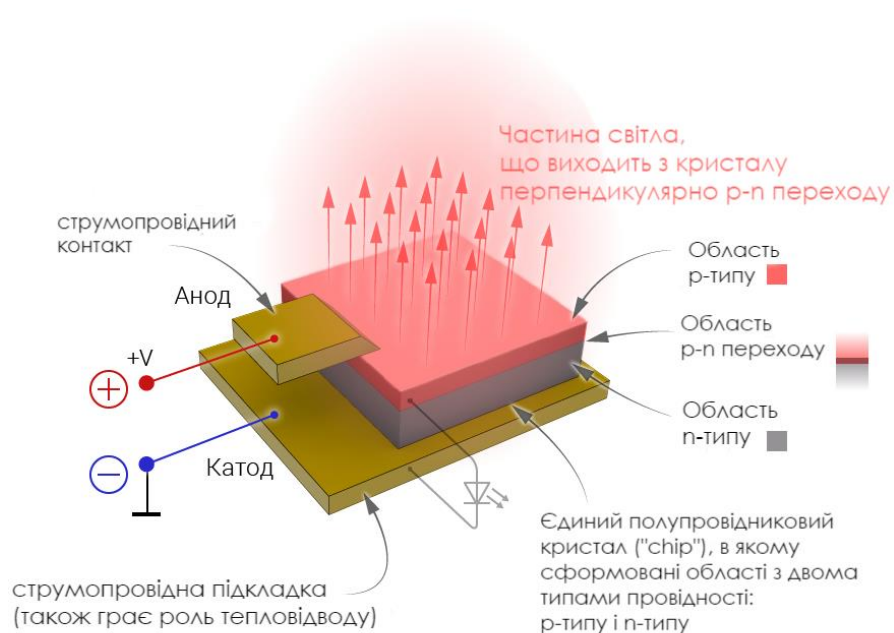


Рис. 1.10 Конструкція світлодіода

Браунштейн спостерігав інфрачервоне випромінювання від простої діодної структури на основі антимоніду галію (GaSb), арсеніду галію (GaAs), фосфіду індія (InP) і кремнієво - германієвого сплаву (SiGe) під час проходження струму [5].

У 1961 році розробники Р. Бард і Г. Пітман, що працюють у компанії Texas Instruments, підтвердили, що сплав арсеніду галію випромінює інфрачервоне випромінювання при пропусканні через нього електричного струму і отримали патент на напівпровідниковий інфрачервоний світлодіод.

Перший світлодіод видимого спектра випромінювання був виготовлений у 1962 році М.Холоньяком, який працює в компанії General Electric. З того часу Холоньяк вважається першовідкривачем світлодіодів, незважаючи на достовірні факти досліджень Лосєва та інших іменитих учених початку ХХ століття[4].

У 1972 році Г.Грефорд виготовив жовтий світлодіод та збільшив яскравість червоних світлодіодів у кілька разів. У 1976 році Т.Пірселл отримав перший надяскравий інфрачервоний світлодіод для оптоволоконних телекомунікацій, досліджуючи нові напівпровідникові матеріали.

Аж до 1968 року видимі та інфрачервоні світлодіоди мали величезну собівартість, близько 200 USD за штуку, що обмежувало їхнє практичне застосування. Але в 1968 році фірма Monsanto вперше організувала масове виробництво світлодіодів видимого світла на базі арсенідафосфіду галію (GaAsP), придатних для застосування в якості індикаторів. Компанія Hewlett Packard у 1968 році використовувала світлодіоди Monsanto для цифрових дисплеїв [6].

В даний час світлодіоди набули широкої популярності. При цьому чітко розділити їх за потужністю, яскравістю, областю застосування, форм-фактору та іншим параметрам неможливо, оскільки у кожного виробника своя класифікація.

Тим не менш, різні види світлодіодів можна об'єднати в класи за деякими характерними ознаками.

Світлодіоди можна розділити на дві великі групи: індикаторні та освітлювальні [1].

Індикаторні використовуються в основному з метою кольорової індикації, а також підсвічуванням дисплеїв, приладових панелей та інших приладів. Тобто це світлодіоди порівняно невеликої потужності (до 0.2 Вт) із помірною яскравістю.

Освітлювальні LED використовуються при освітленні приміщень у складі світлодіодних ламп і стрічок, в автомобільних фарах і скрізь, де потрібно отримати високу інтенсивність освітлення. Потужність таких світлодіодів може досягати десятків ват.

Індикаторні світлодіоди, своєю чергою, можна розбити на декілька груп [4].

DIP світлодіоди (рис. 1.11). Світлодіоди цього типу є світловипромінюючим кристалом у вивідному корпусі, часто з опуклою лінзою. Типи корпусів: циліндричні, діаметром 3, 4, 5, 8, 10... мм, та прямокутні.

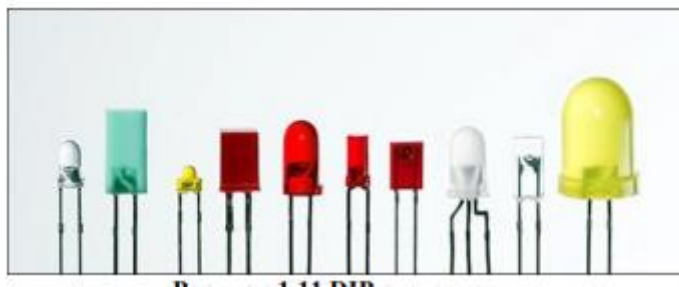


Рис. 1.11 DIP світлодіоди

Випускаються в широкому спектральному діапазоні - від 380 нм до 680 нм. Можуть бути як одноколірними, так і багатобарвними (коли в одному корпусі зосереджено кілька кристалів різних кольорів), - наприклад, RGB.

Super Flux Piranha (рис. 1.12). Конструктивно світлодіоди «Піранья» є надяскравими світлодіодами у прямокутному корпусі з чотирма висновками. Така конструкція дозволяє надійно закріпити світлодіод на платі.



Рис. 1.12 Світлодіод Super Flux «Piranha»

Доступні різновиди: червоний (довжина хвилі випромінювання 620-635 нм), зелений (довжина хвилі випромінювання 520-535 нм), синій (довжина хвилі випромінювання 460-475 нм) і три білих (розрізняються температурою овітлення від 285 до 10000 К). Випускаються в корпусах з лінзою (3 та 5 мм) і без неї. Кут розсіювання варіюється в межах від 40° до 120° . Область застосування Piranha – підсвічування автомобільних приладів, денних ходових вогнів, рекламних вивісок тощо.

Straw Hat (рис. 1.13). Поряд з Piranha, великий кут розсіювання світлового потоку мають світлодіоди типу Straw Hat («солом'яна шляпа»). Зовні вони нагадують звичайні циліндричні двовивідні LED, але з меншою висотою і збільшеним радіусом лінзи, за що і отримали свою назву.

Випромінюючий кристал у цих світлодіодах розташований ближче до передньої стінки лінзи, завдяки чому досягається кут розсіювання порядку $100\text{...}140^{\circ}$.



Рис. 1.13 Світлодіод Straw Hat

Випускаються червоні (620-625 нм), сині (450-465 нм), зелені (505-515 нм), жовті (580-595 нм) та білі LED. Завдяки здатності створювати неспрямоване випромінювання, можуть використовуватися в декоративних цілях, як заміна ламп аварійної тривоги та інших місцях, де потрібно рівномірне підсвічування з низьким енергоспоживанням.

SMD (Surface Mount Devices) світлодіоди (рис. 1.14). Окрім вихідних LED, випускаються світлодіоди типу SMD. Випускаються в дуже широкому спектральному діапазоні - від 370 нм до 700 нм. До них також слідувіднести надяскраві кольорові та білі світлодіоди потужністю близько 0.1 Вт в корпусі для поверхневого монтажу. Розміри корпусів зазвичай стандартні для будь-яких елементів типу SMD: 0603, 0805, 1210 і т.д., де маркування позначає довжину і ширину сотих частках дюйма або міліметрах. При цьому існують як різновиди з опуклою лінзою, так і без неї.

Завдяки простоті монтажу, на основі цих LED випускаються світлодіодні стрічки. Наприклад, широку популярність у цій галузі набув світлодіод Cree SMD 3528.



Рис. 1.14 SMD світлодіоди

Освітлювальні LED. Ці світлодіоди застосовуються при освітленні приміщень та вулиць у складі ліхтарів, автомобільних фар, світлодіодних стрічок тощо. У зв'язку з цим мають велику потужність, високу інтенсивність випромінювання і випускаються тільки в білому кольорі в корпусах для поверхневого монтажу.

Зазвичай виробляються два різновиди, що відрізняються колірною температурою: cool white (холодний білий) і warm white (теплий білий).

Оскільки кристалів, що випромінюють біле світло, у природі не існує, при виробництві освітлювальних світлодіодів вдаються до різних технологій змішування трьох базових кольорів (RGB). Від способу їх складання залежить колірна температура білого світла.

Одним із способів отримання білого світіння є покриття з променевого кристала трьома шарами люмінофора, причому кожен шар відповідає за свій

базовий колір. Інший метод полягає у нанесенні двох шарів люмінофора на кристал блакитного кольору.

Освітлювальні SMD (Surface Mounted Device) LED (рис. 1.15).

Більшість освітлювальних світлодіодів також випускаються у корпусах SMD. На відміну від індикаторних, характеризуються більшою потужністю та виробляються лише у білому кольорі.

Основна сфера застосування SMD - світлодіодні стрічки та лампи, переносні ліхтарі, фари автотранспорту. При цьому вони дають досить спрямоване випромінювання (порядку 100° - 130°), тому при освітленні великих територій доводиться використовувати велику кількість цих LED для рівномірного засвічення площі.



Рис. 1.15 Освітлювальні SMD світлодіоди

Конструктивно освітлювальні SMD являють собою (рис. 1.16) покритий люмінофором випромінюючий кристал на тепловідвідній підкладці, зазвичай мідної або алюмінієвої. Зустрічаються як різновиди з лінзою, так і без неї.

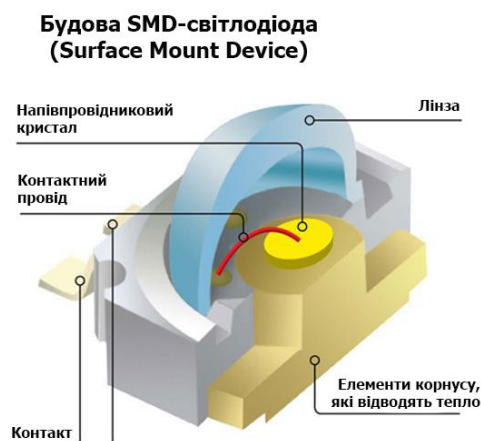


Рис. 1.16. Конструкція SMD світлодіода

COB світлодіоди. Велике поширення набули світлодіоди типу COB (Chip On Board, чіп на платі). По суті це інтеграція великої кількості (зазвичай кілька десятків) кристалів SMD в одному корпусі, які потім покриваються люмінофором.

На рис. 1.17 показані для порівняння Cree SMD 5050 (ліворуч) та COB - матриця з 36 чіпів (праворуч).



Рис. 1.17 Cree SMD та COB матриця

COB використовуються лише для освітлення. Їх світловий потік значно більше, ніж в одиночних SMD. Однак слід врахувати, що ці світлодіоди не підійдуть для створення вузькопрямованого випромінювання через великий кут розсіювання світлового потоку. При цьому створити абсолютно ненаправлене випромінювання теж не вийде - кут розсіювання світлодіодів менше 180°

Filament LED (рис. 1.18). Цей тип світлодіодів також використовується поки тільки для освітлення. Широкого поширення набули як декоративне підсвічування приміщень. Спектр свічення, на відміну від SMD і COB, набагато приємніше людському оку і нагадує світло лампи на розжарювання. При цьому зберігаються всі притаманні LED переваги: низьке енергоспоживання та тривалий термін служби.



Рис. 1.18. Filament LED

У той же час ККД Filament навіть вищий, ніж у тих же SMD - при одиничній потужності перші дозволяють отримати більшу освітленість. Це досягається за рахунок технології COG (Chip On Glass, чіп на склі), за якої світловипромінюючі кристали встановлюються на скляну підкладку, а потім покриваються люмінофор.

Сама підкладка має циліндричну форму, що дозволяє отримати кут розсіювання світлового потоку 360° . Тобто такі LED дуже хороші під час створення ненаправленого випромінювання.

Лазерні діоди (рис. 1.19). І насамкінець ще про один тип, який не можна віднести ні до індикаторних, ні до освітлювальних LED – лазерний діод. Власне, світлодіодом його можна вважати з натяжкою, оскільки за технологією виробництва він не має нічого спільного зі звичайними LED.



Рис. 1.19. Лазерний діод

Лазерні діоди є особливим чином оброблені напівпровідникові кристали, які при подачі напруги генерують дуже вузький пучок світла. При цьому зразки нового покоління дозволяють отримати кут розходження променя в межах $5-10^{\circ}$. Зустрічаються як моделі, що працюють у видимому діапазоні, так і поза ним (УФ та ІЧ).

1.5 Обґрунтування вибору джерела випромінювання

Органом фотосинтезу є лист, який одночасно виконує і низку інших функцій – дихання, транспірацію (випаровування) води та синтез фітогормонів – гіберелінів. Він має шарувату структуру: зовні знаходиться тонкий шар

сполучної тканини – епідермісу, захищеного шаром воскоподібної захисної речовини – кутикулою, а далі розташована основна тканина – мезофіл, яка зазвичай ділиться на щільну зону – стовпчастий мезофіл, який примикає до зовнішньої світлосприймальної сторони листка і пухку зону - губчастий мезофіл, у міжклітинному просторі якого циркулюють у процесі газообміну вуглекислий газ та кисень.

Тканини мезофілу пронизані судинними тканинами транспортної системи, за якими циркулює вода з розчиненими поживними речовинами, гормонами, ферментами та ін. На нижній (тіньовій) поверхні листа розташовані продихи, через які відбувається газообмін та випаровування води. Продихи утворені двома клітинами, які змінюють свою форму під впливом певних фітогормонів, відкриваючи або закриваючи таким чином отвори. Клітини мезофілу містять хлоропласти - автономні внутрішні утворення (органели), в яких і відбуваються всі процеси, пов'язані з фотосинтезом. Їх основу становлять молекули фоточутливих пігментів – хлорофілу А, хлорофілу В та каротиноїдів. Основну масу даних пігментів складають хлорофіли, що мають зелені відтінки, саме вони надають зеленого кольору листям. Восени хлорофіли руйнуються і колір листя визначається кольором каротиноїдів, що мають жовті та оранжеві відтінки. Крім хлорофілів і каротиноїдів до складу хлоропластів входять молекули і інших типів, що беруть участь у єдиному ланцюжку фотосинтезу, який включає кілька стадій, що виконуються декількома центрами.

Для опромінення зеленого листа необхідний синій та червоний спектри випромінювання і в невеликій кількості зелене випромінювання. Для реалізації даних спектрів опромінення підходять освітлювальні світлодіоди SMD RGB типу, змонтовані на світлодіодній стрічці. За допомогою приладу спектроколориметра ТКА було виміряно спектральні складові RGB чіпа, які представлені на рис. 1.20 – 1.22.

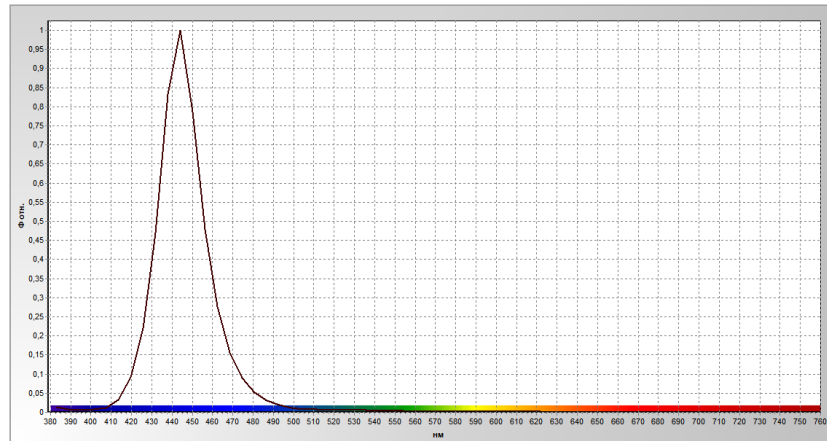


Рис. 1.20. Спектр випромінюваний синім кристалом RGB чіпа

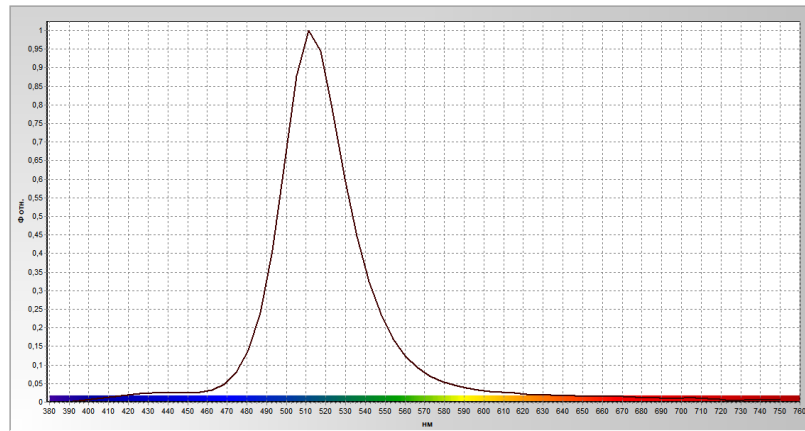


Рис. 1.21. Спектр випромінюваний зеленим кристалом RGB чіпа

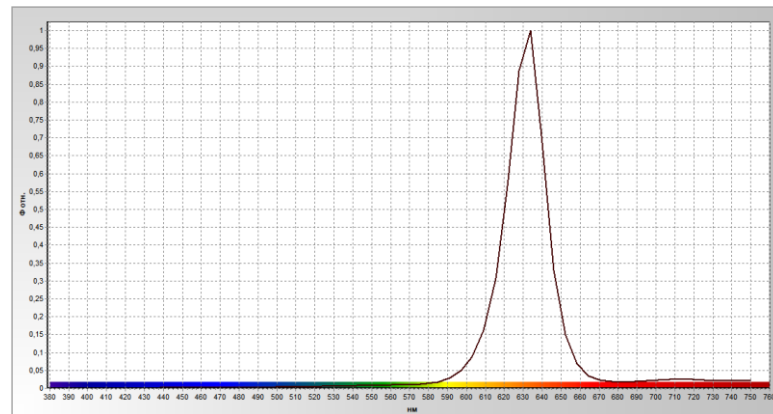


Рис. 1.22. Спектр випромінюваний червоним кристалом RGB чіпа

З рис. 1.20-1,22 видно, що RGB чіп дозволить реалізувати необхідний спектральний склад випромінювання для зеленого листа. Крім цього, пікове випромінювання зеленого кристала RGB чіпа знаходиться в зоні синього випромінювання, що забезпечить додаткове випромінювання в зоні вироблення каротиноїдів.

У існуючих світлодіодних ФОУ спектр регулюється кількісним складом світлодіодів різних кольорів у фітоустановці. Отже, доцільно розробити алгоритм управління програмованим логічним контролером, що дозволяє змінювати спектральний склад зони ФАР для отримання найбільшого приросту площі листа при зменшенні енерговитрат.

Висновки по розділу

Аналіз спеціальної вітчизняної та зарубіжної літератури показав, що є широкий асортимент фітоустановок на базі LED, які ефективно використовуються в захищеному ґрунті.

На продуктивність рослин, зокрема, і на фотосинтез насамперед впливає спектральні складові зони ФАР, далі температура повітря і ґрунту, вміст CO₂ і т.д. Отже, необхідно розробити фітоопроміняльну установку, випромінювання якої входить в діапазон спектральних складових зони ФАР.

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ СТРІЧКОВИХ RGB ФІТООПРОМІНЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК ПРИ ОПРОМІНЕННІ МІКРОКЛОНАЛЬНОГО ВИНОГРАДУ

За рахунок фотосинтетичної діяльності рослин утворюється до 95% врожаю сільськогосподарських культур. Фотосинтетична радіація (ФАР) входить до складу сонячного випромінювання. З появою різнокольорових світлодіодів з'явилася можливість створювати найефективніший для конкретної культури спектр випромінювання. Тому розробка екологічних чистих, пожежо- та електробезпечних, ефективних інтелектуальних світлодіодних фітоустановок (LED фітоустановок), що дозволяють знизити витрату електричної енергії на опромінення при підвищенні продуктивності рослин, є актуальним завданням [2].

Для вирішення цього завдання було вирішено розробити програмне забезпечення для програмованих логічних контролерів (ПЛК), що керують роботою RGB світлодіодів для реалізації найбільш ефективного режиму опромінення для конкретної культури [2].

У дослідях року використовувалися точкові світлодіоди різного кольору. В даний час нами були розроблені три фітоопромінювальні установки на RGB світлодіодних стрічках У світлодіодній стрічці знаходяться три види діодів: червоні, зелені та сині, які з'єднані послідовно. Візуально випромінювання має лілово-бордовий колір, що нагадує випромінювання розрядних фіто ламп ЛФ40-1 та ЛФ-40-2, розроблених вченими у 60-х роках минулого сторіччя [2].

На підставі вивчених даних з опромінення мікроклональних рослин була розроблена дослідна стрічкова RGB світлодіодна фітоопромінна установка (ФОУ 1 відрекр), з екранами, що відбивають, для збільшення концентрації світлового потоку, структурні схеми та фотографія у робочому режимі якого зображені на рис. 1 та 2. Як джерело світла використовуються світлодіодні

стрічки, але в даному випадку один чіп містить три види світлодіодів також червоного, зеленого і синього світіння [2].

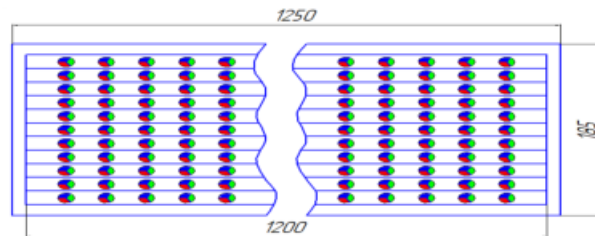


Рис. 2.1. Структурна схема ФОУ 1_{відрекр}



Рис. 2.2. ФОУ 1_{відрекр} в робочому режимі

У цій ФОУ використовувалися чіпи марки SK6812MINI, технічні характеристики яких наведені у табл. 1 та на рис. 3...5 [2].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики чіпа марки SK6812MINI

Параметр	Максимальне значення	Одиниця вимірювання
Робочий діапазон температури	-40°C – + 85 °C	
Робочий струм	30	мА
Робоче напруження	3,5-5	А

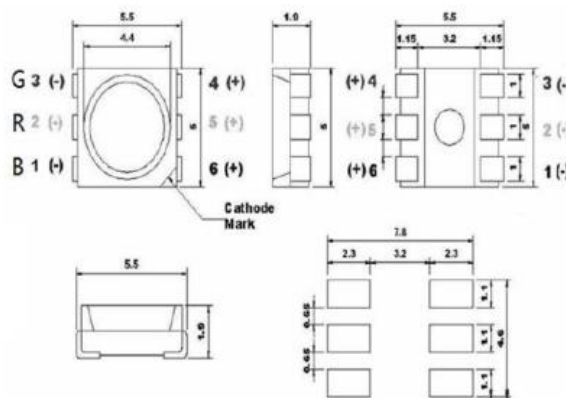


Рис. 2.3 Розміри світлодіодних RGB чіпа

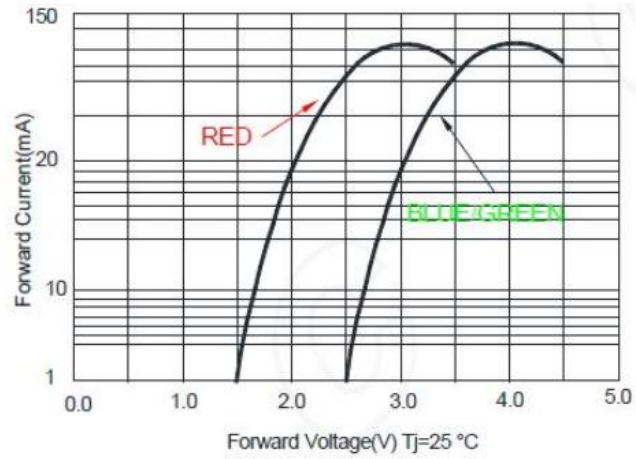


Рис. 2.4. Вольт – амперна характеристика RGB світлодіодного чіпа

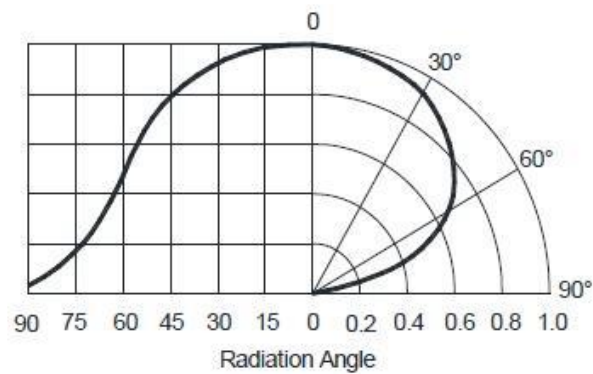


Рис. 2.5 Просторовий розподіл світлового потоку

Також була розроблена стрічкова RGB світлодіодна фітоопромінна установка з ультрафіолетовими світлодіодами (ФОУ 2УФ) (рис. 2.6 – 2.7).

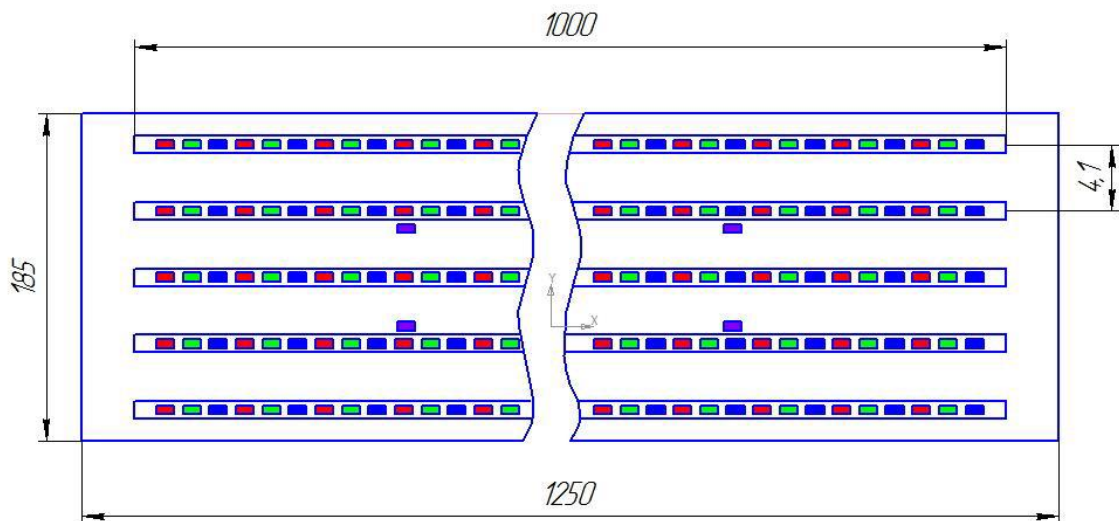


Рис. 2.6. Структурна схема ФОУ 2_{уф}

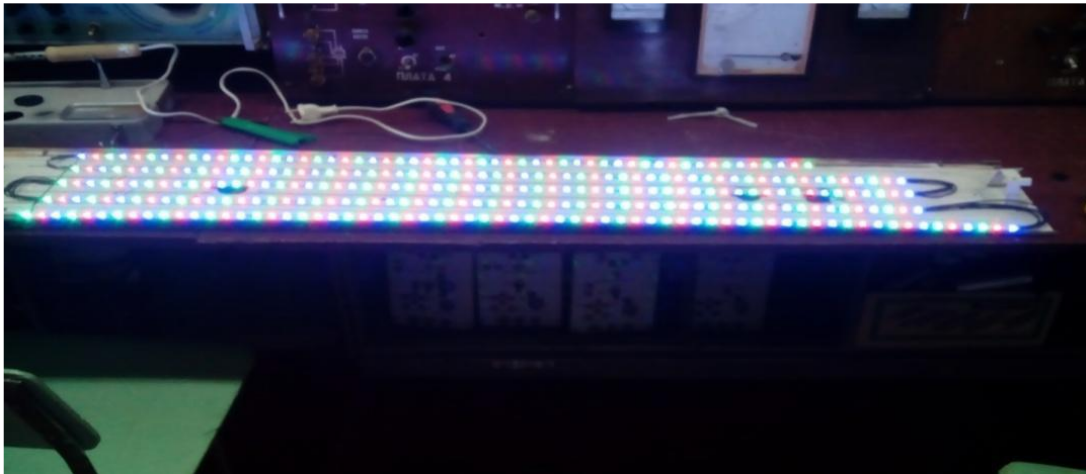


Рис. 2.7. ФОУ $2_{\text{уф}}$ у робочому режимі.

Підставою для фітоопромінювача стала підстава від світильника, призначеного для включення двох люмінесцентних ламп потужністю 36 Вт. Як джерело світла використовується світлодіодна стрічка довжиною 5 метрів із трьома типами світлодіодів: червоні, зелені, сині.

Під час монтажу світлодіодна стрічка була розділена на 5 частин, кожна довжиною 1 метр. Світлодіодна стрічка кріпиться до світильника в 5 рядів на клейову основу стрічки. Далі було зроблено послідовне з'єднання кожної частини один з одним за допомогою припаювання проводів до світлодіодної стрічки. Кожен ряд містить 60 світлодіодів, з них: 20 – червоних, 20 – зелених, 20 – синіх.

У даній світлодіодній стрічці використані такі марки світлодіодів: зелений – TO3228BC-PG, червоний – TO3228BC-MRG, синій – TO3228BC-BF.

На рисунках 2.8 - 2.10 та таблиці 2.2 наведено характеристики зеленого світлодіода [3].

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики зеленого світлодіоду марки TO3228BC-PG

Параметр	Максимальне значення	Одиниці вимірювання
Робочий струм	25	мА
Робоче напруження	5	В
Робочий діапазон температури	-40° - + 80°C	

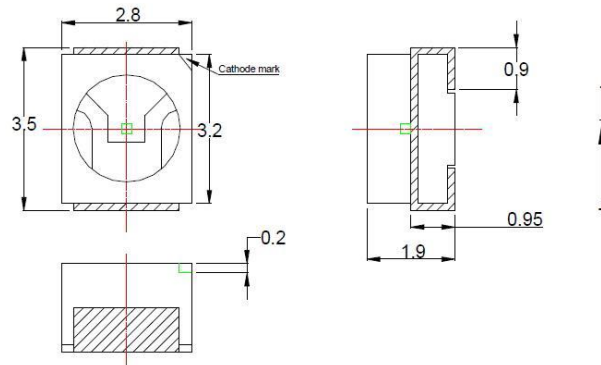


Рис. 2.8. Розміри зеленого світлодіода.

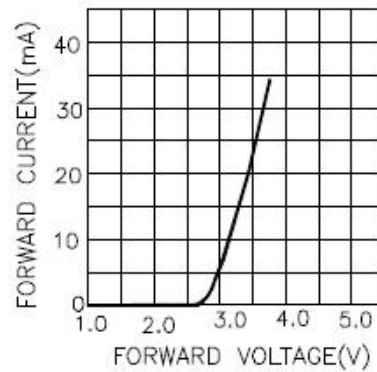


Рис. 2.9. Вольт-амперна характеристика зеленого світлодіода

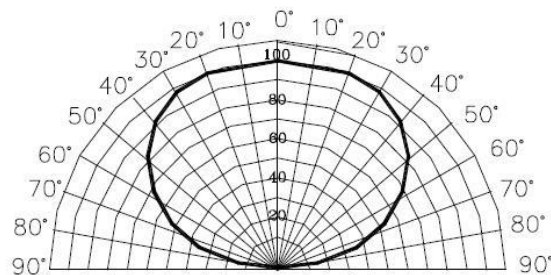


Рис. 2.10. Просторовий розподіл світлового потоку зеленого світлодіода

На рис. 2.11 – 2.13 та у таблиці 2.3 наведено характеристики червоного світлодіода [6].

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики червоного світлодіода марки TO3228BC-MRG

Параметр	Максимальне значення	Одиниці вимірювання
Робочий струм	25	мА
Робоче напруження	5	В
Робочий діапазон температури	-40° - + 80°C	

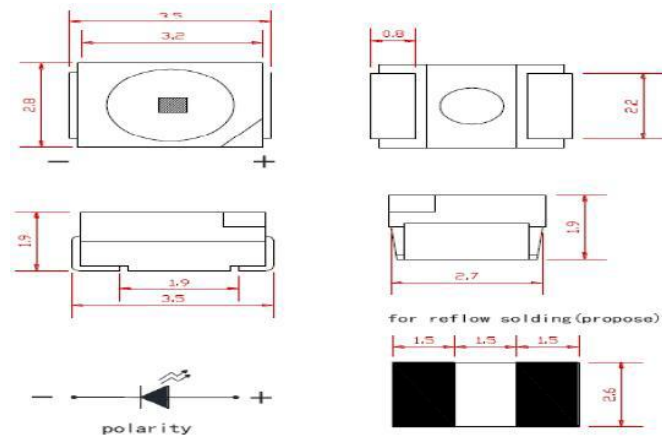


Рис. 2.11. Розміри червоного світлодіода

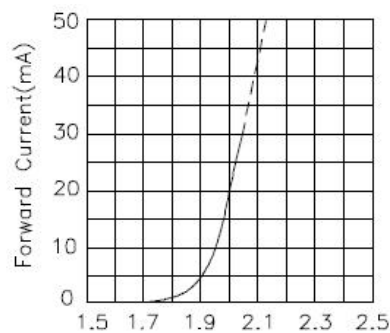


Рис. 2.12. Вольт амперна характеристика червоного світлодіода

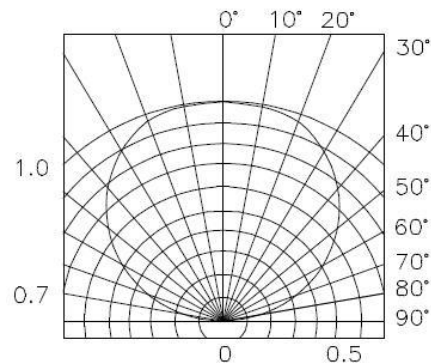


Рис. 2.13. Просторовий розподіл світлового потоку червоного світлодіода

На рисунках 2.14 – 2.16 та в таблиці 2.4 наведено характеристики синього світлодіода [6].

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики синього світлодіода марки TO3228BC-B

Параметр	Максимальне значення	Одиниці вимірювання
Робочий струм	25	мА
Робоче напруження	5	В
Робочий діапазон температури	-40° - + 80°C	

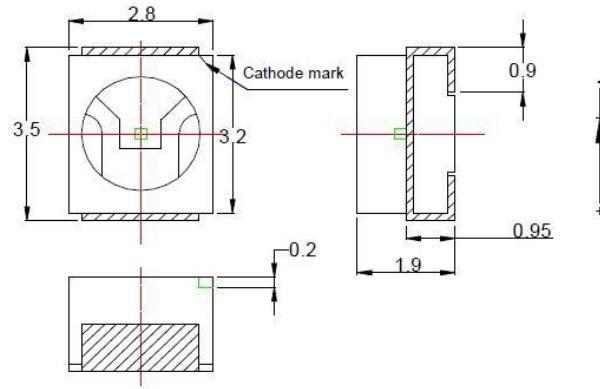


Рис. 2.14. Розміри червоного світлодіода

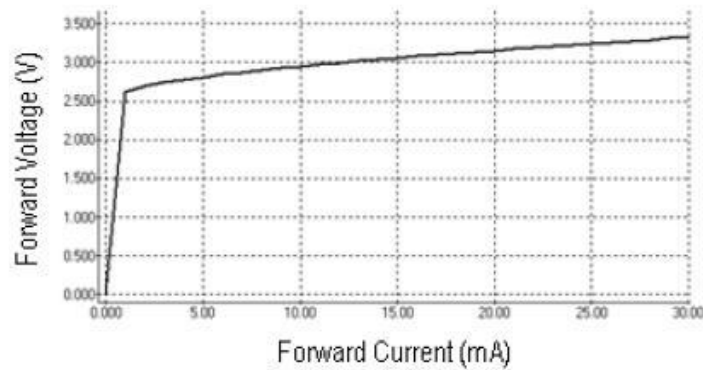


Рис. 2.15. Вольт-амперна характеристика синього світлодіода

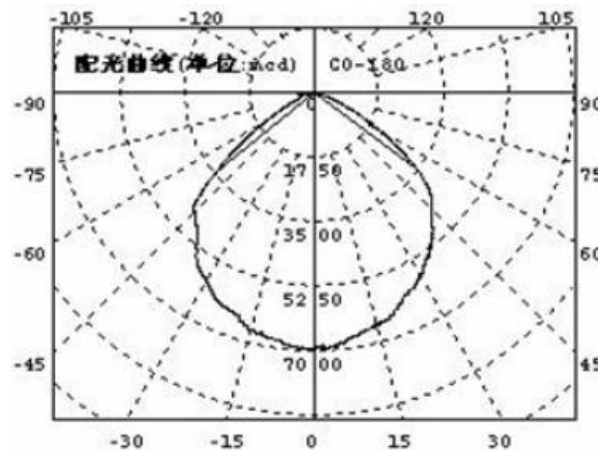


Рис. 2.16. Просторовий розподіл світлового потоку синього світлодіода

Пропонується використовувати світильник не тільки для вирощування мікроклональних рослин у пробірках, але і також для подальшого вирощування їх у ґрунті. З урахуванням цього до фітоопромінювача додано 6 ультрафіолетових світлодіодів.

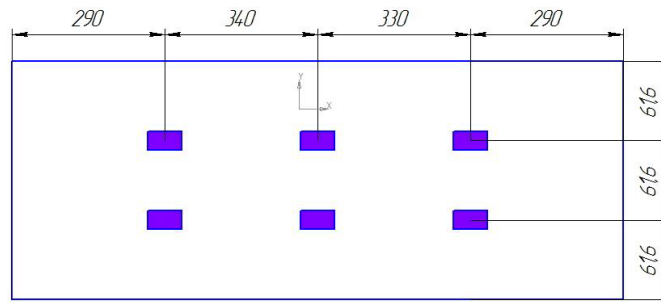


Рис. 2.17 Розташування ультрафіолетових світлодіодів у фітоустановці

Ультрафіолетове випромінювання – це світлові промені, що мають довжину хвилі 10-400 нм. Можна розділити ці хвилі на 3 зони [9]:

Зона С 200-290 нм;

Зона В 290-350 нм;

Зона А 350-400 нм.

Зона С. Подібне випромінювання впливає на біомолекули. Воно поглинається білками і нуклеїновими кислотами. У результаті розриваються хімічні зв'язки. Відбувається мутація нуклеїнових кислот, а білки просто не виконують своїх функцій. Також утворюються вільні радикали і перекис водню. Через процеси окислення клітина руйнується. Подібний спектр використовується як бактерицидний.

Зона В. Що стосується рослин, то середні хвилі не є небезпечними тільки при впливі короткий час. Від постійного впливу рослина може загинути. Тобто якщо опромінювати його по 20 хв щодня, відбувається посилення зростання у багатьох видів. Головне – це дотримуватись доз.

Зона А. Спектр практично нешкідливий для людей та рослин. Але й стимулюючого ефекту за сильного, але короткого опромінення немає. А довготривалий вплив позитивно позначається на сільськогосподарських культурах. Промені цього спектра хороші, як частина штучного освітлення. Це не завдасть шкоди рослині.

Для визначення випромінювальної зони дослідним фітоопромінювачем була виміряна енергетична опроміненість при різних значеннях вхідної напруги в кожній із зон ультрафіолетового випромінювання. Вимірювання проводилися

в трьох точках у місцях розташування ультрафіолетових світлодіодів. Результати вимірювань представлені у табл. 2.4 та на рис. 2.18 – 2.22.

Таблиця 2.5 – Енергетична опроміненість, що видається УФ світлодіодами у різних зонах залежно від напруги.

Напруження, яке подається на LED	1 точка		2 точка		3 точка	
	Зона А УФ випромінювання мВт/м ²	Зона С УФ випромінювання мВт/м ²	Зона А УФ випромінювання мВт/м ²	Зона С УФ випромінювання мВт/м ²	Зона А УФ випромінювання мВт/м ²	Зона С УФ випромінювання мВт/м ²
11,03	30	-	20	-	21	-
12,08	48	5	35	2	33	2
12,1	42	-	31	-	27	-
12,3	44	-	36	-	29	-

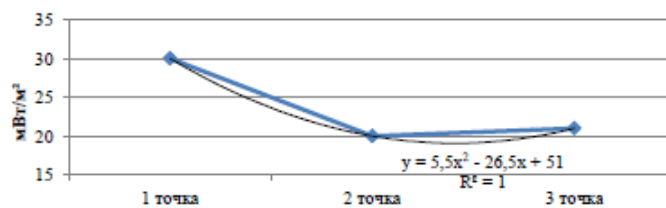


Рис. 2.18. Значення УФ випромінювання зони А при U=11.03 В

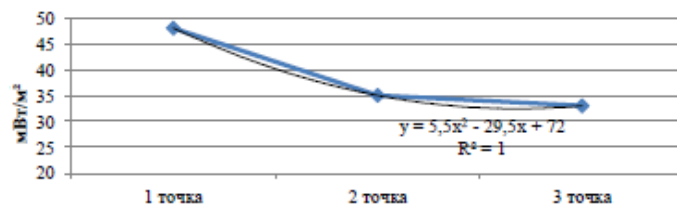


Рис. 2.19. Значення УФ випромінювання зони А при U=12.08 В

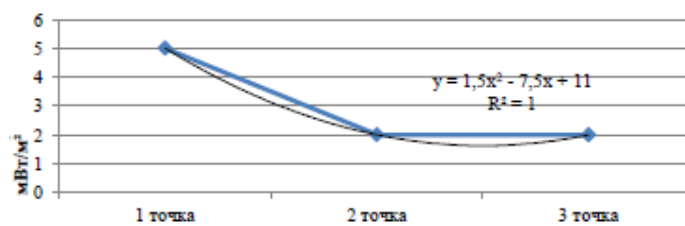


Рис. 2.20. Значення УФ випромінювання зони С при U=12.08 В

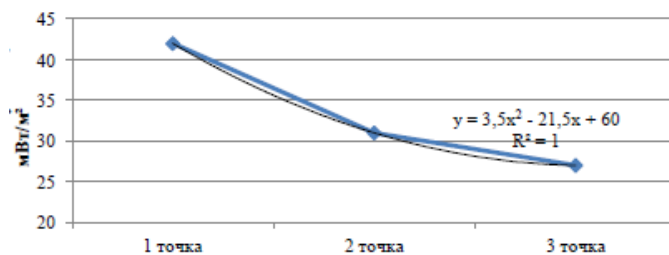


Рис. 2.21. Значення УФ випромінювання зони А при U=12.1 В

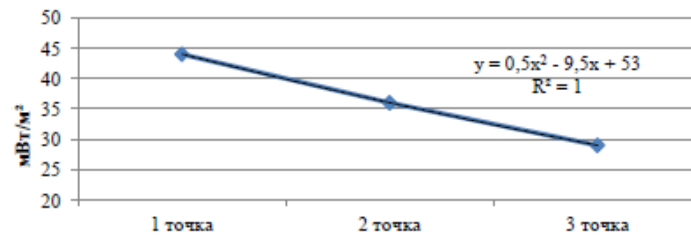


Рис. 2.22. Значення УФ випромінювання зони А при $U=12.3$ В

Поглинання листям оптичного випромінювання залежить від його спектрального складу, товщини листа, внутрішньої будови та стану його поверхні, а також від складу та концентрації в листі пігментів. Зелений лист рослини поглинає 80...90% сумарного фотосинтетично активного випромінювання, що падає на нього, відображає 5...10 % і приблизно стільки ж пропускає. З усієї енергії, що падає на рослини, приблизно лише 2% її використовується на фотосинтез, решта поглиненої енергії випромінювання перетворюється на рослину в теплоту. Для отримання добре розвинених рослин та високої продуктивності фотосинтезу лампи фітоустановок повинні мати не лише спектр випромінювання в діапазоні 300...750 нм, але й забезпечувати необхідну дозу кожної спектральної складової [3, 4, 6].

Для аналізу складових спектра сонячного випромінювання зони ФАР, а також дози кожної спектральної складової сонячного випромінювання необхідно проаналізувати переміщення Сонця по небосхилу для цього географічного поясу.

На підставі вивчених даних було розроблено спектр випромінювання для опромінення мікроклонального винограду «РФ 48».

Таблиця 2.6 – Співвідношення RGB випромінювання

Мікроклональна культура	Синє випромінювання, %	Червоне випромінювання, %	Зелене випромінювання, %
Виноград	50	40	10

Для комбінування випромінювань необхідно застосувати програмований логічний контролер. Аналіз існуючих ПЛК показав, що можна використовувати інтелектуальне реле Zelio Soft фірми Schneider Electric [3, 4]. З урахуванням імпортозаміщення, можна використовувати ПЛК фірми ОВЕН. Обидва ПЛК

мають широкі можливості, але в нашому випадку ми не зможемо скористатися ними, крім цього, дані ПЛК досить дорогі. Тому для розробки інтелектуальної світлодіодної фітоустановки ми пропонуємо використовувати мікроконтролер ATmega328 [3, 4, 5], який і змішує кольори в потрібній пропорції. Перевага віддана цьому мікроконтролеру через те, що він простий у використанні і має доступну ціну в межах 150 ... 450 грн.

Після визначення відсоткового співвідношення червоного, синього та зеленого випромінювань необхідно внести їх у програму контролера. Контролер у свою чергу керує фітоопромінювачем.

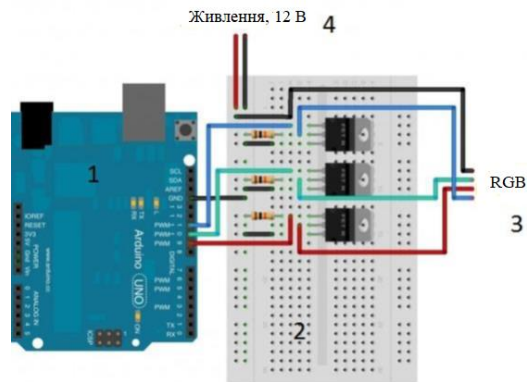


Рис. 2.23. Схема управління фітоопромінювачем

На рис. 2.23 показано схему управління, де 1 – плата Arduino UNO з вмонтованим в нього мікроконтролером ATmega328. Вибір зробили виходячи із зручностей, які представляє платформа Arduino. А саме це зручність завантаження програми в контролер та зручність написання алгоритму програми; 2 – Макетна плата із встановленими транзисторами; 3 – Фітоопромінювач; 4 – Джерело живлення 12 Ст.

Для написання алгоритму роботи програми для дози ФАР необхідно створити алгоритм роботи установки. Зростання та розвиток мікроклональних рослин у пробірці відображає вегетативний період росту у відкритому ґрунті. Вегетація винограду починається при досягненні середньодобової температури 6-10 градусів. В ареалі росту винограду така температура досягається у квітні, отже використовуємо дані тривалості світлового дня для квітня.

Ці дані ми вносимо у програму управління фітоопромінювачем. Програма пишеться на ПК. У цьому випадку мікроконтролер повністю управлятиметься від ПК. У мікроконтролер у разі завантажується протокол Firmata. Firmata – це базовий протокол, який надає можливість для комунікації між мікроконтролером та ПЗ, що працює на комп'ютері.

Даний спосіб, хоча і він менш економічний, але більш зручний для процедури налагодження програми [2, 8, 9, 12]. І на етапі перевірки та первинного впровадження є менш витратним варіантом. Використання ПК не так проблематично нині. Це може бути будь-який комп'ютер, який знаходиться в кроковій доступності до фітоопромінювача. Програма може працювати у фоновому режимі і не завдає істотної шкоди працездатності програми.

Створення програмного забезпечення для комп'ютера здійснили в мові Processing. Processing – відкрита мова програмування, що базується на Java. Являє собою легкий та швидкий інструментарій.

На рис. 2.24 представлена принципова електрична схема управління фітоопромінювачем, в який комп'ютер згідно з алгоритмом програми, через USB-інтерфейс управляє дозуванням ФАР через мікроконтролер. У свою чергу, мікроконтролер за допомогою ШІМ управляє транзисторами, зібраними на платі. База транзисторів підключається до виходів мікроконтролера, колектор підключається до світлодіодної стрічки певного кольору, а емітер підключається до землі GND. Між базою та виведенням контролера встановлено резистор 100 - 220 Ом. До мікроконтролера UNO підключається джерело живлення напруги 9 - 12 Вольт, а +12 від світлодіодної стрічки необхідно підключити до вивода Vin контролера. Можна використовувати 2 роздільні джерела живлення, тільки не потрібно з'єднати "GND" джерела та контролера. Управління транзисторами здійснюється широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ). Це дозволить транзисторам відкривати свій затвор залежно від отриманого завдання (0-5 В) і цим управляти накалом світлодіодів.

Живлення фітоопромінювача здійснюється від комп'ютерного блоку живлення IW – P250A2 – 0.

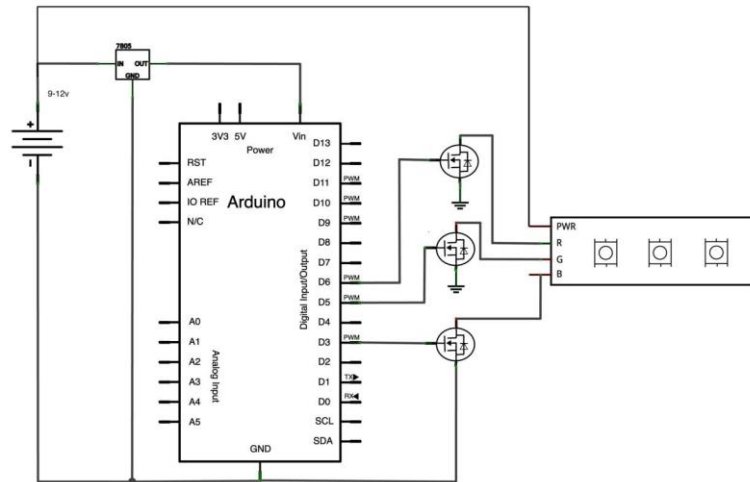


Рис. 2.24. Принципова електрична схема управління стрірковою світлодіодною RGB фітоопромінювальною установкою.

Програма являє собою циклічний алгоритм роботи з контролем часу опромінення рослин, а також з датою початку та закінчення опромінення. Програма буде занесена в папку автозапуску комп'ютера, це дасть можливість при перезапуску системи комп'ютера запуснути програму без допомоги людини, відповідно відновити роботу опромінювача самостійно, оскільки час та дату програма бере із системи комп'ютера. Візуальна частина представлені на рисунках 2.25.

```

arduino.analogWrite(9, 255);
arduino.analogWrite(11, 184);
}
if(vkl==false){
    text("\u041e\u0441\u0432\u0435\u0449\u0435\u043d\u0438\u0438\u0435
\u0432\u044b\u0430\u043b\u044e\u0447\u0447\u0435\u043d\u0438\u043e", 75, 400);
    arduino.analogWrite(5, 0);
    arduino.analogWrite(3, 0);
    arduino.analogWrite(6, 0);
}
slo=31-hi;
hi+=11;
vkl=true;
}
if(d==30 & h==19 & mi==18 & s==33){
    vkl=false;
}
//11 \u0434\u0435\u0435\u043d\u044c
if(d==31 & h==5 & mi==2 & s==0){
    hi+=12;
    vkl=true;
}
if(d==31 & h==19 & mi==19 & s==31){
    vkl=false;
}
//12 \u0434\u0435\u0435\u043d\u044c

```

Рис. 2.25 Фрагмент програми для опромінення ФАР

Після розробки фітоопромінальних установок за допомогою приладу спектроколориметра ТКА були зроблені виміри спектрів, випромінюваних кожної фітоопромінної установки: першої ФОУ 1_{отрекр}, другої ФОУ 2_{уф} і третьої ФОУ 3_{отрекрмакс}, які зображені на рисунках 2.26 - 2.28.

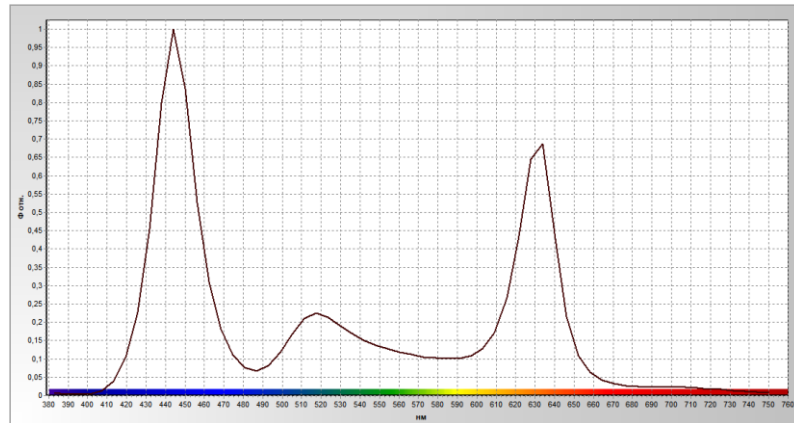


Рис. 2.26. Спектр випромінювання ФОУ 1_{отрекр}

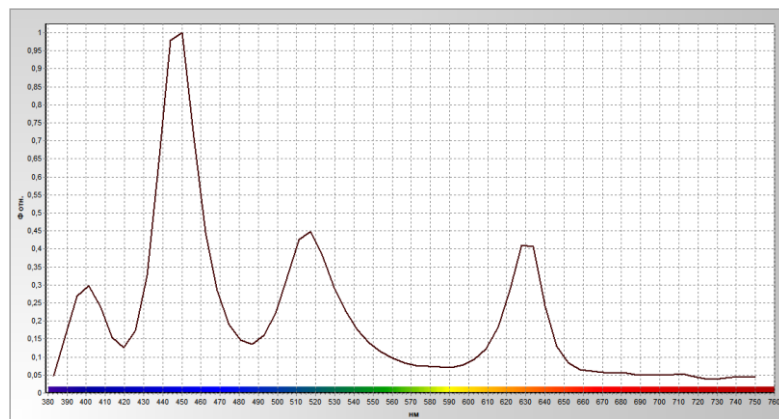


Рис. 2.27. Спектр випромінювання ФОУ 2_{отрекр}

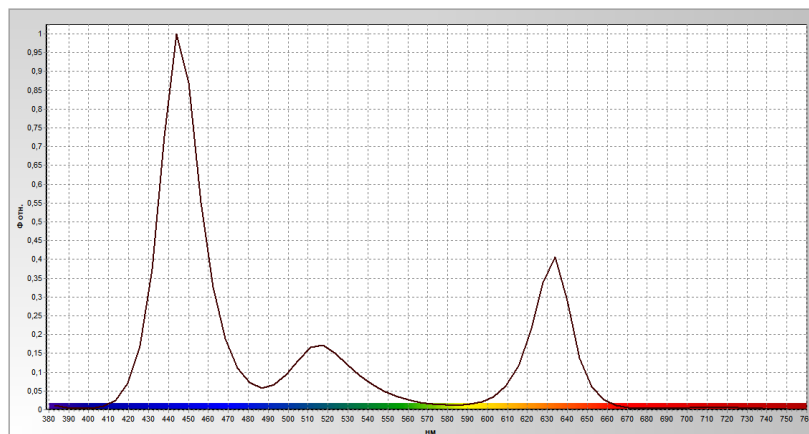


Рис. 2.28. Спектр випромінювання ФОУ 3_{отрекрмакс}

За допомогою програмного забезпечення DIALux було здійснено розрахунок освітленості, створюваний розробленими фітоопромінними

установками. Результати розрахунку освітленості для ФОУ 1_{отрек} зображені на рис. 2.29 – 2.30, для ФОУ 2_{уф} на рис. 2.31 – 2.32.

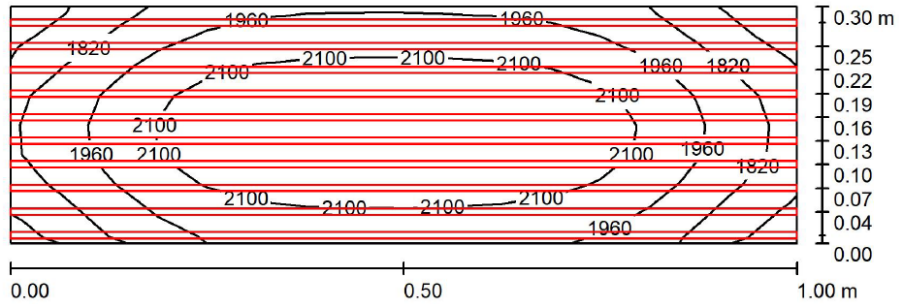


Рис. 2.29. Розподіл випромінювання ФОУ 1_{отрек} по поверхні стелажу

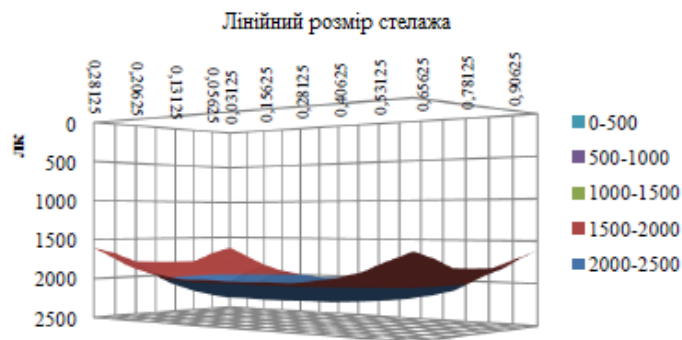


Рис. 2.30. Візуалізація випромінювання ФОУ 1_{отрек}

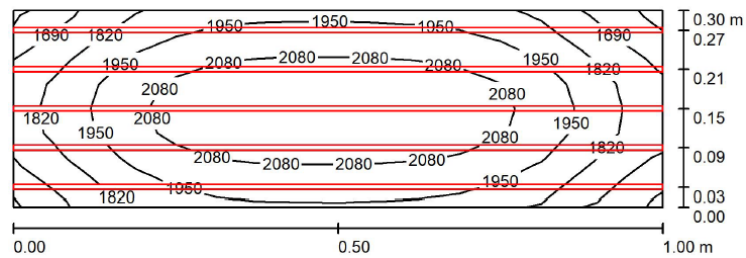


Рис. 2.31. Розподіл випромінювання ФОУ 2_{уф} по поверхні випромінювання.

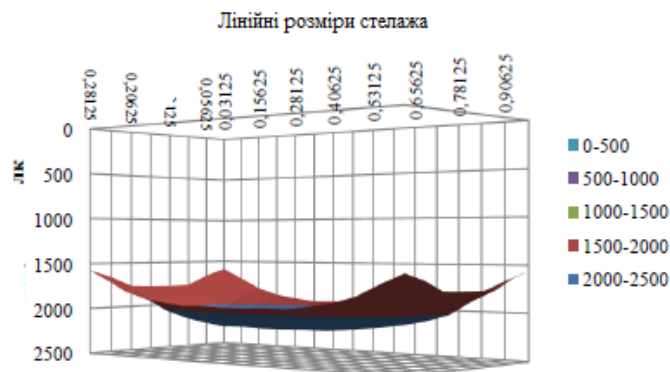


Рис. 2.32. Візуалізація випромінювання ФОУ 2_{уф}

Для найбільшої ефективності опромінення рослин фітоопромінні установки повинні забезпечувати рівномірне освітлення. Також скориставшись програмним забезпеченням DIALux був проведений розрахунок рівномірності освітлення пробірок, як з урахуванням рівномірного розташування один щодо одного так і з урахуванням їх нерівномірних нахилів щодо один одного. Результати розрахунку рівномірності освітлення пробірок зображені на рис. 2.33- 2.34.

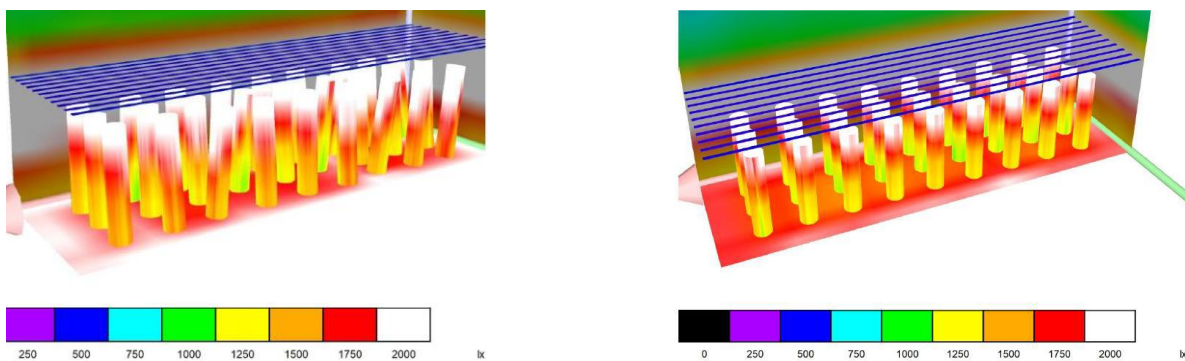


Рис. 2.33 Рівномірність освітлення пробірок під ФОР 1_{отркр}: а – пробірки з нерівномірним нахилом щодо один одного; б – пробірки розташовані рівномірно одна відносно одної.

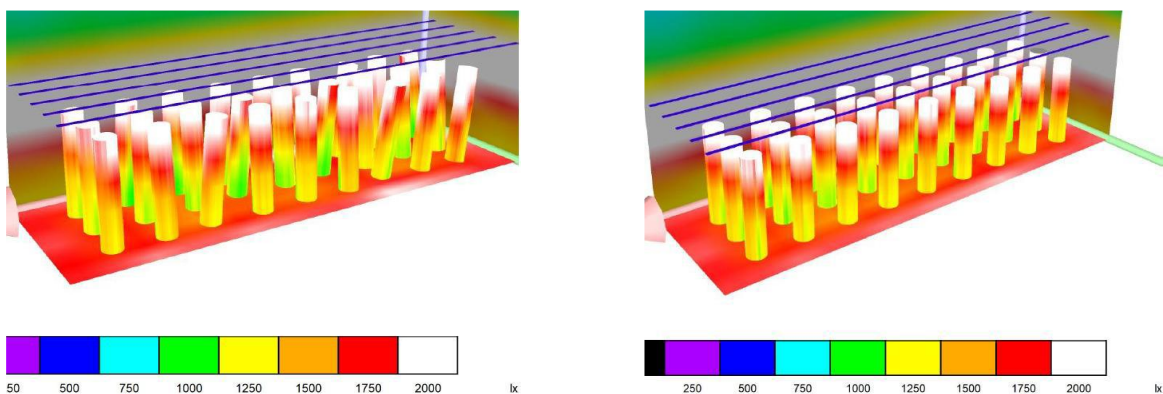


Рис. 2.34. Рівномірність освітлення пробірок під ФОР 2_{уф}: а – пробірки з нерівномірним нахилом щодо один одного; б – пробірки розташовані рівномірно одна відносно одної.

З рис. 2.33 - 2.34 видно, що розроблені фітоопромінювальні установки забезпечують досить рівномірну освітленість і розташування пробірок незначно впливає на цей показник, що є важливою умовою для штучного джерела опромінення.

Висновки по розділу

1. На підставі аналізу спеціальної літератури нами у 2022 році були розроблені дві експериментальні стрічкові RGB фітоопромінні установки, які дозволяють комбінувати спектральні складові випромінювання.

2. Для реалізації технічних завдань для ФОУ був розроблений алгоритм комбінування кольорів. Реалізація режимів опромінення здійснювалася за допомогою мікроконтролера ATmega 328, для яких були розроблені відповідні програми управління з імітації сонячного спектру для винограду – протягом 30 днів: протягом 15 днів як у березні, потім 15 днів як у квітні.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ І ВИРОБНИЧИХ ВИПРОБУВАНЬ

Виробничі випробування з різними фітоопромінювальними установками проводилися нами в лабораторії Поліського національного університет. У дослідах порівнювали чотири варіанти:

1. ФОУ 1_{отрекp}: стрічкова світлодіодна RGB фітоопромінювальна установка з екранами, що відбивають, в режимі комбінування спектрального складу потужністю 30 Вт.

2. ФОУ 2_{уф}: Стрічкова світлодіодна RGB фітоопромінювальна установка з ультрафіолетовими світлодіодами в режимі комбінування спектрального складу потужністю 30 Вт.

3. ФОУ 3_{отрекpмакс}: Стрічкова RGB світлодіодна фітоопромінювальна установка з екранами, що відбивають, працює без змішування кольорів в режимі максимальної потужності світлодіодів 42 Вт.

4. ФОУ 1_{отрекp} (з меншим часом роботи): стрічкова світлодіодна RGB фітоопромінювальна установка з екранами, що відбивають, в режимі комбінування спектрального складу потужністю 30 Вт.

Загальна площа поверхні листя на етапах *invitro* та *exvitro* вимірювалася приладами-проекторами через кожні 5 днів зростання винограду і визначалася як середня арифметична від суми двох взаємно перпендикулярних проєкцій листя рослин (рис. 2.1-2.2)

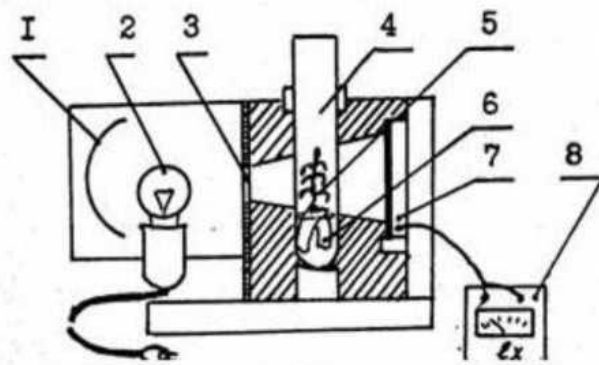
У таблиці 3.1 наведено результати досліджень:

Таблиця 3.1 – Результати дослідів з опромінення мікроклонального винограду «РФ 48» на етапі наростання площі листя (проліферації)

Параметри	Опромінювальні установки			
	ФОУ 1 _{отрекp}	ФОУ 2 _{уф}	ФОУ 3 _{отрекpмакс}	ФОУ 1 _{отрекp} (з меншим часом роботи)
Час роботи опромінювальної установки, год	380	380	470	340

Продовження таблиці 3.1

Потужність опромінювальної установки	кВт	0,02	0,02	0,041	0,02
	%	71,51	71,51	100	71,51
Витрата електроенергії	кВт·год	11,8	11,8	20,14	10,4
	%	58,03	58,03	100	58,03
Зміна площі листя	мм ²	97,65	66,87	36,56	62,08
	%	265,93	177,11	100	169,31
Питомі затрати електроенергії	кВт·год/мм ²	0,12	0,19	0,56	0,17
	%	19,8	33,69	100	28,96



а)



б)

Рис. 2.1 Прилад-проектор для визначення загальної площі листя мікроклональних рослин на етапах *in vitro*: а) – схема приладу; 1 – відбивач; 2 – джерело випромінювання; 3 – матове скло; 4 – пробірка; 5 – рослина; 6 – місток для закріплення рослини; 7 – селеновий фотоелемент; 8 – люксометр Ю-16; б) – загальний вигляд.



Рис. 2.2 Загальний вигляд приладу проектора для визначення загальної площі листя мікроклональних рослин на етапі *ex vitro*.

На рис. 2.3 показаний виноград, вирощений під стрічковими RGB світлодіодними фітоопромінювальними установками та люмінесцентними світильниками.



Рис. 2.3 Мікроклональний виноград в кінці етапу вкорінення (зліва направо: під світильником ЛПО з газорозрядними лампами низького тиску; під LED фітоустановкою з відбиваючими екранами працюючою в максимальному режимі; під LED фітоустановкою з ультрафіолетовими світлодіодами в режимі змішування кольорів, під LED фітоустановкою з відбиваючими екранами в режимі змішування кольорів).

Висновки по розділу

В експериментах з мікроклональним виноградом використовувалися світлодіодні стрічкові RGB фітоопромінні установки. На етапах нарощування коренів і наростання площі листя *in vitro* ефективнішою була фітоопромінювальна фітоустановка з відбиваючими екранами (ФОУ 1_{отрекр}), що дозволяє заощадити електричну енергію до 75% при поліпшенні якості мікроклонального винограду в 2,5 рази. Однак на етапі висадження в ґрунт ефективніше виявилася фітоопромінювальна установка з УФ світлодіодами (ФОУ 2_{уф}), що дозволяє заощадити електричну енергію до 60% при поліпшенні якості мікроклонального винограду в 1,5 рази.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Аналіз літератури показує, що в даний час на ринках світлотехнічної продукції представлений широкий асортимент світлодіодних фітоустановок, використання яких дозволяє отримати різні спектри випромінювання зони ФАР, але регулювання спектральних складових випромінювання здійснюється за рахунок кількості світлодіодів різного кольору. Особливо не вивчене опромінення мікроклональних рослин винограду з використанням програмованих логічних контролерів для комбінування випромінювання RGB світлодіодів.

Запропонований алгоритм роботи МСАУ стрічковими RGB ФОУ та розроблена програма для мікроконтролера ATmega328 дозволяють збільшити у винограду площу листя в 2,5 рази на етапі наростання площі листя та нарощування коренів і в 1,5 на етапі адаптації в порівнянні з контрольним зразком.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Мельничук М. Д., Новак Т. В., Кунах В. А. Біотехнологія рослин. Підручник. Київ: Поліграфконсалтинг, 2003. 520с.
2. Савченко Л. Г., **Постольник С. О.** Розробка технічних рішень для реалізації стрічкових RGB фітоопромінювальних установок при опроміненні мікроклонального винограду. Студентські читання–2022: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 30 листопада 2022 р. Житомир: Поліський національний університет, 2022. С. 49-51.
3. Савченко Л. Г., **Постольник С. О.** Загальні відомості про мікроклональну технологію. Збірник тез доповідей XXIII Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (16–18 жовтня 2022 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Київ. Житомир. 2022.С. 345-347.
4. Ніколайчук С. І., Горбатенко І. Ю. Генетична інженерія. Ужгород, 1999. 101с.
5. Савченко В. М., Міненко С. В., Махов О. А. Стратегії контролю процесами мікроклімату в індустриальних теплицях. Збірник тез VII Всеукр. Наук.-практ. Конф. студентів та аспірантів "Підвищення надійності машин і обладнання". Кіровоград : КНТУ, 2013. С. 48-50.
6. Гіль Л. С. Сучасні технології овочівництва закритого і відкритого ґрунту. Ч.1. Закритий ґрунт. Навчальний посібник. Вінниця : Нова Книга. 2008. 368 с.
7. Приліпка О. В. Тепличне овочівництво. Монографія. Київ : Урожай. 2002. 256 с.
8. Айзенберг Ю.Б. Проблема енергосбереження в освітительних установках. *Светотехника*. 1998. №6. С.11-18.

9. Решенов С.П., Троицкий А.М. Установка облучения растений в теплицах УОРТ 8–750. Светотехника, 1993. № 4. С. 28.
10. Бахарев И. Применение светодиодных светильников для освещения теплиц реальность и перспективы. *Современные технологии автоматизации*. 2019. № 10. С. 76–82.
11. Vu Q.M. Automated Wireless Greenhouse Management System: Master of Engineering Thesis. Palmerston North: School of Engineering and Advanced Technology Massey University, 2017. 173 p.
12. Zade A.V. A smart green house automation system by wireless sensor networks. *International Journal of Research in Advent Technology*. 2017. Vol. 5 (3). P. 48–50.
13. Drennen T. Market Diffusion and Energy Impact Model for Solid-State Lighting. SAND. 2001. 283p.
14. Юнович А. Светодиоды как основа освещения будущего / А. Юнович. *Светотехника*. 2003. №3 С. 27.
15. ДСТУ EN 62612:2017 (EN 62612:2013, IDT) Лампи світлодіодні з умонтованим пускорегулювальним пристроєм для загального освітлення на напругу понад 50 В. Вимоги до робочих характеристик.
16. Гошко М. О. Дослідження характеристик сучасних електричних джерел світла. Вісник Львівського національного аграрного університету : агроінженерні дослідження. 2012. № 16. С. 390-394.