

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**  
**Завідувач кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки**  
**та електротехнологій**  
**к.т.н. доц. Окушко О.В. / \_\_\_\_\_ /**

**«\_\_» \_\_\_\_\_ 2026 р.**

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

**На тему: Проектні рішення з розроблення**  
**електротехнологічного обладнання для зимової ґрунтової**  
**теплиці площею 0,5 га**

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

**Гарант освітньої програми**

к.т.н., доцент

**Синявський О.Ю.**

**Виконав**

**Кушнярук Д.А.**

**Керівник кваліфікаційної роботи**

д.т.н., проф.

вчене звання і ступінь

**/ Червінський Л.С.**

ініціали та прізвище

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ  
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

---

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**Завідувач кафедри**  
**електротехніки, електромеханіки**  
**та електротехнологій**  
**к.т.н. доц. Окушко О.В. /\_\_\_\_\_ /**

**«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.**

**ЗАВДАННЯ**  
до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра  
студенту **Кушняруку Дмитру Андрійовичу**

**Спеціальність** 141 – "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка "

**Тема проекту:** " Проєктні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання для зимової ґрунтової теплиці площею 0,5 га

Затверджена наказом ректора НУБІП від 05.10 2025 р. № 637/с.

Термін подання завершеного проекту на кафедру: "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2026 р.

Зміст пояснювальної записки

1. Загальна характеристика виробничого об'єкта.

2. Технологічна частина

3. Електротехнічна частина.

Вибір електротехнологічного обладнання для опромінення

4. Техніко - економічні розрахунки

5. Заходи з безпеки праці

. Перелік графічних матеріалів

Лист 1. План теплиці з розміщенням освітленням

Лист 2. Загальний план тепличного блоку

Лист 3. Схема розміщення системи мікроклімату

Лист 4. Електрична принципіальна схема шафи керування установки

**Керівник кваліфікаційної роботи бакалавра**

Д.т.н., проф.. \_\_\_\_\_ /**Червінський Л.С.**/

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ /**Кушнярук Д.А.**/

Дата отримання завдання "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2025 р.

УДК 631.171: 621.311

## АНОТАЦІЯ

В даній кваліфікаційній роботі бакалавра розроблені питання електрифікації технологічних процесів в зимовій ґрунтовій теплиці, проведено вибір електричного і силового обладнання, пускозахисної та освітлювальної апаратури, а також розглянуто технічні засоби та виконані відповідні розрахунки для проведення енергоефективного світлодіодного опромінення рослин.

Приділено також увагу заходам з охорони праці на підприємстві.

## THE SUMMARY

In the given project of bachelor the questions of electrification of technological processes in repair shop are developed, the choice of the electrical and power equipment, starting, protective and lighting equipment is carried out, and also the means for realization of the television control of an electric equipment are considered.

The attention to measures of protection of work in repair shop

|           |      |             |        |      |                                                                             |  |  |  |                   |  |      |         |  |  |
|-----------|------|-------------|--------|------|-----------------------------------------------------------------------------|--|--|--|-------------------|--|------|---------|--|--|
|           |      |             |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ                                       |  |  |  |                   |  |      |         |  |  |
| Змн.      | Лист | № докум.    | Підпис | Дата |                                                                             |  |  |  |                   |  |      |         |  |  |
| Розроб.   |      | Квшнярчук   |        |      | Проектні рішення з розроблення електротехнологічного обладнання для зимової |  |  |  | Літ.              |  | Арк. | Аркушів |  |  |
| Перевір.  |      | Червінський |        |      |                                                                             |  |  |  |                   |  | 3    | 57      |  |  |
| Реценз.   |      | .           |        |      |                                                                             |  |  |  | EEE-24001 ННІ ЕАЕ |  |      |         |  |  |
| Н. контр. |      |             |        |      |                                                                             |  |  |  |                   |  |      |         |  |  |
| Затверд.  |      | Окушко      |        |      |                                                                             |  |  |  |                   |  |      |         |  |  |

|            |    |
|------------|----|
| Вступ..... | 6. |
|------------|----|

## 1 Загальна частина

|                                                      |     |
|------------------------------------------------------|-----|
| 1.1 Характеристика промислових блочних теплиць ..... | 8   |
| 1.2 Характеристика об'єкта проектування.....         | 9.. |

## 2 Електрифікація та автоматизація виробничих процесів у блочних гідропонних теплицях

|                                                                                                                       |       |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 2.1 Характеристика технологічного обладнання для вирощування рослин в гідропонних теплицях .....                      | 18    |
| 2.2. Розрахунок і вибір технологічного обладнання для створення і підтримання мікроклімату в приміщенні теплиці ..... | 24    |
| 2.3. Розрахунок виробничого освітлення робочих зон теплиці та вибір освітлювального обладнання.....                   | 30    |
| 2.4. Вибір пуско-захисної апаратури .....                                                                             | 37    |
| 2.5. Вибір і розрахунок силових проводок.....                                                                         | 39    |
| 2.6. Розрахунок і вибір світлодіодних освітлювальних установок...                                                     | 40    |
| 2.7. Розрахунок і вибір елементів освітлювальних проводок.....                                                        | 46... |
| 2.8. Розрахунок вводу в приміщення.....                                                                               | 47    |

## 3 Спеціальна частина

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Аналіз ламп для освітлення рослин.....                                                         | 48 |
| 3.2 Обґрунтування спектрального складу випромінювання джерел світла на життєдіяльність рослин..... | 50 |
| 3.3 Електричні, оптичні та теплові характеристики світлодіодів...                                  | 52 |
| 3.4 Розрахунок параметрів підключення світлодіода до джерела живлення.....                         | 54 |

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 6    |

|                                                                                                   |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 3.5 Розроблення схеми підключення декількох світло діодів<br>монохроматичного випромінювання..... | 55..  |
| 3.6 Вибір драйвера живлення світлодіодного світильника.....                                       | 56... |
| 3.7 Розрахунок штучного досвічування рослин.....                                                  | 58    |

#### **4 Організаційно-економічна частина**

|                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1. Заходи з раціонального використання електроенергії на<br>підприємстві.....                                  | 60. |
| 4.2. Визначення вартості обслуговування і ремонту<br>електрообладнання та засобів автоматизації комплексу.....   | 63. |
| 4.3. Розрахунок показників економічної ефективності електрифікації<br>та автоматизації тепличного комбінату..... | 68. |

#### **5 Охорона праці і довкілля**

|                                                                      |     |
|----------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1. Розробка заходів по безпечній експлуатації електрообладнання... | 70  |
| 5.2. Охорона навколишнього природного середовища.....                | 72. |

|                      |           |
|----------------------|-----------|
| <b>Висновки.....</b> | <b>74</b> |
|----------------------|-----------|

|                                            |           |
|--------------------------------------------|-----------|
| <b>Список використаної літератури.....</b> | <b>75</b> |
|--------------------------------------------|-----------|

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПУЕ – правила улаштування електроустановок;

ДБН – державні будівельні норми;

КЗ – коротке замикання;

ЛЛ – люмінесцентна лампа;

РЕ – нульовий захисний провідник;

N – нульовий робочий провід;

ПЛ – повітряна лінія;

ЗП – заземлюючий пристрій;

ПС – підстанція;

КЛ – кабельна лінія;

ЛЕП – лінія електропередачі;

РП – розподільний пункт;

ТП – трансформаторна підстанція;

РУ – розподільча установка;

ВРП – ввідно-розподільчий пристрій;

ВРЩ – вторинний розподільний щит;

КТП – комплектна трансформаторна підстанція.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 6    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

## ВСТУП

Забезпечення населення України свіжою та багатою на вітаміни овочевою продукцією на протязі року є актуальною задачею сільськогосподарського виробництва.

Овочівництво захищеного ґрунту, де енергетичні витрати складають приблизно 35...55% витрат на виробництво тепличної продукції, є самою енергомісткою галуззю сільського господарства [1]. Тому на сьогоднішній день постає задача зменшення витрат на їх експлуатацію. Вона може бути вирішена за рахунок розробки ефективних енергозберігаючих технологій вирощування овочів, зокрема технологій з використанням енергозберігаючих джерел опромінення, або використання нових технологій для вирощування овочів в умовах захищеного ґрунту протягом всього року. Перехід до високотехнологічних теплиць передбачає застосування таких технологій як гідропоніка, крапельне зрошення, використання LED-освітлення та розумної системи клімат-контролю, що забезпечує енергоефективність і високу продуктивність.

Зимова земляна теплиця (або теплиця-термос) з гідропонікою — це високоефективна інженерна споруда, яка поєднує глибоке заглиблення в ґрунт для збереження тепла та сучасні технології вирощування без ґрунту.

Основна частина споруди знаходиться під землею (на 1,5–2,5 метри), що дозволяє використовувати стабільну температуру землі ( $+4^{\circ}$   $+10^{\circ}$  навіть взимку в морозну погоду).

Низький рівень природної освітленості в теплицях і короткий зимовий день потребує додаткового опромінення, та штучного підтримання температурного режиму і вологості, за рахунок значних витрат не відновлюваної енергії. Так, біля половини собівартості продукції припадає на електроенергію. Тому застосування нових ефективних, економних джерел оптичної енергії є одним з перспективних напрямків зниження витрат електроенергії в світлокультурі захищеного ґрунту, проте

|                                                                      |      |          |        |      |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| параметри таких нововведень повинні бути ретельно обґрунтованими для |      |          |        |      | Арк. |
| забезпечення отримання якісної продукції.                            |      |          |        |      | 7    |
| Змн.                                                                 | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

### 1.1 Характеристика промислових зимових земляних теплиць

Технології вирощування продукції рослинництва закритого ґрунту реалізовані як за класичною системою, з використанням ґрунтових сумішей, так і за сучасною системою гідропоніки – на субстратах із використання живильних розчинів та крапельного поливу. При цьому рослини отримують із розчину всі необхідні поживні речовини в точно дозованих пропорціях. Дана система дозволяє отримати екологічно чисту продукцію, прискорити ріст рослин та збільшити врожайність.

Зимова земляна теплиця (або теплиця-термос) з гідропонікою — це високоефективна інженерна споруда, яка поєднує глибоке заглиблення в ґрунт для збереження тепла та сучасні технології вирощування без ґрунту.

Основна частина споруди знаходиться під землею (на 1,5–2,5 метри), що дозволяє використовувати стабільну температуру землі ( $+4^{\circ}$   $+10^{\circ}$  навіть взимку в морозну погоду). Зимово заглиблена земляна теплиця має значні переваги над наземними блочними теплицями.

Зокрема в приміщенні підтримується більш стабільна температура, значно менші витрати електроенергії на опалення приміщення, значно вища врожайність за рахунок гідропоніки і можливості вирощувати продукцію взимку.

Важливим фактором сучасних теплиць є також інженерно-технологічне обладнання, до складу якого входять: вентиляція, зашторювання, водяного трубного обігріву, водопостачання і каналізації, рециркуляції повітря, підживлення рослин вуглекислим газом, електрообладнання, електропідсвічування і електродосвічування, автоматизованою системою керування мікрокліматом. Склад систем та поєднання їх можливостей дасть змогу ефективно функціонувати в заданих проектних режимах. Використання сучасних плівкових покрівельних матеріалів та скла для остеклення теплиць не дають можливості максимального поглинання сонячного світлового потоку рослинами закритого ґрунту.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 8    |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Особливо це стосується зимово-весняного періоду року. В цей час тривалість світлового дня становить всього 8-10 годин. При цьому висота стояння сонця над горизонтом теж не висока.

Всі несучі зовнішні і внутрішні елементи каркасу теплиць виготовлені із сталі із цинковим гальванопокриттям. Основними відмінностями заглибних земляних теплиць є наступне: стіни заглиблено в ґрунт на 1,5...2,5 м, форма криші односхилова або аркова з орієнтацією на південь. Площа до 0.5 га.



Рис. 1.1 Загальний вигляд промислової земляної зимової теплиці

Земляні стіни виготовляють з бетону або цегли, покриваючи зовні гідроізоляційним бітумом, чи мембранним покриттям, Всередині стіни утеплюють полістироловими плитами товщиною 50...100 мм).

Конструктивні характеристики земляних теплиць заглибленого типу:

- ширина – 8 м;
- крок колон – 4,5 м;
- висота колон – 4 м;
- вітрове навантаження 530 Н/м<sup>2</sup>;
- снігове навантаження 500 Н/м<sup>2</sup>;
- навантаження від рослин 250 Н/м<sup>2</sup>; мінімальна температура зовнішнього навколишнього середовища -30 °С

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 9    |



Рис.1.2 Вигляд зсередини земляної зимової гідропонної теплиці

## 1.2 Характеристика об'єкта проектування

Для створення умов нормального розвитку рослин, необхідно проводити штучне досвітлення вранці та вечером, та забезпечувати нормальне освітлення у похмурі безсонячні дні. Але штучне світло від ламп, які використовують в теплицях не забезпечує того спектра випромінювання, яке рослина отримує від сонця. Ще в минулому столітті дослідниками встановлено, що спектральна ефективність випромінювання для рослин лежать в діапазоні червоного і синього спектру видимої області. Сучасні лампи для теплиць ДРЛ-400, ДНАТ та інші не забезпечують такого випромінювання.

На сьогоднішній день в Україні ще не налагоджено серійний випуск світлодіодних світильників для використання у рослинництві закритого ґрунту. Про це свідчить проведений патентний пошук[2]. Але, судячи по публікаціях в Голландії, Японії, Південній Кореї, Росії та ряді інших країн, серійні світлодіодні світильники для теплиць успішно застосовують. Особливо великих успіхів у цьому напрямку досягли виробники фірми «Філіпс». Вони виготовляють лампи для освітлення в теплицях різної конструкції та спектрального складу. Дослідження та розробка вітчизняних світильників з використанням світлодіодів для овочівництва закритого ґрунту,

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 10   |

з врахуванням біологічних особливостей вирощуваних культур, є актуальною задачею на сьогоднішній день. Вирощування овочів здійснюється на гідропонних (штучних середовищах) із використанням штучних розчинів. Для забезпечення технології вирощування культур закритого ґрунту теплиці обладнані відповідними інженерними комунікаціями.

Вентиляція приміщення теплиці здійснюється за рахунок кватирок, розміщених на коньку теплиць в шаховому порядку. Відкриття та закриття кватирок відбувається за рахунок механізму, який приводить в дію мотор-редуктор. Система вентиляції теплиці представлена на рис. 1.3.

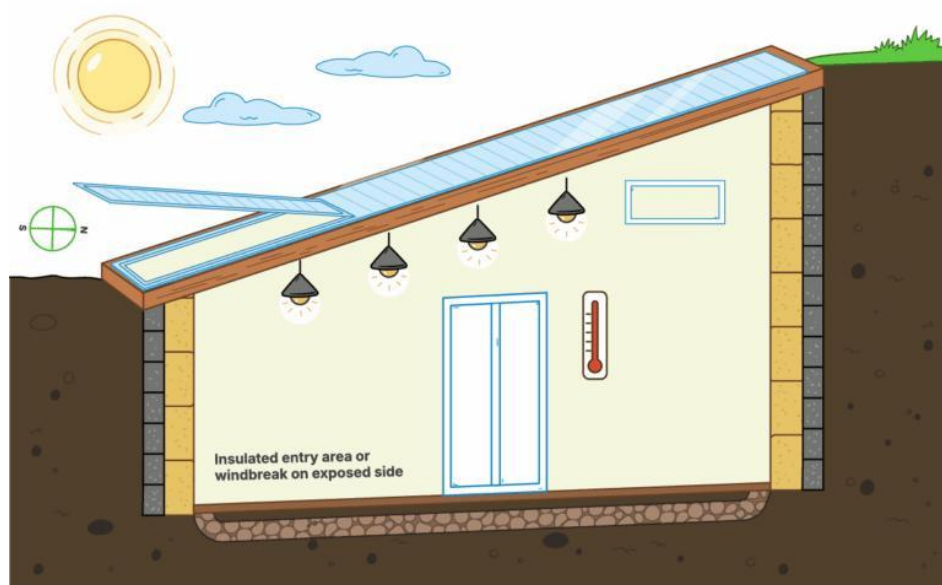


Рис 1.3. Схема системи вентиляції теплиці

В період підвищеної сонячної радіації передбачено обмеження доступу сонячного проміння до рослин за рахунок штучного захисного рухомого екрана рис. 1.4.

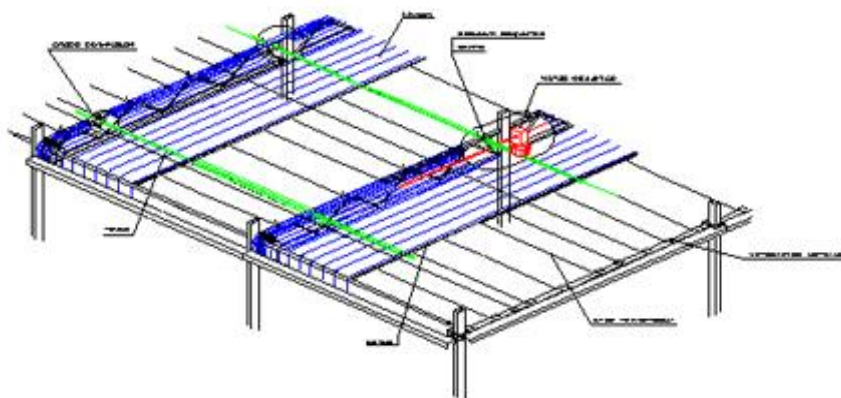


Рис. 1.4 Система горизонтального занавішування теплиці рухомим екраном.

|                                       |      |          |        |      |      |
|---------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ |      |          |        |      | Арк. |
| Змн.                                  | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | 11   |

В теплиці по центральній доріжці та з'єднувальних коридорах передбачено чергове освітлення за допомогою люмінесцентних ламп із рівнем освітленості 10 лк на рівні підлоги. Система силового електрообладнання призначена для живлення насосних вузлів системи опалення, мотор-редукторів системи вентиляції та обладнання системи електроосвітлення. Розподільні шафи і щити керування знаходяться в з'єднувальному коридорі.

Основні функції засобів автоматизації – вимірювання зовнішньої температури, швидкості вітру, кількості опадів, освітленості, регулювання температури всередині теплиці та керування системою поливу.

Для опалення теплиці площею 1 га передбачено один котел, який може працювати на природному газі або на твердому паливі рис. 1.5.

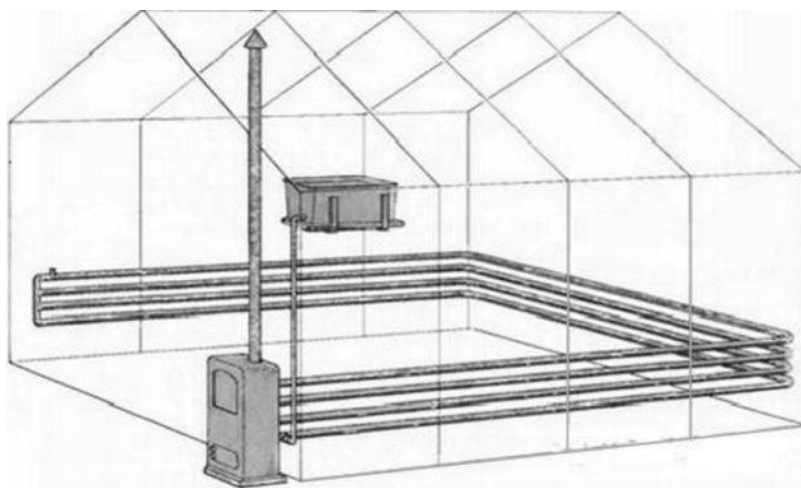


Рис. 1.5 Конструктивне виконання опалення теплиці

У випускній системі, що розміщена позаду котла передбачено конденсатор димових газів, в якому відбувається охолодження до температури  $60^{\circ}\text{C}$  з послідуною подачею вуглекислого газу через систему пластикових трубопроводів до рослин. Приклад блочної теплиці для гідропонного вирощування овочевої продукції наведено на рис. 6

Рис.6. Блочна теплиці для вирощування салатів.

|                                                                        |      |          |        |      |      |
|------------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| Отже блочна промислова теплиця оснащена сучасними системами            |      |          |        |      | Арк. |
| життєзабезпечення та нормального розвитку рослин закритого ґрунту, але |      |          |        |      | 12   |
| Змн.                                                                   | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

діюча система освітлення базується на використанні застарілих світильників, які потребують заміни на енергоефективні сучасні джерела оптичного випромінювання .

**Метою даної кваліфікаційної роботи** є розроблення енергоефективного електротехнічного обладнання для ґрунтової зимової теплиці. Оскільки найбільш енергоємним обладнанням в теплиці є фотосинтезні опромінювальні установки то головна увага приділятиметься впровадженню енергоефективних світильників на основі світлодіодів .

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити

**наступні задачі:**

- Розглянути питання електрифікації та автоматизації виробничих процесів в промислових блочних теплицях;
- Обґрунтувати і запропонувати конструкцію світильника на основі світлодіодів та вибрати елементи електричної схеми.
- Провести розрахунки економічної ефективності застосування світлодіодного освітлення в спорудах закритого ґрунту.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 13   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

## РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИФІКАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ У ЗЕМЛЯНИХ ГІДРОПОННИХ ТЕПЛИЦЯХ

### 2.1 Характеристика технологічного обладнання для вирощування рослин в гідропонних теплицях

Переваги блочних гідропонних теплиць : Висока продуктивність (до +30–50% проти ґрунту), Економічні витрати води (до 70–90%), можливість впровадження повної автоматизації процесів в теплиці, доступність створення рівномірних умови вирощування продукції по всій площі теплиці, можливість масштабування (додавання блоків) для розвитку господарства.

Таким чином, при гідропонній культурі мінеральне живлення рослин відбувається за рахунок регулярного дозованого подавання спеціально приготовленого живильного розчину в субстрат, де розміщена коренева система рослин.

Гідропонні теплиці комбінату оснащені стелажми та піддонами для вирощування рослин, резервуарами для приготування і зберігання живильного розчину, насосними установками для його подачі в стелажі чи піддони, автоматичними розподільниками з таймерним керуванням, з'єднувальними трубами, дренажними пристроями та іншим обладнанням.

Піддони та стелажі – це свого роду басейни глибиною 200 – 250мм, з водонепроникними стінками і дном, стандартні за формою і розміром. Посередині піддона проходить канавка, по якій подається розчин. Зверху канавка закрита бетонними плитами. Дно басейну має незначний похил – 0,5...1см на 1м в напрямку розміщення резервуара з поживним розчином.

Піддони заповнюють субстратом. При цьому щілинні отвори засипають крупними фракціями доломіту, керамзиту або щебенем фракції 3...5см, а зверху досипають дрібний щебінь.

Під піддонами у піску розміщені металеві труби для водяного

|                        |      |          |        |      |                                       |      |
|------------------------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
| обігрівання субстрату. |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|                        |      |          |        |      |                                       | 6    |
| Змн.                   | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Крім того, в тепличному модулі передбачена повітряна трубопровідна система для рециркуляції повітря в об'ємі приміщення.

Але на практиці кращим вважається водяний обігрів. При цьому в субстраті стабільно підтримується задана температура.



Рис.2.1. Гідропонна теплиця з водяним підігрівом субстрату

Резервуари для живильного розчину виготовляють з бетону, залізобетону або листового заліза з гідроізоляційним покриттям та облицюванням внутрішньої поверхні бітумом чи асфальтовим лаком.

Резервуари розміщені у між тепличних переходах або у теплицях, заглиблені в ґрунт дещо нижче рівня піддонів. З цих умов живильний розчин після підживлення рослин самопливом стікає в резервуар.

Об'єм резервуару вибирають з урахування площі теплиць, щільності субстрату, розміру трубопроводів, періодичності й кратності підживлень.

Живильний розчин подається у піддони насосними установками за допомогою автоматичного дискового розподільника рідини під незначним тиском – 0,3 атмосфери.

При гідропонному вирощуванні овочів значно скорочуються трудомісткі процеси і повністю виключаються роботи, пов'язані з використанням ґранту.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 14   |

Скорочується час догляду за рослинами, не застосовуються такі операції, як розпушування ґрунту, поливання і підживлення рослин, внесення органічних добрив, знезаражування ґрунту після завершення вегетативного циклу розвитку рослин. Крім того, створюються сприятливі умови для ефективної боротьби з хворобами і шкідниками, чисельність яких набагато менша чим в ґрунті.

Автоматичне живлення поліпшує умови водно-повітряного режиму кореневої системи рослин, виключає багато ручних процесів, приводить до економії води, що в свою чергу зменшує затрати праці і знижує собівартість вирощеного врожаю.

## **2.2 Розрахунок і вибір технологічного обладнання для створення і підтримання мікроклімату в приміщенні теплиці**

Необхідною умовою підвищення ефективності овочівництва закритого ґрунту є стабільне підтримання заданого мікроклімату в спорудах для вирощування овочів та розсади. Основними параметрами мікроклімату в теплицях є температура і вологість внутрішнього повітря, його газовий склад, температура і вологість ґрунту.

Для підтримання необхідної температури повітря та субстрату в модульній теплиці застосовують повітряно-водяне опалення. Водяне опалення здійснюється від котельної (рис. 1.5), розташованої на території комбінату. Теплоносій транспортується до піддонів трубопроводами теплової мережі, прокладених у підземних каналах або безканальним способом, а також над землею на опорах, відповідно до комплектації теплиці площею 1 га.

Система опалення теплиці містить систему опалення шатра, систему цокольного та торцевого опалення, систему надґрунтового обігрівання, на які приходить відповідно 80%, 8% і 12% витрат енергії [4].

Вибір потужності та енергетичного типу котельної здійснюється за тепловим навантаженням тепличного об'єкту, необхідних для нього видів та параметрів теплоносіїв, з урахуванням кліматичних умов та структури

|                                        |      |          |        |      |      |
|----------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| теплового балансу району розташування. |      |          |        |      | Арк. |
| 02.02.- КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ   |      |          |        |      | 15   |
| Змн.                                   | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

В інженерній практиці для приблизних розрахунків застосовують спрощений спосіб розрахунку системи опалення. Нехтуючи величинами сонячної радіації (нічний режим) і тепловим потоком через ґрунт, потужність системи опалення теплиці розраховуємо за формулою:

$$Q_{on} = \kappa \cdot F_o \cdot (t_v - t_z) \cdot \eta_{inf}, \quad (2.1)$$

де  $Q_{on}$  – розрахункова потужність, Вт;

$\kappa$  – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·°C);  $\kappa=6,4$  Вт/(м²·°C);

$t_v, t_z$  – розрахункова температура внутрішнього і зовнішнього повітря;

$\eta_{inf}$  – коефіцієнт інфільтрації,  $\eta_{inf}=1,25$ ;

$F_o$  – загальна площа поверхні загородження, м².

Важливою характеристикою теплиці є коефіцієнт загородження, від якого залежать теплові втрати і потужність системи обігріву.

Його визначають за формулою:

$$\eta_{zag} = F_o / F_n \quad (2.2)$$

тоді формула (2.1) приймає наступний вид:

$$Q_{on} = \kappa \cdot F_n \cdot (t_v - t_z) \cdot \eta_{zag} \cdot \eta_{inf}, \quad (2.3)$$

Підставивши відповідні значення визначаємо необхідну теплову потужність для опалення теплиці

$$Q_{on} = 6,4 \cdot 10000 \cdot (22+5) \cdot 1,25 \cdot 1,1 = 237,6 \text{ кВт},$$

Повітряний обігрів здійснюється повітряно-опалювальними калориферами АПВС, які розміщуються в шаховому порядку в торцях кожної секції теплиці (всього 2 калорифери на площі теплиці в 0,5 га) [5].

Система вентиляції – природна, здійснюється фрамугами, які розташовані по коньку теплиці

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 16   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Технічна характеристика повітряно-опалювальних агрегатів типу АПВС 70-40 наведена в табл. 2.1.

Табл. 2.1 Технічна характеристика АПВС 70-40

|                                                    |  |                                  |
|----------------------------------------------------|--|----------------------------------|
| Вентилятор                                         |  |                                  |
| тип; номер;                                        |  | МЦ №6                            |
| подача, м³/с                                       |  | 3900                             |
| Електродвигун:                                     |  |                                  |
| тип                                                |  | 4А80А4                           |
| потужність, кВт                                    |  | 1,1                              |
| Калорифер:                                         |  |                                  |
| тип                                                |  | Спірально-навивний багатогодовий |
| кількість                                          |  | 1                                |
| площа поверхні нагріву, м²                         |  | 18,3                             |
| Теплова потужність агрегату, кВт:                  |  |                                  |
| - при обігріві паром з абсолютним тиском, МПа:     |  |                                  |
| 0,1                                                |  | 58,2                             |
| 0,2                                                |  | 67,5                             |
| 0,3                                                |  | 79,7                             |
| - водою з розрахунковими температурами 130...70 °С |  | 45,4                             |
| температура повітря на вході, °С, при обігріві:    |  |                                  |
| - паром з абсолютним тиском, МПа:                  |  |                                  |

|                                                    |      |
|----------------------------------------------------|------|
| 0,1                                                | 59,8 |
| 0,2                                                | 66,8 |
| 0,3                                                | 76,0 |
| - водою з розрахунковими температурами 130...70 °С | 50,1 |
| Маса, кг                                           | 167  |



Рис.2.2. Повітряно-опалювальний агрегат АПВС 70-40

Привод фрамуг здійснюється за допомогою багатооборотного виконавчого механізму МЭМТ-10, через рейкову систему. Розміщення фрамуг на двохскатному даху модульної теплиці представлено на рис. 2.1.

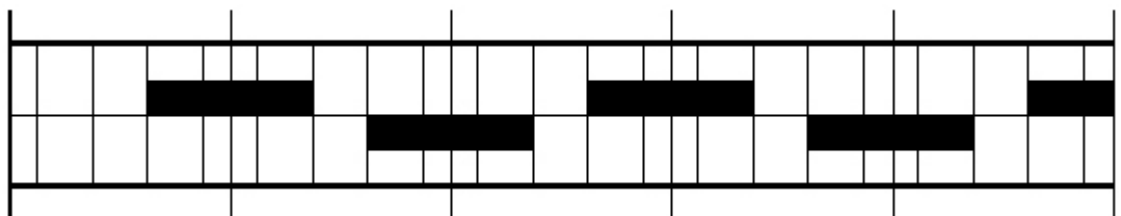


Рис. 2.3 Схема розташування відкритих фрамуг на даху теплиці

Для створення необхідного вологісного режиму використовується система зволоження і випарувального охолодження.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 18   |

Система випаровувального охолодження включає магістральні трубопроводи із сталених труб, колектори – із сталевих оцинкованих труб і зрошувачі – з полімерних труб з розпилювачами.

Системи автоматичного регулювання (САР) параметрів мікроклімату в теплицях.

Регулювання температури повітря. САР забезпечує автоматичне дотримання у теплиці температурних режимів повітря при роботі системи обігріву і вентиляції.

Діапазон зміни температури у межах 40 °С, точність регулювання  $\pm 1$  °С при всіх режимах.

САР компенсує можливі відхилення параметра регулювання відповідно до змін параметрів зовнішнього середовища. Це забезпечується двокаскадною системою регулювання. Перший каскад забезпечує регулювання потрібної для кожного контуру температури теплоносія у системі обігрівання. Він являє собою аналітичну безпошукову самонастроювальну автоматичну систему регулювання температури теплоносія у системі обігрівання за температурою повітря у теплиці. При цьому враховуються метеорологічні умови. Другий каскад забезпечує компенсацію відхилення температури повітря від заданого значення у кожному контурі регулювання.

Для теплиць з комбінованим обігріванням САР виконує трикаскадне регулювання температури повітря. Третій каскад дає змогу за допомогою позиційного регулятора керувати двома групами калориферів системи повітряного обігрівання.

При комбінованому обігріванні перші два каскади працюють у системах шатрового та бокового опалення.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 19   |

Регулювання вентиляції. Для підтримання в теплиці заданої температури САР передбачено заміри зовнішніх метеорологічних параметрів. Враховуючи напрямок і швидкість вітру, САР вибирає сторону для відкривання фрамуг з метою вентиляції, а також запобігає відкриванню їх при швидкості вітру понад 7 м/с. Крім того, блоки математичного обробітку інформації дають змогу при зміні рівня освітленості автоматично змінювати температуру повітря в теплиці.

Регулювання температури поливної води. Регулювання температури поливної води здійснюється пропорційним регулятором. Межа регулювання температури води 5...35°C з точністю  $\pm 2$  °C. Передбачено систему аварійного скиду поливної води при її нагріванні понад 35 °C, а також звукова сигналізація при перевищенні максимально допустимої температури води.

Регулювання адіабатичного зволоження повітря у теплицях. САР передбачає включення системи “Туман” по захисту від перегрівання рослин. Вмикається система за командою від сонячного інтегратора за сумою сонячного випромінювання за 1 годину. Тривалість роботи системи “Туман” задається агрослужбою або вибирається автоматично. При цьому тривалість роботи системи дорівнює різниці часу між 1 годиною і часом досягнення потрібної суми сонячного випромінювання. Найбільш ефективна робота системи “Туман” у весняно-осінній період року.

### **2.3 Розрахунок виробничого освітлення робочих зон теплиці та вибір освітлювального обладнання**

Розрахунок освітленості проводимо на основі нормативних документів, а також ПУЕ, «Галузевих норм освітленості...» [8] .

Розраховуємо освітлення виробничих проходів теплиці. Для з'єднувальних коридорів та інших допоміжних та виробничих приміщень розрахунок проводимо аналогічно.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 20   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Отримані результати розрахунків зводимо у світлотехнічну відомість. Найбільш розповсюджений метод розрахунку освітленості це метод світлового потоку, який і використаємо.

В теплицях передбачається тільки освітлення проходів. Розміри проходу: довжина  $A = 78,4\text{м}$ , ширина  $B = 1\text{м}$ , висота  $H = 3,2\text{м}$ .

В якості джерела світла використаємо компактні люмінесцентні лампи.

Згідно нормативів, освітленість проходів повинна складати  $E=10$  лк, коефіцієнт запасу  $\kappa = 1,15$ . Приміщення теплиці має підвищену вологість, тому вибираємо світильники пилеводозахисні НСП01. Число світильників вибираємо, виходячи із їх найвигіднішого розміщення.

Найвигідніша відносна відстань:

$$\lambda = L/h = 2,0 \dots 2,5\text{м}$$

де  $L$  – відстань між світильниками, м;

$h$  – розрахункова висота, м ( $h=3,2\text{м}$ ).

Тоді:

$$L = \lambda \cdot h \quad (2.4)$$

$$L = 2 \cdot 3,2 = 6,4\text{м}.$$

Число світильників у ряду:

$$n = A/L \quad (2.5)$$

$$n = 78,4/6,4 = 12,3 \text{ шт}$$

Приймаємо 13 світильників.

Розрахунок освітленості виконуємо за методом коефіцієнта використання світлового потоку.

|      |      |                    |        |      |                                       |      |
|------|------|--------------------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      | Індекс приміщення: |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |                    |        |      |                                       | 21   |
| Змн. | Арк. | № докум.           | Підпис | Дата |                                       |      |

$$i = (A \cdot B) / (h \cdot (A + B)) \quad (2.6)$$

$$i = (78.4 \cdot 1) / (3.2 \cdot (78.4 + 1)) = 0,33$$

Необхідний потік лампи, лм:

$$\Phi = (E \cdot \kappa \cdot S \cdot z) / (n \cdot \eta), \quad (2.7)$$

де  $E$  – освітленість, лк;

$\kappa$  – коефіцієнт запасу;

$S$  – площа приміщення, м<sup>2</sup>;

$z$  – коефіцієнт нерівномірності освітлення,  $z=1,15$ ;

$n$  – кількість світильників, шт;

$\eta$  – коефіцієнт використання світлового потоку,  $\eta=0,17$ .

$$\Phi = (10 \cdot 1,15 \cdot 78,4 \cdot 1,15) / (13 \cdot 0,17) = 469,2 \text{ лм}$$

За ГОСТом 2239-79 приймаємо компактні люмінесцентні лампи КЛЛ - 13 із світловим потоком 460лм.

Підвіску світильників виконуємо на тросі в один ряд.

Розрахункове навантаження освітлення проходів визначаємо за формулою:

$$P_{розр.} = P_{обл.} \cdot n \cdot 0,001, \text{ кВт} \quad (2.8)$$

$$P_{розр.} = 60 \cdot 13 \cdot 0,001 = 0,78 \text{ кВт}$$

Вибираємо щиток освітлення ОЩВ-6 [6].

Вибір перерізу проводів проводимо за допустимим струмом:

$$I_{доп} \geq I_{розр.}, \text{ А} \quad (2.9)$$

де  $I_{розр.}$  – розрахунковий струм схеми освітлення, А.

|      |      |          |        |      |                                                                          |      |
|------|------|----------|--------|------|--------------------------------------------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | $I_{розр.} = P_{розр.} / U_{ф}$<br>02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                                                          | 22   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                                          |      |

(2.10)

$$I_{розр.} = (0,78 \cdot 10^3) / 220 = 3,6 \text{ A}$$

Приймаємо провід АППВ перерізом 2,5 мм<sup>2</sup> ( $I_{доп.}=19 \text{ A}$ ).

Перевіряємо вибраний провід на допустимий спад напруги в мережі:

$$\Delta U\% = \sum M / (c \cdot S), \%$$
 (2.11)

де  $M$  – момент навантаження, кВт·м;

$c$  – коефіцієнт, що залежить від напруги, числа фаз;

$S$  – переріз проводу, мм<sup>2</sup>.

Так як навантаження рівномірне, то момент навантаження:

$$M = P_{розр.} \cdot 0,001 \cdot (1/2) \cdot l, \text{ кВт·м},$$
 (2.12)

де  $l$  – довжина ділянки, м.

$$M = 780 \cdot 0,001 \cdot (1/2) \cdot 78,4 = 30,6 \text{ кВт·м},$$

Коефіцієнт  $c$  для двопровідної лінії змінного струму:

$$c := \frac{\gamma \cdot (U_{\phi})^2}{2 \cdot 10^5} \quad c := \frac{32 \cdot 220^2}{2 \cdot 10^5} \quad c := 7.7$$
 (2.13)

де  $\gamma$  – питома провідність,  $\gamma=32 \text{ Ом мм}^2/\text{м}$ .

$$\text{Тоді } \Delta U\% = 30,6 / (7,7 \cdot 2,5) = 1,6 \%$$

$$1,6\% < \Delta U\% = 2,5\%$$

Висновок до розділу. На основі стандартного модульного тепличного блока площею 1га для вирощування томатів на гідропоніці розраховано та вибрано технологічне обладнання для підтримання мікроклімату в

|                                                                          |      |          |        |      |      |
|--------------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| приміщеннях теплиці та освітлення робочих зон та технологічних проходів. |      |          |        |      | Арк. |
| 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ                                    |      |          |        |      | 23   |
| Змн.                                                                     | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

## РОЗДІЛ 3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

### 3.1 Аналіз джерел випромінювання для опромінення рослин

Для нормального розвитку рослини закритого ґрунту потребують освітлення 12-16 годин на добу. При скороченні світлового дня до 10 годин і менше ріст рослин майже припиняється. Але їм також необхідно і нічний режим не менше 6 годин на добу для нормального протікання процесу фотосинтезу. Рослини в процесі еволюційного розвитку в першу чергу сприймали сонячне світло, і саме воно відіграє важливу роль у біологічних процесах розвитку. Виходячи з цього найкращим для них є все-таки сонячне світло. Для рослин закритого ґрунту, особливо в осінньо-зимовий період необхідно також і штучне освітлення.

На сьогоднішній день не існує ламп для теплиць, які б повністю імітували спектр сонячного випромінювання. Проаналізуємо існуючі на сьогоднішній день джерела світла, і можливість їх використання для рослинництва закритого ґрунту.

*Люмінесцентні трубчасті лампи* випромінюють прийнятний для рослин спектр, надійніші і довговічніші, але при цьому мають невисоку світловіддачу.

*Люмінесцентні компактні енергоощадні лампи* по спектрі аналогічні попереднім, але при цьому мають точкоподібні розміри і меншу площу освітлення.

*Ртутні лампи високого тиску (ДРЛ)* мають підвищене випромінювання в ближній ультрафіолетовій області, яке негативно сприймається рослинами, і також значно виділяють тепло.

*Напрієві лампи високого тиску (ДНА, ДНаТ)* при потужності більше 400Вт мають хорошу світловіддачу, економічні, але мають недостатнє

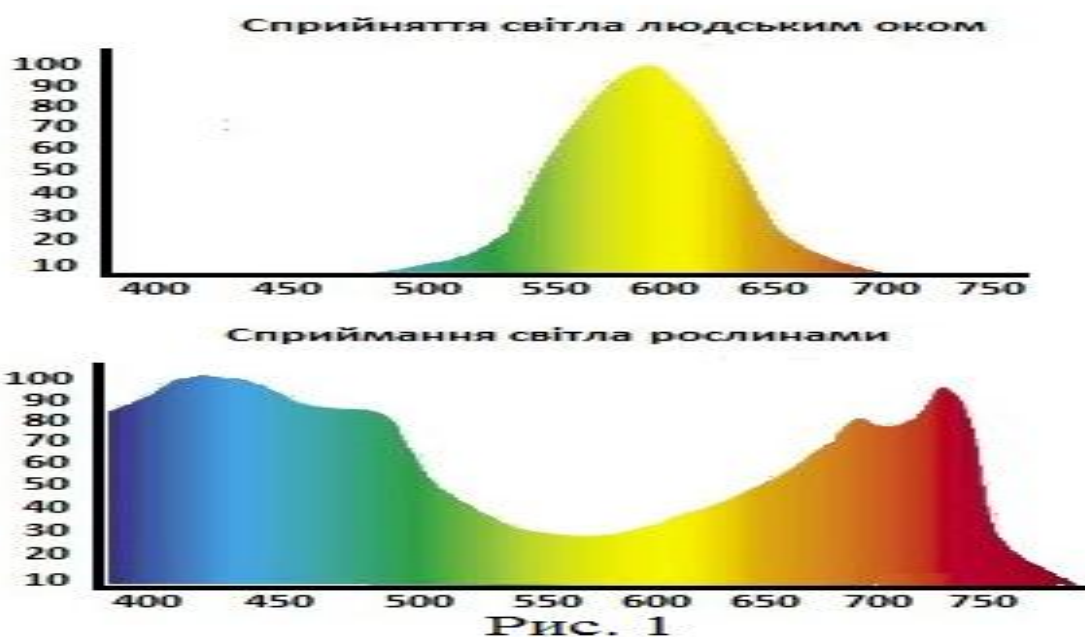
|                                         |      |          |        |      |                                      |  |      |
|-----------------------------------------|------|----------|--------|------|--------------------------------------|--|------|
| випромінювання в синій частині спектру. |      |          |        |      | 02.02.- КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ |  | Арк. |
| Змн.                                    | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                      |  | 25   |

Металогалогенові лампи (МГЛ, ДРЛ) мають широкий спектр випромінювання і діапазон потужностей, але високу вартість.

Світлодіодні лампи є новими джерелами світла і дають можливість застосовувати спеціальний діапазон монохроматичного спектру випромінювання, енергоощадні, мають високу довговічність, але на сьогоднішній день у них висока вартість. Аналізуючи наукові публікації, щодо використання світлодіодів для освітлення рослин, немає одностайної думки, але всі дослідники акцентують увагу на перспективності застосування світлодіодного освітлення рослин.

### 3.2 Обґрунтування впливу спектрального складу випромінювання джерел світла на життєдіяльність рослин

Загально відомо, що рослини сприймають не весь спектр світла, для повноцінного розвитку їм потрібні тільки деякі його частини. Реакція фотосинтезу, завдяки якій рослини розвиваються, протікає за умов поглинання цілком певної довжини світлових хвиль. Сьогоднішні лампи, які використовуються для освітлення теплиць випромінюють багато світла, яке абсолютно не потрібне рослинам. Вони його практично не засвоюють, а це в свою чергу нераціональна витрата електроенергії.



Рослини сприймають довжини хвиль інакше ніж людина.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 26   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

З рис.1 видно, що для них життєво важливими є червоні (720-600 нм) і помаранчеві (620-595 нм) промені. Саме вони є основним джерелом енергії та фотосинтезу і значним чином мають вплив на швидкість розвитку рослин. Сині та фіолетові промені (490-380нм), окрім участі у фотосинтезі, стимулюють утворення білків та регулюють темп розвитку. А що стосується

жовтих (595-565 нм) та зелених (565-490 нм) променів, то вони не відіграють особливої ролі в розвитку рослин, але є важливими для людей.

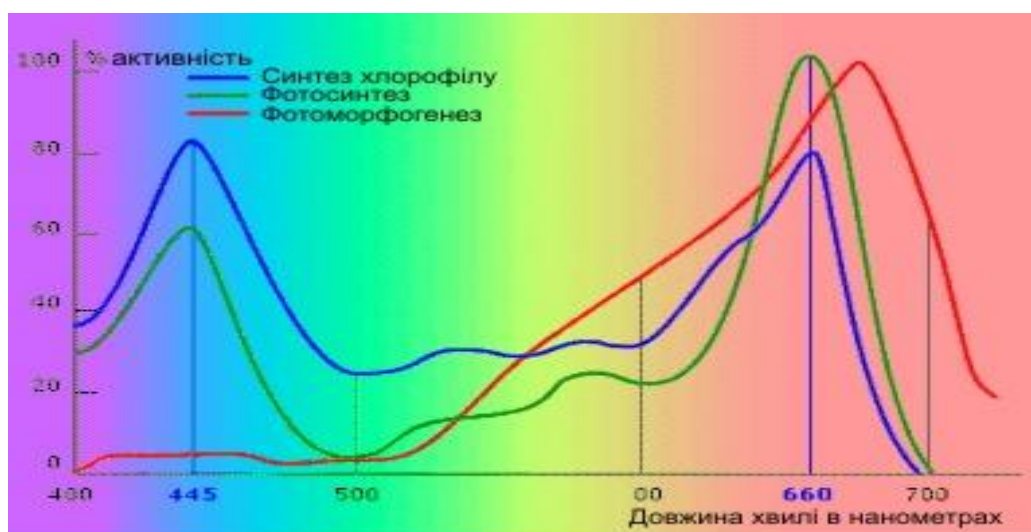


Рис. 2

Енергія світла поглинається хлорофілом і каротиноїдами у листі рослин. Ця енергія використовується для вироблення цукрози з вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), який поглинається листям. Встановлено, що джерелом енергії для фотосинтезу служать переважно червоні промені світлового діапазону. Це підтверджує спектральна активність фотобіологічних процесів у фотоморфогенезі (формування «врожайності»), позначена на рис.2 червоним кольором. Як видно з графіку, найбільш інтенсивна смуга поглинання спостерігається в червоній області спектру, і майже зовсім не поглинається зелено-синьо-фіолетовою областю.

Розрізняють дві фотосинтезні системи, в яких задіяні хлорофіл А і Б. Вони сприймають червоний і синій спектр світла. Піком поглинання для хлорофілу А є випромінювання 439 і 667 нанометрів, а для хлорофілу Б цей показник складає 469 і 642 нанометра [3].

Проведені пошукові дослідження з використанням різних світлодіодів, в яких рослини однакового розміру піддавалися безперервному опроміненню світлом

з довжинами хвиль 630 нм (червоні світлодіоди), 430 нм (блакитні світлодіоди), і змішаного типу (для чого використовувалися 50% на 50% червоні і блакитні світлодіоди). Дослідження дали наступний результат: Рослини вирощені під впливом червоного кольору, виявилися слабкими і низькорослими. Рослини, які зростали під блакитним опроміненням вирости найвищими, але з малою кількістю листків і тонкими стеблами. А рослини вирощені під змішаним опроміненням були гармонійно збалансовані, з великою кількістю листків і досить міцними стеблами [4,5].

Сучасні світлодіодні (LED) технології дозволяють створювати світло будь-якого кольору та інтенсивності. Використовуючи світлодіоди різного кольору у різній пропорції можна формувати світильники, які даватимуть потрібну кількість світла лише того діапазону, який активно споживають рослини. Це сприятиме швидкому і гармонійному розвитку рослини.

При правильному підборі світлового спектру, LED модулі на 85-100% ефективніші для процесу фотосинтезу ніж існуючі джерела фотосинтезного випромінювання, економічніші та мають значно більший термін безперервної роботи. [3].

### **Обґрунтування застосування світлодіодів для освітлення рослин в захищеному ґрунті.**

Світлодіод (англ. Light-emitting diode, LED) – напівпровідниковий прилад з електронно-дірковий переходом, що створює оптичне випромінювання при пропусканні через нього електричного струму в прямому напрямку [50].

Світлодіод складається з напівпровідникового кристала на підкладці, корпусу з контактними висновками і оптичної системи. світіння виникає при рекомбінації електронів і дірок в області р-п-переходу при пропусканні електричного струму (через перехід електронів з одного енергетичного рівня на інший).

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 24   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Світлодіоди випромінюють світло лише у вузькому спектрі, який визначається напівпровідниковим матеріалом. Тому представлені в продажу в основному світлодіоди різних монокольорів - синій, блакитний, зелений, янтарний, червоно-оранжевий, червоний і т. д. .. Отримати «складний» колір можна, як один із способів, спільним використанням в одному освітлювальному приладі світлодіодів різних типів. [53]

Основні сучасні матеріали, які використовуються в кристалах світлодіодів [50,52]:

- InGaN - сині, зелені і ультрафіолетові світлодіоди високої яскравості;

- AlGaInP - жовті, помаранчеві і червоні світлодіоди високої яскравості;
- AlGaAs - червоні та інфрачервоні світлодіоди;
- GaP - жовті й зелені світлодіоди.

Отримати білий колір випромінювання можна наступними декількома способами [51,53]:

1. Змішуванням кольорів за технологією RGB: за допомогою лінзи або іншої оптичної системи змішуються випромінювання трьох світлодіодів (червоний, блакитний і зелений), щільно розміщених на одній матриці. Даний спосіб дозволяє як отримати білий колір, так і змінювати кольорову діаграму при зміні струму через різні світлодіоди. При цьому забезпечується високий сумарний світловий потік при великій кількості світлодіодів в матриці. Але через нерівномірне відведення тепла з країв матриці світлодіоди нагріваються по-різному і по-різному змінюється їх колір за час експлуатації, та строк служби

2. Ультрафіолетовий світлодіод покривають трьома прошарками люмінофорів, що мають випромінювання в блакитному, зеленому та червоному діапазонах. В цьому випадку спостерігається схожість з світінням люмінесцентної лампи.

3. Близький до білого колір отримують нанесенням жовто-зеленого або зеленого плюс червоний люмінофорів на блакитний світлодіод. (Див. рис.4.1)

|      |      |          |        |     |                                       |      |
|------|------|----------|--------|-----|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |     | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                                       | 66   |

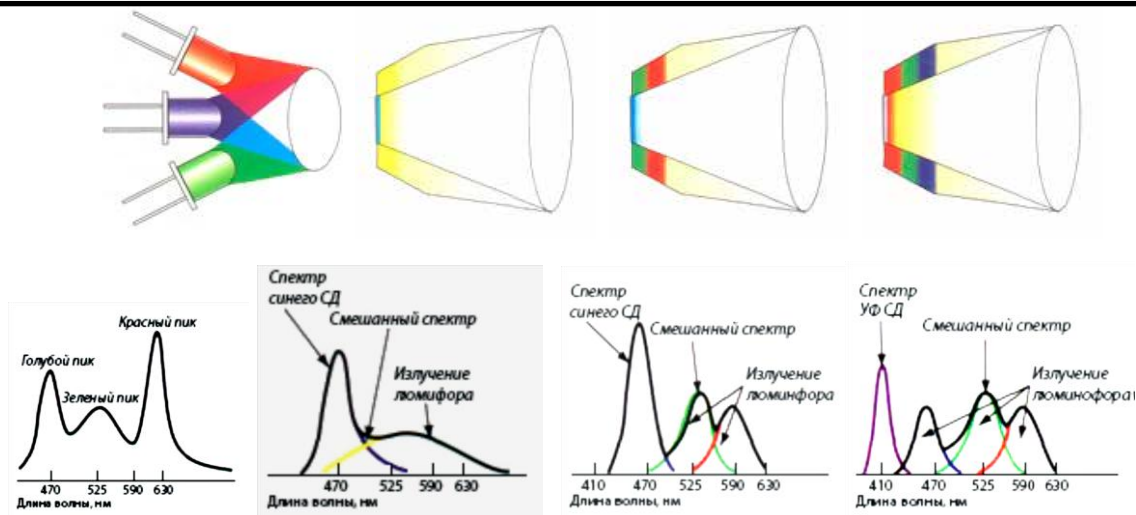


Рис. 4.1.Способи отримання білого кольору випромінювання світлодіода

Світлодіоди з люмінофорним покриттям дешевше RGB-матриць і дають хороший білий колір. Однак світловіддача через перетворення світла в шарі люмінофора менше, ніж у RGB-матриць. І до того ж рівномірне нанесення люмінофора є досить важким завданням в технологічному процесі. Також люмінофор старіє швидше, ніж сам світлодіод [1,9,50]

На відміну від ламп розжарювання, світлодіод керується величиною струму. Пов'язано це з тим, що падіння напруги на світлодіоді в прямому напрямку - характеристика непостійна, і розкид її значень для світлодіодів одного типу може становити до  $\pm 10\%$  від середнього значення. Крім того, падіння напруги на світлодіоді буде змінюватися в залежності від умов експлуатації (температури навколишнього середовища, температури кристала світлодіода і струму, що протікає через світлодіод), а також від часу роботи (внаслідок деградації кристала). Значення падіння напруги в прямому напрямку також буде різним для світлодіодів різного виконання. Виходячи їх цих міркувань, в електричних характеристиках прийнято вказувати робочий струм світлодіода, а характеристики світлового потоку і падіння напруги на світлодіоді даються при робочому струмі.

Як видно зрис.4.2., в робочих режимах світлодіода струм експоненціально залежить від напруги і незначні зміни напруги призводять до великих змін струму. Оскільки світловий вихід прямо пропорційний струму, то і яскравість світлодіода виявляється нестабільною. Тому струм

|                                                                      |      |          |        |     |      |
|----------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|-----|------|
| необхідно стабілізувати. Крім того, якщо струм перевищить допустимий |      |          |        |     | Арк. |
| 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ                                |      |          |        |     |      |
| Змн.                                                                 | Арк. | № докум. | Підпис | Дат | 66   |

межу, то перегрів світлодіода може привести до його прискореного старіння [40,54].

Використовуючи світлодіоди різного кольору у різній пропорціях можна формувати світильники, які даватимуть потрібну кількість світла лише того діапазону, який активно споживають рослини. Це сприятиме швидкому і гармонійному розвитку рослини.

При правильному підборі світлового спектру, LED модулі на 85-100% ефективніші для процесу фотосинтезу ніж існуючі джерела фотосинтезного випромінювання, економічніші та мають значно більший термін безперервної роботи. [3].

### **3.3 Електричні, оптичні та теплові характеристики світлодіодів**

Світлодіод являється низьковольтним приладом, який споживає від 2 до 4В постійної напруги при максимальному струмі до 50 мА. Світлодіоди, які використовують для освітлення, споживають таку ж напругу але струм може складати від сотень міліампер до 1 А в проекті. У модулі окремі світлодіоди можуть бути включені послідовно. Тоді сумарна напруга може зрости до 12 та навіть до 24 В. При підключенні необхідно дотримуватися полярності, інакше вони можуть вийти з ладу. У сучасних світлодіодах напруга пробою становить близько 5В.

Оптичні характеристики світлодіодів характеризуються світловим потоком, осьовою силою світла та діаграмою спрямованості. Існуючі світлодіоди різних конструкцій та виробників здатні випромінювати в тілесному куті від 4 до 140 градусів. Колір визначається координатами кольоровості, колірною температурою та довжиною хвилі випромінювання. Для порівняння світлодіодів між собою та з іншими джерелами світла прийнято такий показник як світловіддача – величина світлового потоку на один ват електричної потужності. Так світловидатність ламп розжарювання становить 15 Лм/Вт, люмінесцентних — 60 Лм/Вт, металогалогенних — 85 Лм/Вт. В порівнянні з ними найсучасніший білий світлодіод досягає світловидатності до 100 Лм/Вт.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 28   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

При розробці світлодіодних модулів слід також враховувати як світлодіод реагує на зміну температури. Слід враховувати два значення температури, по перше - це температура на поверхні кристала, і по друге - температура в зоні *pn*-переходу. Від першої залежить термін служби а від другої світловий вихід. В цілому з підвищенням температури яскравість падає із-за зменшення внутрішнього квантового виходу в зоні *pn*-переходу. Тому при розробці світлодіодних світильників необхідно враховувати відведення тепла. Слід також враховувати, що падіння яскравості у світлодіодів різних кольорів не однакове. Воно більше у червоних і жовтих і менше у зелених і синіх і білих.

Яскравість світлодіодів можна регулювати за рахунок застосування методу широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Для цього необхідний керуючий блок, який можна поєднати із блоком живлення і конвертором. Метод ШІМ полягає в тому, що на світлодіод подається не постійний а імпульсно модульований струм. При цьому частота може складати сотні і навіть тисячі герц, а ширина імпульсів і пауз між ними може змінюватись. Середня яскравість світлодіода стає керованою, а сам світлодіод не гасне.

Таблиця 3.1 Характеристика світлодіодів для тепличних світильників

| Колір    | Довжина хвилі, (нм) | Напруга, В  | Матеріал напівпровідника |
|----------|---------------------|-------------|--------------------------|
| Червоний | 610-760             | 1,63 – 2,03 | Галлія арсенід-фосфід    |
| Синій    | 430-500             | 2,48 – 3,70 | Карбід кремнію           |

### 3.4 Розрахунок параметрів підключення світлодіода до джерела живлення

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 29   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Враховуючи діапазон напруги червоного та синього світлодіодів проведемо розрахунки електричних параметрів для їх підключення до джерел живлення. Головний електричний параметр, який забезпечує стабільну роботу світлодіода є струм  $I$ , який протікає через нього. Більшість сучасних світлодіодів розрахована на струм 20мА. Енергетичні характеристики серійних світлодіодів червоного спектру випромінювання приведені в таблиці 3.

Але при підключенні світлодіода до джерела живлення слід враховувати, що він має виражену нелінійність вольт-амперної характеристики. Невеликі зміни напруги приводять до значних коливань струму.

На графіку (рис. 3.) відображено залежність сили струму від поданої напруги світлодіода типу АЛ307АМ, червоного спектра випромінювання.

Таблиця 3. Енергетичні характеристики світлодіодів червоного спектра випромінювання

| Тип світлодіода | Колір    | Постійна пряма напруга(Упр.) В, більше при [Іпр.] мА | Максимальний постійний прямий струм (Іпр.), мА | Сила світла,мкд,не менше |
|-----------------|----------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|
| АЛ307АМ         | червоний | 2,0 [10]                                             | 20                                             | 0,15                     |
| АЛ307БМ         | червоний | 2,0 [10]                                             | 20                                             | 0,9                      |
| АЛ336Б          | червоний | 2,0 [10]                                             | 20                                             | 20                       |
| АЛ336К          | червоний | 2,0 [10]                                             | 20                                             | 40                       |

З таблиці 3 видно, що сила світла для світло діодів із близькими енергетичними характеристиками відрізняється в рази.

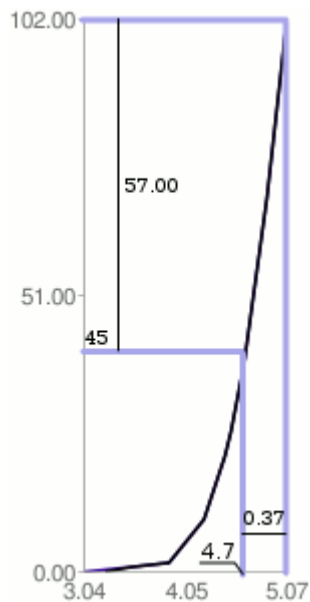


Рис. 3.1 . Вольт-амперна характеристика світлодіода типу АЛ307АМ

Із графіка видно, що збільшення напруги живлення від 4.7 до 5.07 вольт, всього - на 0.37 вольт викликає зростання струму через світлодіод до 100 міліампер.

Найпростіше обмежити зростання струму за допомогою підключеного послідовно резистора (опору навантаження) рис. 3.

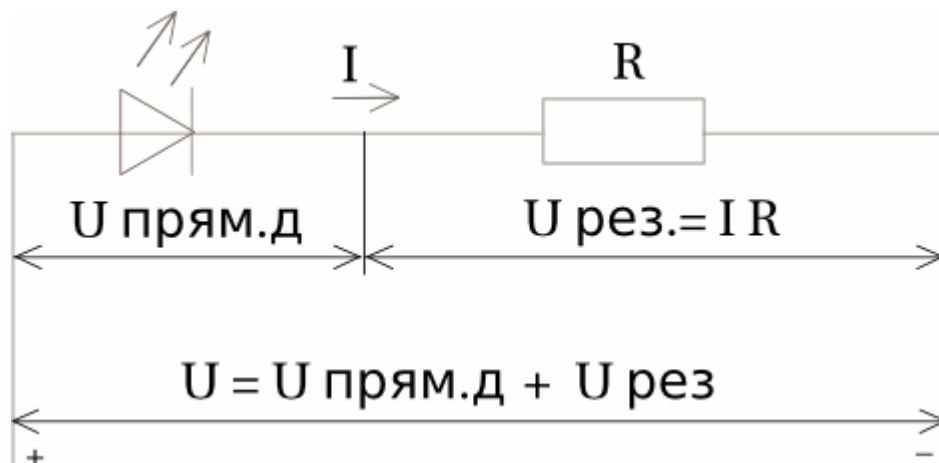


Рис. 3.2. Схема обмеження струму через світлодіод за допомогою опору навантаження

У відповідності з законом Ома падіння напруги на опорі навантаження розраховуємо за формулою:

$$U_{рез} = I \cdot R \quad (3.1)$$

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 31   |

Звідси слідує - якщо прикласти до схеми більшу напругу то зросте струм, але більша частина напруги падатиме на опорі, внаслідок чого загальне збільшення струму через світлодіод буде значно меншим у порівнянні зі схемою без баластного резистора.

Номінальним струмом світлодіода типу АЛ307АМ  $I = 30 \text{ mA}$  , що відповідає напрузі на світлодіоді  $U_{\text{прям.д}} = 4.5 \text{ В}$  при максимальній напрузі живлення 5 В, величина опору резистора буде:

$$U = U_{\text{прям.д}} + U_{\text{рез}} \quad (3.2)$$

Підставивши в формулу (3.2) значення отримаємо

$$5 = 4.5 + U_{\text{рез}}$$

$$U_{\text{рез}} = 5 - 4.5 = 0.5 \text{ В}$$

$$I = 30 \text{ mA} = 0.03 \text{ А}$$

$$U_{\text{рез}} = IR, \quad (3.3)$$

$$\text{звідки } R = U_{\text{рез}} / I = 0.5 / 0.03 = 16 \text{ Ом}$$

Отже, розрахований необхідний баластний опір складає 16 Ом

Значення опору резистора саме для світлодіода даної марки. та аналогічних з близькими параметрами.

Якщо будемо використовувати світлодіод АЛ307ПМ , для якого згідно паспортних даних:  $U_{\text{прям.д}} = 2.8 \text{ В}$ ,  $I_{\text{пр}} = 20 \text{ mA}$ , отримаємо розрахункове значення баластного опору

$$R = (U_{\text{жив}} - U_{\text{прям.д}}) / I_{\text{пр}} = (5 - 2.8) / 0.02 = 110 \text{ Ом}$$

При напрузі живлення 12 вольт опір резистора:

$$R = (U_{\text{жив}} - U_{\text{прям.д}}) / I_{\text{пр}} = (12 - 2.8) / 0.02 = 460 \text{ Ом},$$

Але, необхідно враховувати, що баластний резистор, обмежуючи струм, сам нагрівається. Потужність, яка виділиться на резисторі у вигляді тепла складе:

$$P = U_{рез.} \cdot I_{пр.} = (U_{жив} - U_{прям.д}) I_{пр.} = (12 - 2.8) 0.02 = 0.184 \text{ Вт}$$

тобто, ставити потрібно резистор не менше 184 міліват, наприклад типу МЛТ 0.25.

Таким чином в результаті розрахунків електричних параметрів підключення світлодіодів до джерела живлення необхідно враховувати номінальні паспортні енергетичні параметри кожної марки світлодіодів, для їх використання при проектуванні світильників для теплиць.

### 3.5 Підключення декількох світлодіодів монохроматичного випромінювання різного спектру

Для проектування світильника із світлодіодів монохроматичного випромінювання необхідно провести розрахунки енергетичних параметрів для групи джерел світла. Припускаємо, що світлодіоди для світильника однієї партії і мають однакові енергетичні параметри. Тепер визначимося з підключенням декількох світлодіодів. Підключаємо послідовно 2 червоних світлодіоди. Енергетичні параметри вибираємо з таблиці 3. Живлення від джерела постійного струму напругою 12В.

Тоді сумарна напруга для двох червоних світло діода складе:

$$U = U_1 + U_2 = 2 + 2 = 4 \text{ В}$$

Напруга живлення – 12 В, отже різниця між напругою живлення і сумарною напругою складе – 8,0 В. Розраховуємо параметри резистора для включення в ланцюг із двох світло діодів.

$$R = 8,0 / 0,02 = 400 \text{ Ом.}$$

$$P = 8,0 * 0,2 = 0,16 \text{ Вт}$$

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 33   |

Якщо беремо 6 червоних світлодіодів і проведемо аналогічні розрахунки то отримаємо –  $6 \cdot 2,0 \text{ В} = 12 \text{ В}$ . Додатковий опір не потрібно.

Аналогічно для 3 синіх світлодіодів (3,0 В):

$$3 \times 3,0 \text{ В} = 9,0 \text{ В}; 12,0 - 9,0 = 3,0 \text{ В}.$$

$$R = 3,0 / 0,02 = 150 \text{ Ом}. P = 3,0 \cdot 0,02 = 0,06 \text{ Вт}$$

Тепер розглянемо варіант підключення світлодіодного модуля. Треба підключити до блока живлення 12В 30 червоних світлодіодів по 2,0 В. На 12В можна підключити тільки 6 штук без опорів. З'єднавши 5 ланцюгів по 6 світлодіодів і підключивши їх паралельно до джерела живлення (рис 3 ) отримаємо ланцюги без додаткових опорів. При цьому через кожні 6 світлодіодів буде текти струм в 0,02 А. У нас вийде 5 ланцюжків з загальним струмом  $5 \cdot 0,02 \text{ А} = 0,1 \text{ А}$

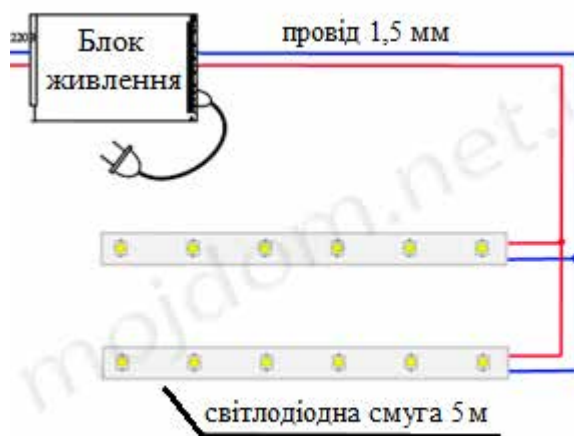


Рис. 3..3 Підключення одноколірних світлодіодних ланцюгів до джерела живлення без опору навантаження.

Для підключення двохколірних світлодіодних стрічок необхідно брати 2 джерела живлення, як зображено на рис. 3

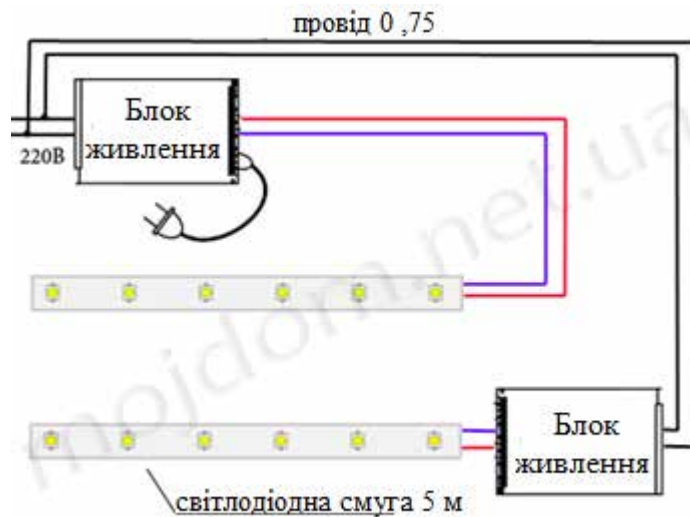


Рис 3.4. Підключення двохколірних світлодіодів до джерел живлення.

### 3.6 Вибір драйвера живлення світлодіодного світильника

Розробка світильників на основі потужних світлодіодів з появою нових надійних елементів стає усе більш актуальною. Багато виробників радіокомпонентів пропонують рішення для створення джерел струму й різні мікросхеми драйверів для живлення світлодіодів. Фірма ST Microelectronics пропонує схемотехнічні рішення для реалізації живлення світлодіодів.

По своїй суті драйвери представляють собою DC-DC перетворювачі, що стабілізують не тільки напругу, а й струм через світлодіоди. Структура драйвера залежить від діапазону вхідної напруги й від кількості світлодіодів, що можуть жити від драйвера. Внутрішня структура може бути різною, але, як правило, він складається з наступних функціональних блоків:

- DC-DC-перетворювач;
- регульовані або навіть програмувальні лінійні джерела струму (один або кілька каналів);
- ШІМ-контролери для індивідуального або загального керування струмом через світлодіоди;

- інтерфейс керування;
- блок діагностики для виявлення обривів у колі підключення світлодіодів, коротких замикань та ін.

Технічним рішенням для світильників теплиць є драйвери LED7706, LED7707 від компанії STMicroelectronics. Мікросхеми призначено для живлення шести лінійок послідовно включених світлодіодів (до 10 світлодіодів у кожному ланцюжку) струмом 30 або 85 мА, відповідно.

Структура цих мікросхем однакова: до їхнього складу входить високоефективний підвищувальний перетворювач, який працює на частоті 660 кГц. Він має можливість зміни робочої частоти в межах від 200 кГц до 1 МГц за допомогою зовнішнього резистора й шість генераторів струму.

Вихідна напруга підвищувального перетворювача змінюється адаптивно таким чином, щоб найменше спадання напруги на одному із внутрішніх джерел струму було рівне їхній опорній напрузі (400 мВ). Вихідна напруга може змінюватися в діапазоні від 4,5 В до 36 В.

Вихідний струм у кожному каналі може бути заданий одним зовнішнім резистором. Яскравість світіння світлодіодів може змінюватися, для цього мікросхема має спеціальний вхід для регулювання. Основні параметри мікросхем наведені у таблиці 1.

Таблиця 3.2 - Основні параметри мікросхем драйвера

| Найменуван | Вхідна<br>напруга, ( В ) | Вихідна<br>напруга, ( В ) | Вихідний<br>струм, (мА) | Число<br>каналів | ККД, ( % ) | Робоча часто<br>(МГц ) |
|------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|------------------|------------|------------------------|
| LED7706    | 4,5 - 36                 | до 36                     | до 30                   | 6                | 93         | 0,2...1                |
| LED7707    | 4,5 - 36                 | до 36                     | до 85                   | 6                | 93         | 0,2...1                |

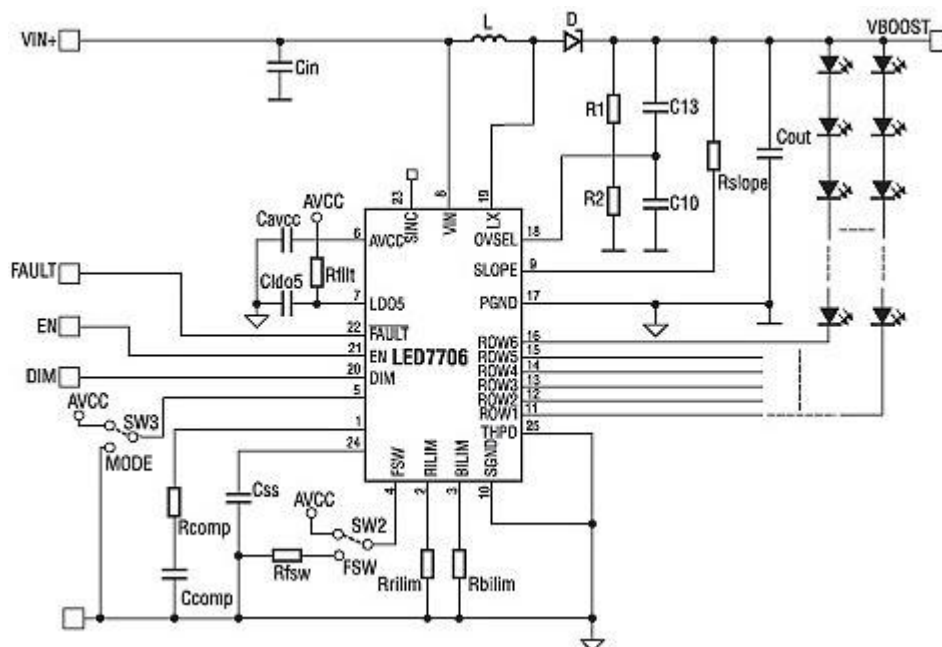


Рис 3.1.Схема включення мікросхеми драйвера в мережу і на навантаження (світлодіоди)

Функціонування мікросхем LED7706, LED7707 відбувається наступним чином. Підвищувальний перетворювач перетворює вхідну напругу до необхідного рівня на лінії *VBOOST*. Рівень напруги на цій лінії контролюється перетворювачем через вхід *OVSEL*. Величина напруги на виході залежить від величини дільника виконаного на резисторах *R1*, *R2*.

Від величини конденсатора  $C_{ss}$  залежить тривалість "плавного" старту перетворювача. Конденсатор заряджається від інтегрованого в мікросхему джерела струму 5 мкА. При досягненні на ємності  $C_{ss}$  напруги 2.4В, перетворювач починає працювати в штатному режимі.

Робоча частота задається зовнішнім резистором  $R_{fsw}$ , що підключаються до входу *FSW*. Частота може бути задана в діапазоні 250...1000 кГц. Якщо вивід *FSW* з'єднати з виводом  $A_{vcc}$  перетворювач буде працювати на частоті 660 кГц. Вивід *FSW* також може виступати в якості входу зовнішньої синхронізації. У такому випадку, одна мікросхема LED770х є головною, а інші - підлеглими (сигнал синхронізації надходить на вхід *FSW* з виходу *SYNC* попередньої мікросхеми).

Особливостями мікросхем є висока продуктивність, високий ККД, - ШІМ-диммірування на частоті 20кГц, мінімальний розмір пристрою. Вони застосовуються для побудови світильників на чіп-світлодіодах.

Для живлення світлодіодів підходять мікросхеми звичайних DC-DC перетворювачів, необхідно тільки переробити схемотехнічне рішення таким чином, щоб на виході перетворювача стабілізувався струм, а не напруга. Компанія STMicroelectronics рекомендує використовувати для цієї мети сімейство імпульсних понижувальних стабілізаторів L597х.

Ця серія перетворювачів може працювати з вихідною напругою до 36 В и забезпечувати струм виходу 1, 1,5 або 2 Ампера. Звідси випливає, що можна підключити на вихід стабілізатора до 10 послідовно включених світлодіодів і стабілізувати струм з робочими струмами 350 мА, 700 мА й 1400 мА.

При проектуванні джерела живлення світлодіодного світильника завжди постає питання яке джерело живлення використовувати - гальванічно розв'язане або гальванічно пов'язане з первинною мережею. Прямої заборони на використання того або іншого немає. Безпечність світильників регулює нормативний документ ДС Р МЭК 60598-1-2003 «Світильники. Загальні вимоги й методи випробування», відповідно до якого всі світильники діляться на три класи по захисту від ураження електричним струмом.

Клас І- захист від ураження електричним струмом забезпечується основною ізоляцією й приєднанням доступних для дотику провідних деталей до захисного (заземленого) проводу стаціонарної проводки таким чином, щоб доступні провідні деталі не могли стати струмоведучими у випадку ушкодження основної ізоляції;

Клас ІІ- світильник, у якому захист від ураження електричним струмом забезпечується основною ізоляцією, застосуванням подвійної або посиленої ізоляції, і який не має пристрою для захисного заземлення або спеціальних засобів захисту в електричній установці;

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 38   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

Клас III- світильник, у якому захист від ураження електричним струмом забезпечується застосуванням безпечної наднизької напруги живлення (по даному документу до 50В включно).

Для кожного із цих класів установлені вимоги до електричної міцності ізоляції: Клас I -  $2U+1000$  В; Клас II -  $4U+2750$  В; Клас III - 500 В, де U - напруга живлення світильника, В.

При розробці самого світильника й джерела живлення до нього з використанням AC/DC-перетворювача важливо забезпечити необхідну електричну міцність виробу вибором матеріалів і конструктивних рішень. Наприклад, виріб по класу I може мати гальванічний зв'язок з мережею, але при цьому необхідно, щоб доступні для дотику струмопровідні деталі мали захисне заземлення й комплектуючі й матеріали змогли забезпечити напругу пробою більш 1440 В між входною клемою й корпусом виробу. Як варіант, можна застосувати у виробі джерело живлення, гальванічно не пов'язане з мережею, а необхідне значення напруги пробою (1,44; 3,63 кВ) забезпечити міжшаровою ізоляцією в трансформаторі.

### 3.7 Розрахунок штучного досвічування рослин

Головним фактором оточуючого середовища для росту рослин є світло, під дією якого виконується процес фотосинтезу. Зимою і ранньою весною освітленість недостатня, тобто недостатня кількість енергії, яка знаходиться в природному променевому потоці. Тому використовуємо штучне електричне досвічування, яке скорочує час вирощування розсади на 25...30 днів, і тим самим підвищує ріст та урожайність на 25...30% [11].

Розрахунок штучного досвічування проводимо на розсадне відділення теплиці площею 1000 м<sup>2</sup>. Броварського тепличного комбінату розташованого у четвертій географічній світловій зоні: питома потужність опромінення режиму досвічування складає 106 Вт/ м<sup>2</sup> [4].

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 39   |



Рис 3.3 рослини під світлодіодним модулем УСС – 70 БІО

На даному етапі дуже перспективним є використання світлодіодного модуля УСС – 70 БІО, що спеціально створений для забезпечення максимального рівня освітлення рослин і має найвищий показник PPF на ват потужності серед ламп, що використовуються в сільському господарстві. Досліди в університетах і прикладних лабораторіях довели, що на темп фотосинтеза зв'язаний з кількістю фотонів між 400 і 700 нм – так званим показником PPF (Photosynthetic Photon Flux). Чим він вище в розрахунку на ват потужності, тим ефективніше джерело світла для вирощування рослин.

Зараз для досвічування овочів, можуть застосовуватись різні конструкції модулів в різному кількісному співвідношенні світлодіодів. Всі ці світильники випускаються промисловістю і можуть бути використані, в залежності від конкретних умов в даному господарстві, та конкретної рослини.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       | 40   |

Для опромінення використовуємо світлодіодний модуль УСС – 70 БЮ з червоними (65%), та синіми (35%) світлодіодами, що дозволить дати рослинам саме ту кількість випромінювання в пікових діапазонах відносної спектральної ефективності, які потрібні їм для швидкого розвитку.

На рис. 3.4 показано приклад розсади томатів, для чого були взяті зразки одного і того ж сорту, та висіяні в один день. Після чого доосвічувалися різними світильниками. Рослини вирощені під світлодіодним модулем (1) і під люмінесцентною лампою (2). Наочно можна побачити, що під світлодіодним модулем рослини більш зелені, міцні, з великою кількістю листків та досить розвинені. Під люмінесцентними лампами, нічим не примітні та блідно зелені.



Рис. 3.4 Приклад розсади томатів

#### РОЗРАХУНОК ОПРОМІНЮВАЧІВ.

Потужність, яка необхідна для опромінення рослин:

$$P = R_{\text{пит.}} \cdot S \cdot 0,001, \quad (3.1)$$

де  $R_{\text{пит}}$  – питома потужність опромінення, Вт/ м².

$$P = 10,6 \cdot 1000 \cdot 0,001 = 10,6 \text{ кВт}$$

|                                       |      |          |        |      |      |
|---------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| Необхідна кількість опромінювачів:    |      |          |        |      | Арк. |
| 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ |      |          |        |      | 42   |
| Змн.                                  | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

$$n = (10,6 \cdot 1000) / P_{\text{опр}}, \quad (3.2)$$

де  $P_{\text{опр}}$  – встановлена потужність опромінювача, Вт.

$$n = (10,6 \cdot 1000) / 40 = 265 \text{ штук.}$$

Опромінювачі розміщуємо в 12 рядів і об'єднуємо в групи по 24 штуки.

Тоді потужність опромінювачів дорівнює:

$$P_{\text{опр.пов.}} = P_{\text{опр}} \cdot n = 40 \cdot 288 = 11,52 \text{ кВт} \quad (3.3)$$

Робимо перевірку проводів за допустимим струмом.

$$I_{\text{пер}} := \frac{P_{\text{гр}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \phi} \quad I_{\text{пер}} := \frac{9,6 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} \quad I_{\text{пер}} := 16,2 \text{ А} \quad (3.4)$$

де  $P_{\text{гр}}$  – потужність групи освітлювачів, кВт;

$U_{\text{л}}$  – лінійна напруга мережі, В;

$\cos \phi$  – коефіцієнт потужності опромінювачів.

Приймаємо провід АПВ перерізом 2,5 мм<sup>2</sup> ( $I=19\text{А}$ ).

Перевіримо провід на допустимий спад напруги:

$$\Delta U\% = \sum M / (c \cdot S), \% \quad (3.5)$$

Так як навантаження рівномірне, то момент навантаження:

$$M = P_{\text{гр}} \cdot (1/2) \cdot l = 9,8 \cdot 19,6 = 188,16 \text{ кВт} \cdot \text{м},$$

де  $l$  – довжина ділянки групи, м.

Коефіцієнт  $c$  для трифазної лінії змінного струму:

$$c := \frac{\gamma \cdot (U_{\phi})^2}{2 \cdot 10^5} \quad c := \frac{32 \cdot 3800^2}{2 \cdot 10^5} \quad c := 46,2 \quad (3.6)$$

|      |      |          |        |      |                                                         |                              |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------------------------|------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | Тоді: $\Delta U\% = 188,16 / (46,2 \cdot 2,5) = 1,63\%$ | КРЕ-3607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                         |                              | 43   |

$$1,63\% < \Delta U\% = 2,5\%$$

#### **4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА**

##### **4.1. Види планово-профілактичних заходів для електрообладнання та засобів автоматизації на тепличному комбінаті**

Підтримання роботоздатності всіх систем та механізмів обладнання та засобів автоматизації тепличного комплексу потребує проведення комплексу планово-попереджувальних та профілактичних заходів для надійного функціонування комбінату, особливо в зимовий період року. Для цього службою головного енергетика на комбінаті проводяться планові міроприємства.

Під системою планового-попереджувальних ремонтів слід розуміти весь комплекс організаційно-технічних заходів з обслуговування і ремонту електрообладнання, спрямованих на забезпечення його безаварійної і економічної роботи.

В цей комплекс входить: технічне обслуговування, згідно встановленого графіка, та поточний ремонт.

Технічне обслуговування включає в себе комплекс операцій з підтримання працездатності або справності виробу під час використання за призначенням, зберіганням і транспортування.

Поточний ремонт виконують для забезпечення або відновлення працездатності виробу із заміною або відновленням окремих його частин.

##### **4.4 Заходи з раціонального використання електроенергії на підприємстві**

|      |      |          |        |      |                                 |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 141.КРБ-637/С.05.10.2021.007.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                 | 49   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                 |      |

В зв'язку із відчутним дефіцитом на енергоносії питання економії енергії та ощадного її використання на сьогоднішній день стоїть досить актуально.

Раціональне використання електроенергії (зниження її втрат) обумовлюють такі основні фактори:

- вдосконалення технологічних процесів виробництва і режимів роботи електроспоживачів;
- 
- нормування питомих втрат електроенергії для різних процесів виробництва;
- компенсація реактивної потужності, реалізація оптимальних схем електропостачання і організація технічної експлуатації електроустановок.

Тому, з метою економії електроенергії на підприємстві, служба головного енергетика повинна постійно звертати увагу на наступні фактори:

- стан обліку електроенергії;
- правильний вибір електродвигунів до робочих машин, заміну недовантажених на двигуни меншої потужності;
- вмикання електроприводів при роботі на холостому ході;
- високий рівень експлуатації електроустановок;
- правильний вибір ламп і світильників та своєчасне очищення їх від пилу та бруду;
- автоматизацію вмикання і вимикання чергового освітлення;
- зниження втрат тепла в приміщеннях де опалювання здійснюється з використанням електроенергії.

Однією з важливих умов раціонального використання електроенергії є нормування її споживання для різних процесів виробництва.

Норма споживання електроенергії – це максимально допустима кількість електроенергії для виробництва одиниці продукції при найвигіднішому режимі роботи обладнання і мінімально допустимих втратах електроенергії.

Питомі норми споживання дозволяють контролювати витрати електроенергії в окремих процесах виробництва, складати ліміти на електроенергію та перспективні плани електроспоживання. Тільки при

наявності таких норм можна оцінити ефективність використання електроенергетичних ресурсів.

У електроустановках які використовують в тепличному господарстві необхідно застосувати індивідуальну компенсацію при потужності електродвигунів понад 20 кВт з тривалим режимом роботи і групову – в окремих приміщеннях.

#### 4.2. Розрахунок показників економічної ефективності електрифікації та автоматизації тепличного комбінату

1. Вартість електричної енергії по комбінату:

$$C_{\text{ЕЛ.ЕН}} = A \cdot C_0 = 549020 \cdot 0,7 = 384314 \text{ грн}$$

де  $A$  – загальна кількість використаної електроенергії по комбінату, кВт·год.

$C_0$  – тариф за 1 кВт·год = 0,70 грн.(з ПДВ).

2. Вартість використання електроенергії по об'єкту:

$$C_{\text{е}} = \frac{C_{\text{ЕЛ.ЕН.}} + C}{A}, \text{ грн} \quad (4.4)$$

$$C_{\text{е}} = \frac{384314 + 14053,57}{549020} = 3,72 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.}$$

3. Вартість 1 УОЕ обслуговування і ремонту електрообладнання:

$$C_{\text{.}} = \frac{C}{Q} = \frac{14053,57}{2727,37} = 15,15 \text{ грн}$$

4. Вартість 1 люд·год обслуговування і ремонту:

$$C_{\text{с}} = \frac{C}{\text{}} = \frac{14053,57}{614,8} = 122,8 \text{ грн}$$

|                               |      |          |        |      |                                       |  |              |
|-------------------------------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|--|--------------|
| де – сумарні витрати, люд·год |      |          |        |      | 02.02: - КРВ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ |  | Арк.<br>Арк. |
| Змін.                         | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |  | 51           |
| Змін.                         | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |  |              |

## 5. Рівень використання встановленої потужності електрообладнання:

- число годин використання встановленої потужності

$$T_B = \frac{A}{P_{\text{об}}}, \text{годин} \quad (4.5)$$

де  $P_{\text{об}}$  сумарна потужність всіх двигунів по всіх приміщеннях, кВт

$$T_B = \frac{549020}{197,34} = 2782 \text{ годин}$$

- потужність двигунів визначаємо за формулою:

$$P_{\text{дв}} = P \cdot n, \text{кВт.} \quad (4.6)$$

де  $P$ - потужність двигунів, кВт.

$n$  – кількість двигунів з однаковою потужністю, шт.

$$P_{\text{дв}} = 5,98 \cdot 3 = 19,734 \text{ кВт.}$$

- коефіцієнт використання обладнання

$$K_B = \frac{A}{P_{\text{дв}} \cdot 8760} = \frac{549020}{19,734 \cdot 8760} = 0,317$$

## 6. Капітальні втрати на електрифікацію об'єкта:

$$= 300 \cdot n,$$

Де 1356 – вартість одного електродвигуна з пуско-захисною апаратурою з силовими і освітлювальними щитами і засобами автоматики, грн.

$n$  – кількість електродвигунів, шт.

$$= 1356 \cdot 3 = 4748 \text{ грн.}$$

## 7. Економію річних експлуатаційних витрат від впровадження заходів

|                          |      |          |        |      |                                       |            |
|--------------------------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------------|
| економія електроенергії: |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк.<br>56 |
| Змн.                     | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |            |

$$E_E = 1,25 \cdot A, \text{ грн.} \quad (4.7)$$

$$E_E = 1,25 \cdot 54902 = 637355 \text{ грн.}$$

8. Строк окупності капіталовкладень:

$$T_o = \frac{4748}{E_E \cdot (C - C_{\text{ел.ен.}})}, \text{ років.} \quad (4.8)$$

$$T_o = \frac{4748}{137355 \cdot (384314 - 14053)} = 0,18 \text{ року.}$$

9. Витрати на електрифікацію по об'єкту:

$$= E_H \cdot C + C_{\text{ел.ен.}}, \text{ грн.} \quad (4.9)$$

де  $E_H = 0,15$ .

$$= 0,15 \cdot 11748 + 14053 + 384314 = 40424 \text{ грн.}$$

10. Річна економія від впровадження системи економії електроенергії у виробничі процеси по тепличному комбінату складе:

$$E_{P.E} = E_E - \text{, грн.} \quad (4.10)$$

$$E_{P.E} = 137355 - 40424 = 96931 \text{ грн.}$$

Таким чином проведені розрахунки підтверджують, що в результаті міроприємств по раціональному використанню електроенергії, та впровадження засобів світлодіодного опромінення річна економія по теплиці може скласти 96931 грн на рік.

|      |      |          |        |      |                                       |      |
|------|------|----------|--------|------|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |      |                                       | 57   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                       |      |

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ І ДОВКІЛЛЯ

### 5.1 Розробка заходів по безпечній експлуатації електрообладнання

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних та лікувально-профілактичних заходів спрямованих на збереження здоров'я та працездатність людини в процесі її трудової діяльності. На основі законодавчих актів, прийнятих на державному рівні розробляють та затверджують нормативні документи на конкретному підприємстві, установі чи організації.

Закон України «Про охорону праці», прийнятий у 2002 року, визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону здоров'я і життя в процесі трудової діяльності.

Створення безпечних умов праці робітників аграрного сектора виробництва завжди було і залишається предметом постійної уваги. Вона передбачає всебічне оздоровлення та забезпечення нормальних умов життя і праці робітників.

В тепличному комбінаті для нормального функціонування всіх виробничих підрозділів, відповідно до вимог норм законодавства передбачено ряд заходів:

- забезпечення достатньої вентиляції теплиць, виробничих і

|      |      |          |        |      |                                                      |      |
|------|------|----------|--------|------|------------------------------------------------------|------|
|      |      |          |        |      | допоміжних приміщень; - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |                                                      | 58   |

- раціональне з точки зору ергономіки і зручне для обслуговування розташування виробничого електротехнічного устаткування;
- в тепличних модулях та всіх допоміжних приміщеннях потрібно забезпечити нормовану освітленість;
- занулення корпусів всіх електродвигунів приводу насосних станцій;
- передбачити повторне заземлення нульового проводу на кінцях магістралей та відгалуженнях, а також на вводах в теплиці та інші будівлі;
- дотримання під час проектування, при спорудженні та експлуатації електроустановок правил та норм, вказаних в ПУЕ, ПТЕ та ПТБ, інших нормативних документах.

Заземленню підлягають корпуси електродвигунів, пускової апаратури, розподільчих не струмоведучих частин обладнання, які можуть виявитися під напругою внаслідок порушення ізоляції. Для заземлення обладнання і всіх металоконструкцій, які знаходяться в тепличних приміщеннях прокладається контур заземлення з смугової сталі 4 х 2,5мм, відпайки до обладнання виконуються із смужок сталі 4 х 20 мм. Необхідно забезпечити міцний електричний зв'язок з контуром заземлення живлячої підстанції через нульову жилу живлячого кабелю або нульовий провід повітряної мережі. Для заземлення металевих корпусів світильників використовується нульовий провід мережі освітлення.

Для забезпечення роботи при обслуговуванні електроустановок, приладів освітлення, та іншого обладнання теплиць передбачаємо забезпечення обслуговуючого персоналу основними і додатковими засобами захисту, розрахунок яких виконано відповідно до норм комплектування засобами захисту, які викладено в ПТЕ та ПТБ.

## 5.2. Охорона навколишнього природного середовища

Основним нормативно-правовим документом, який регулює виробничу сферу діяльності тепличного комбінату є закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25 червня 1991 року.

|      |      |          |        |      |      |
|------|------|----------|--------|------|------|
|      |      |          |        |      | Арк. |
|      |      |          |        |      | 64   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності України - обов'язкова умова її сталого економічного та соціального розвитку.

Основними принципами охорони навколишнього природного середовища є такі: пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов'язковість додержання екологічних стандартів, нормативів і лімітів у всіх сферах людської діяльності, гарантування екологічно безпечного середовища для життя та здоров'я людей; екологізація матеріального виробництва; збереження видової та просторової різноманітності та цілісності природних об'єктів і комплексів; науково-обґрунтоване узгодження екологічних, економічних і соціальних інтересів суспільства.

З метою покращення екологічного стану в Україні держава прийняла цілий ряд законів та законодавчих актів, спрямованих на охорону, раціональне використання та відтворення природних ресурсів.

Природоохоронне законодавство являє собою ясну екологічну орієнтацію усіх ланок науково технічного прогресу, залучення широкого кола спеціалістів до рішення проблеми екології, проведення екологічної експертизи, суворий контроль за організацією природоохоронних міроприємств, відповідальні за порушення і забруднення навколишнього середовища.

Основним фактором забруднення навколишнього середовища в результаті діяльності господарства є шкідливі викиди в атмосферу продуктів згорання в результаті опалення теплиць в зимовий період, забруднення середовища в результаті миття технологічних гідропонних систем після збирання урожаю, особливо після внесення хімічних речовин, мінеральних добрив та ряду інших факторів.

В тепличному комбінаті проводяться заходи по запобіганню негативного впливу на навколишнє середовище :

- Використання вуглекислого газу, що утворюється в результаті згорання палива після його охолодження для подачі до рослин в якості добрива;
- Забезпечення закритого циклу використання гідропонних розчинів, з

|                                                                     |      |          |        |      |      |
|---------------------------------------------------------------------|------|----------|--------|------|------|
| послідуючою очисткою і нейтралізацією, для повторного використання. |      |          |        |      | Арк. |
| 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ                               |      |          |        |      | 58   |
| Змн.                                                                | Арк. | № докум. | Підпис | Дата |      |

Дані заходи дозволять запобігати забрудненню навколишнього середовища, та покращити екологічну обстановку приміської зони Києва.

## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі бакалавра проведена комплексна електрифікація на тепличному комбінаті.

На основі розгляду існуючих технологій використання світлодіодів, показані перспективи їх використання для освітлення рослин закритого ґрунту, проведені відповідні світлотехнічні розрахунки, на основі яких був вибраний світлодіодний модуль УСС – 70 БЮ.

Для безпечної експлуатації електрообладнання в теплиці проведено розрахунок обсягу робіт і складу електротехнічної служби, проведено аналіз умов праці.

Проведено розрахунок річних витрат електроенергій на тепличному комбінаті до та після модернізації.

Річна економія від впровадження системи економії електроенергії у виробничі процеси по тепличному комбінату складе 96931 грн. при строку окупності 0, 2 роки

|      |      |          |        |     |                                       |      |
|------|------|----------|--------|-----|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |     | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
|      |      |          |        |     |                                       | 67   |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                                       |      |

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

6. Ali Q., Ahmad N., Khan M. Гідропонне вирощування в теплицях для сталого сільського господарства // *Journal of Agriculture*. 2026.
7. Kumar S., Singh B., Sharma R. Можливості та обмеження гідропонних систем вирощування рослин // *Environment Conservation Journal*. 2021. Т. 22, № 3. С. 45–52.
8. Malabadi R. B., Meti N. T., Chalannavar R. K. Тепличне господарство: гідропоніка, вертикальне фермерство та IoT-технології // *World Journal of Advanced Research and Reviews*. 2024. Т. 24, № 2. DOI: 10.30574/wjarr.2024.24.2.3273
9. Resh H. M. Гідропонне виробництво продуктів харчування: практичний посібник. 7-ме вид. Бока-Ратон: CRC Press, 2013. 560 с.
10. Raviv M., Lieth J. H. Безґрунтові культури: теорія і практика. Амстердам: Elsevier, 2008. 587 с.
11. Rahman M. M., Hasan M. M., Islam M. S. Світлодіодне освітлення для підвищення якості та врожайності рослин // *Plants*. 2021. Т. 10, № 11. DOI: 10.3390/plants10112470
12. Sena S., Silva J., Costa L. Світлодіодні джерела світла для росту рослин у тепличних системах // *Sustainable Computing*. 2024.
13. Lozano-Castellanos L., García-Caparrós P. Технології штучного освітлення в закритому рослинництві // *Sustainability*. 2025. Т. 17, № 7. DOI: 10.3390/su17073196
14. Kozai T., Niu G., Takagaki M. Рослинництво в умовах штучного освітлення: світлодіодні технології. Лондон: Academic Press, 2016. 405 с.
15. Nelson J. A., Bugbee B. Економічні аспекти освітлення в контрольованому рослинництві // *HortScience*. 2014. Т. 49, № 3. С. 269–273.

|      |      |          |        |     |                                       |      |
|------|------|----------|--------|-----|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |     | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                                       | 69   |

- 16.Afzali S., Mohammadi K., Shamshirband S. Оптимізація освітлення в теплицях із використанням штучного інтелекту // *Energy Reports*. 2022. Т. 8. С. 1234–1245.
- 17.van Iersel M. W., Gianino D. Оцінка енергоефективності LED-освітлення в теплицях // *HortTechnology*. 2017. Т. 27, № 2. С. 190–197.
- 18.Both A. J., Benjamin L., Franklin J. Керування світловим середовищем у тепличних системах // *Acta Horticulturae*. 2015. № 1107. С. 165–172.
- 19.Червінський Л.С. Стимуляція росту проростків насіння огірка за дії комбінованого оптичного випромінювання. /, Л.С. Червінський , О.І. Романенко/ Науковий вісник НУБіП України, № 194 , частина 1. С96-101, 2014, Київ
- 20.Червінський Л.С. Використання світлодіодів у світлокультури тепличних рослин./ Л.С. Червінський, Л.О. Сторожук, Я.М. Луцак / Науковий вісник НУБіП України, № 209, частина 2. С153-159, 2015, Київ
- 21.Червінський Л.С. Особливості застосування світлодіодних джерел світла в світлотехнічних установках/ Червінський Л.С., Луцак Я.М., Шевченко Ю.В./Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, №1(3), С. 43-45, 2015, Харків
- 22.Червінський Л.С. Перспективи застосування оптичних методів передпосівної обробки насіння// Романенко О.І., Червінський Л.С/ Вісник ХНТУСГ, вип..164. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, С.94-96,2015, Харків.
- 23.Chervinsky L. The method of identification and evaluation heating depth detailscontact switching device./ I.Radko, L.Chervinsky, I Nazarenko /. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України/ Вісник ХНТУСГ, вип..164 С.96-98,2015, Харків.
- 24.Червінський Л.С. Обґрунтування принципів керування енергетичною дією світлодіодного випромінювання на біологічні об'єкти/ Л.С. Червінський , Я.М. Луцак, Ю.В. Шевченко./ Вісник ХНТУСГ, вип..164. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України, С.68-70,2015, Харків.

|      |      |          |        |     |                                       |      |
|------|------|----------|--------|-----|---------------------------------------|------|
|      |      |          |        |     | 02.02. - КРБ 2607 «С» 25.10.30.009.ПЗ | Арк. |
| Змн. | Арк. | № докум. | Підпис | Дат |                                       | 69   |

25.Червінський Л.С. Дослідження фотосинтезної ефективності різних джерел оптичного випромінювання / Червінський Л.С. Луцак Я.М../. Енергетика і автоматика №44(26), Київ НУБІП, .2015 – 156-160.

1.